



У Віснику розглянуто питання взаємодії суспільства і природи, раціонального використання та охорони природного середовища. Відображено результати досліджень у галузі геології, геохімії, гідрогеології, географії, екології та соціально-економічної географії.

Для науковців, фахівців і викладачів вищих закладів освіти.

Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology" is devoted to the modern studies in the field of geology, geochemistry, hydrogeology, ecology and social and economic geography.

"Visnyk" is intended for scientists, specialists and high school lecturers.

Затверджено до друку рішенням Вченої ради Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (протокол № 9 від 29.05.2023 р.).

**Редакційна колегія:** д. геол.-мін. н., проф. *В. Г. Суярко* (голова редколегії); *О. В. Чуєнко* (відповідальний секретар); д. геол.-мін. н., проф. *І. В. Височанський*; д. геогр. н., проф. *О. М. Крайнюков*; д. геол.-мін. н., проф. *А. І. Лур'є*; д. геогр. н., проф. *А. Н. Некос*; д. геогр. н., проф. *Л. М. Нємець*; д. геогр. н., проф. *В. А. Пересадыко*; д. геогр. н., проф. *К. Ю. Сеєїда*; д. техн. н., проф. *І. Г. Черваньов* (Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна); д. геол. н. *О. В. Бартащук* (Український науково-дослідний інститут природних газів); д. техн. н., проф. *В. С. Білецький* (Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»); д. геол.-мін. н., проф., член-кор. НАНУ *Е. Я. Жовинський* (Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М. П. Семененка НАН України); д. геол.-мін. н., проф. *В. М. Загнітко* (Інститут геології Київського національного університету імені Тараса Шевченка); д. фіз.-мат. н., проф. *Г. Д. Коваленко* (Інститут фізики високих енергій і ядерної фізики ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України); д. техн. н., проф. *І. М. Фик* (Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»); д. геол. н. *Ю. В. Хоха* (Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України).

**Іноземні члени редколегії:** д. габілітований *Здислав Адамчик* (Інститут прикладної геології, м. Глівіце, Польща); д. географії, проф. *Олександр Володченко* (Інститут картографії Дрезденського технічного університету, Німеччина); д. геол. н. *Георгій Мелікадзе* (Інститут геофізики Тбіліського державного університету імені Івана Джавахішвілі, Грузія); д. геології, проф., декан факультету геології *Ахмет Сасмаз* (Фіратський університет, Туреччина); д. габіл., проф., *Анджей Томаш Солецкі* (Інституту геологічних наук Вроцлавського університету, Польща); д. географії, проф., завідувач кафедри географії і туризму *Сауліус Станайтіс* (Литовський університет освітніх наук, Литва); декан факультету гірничої справи, екології, керування процесами та геотехнології, проф. *Мичал Челар* (Кошицький Технічний університет, Словаччина).

«Вісник» є фаховим виданням категорії А за спеціальностями 103 (науки про Землю) та 106 (географія) (наказ МОН України № 1643 від 28.12.2019 р.) та входить до наступних міжнародних баз даних: *WorldCat*, *BASE* (Bielefeld Academic Search Engine), *ResearchBible*, *TIB/UB* (German National Library of Science and Technology, University Library Hannover), *SBB* (Staatsbibliothek zu Berlin), *Ulrich's Periodicals Directory*, *EBSCO*, *Index Copernicus*, *Web of Science* (Emerging Sources Citation Index (ESCI)).

**Адреса редакційної колегії:** Україна, 61022, Харків, майдан Свободи, 4, ХНУ імені В. Н. Каразіна, факультет геології, географії, рекреації і туризму, тел. (057) 707-53-56;

e-mail: [geoeco-series@karazin.ua](mailto:geoeco-series@karazin.ua);

сайт: <http://periodicals.karazin.ua/geoeco>, <http://journals.uran.ua/geoeco>

Тексти статей представлені у авторській редакції. Автори несуть повну відповідальність за зміст статей, а також добір, точність наведених фактів, цитат, власних імен та інших відомостей.

Статті пройшли внутрішнє та зовнішнє рецензування.

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 21574-11474Р від 20.08.2015.

**EDITORIAL BOARD**  
of "Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University,  
series "Geology. Geography. Ecology"

**Suyarko, Vasyl** – Chairman of the Editorial Board, Doctor of Science (Geology and Mineralogy), Professor, Head of the Department of Mineralogy, Petrography and Minerals, School of Geology, Geography, Recreation and Tourism (SGGRT), V. N. Karazin Kharkiv National University (V. N. Karazin KhNU).

**Chuienko, Oleksandr** – Executive Secretary, Head of laboratory for the study of rocks, minerals and fossil organisms, SGGRT, V. N. Karazin KhNU.

**Vysochansky, Ilarion** – Doctor of Science (Geology and Mineralogy), Professor of the Department of Geology, SGGRT, V. N. Karazin KhNU.

**Kraynyukov, Oleksiy** – Doctor of Science (Geography), Professor of the Department of Environmental Safety and Environmental Education, School of Ecology, V. N. Karazin KhNU.

**Lurye, Anatoliy** – Doctor of Science (Geology and Mineralogy), Professor of the Department of Hydrogeology, SGGRT, V. N. Karazin KhNU.

**Nekos, Alla** – Doctor of Science (Geography), Professor, Head of the Department of Ecological Safety and Ecological Education, School of Ecology, V. N. Karazin KhNU.

**Niemets, Liudmyla** – Doctor of Science (Geography), Professor, Head of the Department of the Human Geography and Regional Studies, SGGRT, V. N. Karazin KhNU.

**Peresadko, Vilina** – Doctor of Science (Geography), Professor of the Department of Physical Geography and Cartography, Dean of SGGRT, V. N. Karazin KhNU.

**Sehida, Kateryna** – Deputy Chairman of the Editorial Board, Doctor of Science (Geography), Professor of the Department of Human Geography and Regional Studies, SGGRT, V. N. Karazin KhNU.

**Chervanyov, Igor** – Deputy Chairman of the Editorial Board, Doctor of Science (Technics), Professor, Professor of the Department of Physical Geography and Cartography, SGGRT, V. N. Karazin KhNU.

**Bartashchuk, Oleksii** – Doctor of Science (Geology), Ukrainian Scientific Research Institute of Natural Gases, Kharkiv.

**Biletsky, Volodymyr** – Doctor of Science (Technics), Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv.

**Zhovinsky, Edward** – Doctor of Science (Geology and Mineralogy), Professor, Corresponding member of the National Academy of Science of Ukraine, M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine, Kyiv.

**Zagnitko, Vasyl** – Doctor of Science (Geology and Mineralogy), Professor, Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv.

**Kovalenko, Grygoriy** – Doctor of Science (Physics and Mathematics), Professor, Director Institute of high-energy physics and nuclear physics NSC "Kharkov Institute of Physics and Technology" National Academy of Science Ukraine, Kharkiv.

**Fyk, Ilyya** – Doctor of Science (Technics), Professor, Head of the Department of Oil, Gas and Condensate Production, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv.

**Khokha, Yurii** – Doctor of Science (Geology), Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine, Lviv.

**INTERNATIONAL COUNCIL**

**Adamczyk, Zdzisław** – Dr. habil., Silesian University of Technology, Gliwice (Poland).

**Wolodtschenko, Alexander** – Doctor of Science (Geography), Professor, Institute of Cartography, Dresden University of Technology (Germany).

**Melikadze, George** – Doctor of Science (Geology), (Institute of Geophysics, Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia).

**Sasmaz, Ahmet** – Doctor of Science (Geology), Professor, Head of Geology Department, Firat University (Turkey).

**Solecki, Andrzej Tomasz**, Dr. habil., Professor, Institute of Geological Science University of Wrocław, Wrocław University (Poland).

**Stanaitis, Saulius** – Doctor of Science (Geography), Professor, Head of the Department of Geography and Tourism, Faculty of Science and Technology, Lithuanian University of Educational Science (Lithuania).

**Cehlár, Michal** – Professor, Dean of Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnology, Technical University of Košice (Slovakia).

## З М І С Т

### ХРОНІКА

ДО ЮВІЛЕЮ Мирослава Івановича Павлюка .....	10
ЗНАКОВА ПОДІЯ В ЦАРИНІ ПЕРЕКЛАДНОЇ НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ XVI ст. ....	11

### ГЕОЛОГІЯ

<i>Барташук Олексій, Суярко Василь, Чуєнко Олександр</i> ТЕКТОНІЧНА ІНВЕРСІЯ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ. ЧАСТИНА 3. ТЕКТОНІЧНИЙ СТИЛЬ ДЕФОРМАЦІЙ .....	12
<i>Гнідець Володимир, Григорчук Костянтин, Кошіль Леся, Яковенко Мирослава</i> МОДЕЛЬ НАФТОГАЗОВОЇ СИСТЕМИ ДЕВОНСЬКОГО ОСАДОВОГО КОМПЛЕКСУ БІЛОЛІСЬКОГО БЛОКУ ПЕРЕДДОБРУДЗЬКОГО ПРОГІНУ .....	29
<i>Горайнов Сергій, Удалов Ігор</i> АНОМАЛЬНА ПОЗИЦІЯ ПАЛЕОЗОЙСЬКИХ СКИДІВ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ .....	38
<i>Лазарук Ярослав</i> ВІДНОВЛЕННЯ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ПОКЛАДІВ РОДОВИЩ УКРАЇНИ .....	49
<i>Матвеев Андрій, Паккі Маріанна, Шевчук Олена, Клевцов Олександр</i> СТРАТИГРАФІЯ ЮРСЬКОЇ СИСТЕМИ РАЙОНУ СЕЛА КАМ'ЯНКА. ЧАСТИНА 1. КОЖУЛІНСЬКА СВІТА .....	59
<i>Medvid Halyna, Yanush Luibov, Solovey Tatiana, Panov Dmytro, Harasymchuk Vasyl</i> ASSESSMENT OF GROUNDWATER VULNERABILITY WITHIN THE CROSS-BORDER AREAS OF UKRAINE AND POLAND .....	73
<i>Синегубка Віталій</i> УДОСКОНАЛЕННЯ ОПИСУ ОСТРАКОД СІМЕЙСТВА TRACHYLEBERIDINAE ....	85
<i>Saadi Nureddin, Elkoul Ousama, Sadeg Saleh A.</i> INTEGRATING REMOTE SENSING AND AEROMAGNETIC DATA FOR LITHOLOGICAL AND STRUCTURAL LINEAMENTS MAPPING IN ABU GHAYLAN – KIKLAN – TIGHRINNA, NORTHWEST LIBYA .....	97
<i>Соколов Віктор, Сухов Валерій</i> ВПЛИВ НЕБЕЗПЕЧНИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ТА ТЕХНОГЕННИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ВИКОНАННІ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ ВИШУКУВАНЬ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА НА ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ В СУЧАСНИЙ ПЕРІОД .....	111
<i>Якушин Леонід</i> ПІЗНЬОКРЕЙДОВИЙ МОРСЬКИЙ БАСЕЙН ПЛАТФОРМНОЇ УКРАЇНИ (МОРФОМЕТРІЯ, ЕТАПНІСТЬ РОЗВИТКУ, ЛІТОЛОГІЯ ТА СТРАТИГРАФІЯ ОСАДОВИХ УТВОРЕНЬ) .....	122

## ГЕОГРАФІЯ

<i>Барановський Микола, Глушко Денис</i> ТЕРИТОРІАЛЬНІ ТРАНСФОРМАЦІЇ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ ЧЕРНІГІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ В УМОВАХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН: КЕЙС КУКУРУДЗИ ТА СОНЯШНИКУ .....	134
<i>Денисик Григорій, Кравцова Ірина</i> ПЕРІОДИЗАЦІЯ ФОРМУВАННЯ САДОВО-ПАРКОВИХ ЛАНДШАФТІВ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЄВРОПИ .....	143
<i>Корогода Наталія, Купач Тетяна</i> ОЦІНКА ОБСЯГІВ НАДАННЯ КУЛЬТУРНИХ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ ЗЕЛЕНИМИ ЗОНАМИ МІСТА КИЄВА .....	159
<i>Niemets Liudmyla, Sehida Kateryna, Kobylin Pavlo, Şahin Mehmet Tahsin, Bartosh Oksana, Telebienieva Ievgeniia, Kravchenko Kateryna, Kliuchko Liudmyla</i> INTEGRATIVE ROLE OF HUMAN GEOGRAPHY IN SOLVING GLOBAL PROBLEMS OF MODERNITY .....	171
<i>Пацюк Вікторія, Казаков Володимир</i> ІНДУСТРІАЛЬНИЙ ТУРИЗМ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ НАПРЯМ РЕГЕНЕРАЦІЇ МІСТ (АНАЛІЗ ДОСВІДУ КРИВОГО РОГУ) .....	188
<i>Польовий Анатолій, Микитюк Олександр, Божко Людмила, Барсукова Олена</i> ВПЛИВ ЗМІН КЛІМАТУ НА ЕМІСІЮ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ (CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O) ІЗ ҐРУНТІВ АГРОЕКОСИСТЕМ .....	202
<i>Пясецька Світлана, Щеглов Олександр</i> СУЧАСНИЙ ХАРАКТЕР ЗМІН СЕРЕДНЬОЇ МІСЯЧНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ ПРОТЯГОМ 2006-2020 рр. ....	217
<i>Sedrakyan Armen, Margaryan Varduhi, Reshetchenko Svitlana, Dmitriiev Sviatoslav</i> PHYSICAL MEANING OF TEMPERATURE AND EVALUATION OF DISTRIBUTION LAWS (IN THE AREA OF THE LAKE SEVAN BASIN) .....	231
<i>Серьогін Денис, Костріков Сергій</i> ДО ПИТАННЯ ВИОКРЕМЛЕННЯ УРБАНІСТИЧНИХ ГЕОСИТУАЦІЙ .....	241
<i>Tarikhazer Stara, Mammadov Seymur, Hamidova Zernura</i> APPLICATION OF QUANTITATIVE METHODS FOR THE ASSESSMENT OF LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY OF THE AGHSUCHAY RIVER BASIN .....	257
<i>Фесюк Василь, Мороз Ірина, Федонюк Микола, Мельник Олександр, Полянський Сергій</i> МЕТОДИКА ТА ПРАКТИЧНА ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ЛІСИСТОСТІ ВОЛИНСЬКОЇ ОБЛАСТІ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ДЗЗ .....	274
<i>Яворський Богдан, Чепурко Вікторія</i> АЛГОРИТМ ОПРАЦЮВАННЯ ТИЖНЕВИХ БЛАНКІВ ТЕРМОГРАФА М-16АН РОЗТОЦЬКОГО ЛАНДШАФТНО-ГЕОФІЗИЧНОГО СТАЦІОНАРУ, ЯК РЕЗЕРВНОГО ДЖЕРЕЛА ДАНИХ ЩОДО ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ .....	290

## ЕКОЛОГІЯ

*Безсонний Віталій*

ВИКОРИСТАННЯ ЕНТРОПІЙНОГО ПІДХОДУ  
В СИСТЕМАХ МОНІТОРИНГУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ..... 302

*Hudzevich Anatoliy, Matviichuk Olexandr, Korobkova Hanna,*

*Hudzevich Ludmyla, Bronnikova Lina*

DEGRADATION RISKS AND PROSPECTS FOR VALLEY AND  
RIVER LANDSCAPES CONSERVATION IN EAST PODILSK TRANSNISTRIA  
(ON THE EXAMPLE OF THE NEMIYA RIVER) ..... 321

*Konishchuk Vasyl, Shumyhai Inna, Martynenko Vasyl*

ECOLOGICAL AND HYDROCHEMICAL ANALYSIS  
OF THE RIVERS DREVLANSKYI NATURE RESERVE (UKRAINE) ..... 336

*Mykhailenko Vladyslav, Safranov Tamerlan, Adobovska Mariia*

BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS AS SOURCES  
OF ENVIRONMENTAL POLLUTION BY PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS  
(ON THE EXAMPLE OF ODESA INDUSTRIAL-AND-URBAN AGGLOMERATION) ... 350

*Nekos Alla, Boiaryn Mariia, Tsos Oksana, Netrobchuk Iryna, Voloshyn Volodymyr*

DETERMINATION OF THE MACROPHYTE INDEX MIR  
AS AN INDICATOR OF WATER QUALITY IN THE PRIPET RIVER ..... 360

*Slizhe Mariia, Berlinsky Nikolai, El Hadri Youssef*

SALINITY GRADIENT POWER USING IN THE BLACK SEA REGIONS  
(IN FRAME OF THE BLUE GROWTH DEVELOPMENT) ..... 371

*Шураєв Ігор, Кулага Тетяна, Паришев Олександр*

ВАЖКІ МЕТАЛИ В ДОННИХ ВІДКЛАДАХ ЛИМАНУ САСИК ..... 386

**ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ,**

**ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО «ВІСНИКА ХАРКІВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ» ..... 400**

## CONTENT

### CHRONICLE

TO MARK THE ANNIVERSARY OF Myroslav Pavlyuk .....	10
A LANDMARK EVENT IN THE FIELD OF TRANSLATED SCIENTIFIC LITERATURE OF THE 16th CENTURY .....	11

### GEOLOGY

<i>Bartaschuk Oleksii, Suyarko Vasyl, Chuienko Oleksandr</i> TECTONIC INVERSION OF THE DNIPRO-DONETS BASIN. PART 3. TECTONIC STYLE OF DEFORMATIONS .....	12
<i>Hnidets Volodymyr, Hryhorchuk Kostyantyn, Koshil Lesia, Yakovenko Myroslava</i> THE MODEL OF THE OIL AND GAS SYSTEM OF THE DEVONIAN SEDIMENTARY COMPLEX OF THE BILOLISKYY BLOCK OF THE DOBRUDJA FOREDEEP .....	29
<i>Goryainov Sergey, Udalov Ihor</i> ANOMALOUS POSITION OF PALEOZOIC FAULTS OF WESTERN DONBAS .....	38
<i>Lazaruk Yaroslav</i> REGENERATION OF DEPOSITS OF HYDROCARBON FIELDS OF UKRAINE .....	49
<i>Matveev Andriy, Pakki Marianna, Shevchuk Olena, Klevcov Oleksandr</i> JURASSIC SYSTEM STRATIGRAPHY AT THE KAMIANKA VILLAGE. PART 1. THE KOZHULINSKA FORMATION .....	59
<i>Medvid Halyna, Yanush Luihov, Solovey Tatiana, Panov Dmytro, Harasymchuk Vasyl</i> ASSESSMENT OF GROUNDWATER VULNERABILITY WITHIN THE CROSS-BORDER AREAS OF UKRAINE AND POLAND .....	73
<i>Syniehubka Vitaly</i> IMPROVEMENT OF THE DESCRIPTION OF OSTRACODS OF THE FAMILY TRACHYLEBERIDINAE .....	85
<i>Saadi Nureddin, Elkoul Ousama, Sadeg Saleh A.</i> INTEGRATING REMOTE SENSING AND AEROMAGNETIC DATA FOR LITHOLOGICAL AND STRUCTURAL LINEAMENTS MAPPING IN ABU GHAYLAN – KIKLAH – TIGHRINNA, NORTHWEST LIBYA .....	97
<i>Sokolov Viktor, Sukhov Valeriy</i> THE INFLUENCE OF DANGEROUS GEOLOGICAL AND TECHNOGENIC PROCESSES DURING ENGINEERING AND GEOLOGICAL RESEARCH AND ENVIRONMENTAL SAFETY FOR CONSTRUCTION IN THE MODERN PERIOD .....	111
<i>Yakushyn Leonid</i> THE LATE CRETACEOUS MARINE BASIN OF PLATFORM UKRAINE (MORPHOMETRY, STAGES OF DEVELOPMENT, LITHOLOGY AND STRATIGRAPHY OF SEDIMENTARY FORMATIONS) .....	122

## GEOGRAPHY

<i>Baranovskyi Mykola, Hlushko Denys</i> TERRITORIAL TRANSFORMATIONS IN AGRICULTURE OF CHERNIHIV REGION IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE: THE CASE OF CORN AND SUNFLOWER .....	134
<i>Denysyk Hrygorii, Kravtsova Iryna</i> PERIODIZATION OF THE FORMATION OF GARDEN AND PARK LANDSCAPES OF THE CENTRAL EUROPE .....	143
<i>Korohoda Nataliia, Kupach Tetiana</i> ASSESSMENT OF THE VOLUME OF PROVISION OF CULTURAL ECOSYSTEM SERVICES BY KYIV GREEN ZONES .....	159
<i>Niemets Liudmyla, Sehida Kateryna, Kobylin Pavlo, Şahin Mehmet Tahsin, Bartosh Oksana, Telebienieva Ievgeniia, Kravchenko Kateryna, Kliuchko Liudmyla</i> INTEGRATIVE ROLE OF HUMAN GEOGRAPHY IN SOLVING GLOBAL PROBLEMS OF MODERNITY .....	171
<i>Patsiuk Viktoriia, Kazakov Volodymyr</i> INDUSTRIAL TOURISM AS AN EFFECTIVE DIRECTION OF URBAN REGENERATION (ANALYSIS OF KRYVYI RIH PRACTICE) .....	188
<i>Polevoy Anatoly, Mykytiuk Alexander, Bozhko Lyudmila, Barsukova Elena</i> THE CLIMATE CHANGE IMPACT ON GREENHOUSE GAS EMISSIONS (CO <sub>2</sub> AND N <sub>2</sub> O) FROM SOILS AT AGROECOSYSTEMS .....	202
<i>Pyasetska Svitlana, Shcheglov Oleksandr</i> THE MODERN NATURE OF CHANGES IN THE AVERAGE MONTHLY AIR TEMPERATURE DURING 2006-2020 .....	217
<i>Sedrakyan Armen, Margaryan Varduhi, Reshetchenko Svitlana, Dmitriiev Sviatoslav</i> PHYSICAL MEANING OF TEMPERATURE AND EVALUATION OF DISTRIBUTION LAWS (IN THE AREA OF THE LAKE SEVAN BASIN) .....	231
<i>Serohin Denys, Kostrikov Sergiy</i> TOWARDS URBANISTIC GEOSITUATION DELINEATION .....	241
<i>Tarikhazer Stara, Mammadov Seymur, Hamidova Zernura</i> APPLICATION OF QUANTITATIVE METHODS FOR THE ASSESSMENT OF LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY OF THE AGHSUCHAY RIVER BASIN .....	257
<i>Fesyuk Vasyl, Moroz Iryna, Fedonyuk Mykola, Melnyk Oleksandr, Polyanskyi Serhii</i> METHODOLOGY AND PRACTICAL IMPLEMENTATION OF RESEARCH OF CHANGES IN FOREST COVERAGE OF VOLYN REGION USING REMOTE SENSING	274
<i>Yavorsky Bohdan, Chepurko Viktorija</i> PROCESSING ALGORITHM OF WEEKLY RECORDS OF THE ROZTOCHIA LANDSCAPE-GEOPHYSICAL STATION THERMOGRAPH M-16AH AS A RESPONSE SOURCE OF AIR TEMPERATURE DATA .....	290



## ECOLOGY

*Vitalii Bezsonnyi*

USE OF THE ENTROPY APPROACH IN WATER RESOURCE MONITORING SYSTEMS .....	302
---	-----

*Hudzevich Anatoliy, Matviichuk Olexandr, Korobkova Hanna,*

*Hudzevich Ludmyla, Bronnikova Lina*

DEGRADATION RISKS AND PROSPECTS FOR VALLEY AND RIVER LANDSCAPES CONSERVATION IN EAST PODILSK TRANSNISTRIA (ON THE EXAMPLE OF THE NEMIYA RIVER) .....	321
--	-----

*Konishchuk Vasyl, Shumyhai Inna, Martynenko Vasyl*

ECOLOGICAL AND HYDROCHEMICAL ANALYSIS OF THE RIVERS DREVLANSKYI NATURE RESERVE (UKRAINE) .....	336
---	-----

*Mykhailenko Vladyslav, Safranov Tamerlan, Adobovska Mariia*

BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS AS SOURCES OF ENVIRONMENTAL POLLUTION BY PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS (ON THE EXAMPLE OF ODESA INDUSTRIAL-AND-URBAN AGGLOMERATION) ...	350
--	-----

*Nekos Alla, Boiaryn Mariia, Tsos Oksana, Netrobchuk Iryna, Voloshyn Volodymyr*

DETERMINATION OF THE MACROPHYTE INDEX MIR AS AN INDICATOR OF WATER QUALITY IN THE PRIPET RIVER .....	360
---	-----

*Slizhe Mariia, Berlinsky Nikolai, El Hadri Youssef*

SALINITY GRADIENT POWER USING IN THE BLACK SEA REGIONS (IN FRAME OF THE BLUE GROWTH DEVELOPMENT) .....	371
---	-----

*Shuraiev Ihor, Kulaha Tetiana, Paryshev Oleksander*

HEAVY METALS IN THE BOTTOM SEDIMENTS OF THE SASYK ESTUARY .....	386
---	-----

<b>REQUIREMENTS TO THE MATERIALS SUBMITTED TO THE “VISNYK OF V. N. KARAZIN KHARKIV NATIONAL UNIVERSITY” .....</b>	<b>400</b>
---	------------

# ХРОНІКА

---

## До ювілею Мирослава Івановича Павлюка



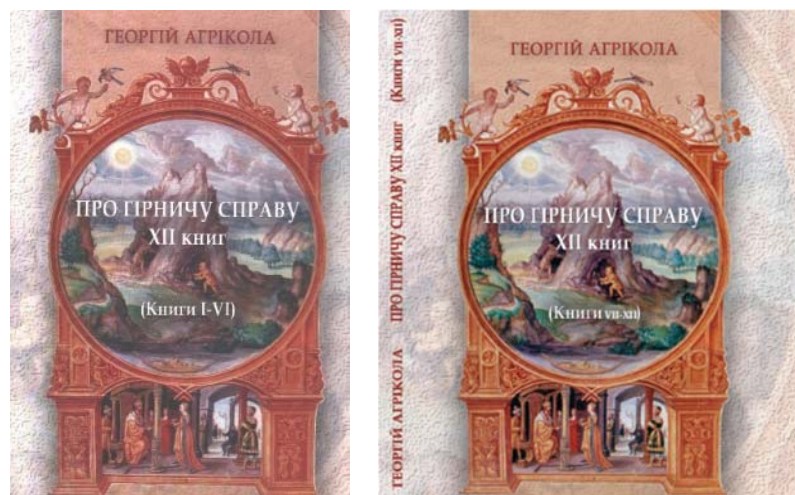
4 серпня 2023 р. виповнюється 80 років з дня народження видатного українського геолога, доктора геолого-мінералогічних наук, професора, академіка НАН України, лауреата Державної премії, Заслуженого діяча науки і техніки України, директора Інституту геології і геохімії горючих корисних копалин НАН України Мирослава Івановича Павлюка.

Головними напрямками наукових досліджень вченого є геотектоніка та геодинамічний розвиток нафтогазоносних провінцій, флюїдодинамічний

режим тепломасоперенесення в земній корі, генезис вуглеводнів, формування покладів вуглеводнів в різних регіонах, обґрунтування теорії неорганічно-органічного утворення нафти і газу та багато інших науково-практичних проблем. На основі цих досліджень ним створено власну наукову школу, відому не лише в Україні, а й за її межами.

Колектив Редакційної колегії Вісника щиро вітає Вас, вельмишановний Мирославе Івановичу, з ювілеєм і бажає здоров'я і великих творчих успіхів!

## Знакова подія в царині перекладної наукової літератури XVI ст.



Книжкова полиця збагатилася перекладом українською мовою знаменитої праці Георга Агріколи «Про гірничу справу і металургію» в 12 кн. (*De Re Metallica*), яка була протягом двох віків посібником з гірничої справи і металургії – Georgius Agricola: *De re metallica libri XII*. Basel 1556.

Перші шість розділів (книг) вийшли друком в українському перекладі у 2014 р. (видавництво «Східний видавничий дім», Донецьк, переклад і редакція – Білецький Володимир Стефанович та Гайко Геннадій Іванович: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/35510>

Заключні шість розділів (книг) вийшли друком в українському перекладі у 2023 р. (видавництво Новий Світ-2000, Львів, переклад і редакція – тих же науковців. <https://repository.kpi.kharkov.ua/items/72887993-0213-464b-af24-75e6da2b3315>

Праця Г. Агріколи складається з 12 книг (розділів):

- Перша – це міркування про роль металів в історії людства, загострене зіткнення позицій противників і прихильників гірництва.
- Друга – характеристика умов, які впливають на успішну розробку родовищ, а також розвідка й пошукові ознаки багатих руд.
- Третя – геологічні знання, опис рудних покладів і властивостей гірських масивів.
- Четверта – землемірні й геодезичні дані, крім того – гірничі посади й звання та відповідні ним обов'язки.
- П'ята – засади підземної розробки руд, кріплення виробок, маркшейдерське мистецтво.
- Шоста – опис знарядь праці, машин і механізмів для руйнування порід, транспорту й підйому руди, водовідливу та вентиляції.
- Сьома – пробірний аналіз руд.
- Восьма – способи й механізми для збага-

чення руд.

- Дев'ята – способи витоплення металів, металургійні печі та обладнання.
- Десята й одинадцята – очистка благородних металів від домішок та інших металів.
- Дванадцята – алхімічні уявлення про солі, бітуми, скло та інші «затужавілі соки» землі, а також технології їх отримання.

Загалом зацікавленість книгою Агріколи набула широкого міжнародного характеру. «*De Re Metallica*» багато разів видавалася і перевидавалася: латинською мовою – у 1561 (Basel: Froben), 1621 (Basel: Ludwig König), 1637 (Basel: Emannel König), німецькою мовою – у 1557 (Basel: Froben), 1621 (Basel: Ludwig König), 1778 (Rotenburg), 1928 (переклад С. Schiffnera) і 1953, 1997 (Düsseldorf, Essen), італійською мовою вперше перекладена у 1563 р. (Basel: Froben), декілька разів – англійською – у 1912, 1927 і 1950 (переклад і редакція Герберт Кларк Гувер і Lou Henry Hoover), чеською – 1933 р. (Praga, переклад: Bohuslav Jezek-старший, Bohuslav Jezek-молодший, Josef Hunmel), російською – у 1962 та 1986 рр. (переклад В. Гальмінаса та А. Дробінського за редакцією С. Шухардіна), польською – у 2000 р. (Jelenia Gora, переклад – Karina Kurkova). Нині перша європейська енциклопедія з гірництва та металургії *De Re Metallica* стала доступна для широкого кола зацікавлених і українською мовою.

Гете писав про Агріколу: «Він розгадував таємниці гір, володів гірничим мистецтвом, відкривав важливі корисні копалини, вивчав, обробляв і очищав їх, роблячи корисними для людських потреб. Дотепер ми захоплюємось його творами, де сконцентровані усі старі й нові знання з гірництва та металургії. Ці твори залишені нам як чудовий дарунок».

Володимир Білецький, Геннадій Гайко

# ГЕОЛОГІЯ

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-01>  
УДК 551.242:551.77(477)

Надійшла 16 лютого 2023 р.  
Прийнята 17 березня 2023 р.

## Тектонічна інверсія Дніпровсько-Донецької западини. Частина 3. Тектонічний стиль деформацій

*Олексій Барташук*<sup>1</sup>

д. геол. н., ст. наук. співроб.,<sup>1</sup> Український науково-дослідний інститут природних газів,  
Гімназійна наб., 20, Харків, 61010, Україна,  
e-mail: [alekseybart@gmail.com](mailto:alekseybart@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0001-7831-6134>;

*Василь Суярко*<sup>2</sup>

д. геол.-мін. н., професор, кафедра фундаментальної та прикладної геології,  
<sup>2</sup> Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, м. Свободи, 4, Харків, 61022, Україна,  
e-mail: [vgsuyarko@gmail.com](mailto:vgsuyarko@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-3693-4767>;

*Олександр Чуєнко*<sup>2</sup>

зав. лабораторії по дослідженню порід, мінералів і викопних організмів,  
e-mail: [chuenko@karazin.ua](mailto:chuenko@karazin.ua), <https://orcid.org/0000-0001-6717-4695>

Досліджувалися особливості просторового розподілу і тектонічний стиль колізійних деформацій рифтогенної структури Дніпровсько-Донецької западини. З використанням кінематичного і парагенетичного аналізів вивчалися структурні рисунки, склалися кінематичні моделі альпінотипних деформацій у складчастих поверхах її південно-східного сегменту. З'ясовано, що рифтогенна структура за простяганням зазнала інверсійних ускладнень різного стилю та інтенсивності. Структурна межа між слабо- і суттєво дислокованою територією проведена по меридіану м. Балаклія. На захід від межі через горизонтальні рухи рифтові скиди набули дугоподібних обрисів і кулісної будови. Зони герцинської складчастості розбиті на окремі гілки ешелонованими системами зсувів, розташованими діагонально до їх осей. На схід від межі регіональні бортові розломи вигинаються спочатку на захід, а східніше м. Донецьк північний - на схід, а південний - на південний схід. Зони прибортових і осьових регіональних скидів зруйновані і через це перериваються лінії пов'язаних з ними Кочубіївсько-Волвенківського і Соснівсько-Степківського осьових солянокупольних валів. Замість скидового сформувався зсуво-насувний інверсійний каркас ороклинної форми. Альпінотипні дислокації на більшості території западини слабо-виразні (розосереджені, мало-амплітудні розриви і підняття), проте південно-східний сегмент зазнав складчастих і покривно-насувних деформацій. Аналіз будови олігоцен-міоценових відкладів свідчить, що на північному борту утворився ряд неотектонічних дугоподібно видовжених височин, що розміщуються у висячих крилах герцинських зсуво-насувів. Їх кулісне зчленування і діагональне розміщення щодо зон зсуво-насувів є ознакою їх утворення в геодинамічній обстановці транспресії. На кінематичних моделях вперше ідентифіковано природу альпінотипних деформацій, які мають структурне відбиття у підшві кайнозойського чохла і денному рельєфі. Кулісно зчленовані, динамічно спряжені ансамблі неотектонічних піднять сформувалися за механізмом поздовжнього видовження через горизонтальні рухи правобічної кінематики над зонами динамічного впливу зсуво-насувів фундаменту. З'ясовано, що тектонічний стиль новітніх деформацій притаманий платформним складчасто-насувним геоструктурам тектонічного зриву. Сукупність альпінотипних структур територіально контролюється вперше виділеною регіональною структурою – Західно-Донецькою покривно-складчастою областю. Дані щодо розподілу новітніх ускладнень рифтової структури доцільно використати для палеогеодинамічних реконструкцій і вдосконалення схеми тектонічного районування Дніпровсько-Донецької палеозападини.

**Ключові слова:** структурні рисунки, кінематичні моделі, скидовий рифтовий каркас, інверсійний зсуво-насувний каркас, альпінотипні деформації, Західно-Донецька покривно-складчаста область.

**Як цитувати:** Барташук Олексій. Тектонічна інверсія Дніпровсько-Донецької западини. Частина 3. Тектонічний стиль деформацій / Олексій Барташук, Василь Суярко, Олександр Чуєнко // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 58. – С. 12-28. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-01>

**In cites:** Bartaschuk Oleksii, Suyarko Vasyi, Chuienko Oleksandr (2023). Tectonic inversion of the Dnipro-Donets basin. Part 3. Tectonic style of deformations. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (58), 29-37. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-01> [in Ukrainian]

**Вступ.** Термін "авлакоген" [1], на наше переконання, доцільно застосовувати до територіально та генетично спільного тектонічного ансамблю різновікових лінійних синформних структур - від палеорифту в підвалині до утворених згодом над ним «накладених» осадових западин включ-

но. Він відображає парагенетичний зв'язок платформної западини (синеклізи) з давнім рифтом (трогом, грабеном), походження та місцезнаходження якого обумовило її формування. Вулканогенно-осадові комплекси рифтового етапу, що залягають у підвалинах авлакогенів тривалої історії

розвитку, рідко зберігають свою первинну структуру. На етапах пострифтової еволюції вони інтенсивно деформуються та перетворюються у складчасті поверхи складної будови. Складчасті деформації не контролюються рифтовими геодинамічними обстановками розсування земної кори, проте визначаються стресовими тектонічними режимами етапів платформної активізації у колізійних геодинамічних обстановках.

Таким чином, за геодинамічними умовами формування усі лінійні палеорифтові западини, є *полігенними осадовими басейнами* [2]. На протязі історії їх розвитку відбувається зміна як мінімум двох контрастних обстановок – рифтової, яка згодом може відновитися повторно, зумовлюючи формування вкладених, «телескопованих» рифтів, та синеклізної (платформної западини). В умовах окремих тектонічних режимів (підкидо-насувний) в рифтогенних западинах може відбуватися остаточна тектонічна інверсія з утворенням складчастої споруди (пояса). З врахуванням цих геотектонічних критеріїв, більшість давніх лінійних западин є *«інверсованими авлакогенами»*, які через інтенсивну деформованість рифтогенних товщ ряд дослідників розглядає сучасними *«внутрішньо-платформними лінійними зонами концентрованої деформації»* [3].

Більшості систем протяжних, лінійних авлакогенів притаманна послідовна зміна інтенсивності і тектонічного стилю інверсійних деформацій за їх простяганням - від складових структурних елементів (геосегментів) зі слабо порушеною первинною рифтовою структурою до таких, що суттєво ускладнені альпінотипними деформаціями. З'ясовано, що цей геологічний феномен обумовлений різними величинами сил деформування та азимутальним орієнтуванням головних осей поля тектонічних напруг, які зазнавали просторово-часової інверсії протягом етапів пострифтової історії, по відношенню до тектонічної позиції цих геосегментів [4-6]. З'ясовано також, що складчасті дислокації у внутрішньо-платформних авлакогенах можуть бути обумовлені дистанційно наведеним (індукційним) стресом під впливом орогенічних рухів на активних околицях платформ, або рухомих, складчастих поясах, що синхронно з ними формувалися [7-12].

Прикладом того є формування Донецького складчастого пояса (ДСП) у межах лінійної палеозападини Донбасу в південно-східному сегменті Прип'ятсько-Дніпровсько-Донецького авлакогену (ПДДА). В обстановці колізійного стресу протягом герцинського, кімерійського і альпійського етапів орогенезу рифтогенний басейн зазнав інверсійного підйому, осушення і зміни умов седиментації, складчастих і покривно-насувних деформацій. ПДДА набув характерних рис інверсовано-

го авлакогену, що є предметом обговорення.

**Аналіз попередніх досліджень.** Початок тектонічної інверсії і складчастих деформацій рифтогенної структури Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) і Донбасу припадає на пізньогерцинську епоху орогенезу (середина-кінець ранньої перми) [10,11,13,14]. За даними палеорекострукцій деформації палеорифту відбувалися в режимі косої лівобічної колізії в полі напруг стискання з нахилом головної вісі в південно-західному напрямку [15,16,17]. Герцинська складчастість має характерні структурні ознаки колізійного короблення верств в обстановці транспресії, що постала через інтерференцію загально-плитного стресу і регіонального горизонтально-зсувного поля напруг переважно лівобічної кінематики рухів. В мезозої та кайнозої у палеорифті сформувалося горизонтально-зсувне поле з перемінною складовою стискання правобічної кінематики рухів з нахилом головної вісі у зворотному - північному та північно-східному напрямку [7,8,9,11,12,15,17]. В альпійських (ларамійському та аттичному) складчастих поверхах ДСП та Західно-Донецького грабена (ЗДГ) за зсуво-насувним розломним каркасом сформувалися лускаті покриви насунання [7,8]. Горизонтальні переміщення геомас гірських порід обумовили не лише формування тектонічних покривів насунання, але в структурних умовах південного борту грабену викликали перекриття верств осадового чохла на декількох стратиграфічних рівнях насунутими пластинами алохтону, складеного кристалічними породами фундаменту і різновіковими рифтогенними комплексами. В результаті на північному схилі Приазовського масиву Українського Щита сформувалася Південно-Донецька меланжева зона [13].

З використанням матеріалів середньомасштабної геологічної зйомки території ЗДГ [18] на основі даних щодо просторово-часової еволюції напружено-деформованого стану земної кори ПДДА у фанерозої [5,19], на попередніх етапах досліджень [20,21] з'ясовано наступне. Тектонічні режими деформацій рифтової структури протягом етапів тектонічної інверсії характеризувався сталим субмеридіональним напрямком осей напруг колізійного стискання з нахилом в південно-західних (заальська і пфальська фази тектогенезу), північних (ларамійська фаза альпійської епохи) та північно-східних (аттична фаза альпійської епохи) напрямках. На загальне поле напруг впливав додатковий стресовий тиск з боку складчастого Донбасу, що тоді зазнавав орогенічного підйому. За таких умов у південно-східному сегменті авлакогену утворилися три складчастих поверхи – герцинський і два альпійських (ларамійський та аттичний), будову яких контролює

різновіковий «перехресно-насувний» тектонічний каркас [22]. На підставі моделі кінематичного механізму формування покривно-складчастих деформацій зроблено принциповий висновок щодо пост-седиментаційного нарощування загальної товщини осадового чохла у південно-східному сегменті авлакогену [23,24,25].

**Мета досліджень.** На основі аналізу структурних рисунків новітніх морфоструктур осадового чохла дослідити особливості просторового розподілу і тектонічний стиль альпінотипних деформацій рифтогенної структури ДДЗ.

**Матеріали та методи досліджень.** При геотектонічних дослідженнях використовувалися структурно-кінематичний і парагенетичний методи аналізу деформацій [4,26]. Для ідентифікації морфо-генетичного типу структур використані діагностичні ознаки, отримані за натурними даними та експериментальними і теоретичними моделями [2,26,27]. Структурні рисунки альпінотипних деформацій аналізувалися на матеріалах середньомасштабного геокартування [19], тектонічних картах фундаменту [29], осадового чохла і регіональних сейсмічних профілях МСГТ [30].

**Результати досліджень.** Априорі передбачалося, що інверсійних ускладнень на протязі етапів платформних активізацій спочатку зазнавав кристалічний фундамент, що є базовим структуроутворюючим шаром консолідованої земної кори, в об'ємі якого розподіляються тектонічні напруги і деформації [1-5]. І ця передумова наочно проявляється у тектонічній будові підвалини осадового палеобасейну південно-східного сегмента ПДДА.

Саме у поверхні докембрійського фундаменту найбільш виразно простежуються основні відмінності у будові між відносно слабо дислокованою частиною платформної синеклізи (ДДЗ) і перехідною зоною між западиною і складчастим Донбасом (ЗДГ). Структурний рубіж між слабо дислокованими (Чернігівський, Лохвицький, Ізюмський) та цілком інверсованими сегментами (Західно-Донецький і складчастий Донбас) проведено за Центрально-Приазовсько-Слов'яногірського коро-мантіїним розломом на меридіані міста Балаклія (рис. 1, 2). На захід від цього кордону рифтогенний скидовий каркас та лінійні зони складчастості осадового чохла зазнали переважно горизонтально-зсувних деформацій, якими викликано утворення характерних для зон зсування дугоподібних обрисів і кулісної будови зон крайових порушень (рис. 2, ліва частина). Лінійні зони герцинської складчастості розбиті на окремі гілки (локальні підняття) ешелонуваними системами зсувів, розташованими діагонально по відношенню до їх осей.

Натомість на схід від структурної межі різних

режимів деформацій регіональні бортові розломи поступово вигинаються в плані спочатку на захід, а східніше м. Донецьк у різних напрямках: північний - на схід, а південний – на південний схід, внаслідок чого площа грабену дещо розширюється у Західному Донбасі (рис. 2, права частина). Основних перебудов, через повне руйнування скидового каркасу, зазнали структурні лінії парних, субпаралельно розташованих прибортових та осьових регіональних розломів, які як рифтогенні скиди на схід від цієї межі практично не простежуються, а реліктом однієї з осьових гілок можливо слугує Осьовий (Ірмінський) розлом. Через це на меридіані м. Балаклія перериваються сформовані в осадовому чохлі у зонах осьових розломів дві субпаралельні структурні лінії солянокупольних валів: (1) - північна (Кочубіївсько-Волвенківська) та (2) - південна (Соснівсько-Степківська) (рис. 1, 2, зліва). Ще далі на схід, до меридіану міста Краматорськ, уздовж Черкасько-Часов'ярського осьового глибинного розлому простягається лише одна, (3) - Дружківсько-Комишуваська осьова зона солянокупольних підняття, яка зазнала фрагментації на окремі, кулісно зчленовані гілки (рис. 2, справа).

Найбільших змін напрямків простягання крайові регіональні розломи зазнали на території від меридіану м. Балаклія майже до меридіану м. Донецьк, у межах Кальміус-Торецької та Бахмуцької осьових улоговин (рис. 1, 2). Причому, на північному борті *Північно-Донецький, Алмазний, Дробішівський та Новий насуви* змінюють простягання з північно-західного на західне (рис. 2, 5 в [20], 4 в [21]), натомість на південному - *Самарський, Котлінський, Мерцалівський, Ділеєвський та Новоселівський насуви* зазнали змін простягання з захід-північно-західного на північ-північно-західне та на західне (рис. 2, 4 в [21]).

У Західно-Донецькому сегменті і на західних схилах Донбаса в герцинському та альпійському поверхнях сформувалася Західно-Донецька область покривно-складчастих деформацій у трикутнику між містами Луганськ, Ізюм та Донецьк (рис. 3, 2, справа) [19-21, 23-25]. Клиноформну в плані область складають ешелони лусок тектонічних покривів та кулісно зчленованих антикліналей (рис. 11,12,15,16). Різновікова зсуво-насувна решітка контролює «перехресно-насувну» структуру деформацій. Прикладами того є лінійні підкидо-складчасті зони, що прилягають до північного прибортового розлому - *Торсько-Дробішівська* (рис. 3, зліва), *Північно-Донецька, Матроцько-Тошківська* (рис. 3 в [20]).

Північний фланг області обмежують Північно-Донецький насув, на півдні Самарський і Новоселівський насуви відокремлюють її від меланжевої зони. Ороклин деформацій розташований



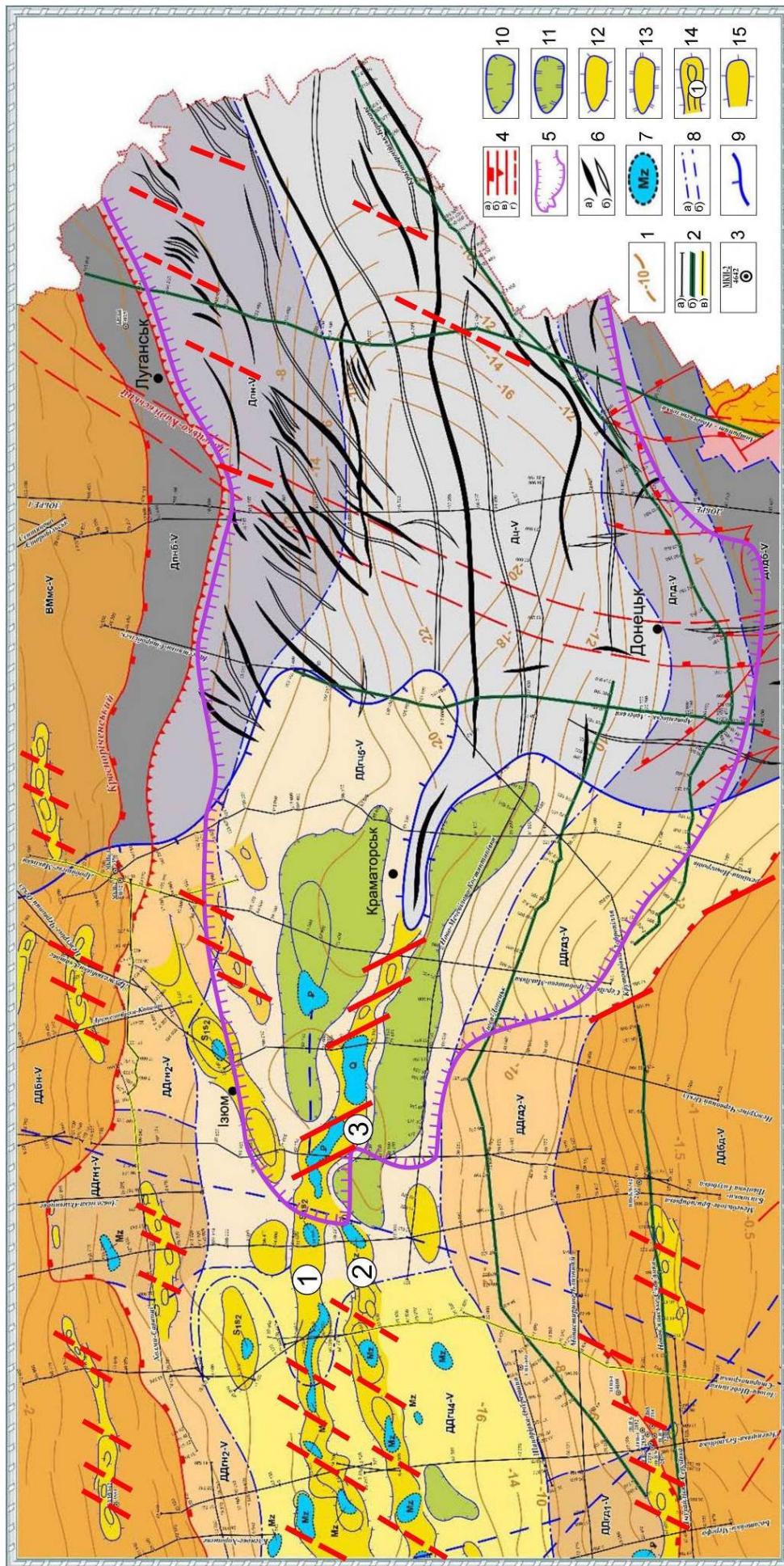


Рис. 2. Фрагмент тектонічної карти Дніпровсько-Донецької западини за [30] з доповненнями (Барташук, Суярко, Чуенко, 2023): 1- ізогіпси поверхні докембрійського фундаменту; 2- регіональні профілі: а- старі, б- нові, в- переінтерпретовані; 3- глибокі свердловини; 4- границі фундаменту; 4- тектонічні порушення: а- скиди, б- насуви, в-г- діагональні зсуви простягання; 5- межі північно-західного, г- північно-східного; 6- межі Західно-Донецької покривно-складчастої області; 6- анти- та синформи; 7- девонські діапіри; 8- межі тектонічних зон та підзон; 9- межі ДДЗ; 10- 15- складчасті структури: 10- компенсаційні мульди, 11- улоговини, 12- антиклінали, 13- валоподібні підняття, 14- структурні зони, 15- структурні виступи /

Fig. 2: Fragment of the tectonic map of the Dnipro-Donets Basin according to [30] with additions (Bartashchuk, Suyarko, Chuyenko, 2023): 1- isograds of the Precambrian basement; 2- regional seismic profiles: a- old, b- new, c- reinterpreted; 3- deep wells; 4- boundaries of the West-Donets orocline of extension; c- north-west, d- north-east; 5- boundaries of the West-Donets orocline of cover-folding deformations; 6- anti- and synforms; 7- Devonian salt domes; 8- boundaries of tectonic zones and subzones; 9- boundaries of the Basin; 10- 15- folded structures: 10- compensatory coombs, 11- depressions, 12- anticlines, 13- shaft-like uplifts, 14- structural zones, 15- structural ledges



над трикутною улоговиною в поверхні фундаменту, заповненою осадовою товщею до 20-22 км (рис. 2, справа). Над нею у зоні Черкасько-Часов'ярського осьового зсуво-насуву розташовується найкрупніший і найвиразніший лінійний складчастий ансамбль осадового чохла, складений Головною (Горлівсько-Ровенецькою) антикліналлю та прилеглими до неї з півночі та півдня Бокково-Хрустальською і Чистяково-Сніжнянською синкліналями (рис. 2, 4).

Таким чином, внаслідок альпійських тектонічних рухів на території зони зчленування ДДЗ та ДСП остаточно сформувався зсуво-насувний тектонічний каркас інверсійних деформацій характерної клиноподібної (ороклинної) у плані морфології (рис. 1, 2, 6 в [20]). До тектонічного орокліну деформацій пристосувалися шарніри усіх антиклінальних природних підкидо-складок, що сформувалися у його форланді в висячих крилах герцинських насувів. Осі антикліналей зазнали відповідних флексурних вигинань вздовж дугоподібно увігнутих площин насувів. Незмінним є лише загально-рифтове північно-західне простягання магістральних зсуво-насувів осьової зони - Суліно-Костянтинівського і Осьового (рис. 2, справа, 4 в [21]).

До того ж через високо-амплітудні горизонтальні переміщення переважної правобічної кінематики у своїх крилах за ешелонованими системами трансформних зсувів регіональні насуви зазнали фрагментації на окремі, кулісно зчленовані та динамічно спряжені гілки (рис. 2, справа, 4 в [21]). Разом з цим, внаслідок зсувних деформацій характерної кулісної будови і розподілу на окремі, тектонічно зчленовані локальні підняття набула більшість динамічно пов'язаних з ними лінійних структурних валоподібних зон природної герцинської складчастості (рис. 2, 5 в [20]).

Геофізичною діагностичною ознакою горизонтальних рухів уздовж зсувів є штокоподібні зони втрати кореляції сейсмічних відбивальних горизонтів хвильового поля [26]. Зони відсутності регулярного сейсмічного запису у розрізі мають характерну стовпоподібну форму, яка не пов'язана з соляним тектогенезом, натомість обумовлена деформаційними процесами тектонічного дроблення, зминання, катаклазу і розуцільнення гірських порід у зонах динамічного впливу тектонічних порушень. Головним механізмом формування таких деформаційних зон є тектонічні рухи перемінної кінематики по площинах розломів типу горизонтальних зсувів. Яскравим прикладом того служить крупна штокоподібна морфоструктура, простежена у сейсмічному полі в шарнірі найбільшої з герцинських природних підкидо-складок складчастого Донбасу – Головної антиклінали (рис. 4, справа). Менш виразними у

розрізі складчастих поверхів осадового чохла є зони втрати кореляції горизонтів відбиття хвильового поля, ймовірно пов'язані з горизонтальними рухами меншої інтенсивності по площинах зональних зсуво-насувів, які простежені у шарнірах дрібніших підкидо-складок – Успенської, Оленівської та ін. (рис. 4, зліва).

Формування Головної та інших крупних антикліналей, за відсутності у Західному Донбасі соленосних товщ девонського рифтогенного комплексу, з врахуванням вказаних непрямих сейсмічних ознак зсувних деформацій, ми вважаємо структурним результатом прояву у загальному стресовому полі напруг високо-амплітудних горизонтальних рухів змінної кінематики у крилах регіонального Осьового (Ірмінського) зсуво-насува (рис. 4, справа, 4 в [21]).

Спробуємо знайти підтвердження нашим попереднім висновкам за результатами аналізу структурних рисунків інверсійних деформацій рифтогенної структури у південно-східному сегменті ПДДА. Для цього розглянемо на новітніх даних середньомасштабного геокартування території перехідної зони між ДДЗ та складчастим Донбасом будову кайнозойського (олігоцен-міоценовий) структурного поверху.

Аттичний (олігоцен-міоценовий) структурний поверх контролюється насувним каркасом, за яким крупні блоки докайнозойських комплексів подроблені на пластини від перших до десятків кілометрів та насунуті у північно-східному напрямку (рис. 1-4, рис. 3, 4, 5 в [20]). У північній частині ЗДГ внаслідок аттичних рухів сформувався післяміоцен-допліоценовий насувний каркас північно-східної вергентності. Він складений Дилейським, Хрестищенським, Мар'євським, Лисичанським, Дробишівським та ін. регіональними насувами, які контролюють насування крупних пластин складчастих тектонічних покривів (рис. 4 в [21]). Насування менших за розмірами лусок покривів кайнозойського алохтону забезпечується ешелонами зональних насувів субширотного простягання: Селезнівським, Продовжнім, Південним Павлівським, Санжарівським, Ірмінським (рис. 4 в [21]). Аттичний насувний контролює будову так званої "північної зони дрібної складчастості". Амплітуда горизонтальних переміщень блоків по площинах зсуво-насувів варіює тут від десятків-сотень метрів до 4,5 км при вертикальній складовій зміщені до 1,5 км.

Новітні рухи у Західно-Донецькому сегменті відбиваються в альпінотипних деформаціях підосви кайнозою [29] (рис. 5, ліва частина). Область відсутності новітніх деформацій простежується лише в південно-західній частині грабена (південь Харківської та північ Дніпропетровської областей). Вона охоплює палеонізину у басейні

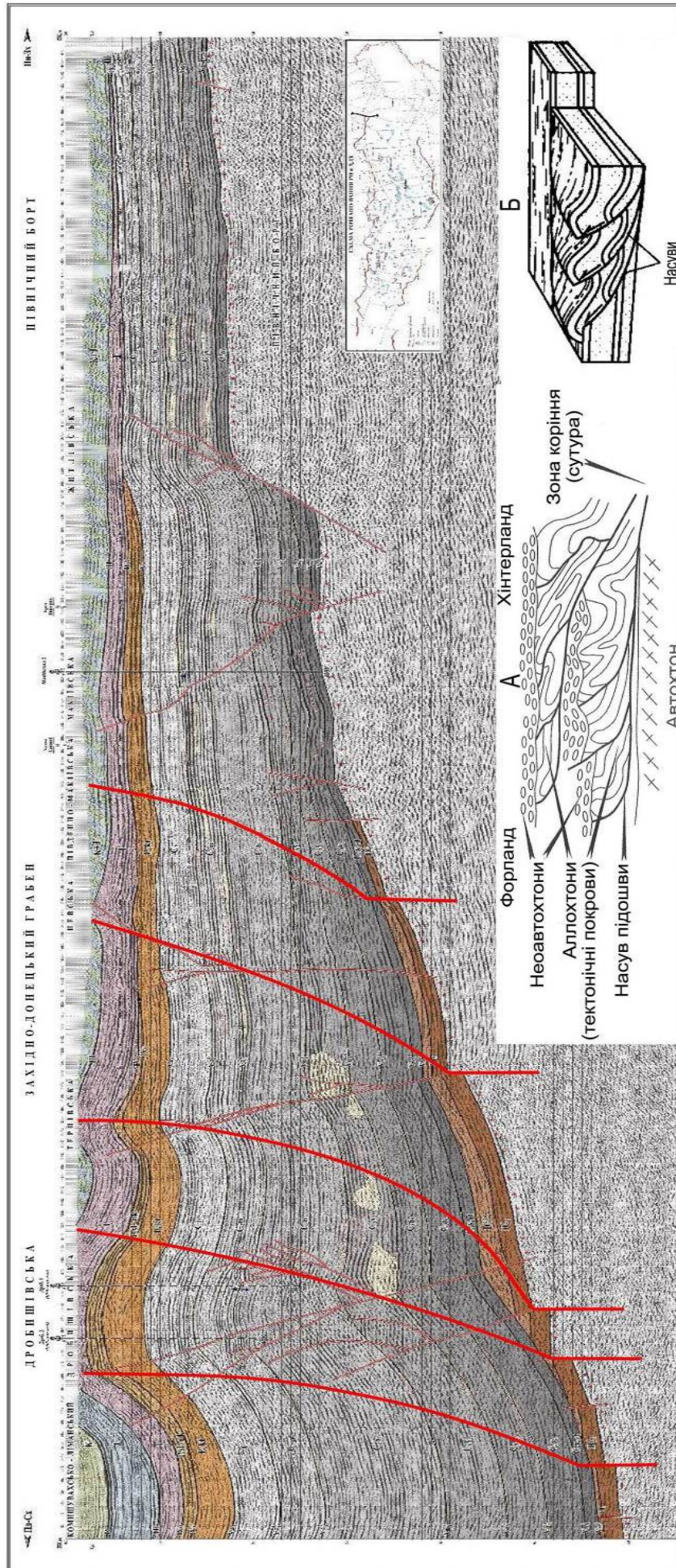


Рис. 3. Регіональний сейсмопрофіль Дробішево-Макіївка за [29] з доповненнями (Барташук, Суярко, Чуєнко, 2023).

Північна прибортова зона Західно-Донецького грабену. На вірзках: вгорі - лінія профілю на карті, внизу - принципова схема будови покривної складчастості на блок-діаграмі і в розрізі, за (Мууди, Хилл, 1960) /

Fig. 3. Regional seismic profile of Drobyshevo-Makiivka according to [29] with additions (Bartashchuk, Suyarko, Chuyenko, 2023).

The northern subduction zone of the West Donets Graben. On the insets: at the top - the profile line on the map, at the bottom - the schematic diagram of the structure of the covering folding on the block diagram and in section, according to (Moody, Hill, 1960)

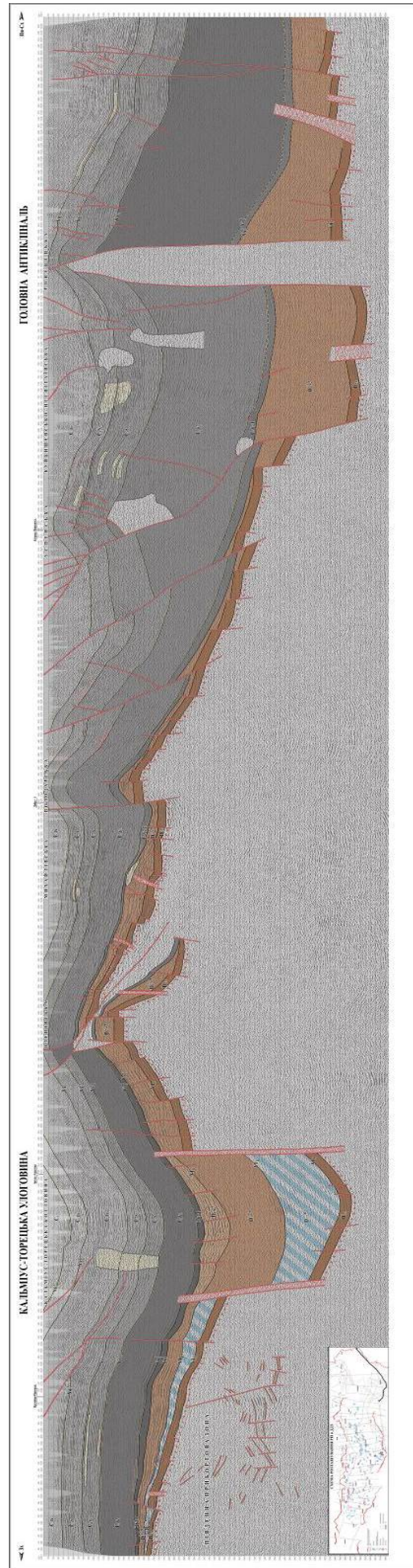


Рис. 4. Регіональний сейсмопрофіль Красноармійськ-Бірюкове [29]. Південна прибортова зона Західно-Донецького грабену і осьова частина Західного Донбасу. На врізці - лінія профілю на карті / Fig. 4. Krasnoarmiysk-Biryukovo regional seismic profile [29]. The southern subduction zone of the Western Donets Graben and the axial part of the Western Donbass. The inset shows the profile line on the map

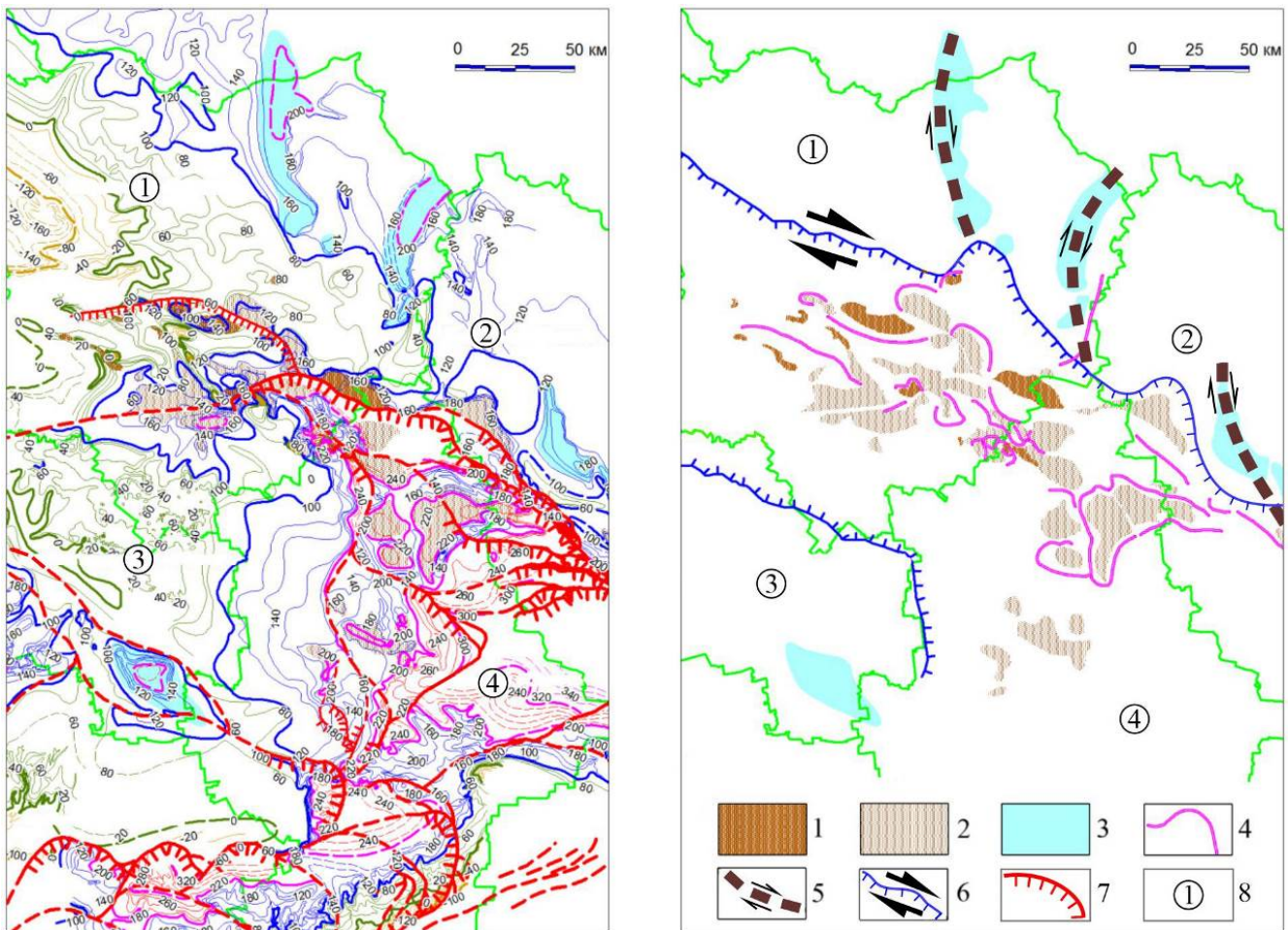


Рис. 5. Зліва – структурна карта підосви кайнозою за [28]. Справа – кінематична модель одностороннього кулісного парагенезу деформації поздовжнього видовження правобічної кінематики, за (Барташчук, Суярко, Чуенко, 2023): 1 - підняття над девонськими соляними штоками; 2 - підняття над соляними "подушками"; 3 – дугоподібно видовжені підняття «неясного походження», за [28]; 4 - осі компенсаційних прогинів; 5 – шарніри кулісно зчленованих кайнозойських височин, які складають зсувний деформаційний парагенез і кінематика рухів; 6 – крайові регіональні розломи Дніпровського грабену і кінематика рухів в їх крилах; 7- аттичні зсуво-насуви; 8 - Області: (1) - Харківська, (2) – Луганська, (3) – Дніпропетровська, (4) – Донецька /

Fig. 5. On the left – a structural map of the sole of the Cenozoic according to [28]. On the right is a kinematic model of a one-sided shear deformation paragenesis of longitudinal extension of right-sided kinematics, according to (Bartashchuk, Suyarko, Chuyenko, 2023): 1 - rise above the Devonian salt shafts; 2 - rise above salt "pillows"; 3 – arc-like elongated uplifts of "unclear origin", according to [28]; 4 - axes of compensation deflections; 5 – hinges of the hinge-articulated Cenozoic highlands, which make up the shear deformation paragenesis and kinematics of movements; 6 – marginal regional faults of the Dnipro graben and kinematics of movements in their wings; 7- attic sliding-push; 8 - Regions: (1) - Kharkiv, (2) – Luhansk, (3) – Dnipropetrovsk, (4) – Donetsk

ріки Самара, де відмітки цієї поверхні складають 20-40 м, що в декілька разів менше за глибини ярів та балок сучасного рельєфу.

На решті території грабену підосва кайнозою зазнала більш значних деформацій. На північ та схід від області розвитку палеонизин ця поверхня різко здіймається на висоту понад 250 м (у бік Донецького кряжу), проте на заході Харківської області занурюється до -150 м (рис. 5, ліва частина). Таким чином, у межах грабену перепади відміток підосви кайнозою перевищують сотні

метрів, відповідаючи амплітудам зміщень за аттичними насувами.

У приосьовій частині грабену ділянки відсутності палеоген-міоценових відкладів в лежачих крилах насувів в денному рельєфі відбиваються пологими овальними підняттями (рис. 5, ліва частина). Підняття підосви кайнозою розмірами  $8 \div 30 \times 6 \div 15$  км і амплітудами 40 - 100 м сформувалися над рядом девонських соляних штоків (Червонооскільським, Петрівським, Адамівським, Бригадирівським). Над деякими штоками (Біляїв-

ським, Краснопавлівським, Берецьким, Новодмитрівським, Бантишівським), ймовірно внаслідок соляно-карстових процесів, утворилися компенсаційні прогини, осі яких здійснюються з наближенням до аттичних насувів з боку їх висячих крил. За даними [28] це є свідченням того, що морфоструктури, утворені на попередніх етапах тектогенезу соляною тектонікою, теж зазнали деформацій через аттичні рухи.

Яскравим проявом альпінотипних деформацій є протяжні дугоподібні антиклінали на північному схилі грабена довжиною у десятки кілометрів і амплітудами понад 100 м, відбиті у денному рельєфі височинами (рис. 5, ліва частина). Разом ці височини створюють характерний ешелонований складчастий ансамбль, ускладнюючий будову моноклінального схилу борту. Вони прилягають з півночі до зони північного крайового порушення, площа якого на цій території інтенсивно дислокована і набула характерної для зон горизонтально-зсувних деформацій кулісної будови. Тут слід зазначити, що геологічна природа цих піднятих у підосві кайнозою не з'ясована і в роботі [28] вони отримали назву «підняття неясного походження».

Наразі на величезному фактичному матеріалі з'ясовано, що у дислокованих (складчастих), тонкошаруватих, неметаморфізованих осадових товщах у полі горизонтальних напруг над магістральними розломами зазвичай утворюються діагональні системи розривів оперення зсувного типу, які відповідають кулісному розташуванню тріщин сколювання/відриву Ріделя (рис. 6, 7) [2,3,19,26,27]. Горизонтальні переміщення геомас гірських порід за ними приводять до деформацій видовження геологічного простору шляхом розтягання верств уздовж шарнірів складок [19]. У межах Українського щита за даними інструментальних визначень елементів залягання кристалічних гірських порід на природних відслоненнях, встановлено [5], що кулісна, ешелонувана будова складчастих деформаційних морфоструктур фундаменту є характерною діагностичною ознакою різноспрямованих горизонтально-зсувних переміщень геоблоків по площинах неодноразово ремобілізованих на етапах платформної активізації глибинних розломів. У Південному Донбасі та Приазов'ї поряд із насувами на природних відслоненнях достовірно виявлені системи зсувів правобічної кінематики рухів [13,22]. Причому загальний напрямок горизонтальних переміщень геомас по їх площинах є близьким до ортогонального щодо простягання насувів Північного Донбасу. Зсувними деформаціями обумовлено формування Приазовської височини, яка простягається майже ортогонально до Донецького кряжу і має близькі висотні відмітки. Структурний аналіз рисунків

покривної складчастості на території перехідної зони від ДДЗ до ДСП дозволив нам раніше ідентифікувати структурні ознаки геодинамічної обстановки *транспресії* [21,25].

Відомо, що геодинамічна обстановка транспресії реалізується за кінематичним механізмом одночасного горизонтального скорочення і вертикального видовження геологічного простору [2,3,5,26,27]. В певному об'ємі земної кори під впливом бокового до простягання лінійної геоструктури стресу в обмеженому по літералі геологічному просторі осадового басейну у зонах транспресії відбувається тектонічне вичавлювання геомас гірських порід угору - в напрямку вільної від стиснення денної поверхні. При цьому, якщо в підваліні басейну усі деформації концентруються в субвертикальних шовних зонах глибинних розломів, то в приповерхневих умовах пересування активізованих геомас порід відбуваються за дивергентними системами підкидів та насувів.

Внаслідок зсувних деформацій у поперечному перетині в розрізі осадового чохла утворюються характерні для зон транспресії «квіткові» та «пальмові» структурні парагенези (рис. 8). Підйом геомас до денної поверхні викликає утворення піднятих і переважно позитивного рельєфу над зонами транспресії, які служать джерелами розмиву і зносу осадової речовини. Прикладами позитивних «пальмових» структур зон транспресії, які відображаються підняттями у сучасному рельєфі, є *Дробинівська, Тернівська* (рис. 3), *Оленівська, Володарська, Успенська, Ровенецька* (рис. 4) та більшість інших підкидо-складок, розташованих на території ЗДГ та складчастого Донбасу (рис. 1, 2).

Водночас компенсаційний геомеханічний фактор обумовлює виникнення просторово спряжених з зонами стресу зон розтягнення земної кори, і, відповідно, ділянок переважного прогинання [2,3,26,27]. Через це у рельєфі денної поверхні утворюються так звані «накладені» западини, де накопичуються продукти розмиву, знесені з наближених піднятих, що зазнають підйому. Прикладом є *Михайлівська, Куїбишівська* западини, які відбиваються улоговинами у денному рельєфі (рис. 4). При цьому, під впливом компоненти горизонтального зсування, деформаційні підняття і спряжені з ними динамічно і територіально западини закономірно розташовуються навкис до простягання магістрального зсуву (рис. 7). Разом вони утворюють характерні ансамблі кулісно зчленованих структурних парагенезів зсування, які мають тенденцію до відхилення у той або інший бік від простягання зсуву, в залежності від знаку зміщення (кінематики рухів) у його крилах - по аналогії з типовим кулісним розташуванням тріщин сколювання/відриву Ріделя (рис. 6).

На цих теоретичних засадах геомеханіки, з

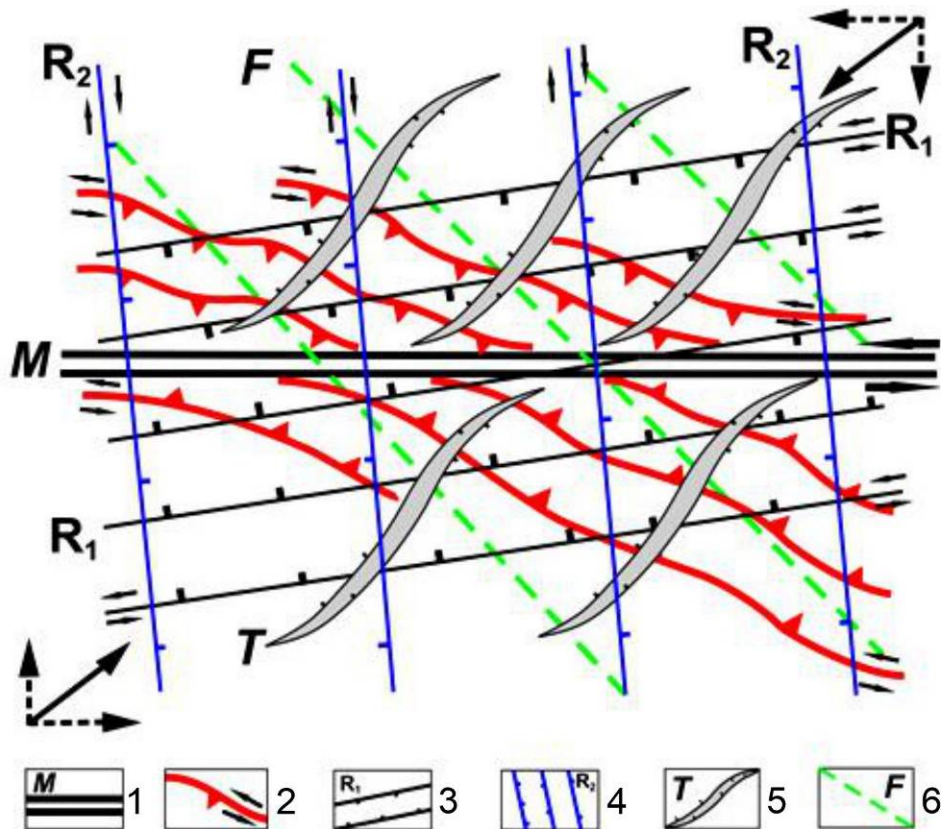


Рис. 6. Принципова схема внутрішньої будови структурного парагенезу *транспресії* лівобічної кінематики рухів за [2]: 1 – осьова зона магістрального зсуву (M); 2 – ешелювана система зсуво-насувів; 3 – система синтетичних сколів Ріделю (R1); 4 – система антитетичних сколів Ріделю (R2); 5 – тріщини відриву (T); 6 – осі складок (F) /

Fig. 6. Schematic diagram of the internal structure of the structural paragenesis of the transpression of the left-sided kinematics of movements according to [2]: 1 – the axial zone of the main shift (M); 2 – echeloned system of shear-thrusts; 3 – Riedel's system of synthetic chipping cracks (R1); 4 – Riedel's system of anti-synthetic chipping cracks (R2); 5 – separation cracks (T); 6 – fold axes (F)

врахуванням досліджених в натурних відслоненнях та на експериментальних моделях структурно-кінематичних ознак (рис. 6, 7, 8) нами було з'ясовано природу детально розглянутих вище кайнозойських підняттях (височин рельєфу), що з півночі прилягають до зони бортового регіонального порушення (рис. 5, ліва частина). Разом з розлогими долинами, які їх розділяють, ці новітні морфоструктури складають структурний ансамбль, ідентифікований як деформаційний парагенез поздовжнього видовження правобічної кінематики у зоні динамічного впливу північного крайового розлому. Цей односторонній кулісний парагенез сформувався у висячому крилі зсуво-насуву фундаменту через аттичні тектонічні рухи в геодинамічних умовах транспресії. Згідно побудованої структурно-кінематичної моделі деформацій природним чинником формування ешелюваного ансамблю територіально та динамічно спряжених структур зсуву і кулісних обрисів траси північного крайового розлому були правобічні рухи тектонічних блоків та геомас осадових

гірських порід у його крилах (рис. 5, права частина).

У підсумку, враховуючи усі отримані результати, з використанням даних щодо тектонічного стилю осадових басейнів [31] спробуємо визначити стиль інверсійних деформацій рифтової структури у південно-східному сегменті ПДДА.

Як відомо, рифтогенний тектонічний стиль будови утворюється у геодинамічних обстановках загального розтягу земної кори за системами розломів типу розсувів (скидів). Рифтовій структурі ДДЗ притаманне регіональне занурення платформних (синеклізних) комплексів осадового чохла уздовж осі авлакогену в південно-східному напрямку і від обох бортів до його днища в осьовій частині за системами нормальних (прямих) скидів (рис. 3, зліва).

На підставі аналізу структурних рисунків інверсійних ускладнень приходимо до висновку, що у південно-східному сегменті авлакогену утворився *інверсійний тектонічний стиль* деформацій, типовий для зон прояву горизонтально-зсувної, підкидо-насувної та зсуво-насувної тектоніки. Ри-

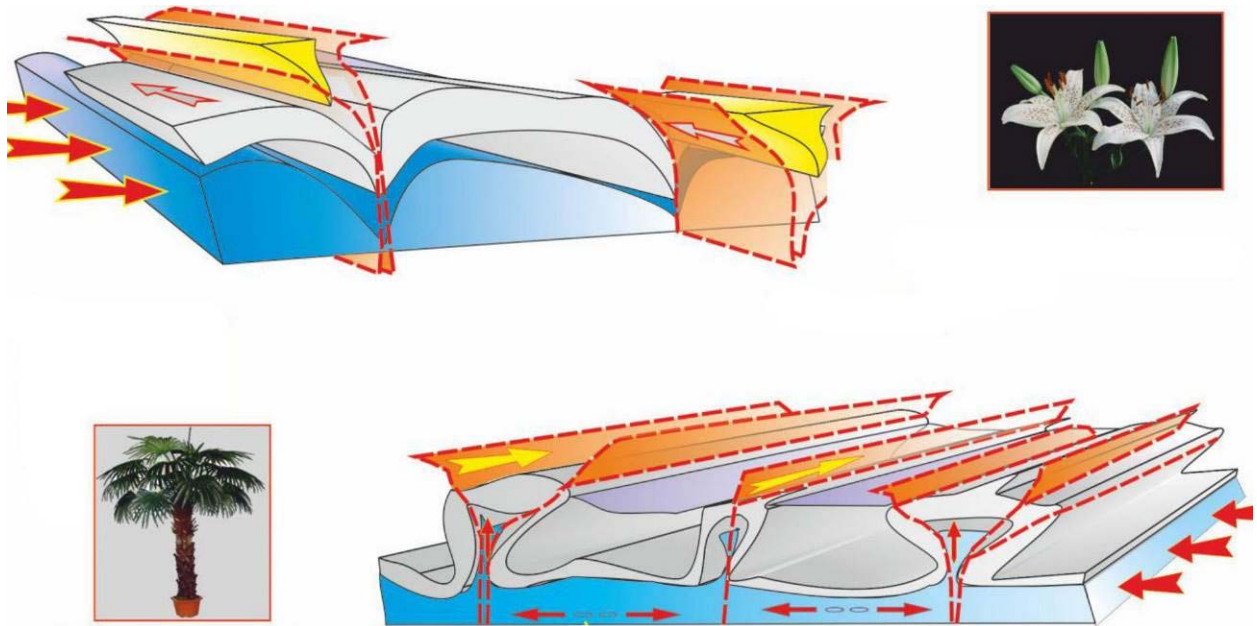


Рис. 7. Моделі кінематичних механізмів інверсійної складчастості, притаманних геодинамічній обстановці транспресії (колізійний стресовий тиск у горизонтально-зсувному полі напруг) за [2]: зверху – *синформний тип деформацій* як можливий механізм формування герцинських складчастих зон уздовж ремобілізованих рифтових парних крайових і прибортових розломів на моноклінальних схилах Дніпровського грабену;

знизу – *антиформний тип деформацій* як можливий механізм формування герцинських солянокупольних складчастих зон уздовж ремобілізованих рифтових парних осьових розломів у межах осьових депресій Дніпровського грабену (за участі соляної тектоніки) /

Fig. 7. Models of the kinematic mechanisms of inversion folding inherited in the geodynamic environment of transpression (collision stress pressure in the horizontal shear stress field) according to [2]: from above – *the synform type of deformations* as a possible mechanism formed of Hercynian fold zones along re-mobilized rift paired border and nearborder faults on the monoclinal slopes of the Dnieper Graben; from below – *the antiformal type of deformation* as a possible mechanism formed of Hercynian salt-dome folded zones along re-mobilized rift-paired axial faults within the axial depressions of the Dnieper Graben (with the participation of salt tectonics)

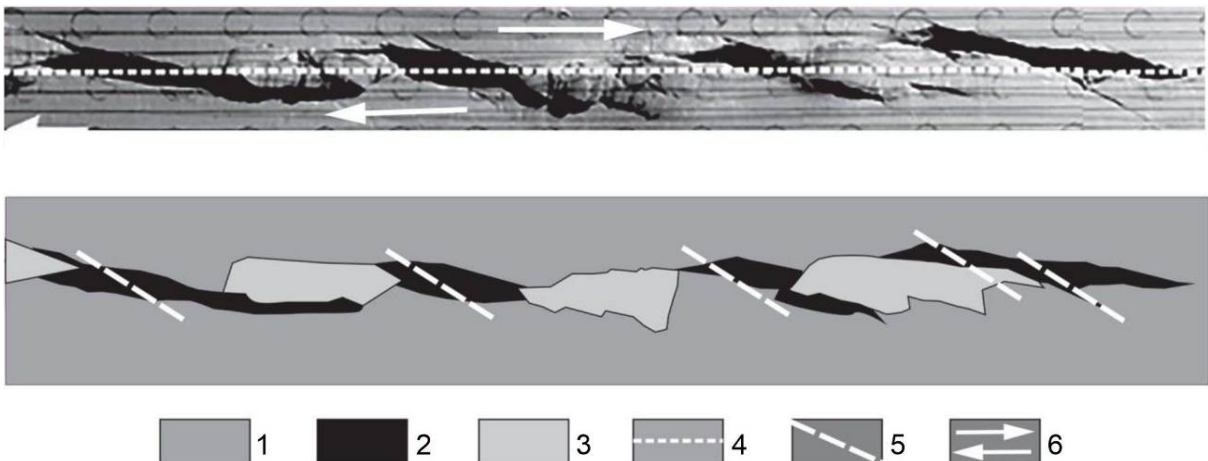


Рис. 8. Морфо-структурна диференціація рельєфу у зоні простого правого зсуву за [3]: 1 – неперушені ділянки; 2 – ділянки занурення (геодинамічні зони розтягу); 3 – ділянки здіймання (геодинамічні зони стресу); 4 – вісь горизонтального зсуву; 5 - орієнтування ешелонованих тріщин сколювання Ріделя; 6 - напрям рухів у крилах зсуву /

Fig. 8. Morpho-structural differentiation of relief in the zone of a simple right shift according to [3]: 1 – undisturbed areas; 2 – submergence areas (geodynamic tension zones); 3 – uplift areas (geodynamic stress zones); 4 – strike-slip axis; 5 – orientation of staggered Riedel chipping cracks; 6 – direction of displacement in strike-slip wings

фтогенний скидовий каркас на території ЗДГ виявився майже повністю зруйнованим, через накладення зсуво-насувного каркасу Західно-Донецького орокліну інверсійних деформацій (рис. 1, 2, 5, 4 в [21]).

По результатах аналізу структурних рисунків альпінотипних деформацій рифтогенної структури у південно-східному сегменті ПДДА з врахуванням кінематичних моделей встановлено, що інверсійному стилю авлакогену притаманні наступні особливості будови:

1 - утворення систем «зворотних (неузгоджених)» скидів на моноклінальних схилах грабену;

2 - дугоподібне викривлення в плані первинно лінійної рифтогенної скидової решітки та утворення в грабені деформаційного клиноформного у плані каркасу, складеного динамічно спряженими системами підкидів та зсуво-насувів;

3 - формування характерних для покривно-складчастих областей лускатих складчастих покривів тектонічного насування та лінійної підкидо-складчастості;

4 - формування «перехресно-насувної» структури герцинського та альпійських (ларамійського та аттичного) складчастих структурних поверхів і кулісної будови лінійних підкидо-складчастих зон;

5 - збільшення об'єму чохла в обмеженому по літералі геологічному просторі грабену лише по вертикалі за рахунок поетапного формування нових, молодших за віком лусок і пластин насунутих тектонічних покривів. Через це утворення різновікового алохтону складають істотну, не компенсовану синеклізним прогинанням постседиментаційну частину розрізу складчастих поверхів;

6 - структурні рисунки альпінотипних деформацій мають характерні дугоподібні вигини, ешелонувану і кулісну будову, властиві структурним парагенезам, сформованим за кінематичним механізмом поздовжнього видовження геологічного простору в умовах інтерференції підкидо-насувного і горизонтально-зсувного тектонічних режимів.

Враховуючи це, приходимо до такого висновку: *інверсійний тектонічний стиль* південно-східного сегменту ПДДА характеризують структурні ансамблі ешелонованих і кулісно зчленованих, дугоподібно видовжених, покривно-насувних і підкидо-складчастих деформаційних структур. Вони сформувалися в геодинамічній обстановці транспресії і притаманні платформним складчасто-насувним геоструктурам тектонічного зриву [31].

Таким чином у Західно-Донецькому сегменті і на західних схилах Донбаса в герцинському та альпійському поверхах сформувалася Західно-

Донецька область покривно-складчастих деформацій.

#### **Наукова новизна та практичне значення.**

На кінематичних моделях вперше ідентифіковано природу альпінотипних деформацій в Західно-Донецькому грабені. Встановлено, що кайнозойськими рухами вздовж ре-мобілізованих зон герцинських зсуво-насувів сформовано динамічно спряжені ансамблі неотектонічних структур. Кулісно зчленовані структурні парагенези сформувалися за кінематичним механізмом поздовжнього видовження геологічного простору через горизонтальні рухи правої кінематики над зонами динамічного впливу зсуво-насувів фундаменту в геодинамічній обстановці транспресії.

Тектонічний стиль південно-східного сегменту ПДДА визначають ешелони зсуво-насувів, кулісно зчленовані ансамблі підкидо-складок, лускаті складчасті покриви тектонічного насування, які сформувалися у геодинамічних зонах горизонтального зсування і транспресії. Уся сукупність альпінотипних морфоструктур територіально контролюється вперше виділеною нами на території ЗДГ новітньою платформною структурою тектонічного зриву - Західно-Донецькою областю покривно-складчастих деформацій.

Отримані дані щодо особливостей просторового розподілу інверсійних ускладнень рифтогенної структури та етапності їх утворення доцільно використовувати для палеорекострукцій і геодинамічного моделювання палеорифтової системи ПДДА та вдосконалення схем регіонального тектонічного та нафтогазогеологічного районування території ДДЗ.

**Висновки.** Внаслідок неоднорідних за тектонічним стилем та інтенсивністю прояву післярифтових ускладнень рифтогенної будови ПДДА за своїм простяганням набув характерних структурних рис *інверсованого авлакогену*. Колізійні деформації авлакогена структурно проявляються в формуванні: тектонічних зривів, скидо- і підкидо-зсувної решітки у фундаменті; кулісного і віялоподібного у плані зсуво-насувного деформаційного каркасу, сформованому у діагональних системах розломів осадового чохла; «перехресно-насувному» структурному плані покривно-складчастих деформацій герцинського та альпійського поверхів чохла; потовщенні осадового чохла в обмеженому по літералі просторі рифтогенної палео-западини за рахунок насування пластин що молодших за віком тектонічних покривів. У Західно-Донецькому сегменті і на західних схилах Донбаса в герцинському та альпійському поверхах сформувалася Західно-Донецька область покривно-складчастих деформацій.



## Список використаної літератури

1. Шатский Н.С. О прогибах донецкого типа / Н. С. Шатский // Избр. труды. – Т. 2. – М.: Наука, 1964. – С. 544-553.
2. Осадочные бассейны: методика изучения, строение и эволюция / Под ред. Ю. Г. Леонова, Ю. А. Воложа // Труды ГИИРАН. – Вып. 543. – М.: Научный мир, 2004. – 526 с.
3. Леонов М. Г. Зоны концентрированной деформации (структуры цветка): натурные наблюдения и данные моделирования / М. Г. Леонов, Ю. А. Морозов, Ю. П. Стефанов, Р. А. Бакеев // Геодинамика и тектонофизика, 2018. – Т. 9, № 3. – С. 693–720. <https://doi.org/10.5800/GT-2018-9-3-0368>
4. Чебаненко И. И. Теоретические аспекты тектонической делимости земной коры / И. И. Чебаненко. – К.: Наук. думка, 1977. – 84 с.
5. Гинтов О. Б. Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины. – Киев: Феникс, 2005. – 572 с.
6. Бартацук О. В. Еволюція напружено-деформованого стану земної кори Дніпровсько-Донецького палеорифту у фанерозої / О. Бартацук // Доповіді НАНУ, 2019. – № 3. – С. 62-6.
7. Горяйнов С. В. Кайнозойские тектонические движения Восточной Европы / С. В. Горяйнов // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2013, №3. – С. 55-65.
8. Горяйнов С. В. О ларамийском усложнении геологической структуры в различных регионах Украины / С. В. Горяйнов // Доповіді НАНУ. – 2004. – №3. – С. 92-95.
9. Копп М. Л. Кайнозойские поля напряжения/деформаций Донбасса и их вероятные источники / М. Л. Копп, В. А. Корчемагин // Геодинамика, 2010. – Вып. 1(9). – С. 37-49. <https://doi.org/10.23939/jgd2010.01.037>
10. Meijers, M. J. New late Paleozoic paleopoles from the Donbas Foldbelt (Ukraine): Implications for the Pangea A vs. B controversy / M. J. Meijers, M. F. Hamers, D. J. van Hinsbergen and others // Earth and Planetary Science Letters, 2010. – Vol. 297(1-2). – Pp. 18-33. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2010.05.028>
11. Stampfli, G. M. A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic ocean isochrons / G. M. Stampfli, G. D. Borel // Earth and Planetary Science Letters, 2002. – Vol. 196(1-2). – Pp. 17-33. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(01\)00588-X](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(01)00588-X)
12. Natal'in, B. A. Late Paleozoic to Triassic evolution of the Turan and Scythian platforms: the prehistory Paleo-Thethian closure / B. A. Natal'in, A. M. C. Sengor // Tectonophysics, 2005. – Vol. 404 (3-4). – Pp. 175-202. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2005.04.011>
13. Горяйнов С. В. Метаморфические и метасоматические комплексы Приазовья и Южного Донбасса / С. В. Горяйнов, С. В. Аксенов, А. С. Алтухов и др. / Под ред. С.В. Горяйнова. – Харьков: Экограф, 2009. – 304 с.
14. Хаин В. Е. Региональная геотектоника. Внеальпийская Европа и Западная Азия. – М.: Недра, 1977. – С. 185-205.
15. Корчемагин В. А. Тектоника и поля напряжений Донбасса / В. А. Корчемагин, Ю. С. Рябоштан // Поля напряжений и деформаций в земной коре. – М.: Наука, 1987. – С.167-170.
16. Горяйнов С. В. Герцинские тектонические движения Восточной Украины / С. В. Горяйнов // Новітні проблеми геології. Матеріали науково-практичної конференції до 100-річчя від дня народження В.П. Макрідіна (м. Харків, 21-23 травня 2015 р.). – Харків : Вид. Іванченка І.С., 2015. – С. 162–165.
17. Гончар В. В. Тектоническая инверсия Днепровско-Донецкой впадины и Донбасса (модели и реконструкции). Геофиз. журн., 2019. – Т. 41, № 5. – С.47-86. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i5.2019.184444>
18. Прогноз локалізації та газоносності літологічних пасток південного сходу ДДЗ в межах ліцензійних ділянок ГПУ «Шебелинкагазвидобування». Частина 1. Створення структурно-геологічної основи: звіт про НДР (заключний): №100 ШГВ 2017-2017 (тема № 34.521/2017-2017) Відп. вик. С. Горяйнов, Ю. Склярєнко. – Харків: УКРНДІГАЗ, 2017. – 203 с.
19. Бартацук О. В. Геодинамічні умови нафтогазоносності Дніпровсько-Донецького палеорифту: автореф. дис...д-ра геол. наук. – Київ: Інст.геол.наук НАН України, 2021. – 33 с.
20. Бартацук О. В. Тектонічна інверсія Дніпровсько-Донецької западини. Частина 1. Колізійна тектоніка Західно-Донецького грабена / О. В. Бартацук // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія "Геологія. Географія. Екологія", 2020. – Вып. 52. – С. 10-23. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-52-01>
21. Бартацук О. В. Тектонічна інверсія Дніпровсько-Донецької западини. Частина 2. Геодинамічні обстановки і кінематичний механізм деформацій рифтогенної структури / О. В. Бартацук // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія "Геологія. Географія. Екологія", 2020. – Вып. 53. – С. 10-23. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-01>
22. Горяйнов С. В. Перекрестно-надвиговая структура зоны сочленения Донбасса с Приазовским блоком Украинского щита / С. В. Горяйнов, В. В. Коренев // Геология та питання геологічного картування і вивчення докембрійських утворень Українського щита. Матеріали IV науково-виробничої наради геологів-зйомщиків України (8-12 жовтня 2007 р., м. Кривий Ріг). – Дніпропетровськ, 2007. – С. 102-104.
23. Bartashchuk O. Geodynamics of formation of the transition zone between the Dnieper-Donets basin and the Donbas foldbelt. Tectonic style of inversion deformations / O. Bartashchuk, V. Suyarko // Geodynamics, 2020. – Volume 2(29). – Pp. 51-65. <https://doi.org/10.23939/jgd2020.02.051>
24. Bartashchuk O. Geodynamics of formation of the transition zone between the Dnieper-Donets basin and the Donbas foldbelt. Tectonic regimes and kinematic mechanisms of inversion / O. Bartashchuk, V. Suyarko // Geodynamics, 2021. – Volume 1(30). – Pp. 25-35. <https://doi.org/10.23939/jgd2021.01.025>

25. Bartashchuk O. *Geodynamics of formation of the transition zone between the Dnieper-Donets basin and the Donbas foldbelt. Tectonic inversion of rift-like structure* / O. Bartashchuk, V. Suyarko // *Geodynamics*, 2021. – Volume 2(31). – Pp. 53-65. <https://doi.org/10.23939/jgd2021.02.053>
26. Тимурзиев А. И. *Новейшая сдвиговая тектоника осадочных бассейнов: тектонофизический и флюидодинамический аспекты: автореф. дис...д-ра геол.-минер. наук.* – М.: МГУ, 2009. – 40 с.
27. Atmaoui N. *Initiation and development of pull-apart basins with Riedel shear mechanism: insights from scaled clay experiments* / N. Atmaoui, N. Kukowski, B. Stockhert, D. Konig // *Int. J. Earth Sci. (Geol Rundsch.)*, 2006. – Vol. 95. – P. 225–238. <https://doi.org/10.1007/s00531-005-0030-1>
28. Горяйнов С. В. *Альпійські тектонічні рухи і соляна тектоніка східної України* / С. В. Горяйнов // *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія "Геологія. Географія. Екологія"*, 2022. – Вип. 56. – С. 67-75. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-04>
29. *Глубинные геологические срезы Днепровско-Донецкой впадины (в связи с перспективами нефтегазоносности). Объяснительная записка к геологическим картам ДДВ на срезах -5000 и -6000 м масштаба 1:500000* / В. Глушко (редактор). – Киев: УкрНИИГАЗ, УкрНИГРИ, 1978. – 88 с., 2 карты.
30. *Регіональні сейсморозвідувальні дослідження в зоні зчленування Центрального Донбасу і ДДЗ*. Відп. вик. Победаш М. С. – Київ: ДГП «Укргеофізика» Технологічний Центр ТП 113/06, 2014. – 20 арк.
31. Lowell J. D. *Structural Styles in Petroleum Exploration*. OGC Publications / J. D. Lowell // *Oil & Gas Consultants Int.* – Tulsa, 1985. – 470 p.

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

## **Tectonic inversion of the Dnipro-Donets basin. Part 3. Tectonic style of deformations**

**Oleksii Bartaschuk**<sup>1</sup>,

DSc (Geology), Leading Researcher,

<sup>1</sup> Ukrainian Scientific Research Institute for Natural Gases,  
20 Gimnaziyna Emb., Kharkiv, 61010, Ukraine;

**Vasyl Suyarko**<sup>2</sup>,

DSc (Geology and Mineralogy), Professor, Department of Fundamental and Applied Geology,

<sup>2</sup> V.N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine;

**Oleksandr Chuienko**<sup>2</sup>,

Head of laboratory for the study of rocks, minerals and fossil organisms

### **ABSTRACT**

**The purpose.** The peculiarities of the spatial distribution and tectonic style of collisional deformations of the riftogenic structure of the Dnipro-Donets Basin were investigated.

**Method.** Kinematic and paragenetic analyses were used, structural drawings were studied, kinematic models of alpine-type deformations in the folded floors of the southeastern segment of the Basin were compiled.

**The results.** It was found that the riftogenic structure along the strike different style and intensity of inversion complications was been undergone. The structural border between the weakly and significantly located territory along the meridian of the city of Balaklia was determined. To the west of the border the rift downthrows acquired arc-shaped contours and a pendulum structure due to horizontal movements. Zones of Hercynian folding are divided into separate branches by echelon systems of landslides located diagonally to their axes. To the east of the border, at first the regional board faults bend to the west, and then to the east of the city of Donetsk, the northern ones bend to the east, and the southern ones - to the southeast. The zones of nearboard and axial regional faults are destroyed, and because of this, the lines of the Kochubiyivsko-Volvenkivskyi and Sosnivsko-Stepkivskyi axial salt dome shafts are interrupted. The relic is the Axial fault with the Druzhkiv-Komyshuva shaft adapted to it. Instead of a reset rift, a shear-thrust inversion frame of orocline form was formed. Alpinotype dislocations on most of the territory of the Basin are weakly pronounced (scattered, low-amplitude faults and uplifts), but the southeastern segment significant fault-folding and cover-thrust deformations has undergone. The analysis of the structure of the Oligocene-Miocene sediments shows that neotectonic structures in the sole of the Cenozoic cover and the daytime relief are reflected. On the northern board of the Basin, a number of arc-like elongated uplands that located in the hanging wings of the Hercynian thrusts were formed. A sign of uplands' formation in the geodynamic environment of transpression is oscillating articulation and diagonal placement relative to shear-thrust zones.

**Scientific novelty.** By the analysis of structural pictures of Elements of tectonics characteristic of transpression zones was identified. For the first time the nature of alpine-type deformations on kinematic models was identified. The Cenozoic movements along the re-mobilized zones of the Hercynian thrusts formed dynamically coupled ensembles of neotectonic structures was established. The hinged-jointed structural parageneses were formed by the mechanism of longitudinal elongation of the geological space due to the horizontal movements of right kinematics over the zones of

dynamic influence of shear-thrusts of the foundation. It was found the tectonic style of the latest deformation ensembles is inherent in the platform fold-thrust geostuctures of the tectonic breakaway. For the first time the newest platform structure - the West-Donetsk tectonic orocline of cover-folding deformations was identified.

**Practical significance.** Data on the distribution of alpine-type complications of the West-Donets Graben for paleo-geodynamic reconstructions and improvement of the regional scheme of tectonic zoning of the Dnipro-Donetsk Basin can be used.

**Keywords:** structural pictures, kinematic models, downthrow riftogenic framework, inverted shear-thrust framework, alpine-type deformations, Cenozoic hinged-jointed highlands, West-Donets orocline deformations.

### References

1. Shatsky N. (1964). Basins of the Donetsk type. *Favorites work*, 2. M., Nauka, 544-553. [in Russian]
2. *Sedimentary basins: study methodology, structure and evolution* (2004). Edited by Yu. Leonov, Yu. Volozh. Works of GYNRAN, 543. M., Nauchny mir, 526. [in Russian]
3. Leonov M., Morozov Yu., Stefanov Yu., Bakeev R. (2018). Zones of concentrated deformation (flower structures): natural observations and modeling data. *Geodynamics and tectonophysics*, 9, 3, 693–720. <https://doi.org/10.5800/GT-2018-9-3-0368> [in Russian]
4. Chebanenko I. I. (1977). *Theoretical aspects of tectonic divisibility of the earth's crust*. Kyiv, Nauk. dumka, 84. [in Russian]
5. Gintov O. (2005). *Field tectonophysics and its application in the study of deformations of the earth's crust of Ukraine*. Kyiv, Phoenix, 572. [in Russian]
6. Bartaschuk O. V. (2019). Evolution of the stressed-deformed state of the earth's crust of the Dnipro-Donetsk paleorift in the Phanerozoic. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 3, 62-65. [in Ukrainian]
7. Goryainov S. V. (2013). Cenozoic tectonic movements of Eastern Europe. *Geology and minerals of the World Ocean*, 3, 55-65. [in Russian]
8. Goryainov S. V. (2004). On the Laramie complication of the geological structure in various regions of Ukraine. *Reports of the National Academy of Sciences*, 3, 92-95. [in Russian]
9. Kopp M. L., Korchemagin V. A. (2010). Cenozoic stress/deformation fields of the Donbas and their probable sources. *Geodynamics*, 1(9), 37-49. <https://doi.org/10.23939/jgd2010.01.037>. [in Russian]
10. Meijers, M. J., Hamers, M. F., van Hinsbergen, D. J., van der Meer, D. G., Kitchka, A., Langereis, C. G., & Stephenson, R. A. (2010). New late Paleozoic paleopoles from the Donbas Foldbelt (Ukraine): Implications for the Pangea A vs. B controversy. *Earth and Planetary Science Letters*, 297(1-2), 18-33. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2010.05.028>
11. Stampfli, G. M., & Borel, G. D. (2002). A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic ocean isochrons. *Earth and Planetary Science Letters*, 196(1-2), 17-33. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(01\)00588-X](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(01)00588-X)
12. Natal'in, B. A. & Sengor, A. M. C. (2005). Late Paleozoic to Triassic evolution of the Turan and Scythian platforms: the prehistory Paleo-Thethian closure. *Tectonophysics*, 404 (3-4), 175-202. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2005.04.011>
13. Goryainov S. V., Aksenov S. V., Altukhov A. S., Vorobyev S. V., Isaeva E. P., Korenev V. V. (2009). Metamorphic and metasomatic complexes of the Azov region and Southern Donbas. *Kharkiv, Ekograf*, 304. [in Russian]
14. Khain V. E. (1977). *Regional geotectonics. Non-Alpine Europe and Western Asia*. M., Nedra, 185-205. [in Russian]
15. Korchemagin V. A., Ryaboshtan Yu. S. (1987). *Tectonics and tension fields of Donbas. Stress fields and deformations in the earth's crust*. M., Nauka, 167-170. [in Russian]
16. Goryainov S. V. (2015). Hercynian tectonic movements of Eastern Ukraine. *Latest problems of geology. Materials of the scientific and practical conference for the 100th an. of the birth of V.P. Makridin* (Kharkiv, May 21-23, 2015). Ed. I. S. Ivanchenko, 162–165. [in Russian]
17. Gonchar V. V. (2019). Tectonic inversion of the Dnieper-Donetsk Basin and Donbas (models and reconstructions). *Geophys. journal*, 41, 5, 47-86. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i5.2019.184444> [in Russian]
18. *Forecast of the localization and gas content of lithological traps of the southeast of the DDZ within the license areas of Shebelinkagavydobuvannya GPU. Part 1. Creation of a structural and geological basis: report on the NDR (final): No. 100 SHGV 2017-2017 (topic No. 34.521/2017-2017) Resp. exclamation S. Horyainov, Yu. Sklyarenko* (2017). Kharkiv, UKRNDIGAZ, 203. [in Ukrainian]
19. Bartaschuk O. V. (2021). Geodynamic conditions of oil and gas bearing capacity of the Dnipro-Donetsk paleorift: autoref. diss... *Dr. geol. of science*. Kyiv, Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, 33. [in Ukrainian]
20. Bartaschuk O. V. (2020). Tectonic inversion of the Dnieper-Donetsk depression. Part 1. Collision tectonics of the Western Donetsk Graben. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (52), 10-23. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-52-01> [in Ukrainian]
21. Bartaschuk O.V. (2020). Tectonic inversion of the Dnieper-Donetsk depression. Part 2. Geodynamic conditions and kinematic mechanism of deformations of the riftogenic structure. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (53), 10-23. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-01> [in Ukrainian]
22. Goryainov S. V., Korenev V. V. (2007). Cross-thrust structure of the Donbas junction zone with the Azov block of the Ukrainian shield. *Geology and issues of geological mapping and study of Precambrian formations of the Ukrainian*

- Shield. Materials of the 4th scientific and industrial meeting of geologists-surveyors of Ukraine (October 8-12, 2007, Kryvyi Rih). Dnipropetrovsk, 102-104. [in Russian]*
23. Bartashchuk, O., & Suyarko, V. (2020). *Geodynamics of formation of the transition zone between the Dnieper-Donets basin and the donbas foldbelt. Tectonic style of inversion deformations. Geodynamics, 2(29), 51-65. <https://doi.org/10.23939/jgd2020.02.051>*
  24. Bartashchuk, O., & Suyarko, V. (2021). *Geodynamics of formation of the transition zone between the Dnieper-Donets basin and the Donbas foldbelt. Tectonic regimes and kinematic mechanisms of inversion. Geodynamics, 1(30), 25-35. <https://doi.org/10.23939/jgd2021.01.025>*
  25. Bartashchuk, O., & Suyarko, V. (2021). *Geodynamics of formation of the transition zone between the Dnieper-Donets basin and the Donbas foldbelt. Tectonic inversion of rift-like structure. Geodynamics, 2(31), 53-65. <https://doi.org/10.23939/jgd2021.02.053>*
  26. Timurzhev A. I. (2009). *Newest strike-slip tectonics of sedimentary basins: tectonophysical and fluid dynamic aspects: autoref. diss... Dr. Geol.-Miner. Sc. MSU, 40. [in Russian]*
  27. Atmaoui N., Kukowski N., Stockhert B., Konig D. (2006). *Initiation and development of pull-apart basins with Riedel shear mechanism: insights from scaled clay experiments. Int. J. Earth Sci. (Geol Rundsch.), 95, 225-238. <https://doi.org/10.1007/s00531-005-0030-1>*
  28. Goryainov S. V. (2022). *Alpine tectonic movements and salt tectonics of eastern Ukraine. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (56), 67-75. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-04> [in Ukrainian]*
  29. *Deep geological sections of the Dnieper-Donets basin (due to prospects for oil and gas). Explanatory note to geological maps of VAT on sections -5000 and -6000 m scale 1:500000. Glushko V. (editor) (1978). Kyiv, UKRNIIGAZ, UKRNIGRY, 88, 2 maps. [in Russian]*
  30. *Regional seismic research in the zone of articulation of Central Donbas and DDZ. Pobedash M. (editor) (2014). Kyiv, DGP "Ukrgeofizika" Technological Center, TP 113/06, 20 sheets. [in Ukrainian]*
  31. Lowell J. D. (1985). *Structural Styles in Petroleum Exploration. OGCI Publications. Oil & Gas Consultants Int. Tulsa, 470.*

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work

Received 16 February 2023

Accepted 17 March 2023

## Модель нафтогазової системи девонського осадового комплексу Білоліського блоку Переддобрудзького прогину

**Володимир Гнідець**<sup>1</sup>

к. геол.-мін. н., с. н. с., ст. наук. співробітник,

<sup>1</sup> Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України,

вул. Наукова, 3А, м. Львів, 79060, Україна,

e-mail: [vgnidets53@gmail.com](mailto:vgnidets53@gmail.com),  <https://orcid.org/0009-0001-6372-7878>;

**Костянтин Григорчук**<sup>1</sup>

д. геол. н., с. н. с., пров. наук. співробітник,

e-mail: [kosagri@ukr.net](mailto:kosagri@ukr.net),  <https://orcid.org/0000-0003-1595-0968>;

**Леся Кошіль**<sup>1</sup>

провідний інженер,

e-mail: [koshillesia@gmail.com](mailto:koshillesia@gmail.com),  <https://orcid.org/0000-0001-6678-9460>;

**Мирослава Яковенко**<sup>1</sup>

к. геол. н., ст. досл., учений секретар,

e-mail: [myroslavakoshil@ukr.net](mailto:myroslavakoshil@ukr.net),  <https://orcid.org/0000-0001-8967-0489>

На основі створеної принципової моделі обстановок середньо-пізньодевонського осадоагромадження аргументовано ширший, ніж раніше вважалося, розвиток у Переддобрудзькому прогині осадів, збагачених органічною речовиною. Так, у приосьових частинах Тузлівської та Алібейської депресій Білоліського блоку прогнозовано значне поширення вуглецево-карбонатно-глинистого нафтогазоматеринського комплексу, що в цілому збільшує перспективи середньо-верхньодевонських відкладів регіону. У депоцентрах цих депресій були локалізовані осередки генерації вуглеводнів, де нафтогазоматеринські відклади наприкінці раннього карбону досягли градацій мезокатагенезу МК<sub>5</sub> (нижній девон), МК<sub>3</sub>–МК<sub>4</sub> (ейфель), МК<sub>1</sub>–МК<sub>2</sub> (франфамен). Відклади девону зазнали впливу двох основних циклів катагенезу. Перший – був тривалим (пасивний підетап – ранній девон–ранній карбон, активний – середній карбон–рання юра), другий був короткочасним (середня, пізня юра – рання крейда). Початок прояву активного підетапу першого циклу (середній–пізній карбон) був основним в міграції вуглеводневих флюїдів, яка відбувалася по зонах регіонального розуцілення на трьох гіпсометричних рівнях. При цьому формувалися потоки вуглеводнів різного фазового складу. Джерелом газу слугували відклади нижнього девону, а основний об'єм нафти генерувався у нашаруваннях ейфельського віку. Упродовж другого циклу катагенезу у зв'язку зі зниженням пластових температур та вичерпанням потенціалу органічної речовини можливі були лише процеси руйнування та (або) переформування раніше утворених скупчень вуглеводнів. Прогнозовано існування трьох нафтогазових систем, оскільки осередки генерації були пов'язані з відкладами різного віку, відрізнялися за температурним режимом, ступенем катагенезу, шляхами міграції флюїдів та відокремлені в розрізі один від одного.

**Ключові слова:** Переддобрудзький прогин, Білоліський блок, девонські відклади, обстановки осадоагромадження, нафтогазова система, динаміка катагенезу.

**Як цитувати:** Гнідець Володимир. Модель нафтогазової системи девонського осадового комплексу Білоліського блоку Переддобрудзького прогину / Володимир Гнідець, Костянтин Григорчук, Леся Кошіль, Мирослава Яковенко // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 58. – С. 29-37. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-02>

**In cites:** Hnidets Volodymyr, Nryhorchuk Kostyantyn, Koshil Lesia, Yakovenko Myroslava (2023). The model of the oil and gas system of the Devonian sedimentary complex of the Bilolisky block of the Dobrudja foredeep. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (58), 29-37. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-02> [in Ukrainian]

**Постановка проблеми.** У Переддобрудзькій нафтогазоносній області у відкладах середнього і верхнього девону відкриті Східносаратське та Жовтоярське нафтові родовища, крім того отримані припливи нафти на Білоліській, Сариярській та Розівській структурах; та газу з теригенних порід нижнього девону (св. Жовтоярська-1).

У зв'язку з цим вивчення геології відкладів верхнього палеозою в аспекті оцінки перспектив їх нафтогазоносності є вельми актуальним. У роботах В. Т. Воловик, В. К. Гавриш, В. І. Няга [3]; А. Е. Лукин, Г. Л. Трофименко [11]; Г. Л. Трофименко, М. Е. Герасимов [17]; С. А. Мачуліна, Г. Л. Трофименко, Л. І. Рябчун [12]; Є. О. Скачедуб

[16]; В. П. Гнідець, К. Г. Григорчук, Б. М. Полухтович, В. О. Федішин [5]; В. П. Гнідець, К. Г. Григорчук, Л. Б. Кошіль, Н. В. Ціж, М. Б. Яковенко [6, 7]; С. О. Мачуліна, О. П. Олійник [13] доволі детально вивчені особливості літологічної структури відкладів девону та умов їх осадоагромадження, характеру поширення порід-колекторів та ймовірних нафтогазоматеринських відкладів. Ці результати складають важливе геологічне підґрунтя, але не розкривають питань динаміки формування покладів вуглеводнів. Утворення, міграція та акумуляція останніх можуть протікати по безлічі сценаріїв, що призводить до невизначеностей та неминучого ризику пошуково-розвіду-

вальних робіт. Моделювання нафтогазових систем (НГС) знижує такі ризики. У даній роботі, розглянуті окремі аспекти розвитку осередків генерації, шляхів міграції та зон акумуляції вуглеводнів (ВВ), які є основними елементами НГС.

**Огляд попередніх досліджень.** Попередніми дослідженнями було охоплено декілька моментів. Вивченню геологічної будови Переддобрудзького прогину та оцінці з цих позицій перспектив його нафтогазоносності присвячені роботи В. Т. Воловик, В. К. Гавриш, В. І. Няга [3]; А. Е. Лукин, Г. Л. Трофименко [11]; Г. Л. Трофименко, М. Е. Герасимов [17] та ін. Особливості літологічної будови відкладів девону та умов їх нагромадження розкриті у публікаціях С. А. Мачуліна, Г. Л. Трофименко, Л. І. Рябчун [12]; Є. О. Скачедуб [16]; В. П. Гнідець, К. Г. Григорчук, Б. М. Полухтович, В. О. Федішин [5]; В. П. Гнідець, К. Г. Григорчук, Л. Б. Кошіль, Н. В. Ціж, М. Б. Яковенко [6, 7]; С. О. Мачуліна, О. П. Олійник [13]. Деякі аспекти історії катагенезу та постседиментаційних змін порід-колекторів висвітлені у монографії В. П. Гнідець, К. Г. Григорчук, Б. М. Полухтович, В. О. Федішин [5].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** У роботах минулих років не розглядалася проблема формування у регіоні нафтогазових систем. Були частково вивчені певні аспекти поширення нафтогазоматеринських відкладів. Однак при цьому враховані лише результати, отримані на структурах, що розташовані по периферії Тузлівської та Алібейської депресій, а власне їх депоцентри представляють найбільший інтерес з точки зору формування осередків генерації вуглеводнів. Динаміка катагенезу в контексті реконструкції процесів генерації, міграції та акумуляції вуглеводнів взагалі не досліджувалася.

**Формулювання мети статті.** З'ясувати принципові риси онтогенезу нафтогазової системи девонських відкладів Переддобрудзького прогину.

**Методи дослідження** полягали в узагальненні фактичних даних з літології девонських відкладів, особливостей їх літологічної будови та зональності, аналізі сучасних матеріалів стосовно розвитку в евапоритових басейнах парагенних фаціальних асоціацій, побудові на цій основі принципової моделі гідродинаміки Переддобрудзького седиментаційного басейну та прогнозі поширення у девонський час різних літогенетичних типів. Проведення історико-катагенетичних реконструкцій здійснювалося на основі флюїодинамічної концепції катагенезу [8].

**Викладення основного матеріалу.** При вивченні динаміки формування та розвитку НГС важливим є з'ясування характеру просторово-

вікового поширення нафтогазоматеринських утворень, оскільки власне вони визначають ефективність роботи системи в цілому.

Як відомо, в якості нафтогазоматеринських виступають відклади безкисневого седиментогенезу, збагачені органічною речовиною (ОР), які за І. Т. Parrish [21], називаються «біопродуктитами». У Переддобрудзькому прогині до такого («чорносланцевого») типу відкладів [13] або «вуглецевоглинистої формації» [15] віднесено утворення розівської та кочулійської світ нижнього девону. Породи розівської світи (потужність близько 135 м) представлені чорними горизонтально шаруватими вапнистими аргілітами з прошарками вапняків та мергелів. Кочулійська світа (до 550 м) складена чорними некарбонатними слабослюдистими аргілітами з тонкими (1-2 см) прошарками темносірих пелітоморфних вапняків. Основна маса порід представлена тонкодисперсним оптично орієнтованим глинистим матеріалом з поодинокими зернами кварцу та лусками слюди. Ділянками аргіліти збагачені органічною речовиною. Вміст  $C_{org}$  у породах цих світ становить 0,3-4,2% [13]. Формування цих вуглецевмісних глинистих утворень пов'язують [15] з діяльністю у ранньому девоні приберегового апвелінгу.

У біогенно-евапоритовій сульфатно-карбонатній формації середнього та верхнього девону також встановлені шари чорних збагачених органічною речовиною аргілітів та мергелів, але дотепер відсутні аргументовані моделі їх формування.

За даними [13], такі утворення розвинені у відкладах живетського та на межі франського і фаменського ярусів. Вони формують пласти потужністю 8-10 м, які у св. Східносаратська-3 представлені чорними бітумінозними кременистими аргілітами, іноді з уламками карбонатно-глинистих порід і гідрослюдистими аргілітами з тонкорозсіяним піритом. У св. Сариярська-1 в живетській товщі встановлено [13] до 9 пачок з чорними піритизованими аргілітами і бітумінозними мергелями, прошарками глинистих органогенно-детритових вапняків з обмеженим видовим складом органічних залишків (15-20 % на породу). Пірит тонкорозсіяний в основній масі породи, а також утворює стяжіння і виповнює внутрішні ділянки органогенного детриту, який представлений фрагментами остракод, пелеципод, спікулами губок, рідко форамініферами та водоростями. Згідно з [5] у нижніх частинах циклітів як живетських, так і ейфельських нашарувань розвинені горизонти подібних літотипів потужністю до 3-10 м.

Для того, щоб визначити наскільки важливу роль можуть відігравати ці утворення у формуванні вуглеводневих покладів в регіоні, необхідно розглянути питання їх седименто-літогенетичної природи.

Парагенез «чорносланцевих» та евапоритових відкладів є доволі відомим. В палеогеографічному плані ці утворення характеризуються певними закономірностями просторового розвитку. Останнє проявляється у послідовній зміні відкладів прибережної частини шельфу з підвищеною солоністю глинистими та карбонатно-глинистими осадами збагаченими ОР більш глибоководного басейну [2]. Ці області частіше за все розділяються зоною карбонатного осадоагромадження, в межах якої можуть формуватися різноманітні органогенні споруди (біогерми, рифи). В той же час, у цій зоні періодично відкладаються і карбонатно-глинисті осади з підвищеним вмістом ОР [9]. Це спричиняє поліциклічний характер розвитку карбонатних, сульфатних та «чорносланцевих» утворень. Такі взаємовідносини літогенетичних типів встановлені у девонських (формація Дюпероу) та нижньокам'яновугільних відкладах басейну Улістон (Канада), крейдових відкладах Нижньоконголезької западини та ін. [18], де циклічність проявляється у розвитку чорних бітумінозних глинистих порід у низах циклів та переходом догори в евапоритові нашарування [4].

Досліджувані середньо-верхньодевонські відклади Передобрудзького прогину можна віднести до утворень подібного типу. При цьому слід зазначити, що на даний час вони вивчені лише у периферійних ділянках депресій (Тузлівської, Алібейської) і головню на конседиментаційних підняттях. А, отже, враховуючи вищезгадані приклади [18, 4] є підстави прогнозувати розвиток потужніших горизонтів «чорносланцевих» відкладів у депоцентрах цих депресій. Така модель фазіальної зональності була запропонована [19], де прогнозувалося заміщення сульфатно-карбонатних осадів карбонатно-глинистими в напрямку приосьової частини Тузлівської депресії. У роботі [7] показано, що область прибережної евапоритової седиментації відокремлюється від депресійних утворень зоною верхньої субліторалі, де домінувало карбонатагромадження з формуванням органогенних біостромових тіл.

Таким чином, виходячи з вищевикладеного, є підстави передбачати, що у середньо-пізньодевонський час в межах досліджуваної території панували седиментаційні обстановки т. зв. компенсаційної водної циркуляції (за В. Л. Штейнгольц, Ю. В. Баталин [18]). При цьому поверхневі води відкритої частини водойми надходили у плитководну область підвищеної солоності, а сильно мінералізовані – стікали у більш глибоководну частину басейну. Засолонені ділянки в цілому були мало сприятливими для розвитку життя та нагромадження сапропелевої органіки. Натомість, у відкритій частині водойми інтенсивно розвивався органічний світ завдяки надходженню поживних

речовин постійними течіями, спрямованими вбік евапоритового басейну. На мілководді у ділянках інтенсивного промивання масово розвивалися колоніальні організми з формуванням різнорангових біогенних споруд. При цьому надлишковий органогенний матеріал скидався у занурені ділянки дна, що слугувало додатковим джерелом збагачення карбонатно-глинистих мулів ОР. Більш глибоководна частина системи поряд з підвищеною біопродуктивністю характеризувалася сприятливими для збереження і захоронення ОР умовами. Це спричинилося надходженням щільних осолонених вод, які займали спочатку найбільш занурені частини рельєфу морського дна, а надалі охоплювали більшу площу, знижуючи рівень трофічної переробки ОР.

Враховуючи вищенаведені дані нами побудована принципова модель осадоагромадження в межах Білоліського блоку Передобрудзького прогину (рис. 1), де показано, що депоцентри Тузлівської та Алібейської депресій могли бути областями розвитку доволі потужних відкладів середньо-пізньодевонського аноксичного седиментогенезу, які поряд з подібними відкладами нижнього девону представляли собою достатньо ефективні нафтогазоматеринські утворення. Останні є складовою НГС, що в ряді інших її елементів: динаміка розвитку осередків генерації, шляхів міграції та зон акумуляції вуглеводнів (ВВ); визначає головні особливості формування їх покладів.

Важливим для просторово-вікової локалізації осередків генерації, окрім загальногеологічних та літологічних особливостей відкладів, є реконструкція теплової історії басейну. Для цього були враховані дані [10], де показано, що в ранньому карбоні геотермічний градієнт досягав  $75^{\circ}/\text{км}$ , наприкінці мезозою – становив  $40-45^{\circ}/\text{км}$ , а в кайнозої –  $20-25^{\circ}/\text{км}$ .

Встановлення особливостей динаміки розвитку НГС було здійснене на основі флюїодинамічної концепції катагенезу [8], яка обґрунтовує циклічну природу катагенезу. Цикли розпочинаються інфільтраційним або ексфільтраційним пасивним підетапом (домінування низхідних рухів) і завершуються ексфільтраційним активним підетапом (висхідні рухи), коли відбувається масштабна еміграція ВВ флюїдів з осередку генерації (т. зв. «критичний момент» за [20]). Періодизація катагенезу базується на моделюванні історії занурення осадового комплексу.

Відклади девону зазнали впливу декількох циклів катагенезу, основними серед яких були два [5]. Пасивний підетап першого продовжувався до кінця раннього карбону, коли відклади досягли максимальних температур; пізніше розпочався активний підетап, який тривав до ранньої юри. Другий був короточасним (пасивний підетап –

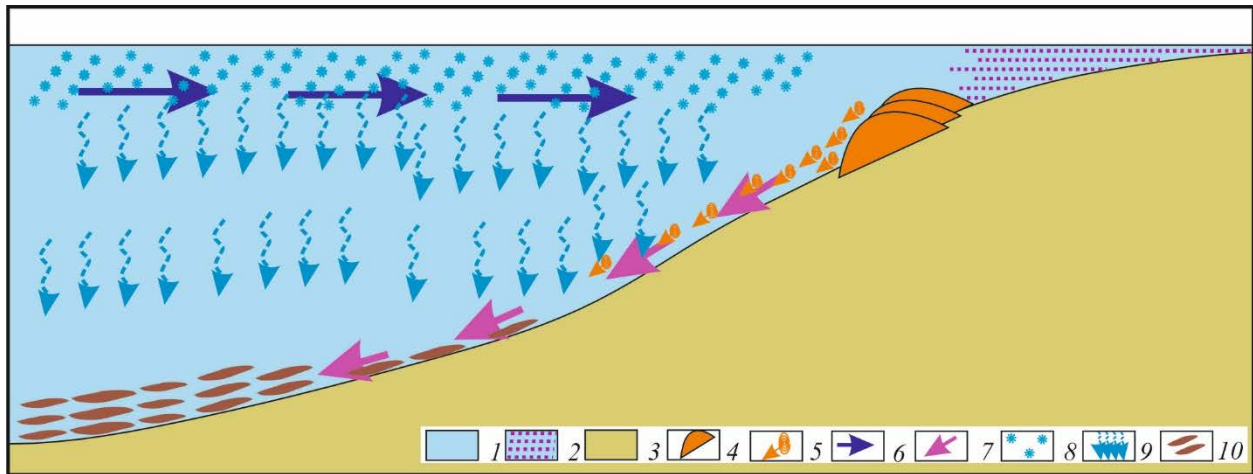


Рис. 1. Модель формування осадів, збагачених ОР в Переддобрудзькому середньо-пізньдевонському седиментаційному басейні.

Умовні позначення:

1 – водна товща нормальної солоності, 2 – засолонені ділянки водойми, 3 – породи ложа седиментаційного басейну, 4 – біогенні споруди, 5 – продукти руйнування біогенних споруд; течії: 6 – поверхневі, 7 – придонні мінералізовані; 8 – зона масового розвитку фіто-зоопланктону, 9 – випадіння біомаси, 10 – область ефективного захоронення ОР /

Fig. 1. Model of the formation of sediments enriched with Organic Matter in the Dobrudja Middle-Late Devonian sedimentation basin.

Symbols:

1 – water column of normal salinity, 2 – saline areas of the sea basin, 3 – rocks of the bed of the sedimentation basin, 4 – buildups, 5 – products of destruction of buildups; currents: 6 – surface, 7 – bottom mineralized; 8 – the zone of mass development of phyto-zooplankton, 9 – biomass fallout, 10 – the area of effective disposal of Organic Matter

середня, пізня юра, активний – рання крейда). Ця модель історії занурення та періодизації катагенезу була створена для Східносаратської структури, яка знаходиться за межами області поширення потужніших «чорносланцевих» нашарувань.

Нами здійснена подібна реконструкція для приосьової зони Тузлівської депресії (рис. 2), де товщина літостратиграфічних комплексів зростає [14, 5]. Відповідно, більшою була і інтенсивність занурення та прогріву (до 200° у підшві середнього девону). Враховуючи це, депоцентри Тузлівської та Алібейської депресій можна вважати осередками генерації ВВ.

Час прояву активного підетапу першого циклу катагенезу (середній-пізній карбон) розглядаємо як основний етап міграції вуглеводневих флюїдів, яка відбувалася на трьох гіпсометричних рівнях по зонах регіонального розущільнення. Оскільки останні дренували осередки генерації, які відрізнялися за температурними умовами, формувалися потоки ВВ різного фазового складу. Джерелом газу слугували відклади нижнього девону (градація катагенезу МК<sub>5</sub>). Основний об'єм нафти генерувався у нашаруваннях ейфельського віку (градація катагенезу МК<sub>3</sub> – МК<sub>4</sub>). Певна кількість нафтових ВВ утворювалася у «чорно-сланцевих» горизонтах, розвинених поблизу межі франу та фамену (градація катагенезу МК<sub>1</sub> – МК<sub>2</sub>).

Флюїдопровідні зони охоплювали нижні частини нафтогазоматеринських товщ (див. рис. 2). Втім очевидно це стосується лише початкових моментів активного підетапу катагенезу. Значна тривалість останнього (середній карбон – рання юра) не виключає можливість певних тектонічних перебудов (чергування висхідних та низхідних рухів) з відповідними вертикальними переміщеннями регіональних флюїдопровідних зон. Отже, можна передбачати, що дефлюїдизацією нафтогазоматеринські товщі були охоплені на повну потужність.

У зв'язку з тим, що осередки генерації приурочені до відкладів різного віку, відрізняються температурним режимом, шляхами міграції флюїдів та відокремлені один від одного, є підстави говорити про існування трьох нафтогазових систем.

Міграція флюїдів відбувалася головню вбік (див. рис. 2В) зниження термобаричних параметрів (периферичні частини депресій). По нижній зоні тріщинуватості газ транспортувався у відклади силуру, втім, певні його порції могли переміщуватися і в теригенну товщу нижнього девону приосьової зони депресії. По середній – нафтові ВВ надходили у нашарування нижнього девону та припідшовну частину ейфельських відкладів. Верхня зона відрізнялася в цілому незначними масштабами міграції, при цьому як в напрямку крайових ділянок, так і центральної частини басейну. Цікавим в аспекті акумуляції ВВ виглядає



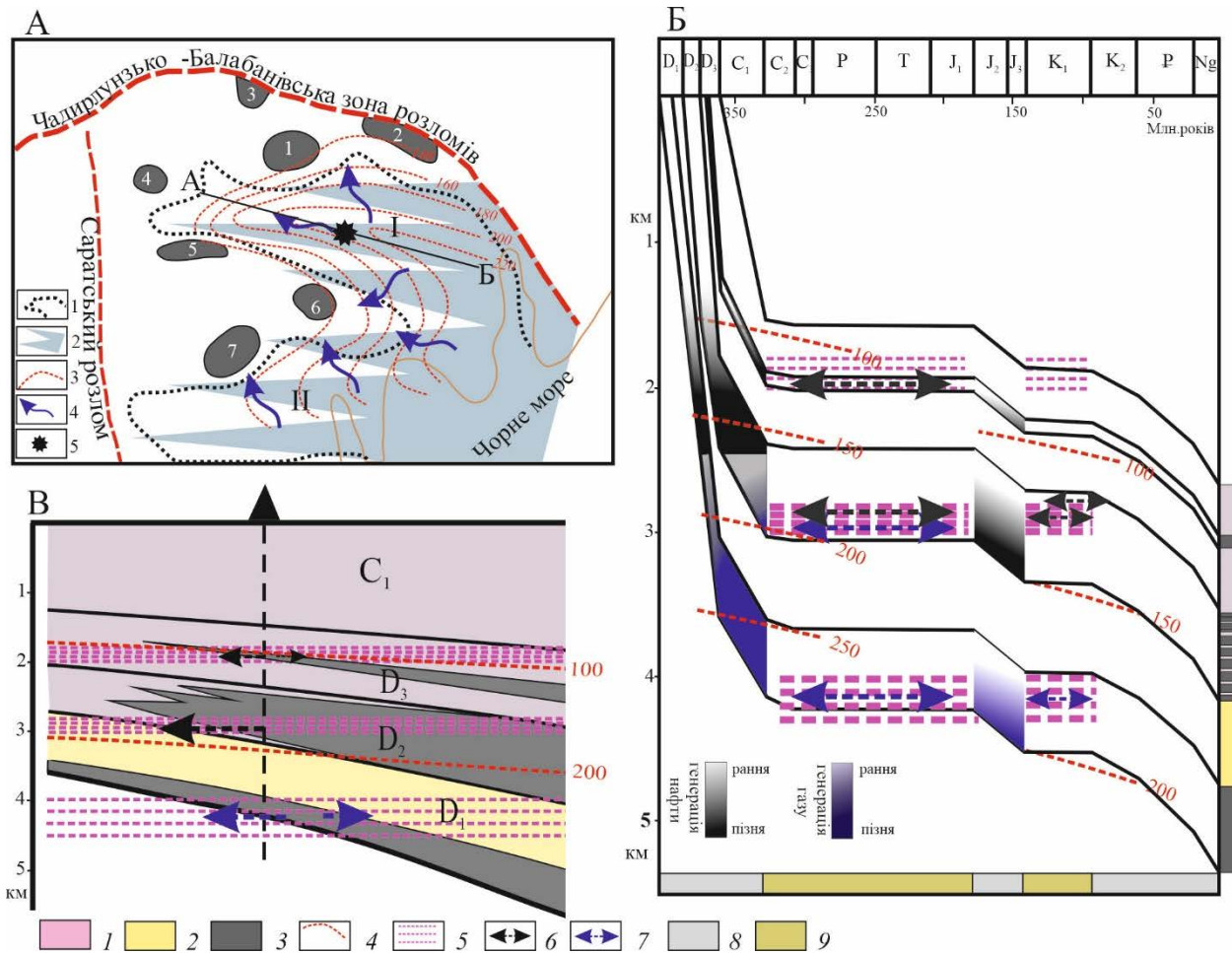


Рис. 2. Схема поширення нафтогазоматеринських відкладів, палеотемператури (А);  
 Моделі: історії занурення та періодизації катагенезу девонських відкладів (Б);  
 літофлюїдодинаміки на активному підетапі першого циклу катагенезу (В).

Умовні позначення:

А: 1 – контури депресій (за Є. О. Скачедуб [16]), 2 – нафтогазоматеринські відклади, 3 – температури у підшві нижнього девону, 4 – напрямки міграції ВВ, 5 – псевдосвердловина для моделювання історії занурення; локальні структури: 1 – Східносаратська, 2 – Балабанівська, 3 – Ярославська, 4 – Григорівська, 5 – Сариярська, 6 – Жовтоярська, 7 – Зарічненська. Б-В: Осадові комплекси: 1 – сульфатно-карбонатний, 2 – теригенний, 3 – глинистий, збагачений ОР; 4 – палеотемператури; 5 – регіональні зони розущільнення; масштабна міграція ВВ: 6 – нафти, 7 – газу; підетапи катагенезу: 8 – пасивний, 9 – активний /

Fig. 2. Scheme of distribution of oil and gas source deposits, paleotemperature (A);  
 Models: history of subsidence and periodization of catagenesis of Devonian deposits (B);  
 lithofluid dynamics at the active substage of the first cycle of catagenesis (C)

Symbols:

A: 1 – contours of depressions (according to Ye. O. Skachedub [16]), 2 – oil and gas source deposits, 3 – temperatures at the bottom of the Lower Devonian, 4 – directions of hydrocarbons migration, 5 – pseudo-well for modeling the history of subsidence; local structures: 1 – Skhidnosaratska, 2 – Balabanivska, 3 – Yaroslavska, 4 – Hryhorivska, 5 – Saryarska, 6 – Zhvtoyarska, 7 – Zarichnenska. B-C: Sedimentary complexes: 1 – sulfate-carbonate, 2 – terrigenous, 3 – clayey, enriched with Organic Matter; 4 – paleotemperature; 5 – regional decompaction zones; large-scale migration of hydrocarbons: 6 – oil, 7 – gas; substages of catagenesis: 8 – passive, 9 – active

район Жовтоярської структури, куди флюїди могли надходити з трьох напрямків (див. рис. 2А).

Для з'ясування ролі в акумуляції ВВ другого циклу катагенезу (середня юра – рання крейда) важливо розглянути питання стосовно рівня перетворення ОР, зокрема ступеня збереження її потенціалу після завершення першого циклу. Виходячи з градацій катагенезу та даних [1], залишко-

ва ОР у материнських відкладах нижнього девону мала становити 40%, середнього – 55%, верхнього – близько 90%. Втім, зважаючи на значну тривалість активного підетапу катагенезу, а також акселерацію трансформації ОР у зонах регіонального розущільнення [8], цифри повинні бути меншими, особливо для відкладів нижнього та середнього девону. Це дозволяє констатувати, що

основна акумуляція ВВ у Переддобрудзькому прогині відбулася протягом середнього карбонуранньої юри, надалі ймовірно проходили головно процеси трансформації та переформування утворених раніше скупчень ВВ.

**Висновки.** Створена модель середньо-пізньодевонського осадоагромадження дозволяє аргументувати ширший, ніж раніше вважалося, розвиток у Переддобрудзькому прогині осадів збагачених ОР. Останні формувалися у занурених частинах Тузлівської та Алібейської депресій внаслідок характерної динаміки морського басейну: приповерхневі води нормальної солоності перманентно рухалися вбік прибережної мілководної області евапоритоутворення, а придонні (мінералізовані) – перемішувалися у зворотному напрямку. Перше сприяло формуванню зони масового розвитку планктонної біоти, а друге – ефективному захороненню в осадах органічної маси. Отже, є підстави виділяти в приосьових зонах згаданих депресій вуглецево-карбонатно-глинистий літологічний комплекс як частину карбонатно-евапоритової формації середнього-верхнього девону. Встановлені на даний час шари «чорносланцевих» утворень у периферійних ділянках депресій представляють собою віддалені (крайові) частини цього комплексу.

Осередки генерації ВВ були локалізовані у депоцентрах Тузлівської та Алібейської депресій, де нафтогазоматеринські відклади наприкінці раннього карбону досягли градацій катагенезу МК<sub>5</sub> (нижній девон), МК<sub>3</sub> – МК<sub>4</sub> (ейфель).

Відклади девону зазнали впливу двох основних циклів катагенезу. Пасивний підетап першого продовжувався до кінця раннього карбону, коли відклади досягли максимальних температур; пізніше розпочався активний підетап, який тривав до ранньої юри. Другий був короткочасним (пасивний підетап – середня, пізня юра, активний – рання крейда). Час прояву активного підетапу першого був основним етапом міграції вуглеводневих флюїдів, яка відбувалася на трьох гіпсометричних рівнях по зонах регіонального розуцільнення. При цьому формувалися потоки ВВ різного фазового складу. Джерелом газу слугували відклади нижнього девону, а основний об'єм нафти генерувався у нашаруваннях ейфельського віку. Упродовж другого циклу катагенезу у зв'язку зі зниженням пластових температур та певним вичерпанням потенціалу ОР прогноуються лише процеси переформування раніше утворених покладів ВВ

Оскільки осередки генерації приурочені до відкладів різного віку, відрізнялися за температурним режимом, шляхами міграції флюїдів та відокремлені один від одного можна передбачати існування трьох нафтогазових систем.

Таким чином, проведені дослідження дозволили встановити принципові риси формування і розвитку нафтогазових систем Придобрудзького прогину. Наступним кроком буде більш детальне вивчення певних його ділянок, зокрема здійснення реконструкції ймовірних сценаріїв формування ВВ скупчень Східносаратського та Жовтоярського родовищ.

#### Список використаної літератури

1. Баженова Т. К. Исследование онтогенеза углеводородных систем как основа раздельного прогноза нефтегазоносности осадочных бассейнов [Текст] / Т. К. Баженова, В. К. Шиманский // Нефтегазовая геология. Теория и практика, 2007. – № 2 – С. 1-17.
2. Бахтуров С. Ф. Битуминозные карбонатно-сланцевые формации Восточной Сибири: монография [Текст] / С. Ф. Бахтуров. – Новосибирск: Наука, 1985. – 125 с.
3. Воловик В. Т. Особенности геологического строения и перспективы нефтегазоносности Северо-Западного Причорноморья [Текст] / В. Т. Воловик, В. К. Гавриш, В. И. Няга // Геол. журн., 1988. – № 2 (239) – С. 48-61.
4. Высоцкий И. В. Нефтегазоносные бассейны зарубежных стран: монография [Текст] / И. В. Высоцкий, В. Б. Оленин, В. И. Высоцкий. – М.: Недра, 1981. – 479 с.
5. Гнідець В. П. Літогенез девонських відкладів Придобрудзького прогину (палеоокеанографія, седиментаційна циклічність, формування порід-колекторів): монографія [Текст] / В. П. Гнідець, К. Г. Григорчук, Б. М. Полухтович, В. О. Федішин. – Київ: УкрДГРІ, 2003. – 94 с.
6. Гнідець В. П. Літолого-фаціальна зональність та літологічна структура ейфельських відкладів Переддобрудзького прогину [Текст] / В. П. Гнідець, К. Г. Григорчук, Л. Б. Кошіль, Н. В. Ціж, М. Б. Яковенко // Геодинаміка, 2016. – № 1 (20) – С. 50-62. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2016.01.050>
7. Гнідець В. П. Циклічність, літофаціальні особливості та умови седиментації ейфельських відкладів Переддобрудзького прогину [Текст] / В. П. Гнідець, К. Г. Григорчук, Л. Б. Кошіль, Н. В. Ціж, М. Б. Яковенко // Геодинаміка, 2020. – № 1 (28) – С. 38-51. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2020.01.038>
8. Григорчук К. Г. Динаміка катагенезу порід осадочних комплексів нафтогазоносних басейнів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра геол. наук: спец. 04.00.21 «Літологія» [Текст] / К. Г. Григорчук; Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України. – Львів, 2012. – 40 с.
9. Жарков М. А. О промежуточных бассейнах эпох соленакопления и парагенетической связи с солёными сериями нефтяных и газовых месторождений [Текст] / М. А. Жарков // Проблемы нефтеносности Сибири. – Новосибирск: Наука, 1971 – С. 163-185.

10. Иванова А. В. Влияние геотектонических условий на формирование угленосных формаций Львовского и Преддобруджинского прогибов / А. В. Иванова [Текст] // Геол. журн. 2016. – № 1 (354) – С. 36- 50.
11. Лукин А. Е. О среднепалеозойском Белолесском мегаатолле в Преддобруджинском прогибе [Текст] / А. Е. Лукин, Г. Л. Трофименко // Докл. НАН Украины, 1992. – № 5 – С. 1008-1012.
12. Мачулина С. А. Цикличность осадконакопления и закономерности распространения карбонатных пород-коллекторов девонских отложений Западного Причерноморья [Текст] / С. А. Мачулина, Г. Л. Трофименко, Л. И. Рябчун // Геол. журн., 1991. – № 1 – С. 131-141.
13. Мачуліна С. О. Чорносланцеві товщі силурійських і девонських відкладів Переддобрудзького прогину [Текст] / С. О. Мачуліна, О. П. Олійник // Геологічний журнал, 2021. – № 4 (377) – С. 90-103. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2021.4.238357>
14. Михайлов В. А. Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Кн. 3. Південний нафто-газоносний регіон: монографія [Текст] / В. А. Михайлов, І. М. Куровець, Ю. М. Сеньковський, С. А. Вишва, В. М. Загнітко, В. П. Гнідець, К. Г. Григорчук, О. М. Карпенко, С. С. Куровець. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2014. – 222 с.
15. Сеньковський Ю. М. Геологічна палеоокеанографія океану Тетис: монографія [Текст] / Ю. М. Сеньковський, К. Г. Григорчук, В. П. Гнідець, Ю. В. Колтун. – Київ: Наукова думка, 2004. – 171 с.
16. Скачедуб Є. О. Умови осадконагромадження і нафтогазоносність середньодевонсько-нижньокам'яновугільної евапоритової формації Переддобрудзького прогину [Текст] / Є. О. Скачедуб // Геологія і геохімія горючих копалин, 1998. – № 1 (102) – С. 41-52.
17. Трофименко Г. Л. Перспективи нафтегазоносності сульфатно-карбонатної товщі девона–карбона Преддобруджинського прогиба [Текст] / Г. Л. Трофименко, М. Е. Герасимов // Геологический журнал, 1991. – №5 – С. 93-100.
18. Штейнгольц В. Л. Парагенез доманикоидов и галогенных отложений различных гидрохимических типов [Текст] / В. Л. Штейнгольц, Ю. В. Баталин // Осадочные формации и обстановки их образования. – Новосибирск: Наука, 1987. – С. 85-99.
19. Koshil L.B. Geological paleoceanography of Fore-Dobrudja segment of Tethys in Devonian [Текст] / L. B. Koshil, V. P. Gnidets, K. H. Grigorchuk // Collection of Scientific Works of the Institute of Geological Sciences NAS of Ukraine, 2015. – Т. 8 – С. 126-131. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2015.146728>
20. Magoon L. B. The Petroleum System - From Source to Trap. [Text] / L. B. Magoon, W. G. Dow // AAPG Mem. 60. – Tulsa: AAPG, 1994. – P. 3-24.
21. Parrish I. T. Upwelling and petroleum source beds with reference to Paleozoic [Text] / I. T. Parrish // AAPG Bull, 1982. – Vol. 66 – P. 750-774.

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

## The model of the oil and gas system of the Devonian sedimentary complex of the Bilolisky block of the Dobrudja foredeep

**Volodymyr Hnidets**<sup>1</sup>,

PhD (Geology and Mineralogy), Senior Scientist, Senior Researcher,

<sup>1</sup> Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine,

3a Naukova St., Lviv, 79060, Ukraine;

**Kostyantyn Hryhorchuk**<sup>1</sup>,

DSc (Geology), Senior Scientist, Leading Researcher;

**Lesia Koshil**<sup>1</sup>,

Senior Engineer;

**Myroslava Yakovenko**<sup>1</sup>,

PhD (Geology), Senior Researcher, Scientific Secretary

### ABSTRACT

**The purpose of the article** is to find out the main principal features of the ontogenesis of the oil and gas system of the Devonian deposits of the Dobrudja Foredeep.

**Methods and methodology** - generalization of data on the lithology of Devonian deposits, analysis of materials on the development of paragenic facies associations in evaporite basins, construction of a principled model of the hydrodynamics of the Dobrudja basin on this basis and predicting the distribution of various lithogenetic types in the Devonian period. Historical-catagenetic reconstructions were carried out on the basis of the provisions of the fluid-dynamic concept of catagenesis.

**Results.** On the basis of the reconstruction of the dynamics of the sea basin and the nature of the lithofacies zonation, the conditions of Middle-Late Devonian sedimentation were modeled. A wider development of sediments enriched in organic matter, both in the section and laterally, is argued. First of all, this applies to the Middle Devonian deposits, which,

together with the Lower Devonian black shale formations, formed the body of oil and gas formation centers, that were localized in the depocenters of the Tuzliv and Alibey depressions.

The Devonian sediments were affected by two major cycles of catagenesis, with active substages (so-called critical moments) associated with large-scale fluid migration. The time of manifestation of the active substage of the first cycle (Middle-Late Carboniferous) was the main one in the migration of hydrocarbons, which is associated with a sufficiently high degree of post-diagenesis of the generating strata: gradation of catagenesis MK<sub>5</sub> (Lower Devonian), MK<sub>3</sub> - MK<sub>4</sub> (Eifelian). Hydrocarbons moved through the zones of regional decompaction, which were developed at three hypsometric levels. In this case, flows of hydrocarbons of different phase composition were formed. The source of the gas was the Lower Devonian deposits, and the main volume of oil was generated in the Eifelian layers. During the second cycle of catagenesis, due to a decrease in reservoir temperatures and a significant depletion of the potential of organic matter, only processes of reformation of previously formed hydrocarbon deposits are predicted. Due to the fact that the generation centers were confined to deposits of different ages, differed in temperature regime, ways of fluid migration, and were separated from each other, there are reasons to assume the existence of three oil and gas systems.

**Scientific novelty and practical significance.** For the first time, a wider spatial and age range of development of oil and gas source strata, localized centers of generation, discrete paths and time of large-scale migration of hydrocarbons have been scientifically substantiated. The studies carried out provide good grounds for predicting the possibility of the formation of large volumes of hydrocarbons that could be accumulated in the Devonian deposits of the Dobrudja Foredeep.

**Keywords:** Dobrudja Foredeep, Biloliskyy Block, Devonian deposits, sedimentation environments, oil and gas system, catagenesis dynamics.

### References

1. Bazhenova, T. K., Shimansky, V. K. (2007). Research on the ontogenesis of hydrocarbon systems as a basis for separate prediction of oil and gas capacity of sedimentary basins. *Neftegazovaya geologiya. Theory and practice*, 2, 1-17 [in Russian].
2. Bakhturov, S. F. (1985). Bituminous carbonate shale formations of Eastern Siberia. *Novosibirsk, Nauka*, 125 [in Russian].
3. Volovik, V. T., Gavrish, V. K., Nyaga, V. I. (1988). Peculiarities of the geological structure and oil and gas potential of the North-Western Black Sea region. *Geol. journal*, 2 (239), 48-61 [in Russian].
4. Vysotsky, I. V., Olenin, V. B., Vysotsky, V. I. (1981). Oil and gas bearing basins of foreign countries. *M., Nedra*, 479 [in Russian].
5. Hnidets, V. P., Hryhorchuk, K. H., Polukhtovych, B. M., Fedyshyn, V. O. (2003). Lithogenesis of the Devonian deposits of the Dobrudja Foredeep (paleoceanography, sedimentation cyclicity, formation of reservoir rocks). *Kyiv, Ukrainian State Geological Research Institute*, 94 [in Ukrainian].
6. Hnidets, V. P., Hryhorchuk, K. H., Koshil, L. B., Tsizh, N. V., Yakovenko, M. B. (2016). Lithological-facies zonation and lithological structure of the Eifel sediments of the Dobrudja Foredeep. *Geodynamics*, 1 (20), 50-62 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2016.01.050>
7. Hnidets, V. P., Hryhorchuk, K. H., Koshil, L. B., Tsizh, N. V., Yakovenko, M. B. (2020). Cyclicity, lithofacial features and sedimentary environments of Eifelian deposits of Dobrudja Foredeep, 1 (28), 38-51 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2020.01.038>
8. Hryhorchuk, K. H. (2012). Dynamics of rock catagenesis of sedimentary complexes of oil and gas-bearing basins. (Author. dis. for the scientific degree of Dr. geol. sciences: spec. 04.00.21 "Lithology"). *Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv*, 40 [in Ukrainian].
9. Zharkov, M. A. (1971). On the intermediate basins of the epochs of salt accumulation and paragenetic connection with saline-bearing series of oil and gas deposits. *Problems of oil potential in Siberia. Novosibirsk, Nauka*, 163-185 [in Russian].
10. Ivanova, A. V. (2016). Influence of geotectonic conditions on the coal-bearing formations of Lvov and Pre-Dobrogea depressions. *Geological journal*, 1 (354), 36-50. [in Russian].
11. Lukin, A. E., Trofimenko, G. L. (1992). About the Middle Paleozoic Belolessky Mega-atoll in the Dobrudja Foredeep. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 5, 1008-1012 [in Russian].
12. Machulina, S. A., Trofimenko, G. L., Ryabchun, L. I., (1991). Cyclicity of sedimentation and patterns of distribution of carbonate reservoir rocks of the Devonian deposits of the Western Black Sea region. *Geological journal*, 1, 131-141 [in Russian].
13. Machulina, S. O., Oliinyk, O. P. (2021). Black shales of Silurian and Devonian deposits of the Fore-Dobrogea trough. *Geological journal*, 4 (377), 90-103 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2021.4.238357>
14. Mykhailov, V. A., Kurovets, I. M., Senkovskiy, Yu. M., Vyzhva, S. A., Zahnitko, V. M., Hnidets, V. P., Hryhorchuk, K. H., Karpenko, O. M., Kurovets, S. S. (2014). Unconventional sources of hydrocarbons of Ukraine: monograph. In eight books. Book 3. South oil-gas-bearing region. *National Joint-stock Company "Naftogaz of Ukraine", Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of National academy of sciences of Ukraine*, 222 [in Ukrainian].
15. Senkovskiy, Yu. M., Hryhorchuk, K. H., Hnidets, V. P., Koltun, Yu. V. (2004). Geological paleoceanography of the Tethys ocean: monograph. *Kyiv, Naukova dumka*, 171 [in Ukrainian].

16. Skachedub, Ye. O. (1998). *Sedimentary conditions and oil and gas potential of the Middle Devonian-Lower Carboniferous evaporite formation of the Dobrudja Foredeep*. *Geology and Geochemistry of Combustible Minerals*, 1 (102), 41-52. [in Ukrainian].
17. Trofimenko, G. L., Gerasimov, M. E. (1991). *Prospects for the oil and gas potential of the Devonian–Carboniferous sulfate-carbonate strata of the Dobrudja Foredeep*. *Geological Journal*, 5, 93-100 [in Russian].
18. Shteingolts, V. L., Batalin, Yu. V. (1987). *Paragenesis of domanikoids and halogen deposits of various hydrochemical types. Sedimentary formations and conditions of their formation*. Novosibirsk, Nauka, 85-99 [in Russian].
19. Koshil, L. B., Gnidets, V. P., Grigorchuk, K. H. (2015). *Geologica paleoceanography of Fore-Dobrudja segment of Tethys in Devonian*. *Collection of Scientific Works of the Institute of Geological Sciences NAS of Ukraine*, T. 8, 126-131. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2015.146728>
20. Magoon, L. B. (1994). *The Petroleum System - From Source to Trap*. AAPG, Mem. 60. Tulsa, AAPG, 3-24.
21. Parrish, J. T. (1982). *Upwelling and petroleum source beds, with reference to Paleozoic*. AAPG Bull. 66, 750-774.

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work

Received 20 April 2023  
Accepted 22 May 2023

## Аномальна позиція палеозойських скидів Західного Донбасу

*Сергій Горяйнов*<sup>1</sup>

к. геол.-мін. н., доцент, кафедра фундаментальної та прикладної геології,

<sup>1</sup> Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,

м. Свободи 4, Харків, 61022, Україна,

е-mail: [gorjajnov@karazin.ua](mailto:gorjajnov@karazin.ua);

*Ігор Удалов*<sup>1</sup>

д. геол. н., професор, кафедра фундаментальної та прикладної геології,

е-mail: [igorudalov8@gmail.com](mailto:igorudalov8@gmail.com),  <https://orcid.org/0000-0003-3844-6481>

Нафтогазоносна провінція Східної України розміщується у Дніпровсько-Донецькій западині (ДДЗ). У кайнозойських та мезозойських відкладах западина не відображається, розміщуючись у палеозойському структурному поверсі. Він представляється як протяжний рифт з товщиною осадового чохла до 15-17 км. Товщина його земної кори за геофізичними даними не менше 31-32 км. Але, згідно товщини та фацій палеозою, земна кора під рифтом була порядку 20 км. Сучасна товщина у 1,5 рази вища. Така геолого-геофізична модель будови ДДЗ суперечлива. Зняття суперечливості можливе через врахування серії герцинських насувів. Такі насуви встановлюються на північному та південному бортах ДДЗ. Герцинські насуви мають південно-західну вергентність. На північному фланзі північний борт ДДЗ насуваються на її центральну частину по Новому насуву з амплітудою у 9–10 км. На південному фланзі встановлена Південно-Донбаська меланжева зона, яка насуває складчастий Донбас на Приазов'я. На її продовженні на північний захід знаходиться південний борт ДДЗ - Південна монокліналь. В її межах розміщується Павлоградсько-Петропавлівський вуглепромисловий район Західного Донбасу. В межах Південної монокліналі встановлено серію скидів. Вони утворюють систему горстів та грабенів північно-західного простягання. Але днища грабенів знаходяться на 1-3 км вище, ніж верхівки горстів. Така геологічна ситуація є аномальною. Це вказує на післяскидову дислокаційну горстово-грабенову систему. Південно-Донбаська меланжева зона продовжується під Південну монокліналь, яка знаходиться, таким чином, у алохтонному заляганні. Істинна амплітуда насування Південної монокліналі на Український щит оцінено у 15-20 км, вертикальна складова переміщення перевищує 3 км. Це пояснює аномальність структурної позиції горстів та грабенів Західного Донбасу – їхні південно-західні борти при насуванні були значно підняті відносно північно-східних. Тому Дніпровсько-Донецька "западина" у сучасній геологічній структурі є не рифтом, а післярифтовою герцинською складчастою областю. Вона сформована високоамплітудними насувами по північному і південному бортам. Герцинська складчаста область похована під мезозойськими та кайнозойськими відкладами і додатково ускладнена ларамійськими та аттичними складчасто-насувними дислокаціями меншої інтенсивності. Насувна модель приводить геофізичні параметри земної кори регіону у відповідність до геологічних даних і підтверджується фактичним матеріалом.

**Ключові слова:** Дніпровсько-Донецька западина, Західний Донбас, скид, герцинська складчаста область.

**Як цитувати:** Горяйнов Сергій. Аномальна позиція палеозойських скидів Західного Донбасу / Сергій Горяйнов, Ігор Удалов // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 58. – С. 38-48. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-03>

**In cites:** Goryainov Sergey, Udalov Ihor (2023). Anomalous position of Paleozoic faults of Western Donbas. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (58), 38-48. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-03> [in Ukrainian]

**Постановка загальної проблеми.** Нафтогазоносна провінція на північному сході України розміщується у Дніпровсько-Донецькій западині (ДДЗ). Геологічна будова западини вивчалась протягом десятиріч як різними геофізичними методами, так і геологічними – за допомогою численних свердловин [1, 2, 24, 25, 27, 28 та ін.]. Але створена в результаті геолого-геофізична модель будови ДДЗ суперечить законам фізики та/або геологічним даним [9]. Потрібна розробка нової, несуперечливої моделі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

На сучасній Геологічній карті дочетвертинних утворень України [4] ДДЗ відсутня. На цій карті в межах ДДЗ показано кайнозойський осадовий чохол, який активно розмивається північними притоками р. Дніпро (Сулою, Пелом, Ворсклою, Ореллю та ін.), внаслідок чого на вододілах залишаються ерозійні рештки окремих стратонів кай-

нозою.

Кайнозойський чохол України знятий на іншій геологічній карті – на Kartі докайнозойських утворень України [3]. На ній ДДЗ також не видно. На її території на карті показано низку лінійних антиклінальних та синклінальних складок мезозою, подекуди ускладнених соляними діпірами. Видно також, що область розвитку цих складок має північно-східну границю – північніше умовної лінії Лисичанськ–Чернігів такі складки вже відсутні. Ця лінія не співпадає з контурами ДДЗ.

І тільки при знятті мезозойських утворень в межах палеозойського структурного поверху проявляється Дніпровсько-Донецька западина [26]. Вона складена переважно кам'яновугільними породами у самій западині та на її північному та південному бортах. У осьовій частині западини збереглися пермські відклади [23, 26]. Глибоке буріння встановлює наявність девонсь-

ких відкладів під кам'яновугільними у осьовій частині западини.

Уявлення про геологічну будову цієї похованої западини ґрунтуються на результатах геофізичних досліджень та глибокого буріння [1, 2, 24, 25, 27 та ін.]. Палеозойський структурний поверх території постає як протяжний внутрішньо-континентальний рифтовий грабен (авлакоген) девонського закладання. Він своїм південно-східним продовженням зливався з південним бортом пасивної континентальної окраїни Східно-Європейського палеоконтиненту – колишнього північного борту Палеотетису.

Цей палеорифт і був названий "Дніпровсько-Донецькою западиною". Вона, безумовно, існувала з середнього девону по ранню перм включно, що наочно показують встановлені скиди рифтового етапу, девонський вулканізм та моласи, потужний палеозойський осадовий чохол та зональність його товщини.

За геофізичними даними [25, 27 та ін.] загальна товщина осадового чохла, що виповнює грабен до кристалічного фундаменту, складає максимум 15–17 км. Загальна товщина земної кори (до розділу Мохоровичича) складає 31–32 км під осьовою частиною ДДЗ. Там вона знижена відносно бортів, де товщина кори зростає до 40 км і більше.

Дослідження палеозойського чохла ДДЗ проводились дуже ретельно у зв'язку з його вугленосністю, водоносністю, нафтогазоносністю та соленистістю. Проводились численні стратиграфічні, палеонтологічні та літологічні дослідження. Фаціальна характеристика відкладів показала, що карбонатні і вугленосні відклади карбону та соленисті відклади пермі формувались приблизно на рівні моря – на прибережних рівнинах або у мілководних шельфах та лагунах. Тобто товща палеозою у 15–17 км була ізостатично врівноважена верхньою (ландшафтною) кромкою близько рівня моря під час свого формування – впродовж приблизно 100 млн. років (з середнього девону по ранню перм).

Петрофізичні дослідження встановили щільності порід осадового чохла і докембрійського кристалічного фундаменту, що його підстилає. Нескладні розрахунки [9] показали, що при таких щільностях і при товщині осадового чохла у 15 км товщина кристалічного фундаменту під осадовою товщею складала 4–6 км за умови ізостатичної врівноваженості ландшафтів території близько рівня моря. Таким чином, загальна товщина земної кори (осадовий чохол + фундамент) складала приблизно 20 км на момент закінчення палеозойського осадконакопичення у ранньопермську епоху (рис. 1).

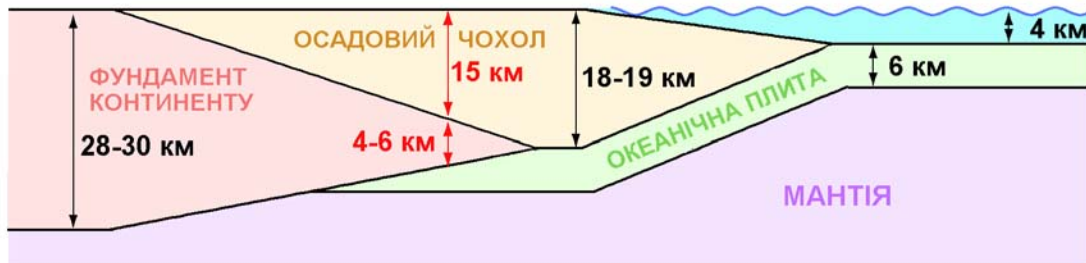


Рис. 1. Схема ізостатичної рівноваги осадового чохла /  
Fig. 1. Diagram of the isostatic equilibrium of the sedimentary cover

Але, згідно сучасної геофізичної моделі ДДЗ [27], товщина її земної кори повсюдно перевищує 30 км – вона більша на 10–12 км, тобто перевищує припустиму як мінімум у 1,5 рази. Наявність перекриваючих мезо-кайнозойських відкладів товщиною не більше 1–3 км не знімає цього протиріччя.

Для приведення геологічної будови ДДЗ у відповідність до тих просторових параметрів товщини осадового чохла і кристалічного фундаменту, які дають наведені геофізичні дані, була змінена загальна геологічна модель. Зняття протиріччя можливо лише за наявності насувного подвоєння частини геологічного розрізу земної кори ДДЗ [7, 9]. Насувне скупчення первинно-горизонтальних шаруватих формацій сумісно з кристаліч-

ним фундаментом повинно супроводжуватись скороченням їхньої первинної ширини та водночас – збільшенням первинної загальної товщини у 1,5 рази (рис. 2). При сучасній ширині ДДЗ приблизно у 100 км горизонтальна складова амплітуди тектонічного скупчення повинна була становити приблизно 50 км. Такі насування повинні були відбуватись або по одному насуву з такою амплітудою, або по серії насувів з сумарною горизонтальною складовою амплітуд у 50 км.

Але наведені вище попередні оцінки нічого не говорили про просторове розміщення таких насувів. З аналізу наявних геологічних карт тільки витікало, що ці насуви явно післяпермські – домезозойські, тобто мають герцинський вік. Герцинські насуви Східної України мають півден-

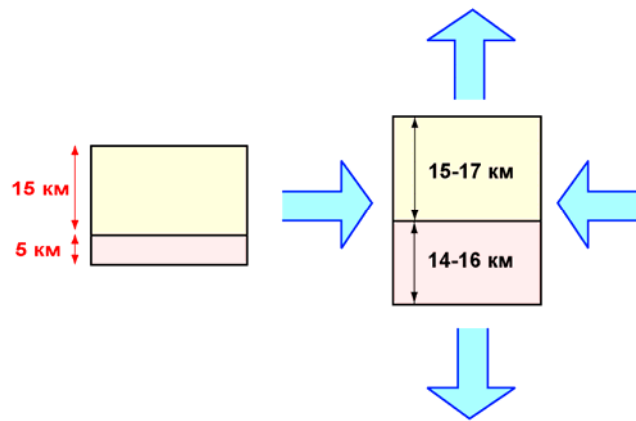


Рис. 2. Тектонічне скорочення ширини і зростання товщини земної кори території /  
Fig. 2. Tectonic reduction of the width and increase in the thickness of the earth's crust of the territory

но-західну вергентність [7, 8, 11, 12, 17], як і по всій Євразії у цю складчасту епоху [21].

Розвиток герцинських деформацій південно-західної вергентності призвів до різних наслідків на різних бортах палеорифту. Він має південно-західне простягання, яке є поперечним до векторів насування.

На північному сході ДДЗ вектор герцинської вергентності, що здійснюється на південний захід, перетинав під значним кутом поверхню розділу палеозою та докембрію. Параметричним бурінням було встановлено, що це призвело до насування докембрію на палеозой по похилому Новому насуву та його сателітам з амплітудою у 9–10 км [14–16]. Буровими роботами насув простежений вздовж північного борту ДДЗ на 280 км (Луганська, Харківська області). Таким чином, Воронежський кристалічний масив своїм південним бортом було насувано на центральні частини ДДЗ.

На півдні території, на границі Донбасу та Приазов'я, тектонічні зриви, навпаки, успадували поверхню розділу палеозою та докембрію, тому що ця поверхня має "зручне" для герцинської вергентності північно-східне падіння. Там переважно по осадовим породам палеозою утворилась Південно-Донбаська меланжева зона (ПДМЗ) [7]. Вона встановлена дослідженнями геологічної будови зчленування Донбасу і Приазов'я [7, 11, 12, 29]. Ширина зони виходу цієї меланжевої зони на денну поверхню сягає 10 км. Вона має істинну товщину близько 3 км і підстилає складчастий Донбас. На поверхню зона виходить тільки на обмеженій ділянці між р. Кальміус на південному сході і верхів'ями р. Суха Волноваха на північному заході. За простяганням у північно-західному напрямку ПДМЗ повинна простежуватись у басейн р. Самари, у бік Західного Донбасу (Дніпропетровська область). Але там меланжева зона перекривається кайнозойськими відкладами і на поверхні не спостерігається.

Територія Західного Донбасу досліджувалась

Павлоградською геологорозвідувальною експедицією протягом 60-х – 80-х років ХХ ст. детальним вуглерозвідувальним бурінням (С.Г. Храпкін, В.У. Пустовий, 1969; В.У. Пустовий, Н.К. Кот та ін., 1972; Б.В. Піддубний, 1975; В.М. Васик, Д.А. Корнелюк та ін., 1979; В.Н. Ковальчук, 1979; А.А. Арєпьев, 1981; В.Н. Ковальчук, Ф.В. Приходченко, 1982; Ю.А. Абакин, А.А. Арєпьев та ін. 1982; Ю.А. Абакин, В.М. Васик та ін., 1983; Ю.А. Абакин, 1984; В.М. Васик та ін., 1984; В.М. Васик, Г.Д. Боровін та ін., 1985; В.М. Васик, 1987; Н.Л. Арєпьева, 1989; В.П. Лішин, Н.М. Козорог, 1999, та багато інших). Були складені детальні геологічні карти території (В.Г. Кузнецов, Е.К. Родіна та ін., 1970; В.Є. Комаров, 1979; В.Н. Колесніков та ін., 1981; В.Г. Конашов, 1989; А.І. Лапчук, 1990; П.Ф. Решетарський, 1998; Л.П. Проць, Є.М. Левенштейн, Р.Р. Гасій та ін., 2002). За результатами робіт був сформований Павлоградсько-Петропавлівський вуглепромисловий район з діючими вугільними шахтами [5, 28].

В ході геологічного вивчення встановлено, що палеозойський структурний поверх Західного Донбасу складений вугленосними породами нижнього та середнього карбону, які під малими кутами моноклінально занурюються на північний схід ("Південна монокліналь", рис. 3, 4). Монокліналь на північному фланзі перекрита тонкими відкладами мезозою (юрі та тріасу). Вони виклинюються на південь під суцільним малопотужним горизонтально-шаруватим чохлам кайнозойських відкладів (палеоген, неоген).

За даними численних вуглерозвідувальних свердловин Західного Донбасу встановлено, що підосва кайнозою в його межах залягає горизонтально – перепади відміток цієї підосви значно менші, ніж перепади висот сучасного рівнинного рельєфу. Але на південний захід від Південної монокліналі у полях розвитку докембрійських метаморфітів і утвореної по ним ПДМЗ встановлено неотектонічне підняття підосви кайнозою (рис. 3) з амплітудою більше 100 м і розміром при-



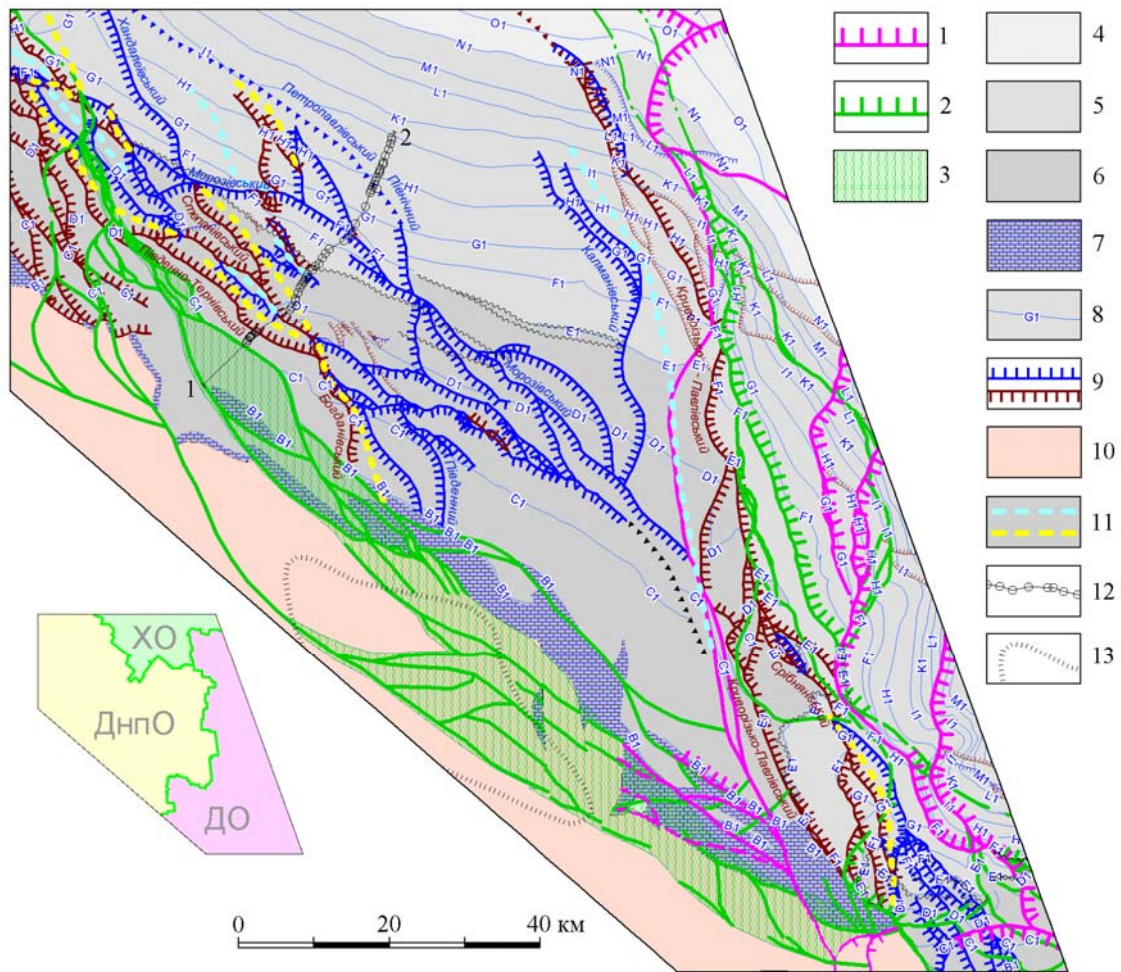


Рис. 3. Геологічна карта палеозойського поверху Західного Донбасу.

На карті: 1 – ларамійські розривні порушення північно-західної вергентності; 2 – герцинські насуви південно-західної вергентності; 3 – Південно-Донбаська меланжева зона; 4–6 – вугленосні відклади карбону: 4 – верхнього, 5 – середнього, 6 – нижнього; 7 – карбонатна товща нижнього карбону; 8 – маркуючі ("світні") вапняки карбону; 9 – скиди рифтового етапу згідні (бурі) та незгідні (сині); 10 – кристалічний докембрійський фундамент; 11 – вісі грабенів (жовті) та горстів (блакитні); 12 – бурові свердловини та положення геологічного розрізу 1–2; 13 – контур неотектонічного підняття [19].

На врізці: ХО – Харківська, ДнПО – Дніпропетровська, ДО – Донецька області /

Fig. 3. Geological map of the Paleozoic floor of Western Donbass.

On the map: 1 – Laramie thrusts of the northwestern vergence; 2 – Hercynian thrusts of southwestern vergence; 3 – Southern Donbas melange zone; 4–6 – Carboniferous carbonaceous deposits: 4 – upper, 5 – middle, 6 – lower; 7 – carbonate layers of the Lower Carboniferous; 8 – marking Carboniferous limestones; 9 – compatible (brown) and incompatible (blue) faults of the rift stage; 10 – crystalline Precambrian foundation; 11 – axes of grabens (yellow) and horsts (blue); 12 – drilling wells and the position of the geological section 1–2; 13 – contour of neotectonic uplift [19].

On the inset: ХО - Kharkiv, ДнПО - Dnipropetrovsk, ДО - Donetsk region

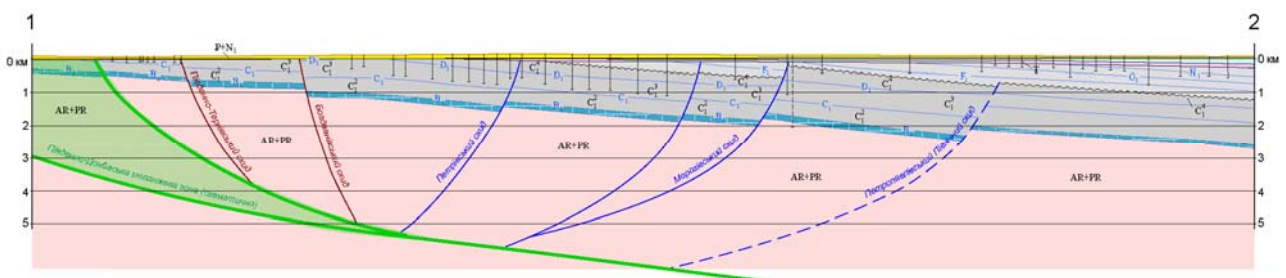


Рис. 4. Геологічний розріз за лінією 1-2 / Fig. 4. Geological section along line 1-2

близно 40×20 км [19]. Його природа поки що не зрозуміла.

В межах палеозойської Південної моноклинали встановлені численні скиди з відносно невеликими амплітудами. Власне, вони й визначають структурний план палеозойського структурного поверху району. Скидові дислокації карбону спеціально вивчалися у відношенні водо- та газоносності, а також гірничо-геологічних властивостей. Вони виступають у ролі природних меж шахтних полів Павлоградсько-Петропавлівського вуглепромислового району.

Скиди території мають форми, дуговидні у плані. По простяганню вони розгалужуються або зливаються один з одним, утворюючи сітку лускувато-лінзовидної морфології загалом північно-західного простягання (рис. 3). Встановлені падіння скидів виявились різноманітними, що автоматично поділило їх на дві групи:

- ті, що мають падіння на північний схід, в той самий бік, що і падіння свит карбону, тобто до центральної частини ДДЗ ("згідні"); до них відносяться Південно-Гернівський, Богданівський, Сепанівський, Криворізько-Павлівський і інші дрібні скиди;

- ті, що мають протилежне падіння на південний захід, від центральної частини ДДЗ в бік Українського щита ("незгідні"): Хандалеївський, Морозівський, Південний та інші скиди.

Характерно, що скиди за падінням моноклинали в полях середнього карбону стають менш амплітудними, а у полях верхнього карбону майже не спостерігаються, незважаючи на щільну сітку розвідувального буріння. Це вказує на консидиментаційний розвиток скидів протягом карбону.

Просторове чергування "згідних" та "незгідних" скидів обумовлює розбитість Південної моноклинали на горсти та грабени північно-західного простягання. Їхні вісі та назви деяких скидів показано на рис. 3, 4.

Зі сходу Південна моноклинали закінчується широким горстом. Він обмежений зі сходу високоамплітудним "згідним" Криворізько-Павлівським скидом, а з заходу – "незгідними" Калманівським та Морозівським скидами. Західне крило горсту системою незгідних лістричних скидів обмежує низку дрібніших грабенів та горстів аналогічного північно-західного простягання.

**Невирішена частина загальної проблеми.** Формування ДДЗ, як і будь-якого континентального рифту, відбувалось за рахунок утворення та розвитку консидиментаційних грабенів на кристалічному фундаменті. Грабени, що за звичай мають сітководні розгалуження, розділяються горстами. І горсти, і грабени обмежуються скидами. У Західному Донбасі (Павлоградсько-Петропавлівський та Лозівський вуглепромислові райони)

вуглерозвідувальними та вуглевидобувними роботами у кам'яновугільних відкладах встановлено саме таку серію грабенів та горстів.

За означенням, для скидів висячий (скинутий) блок є зануреним по відношенню до лежачого. Лістричне ешелонування однаково направлених скидів формує все більш занурені блоки (в бік падіння скидової серії). Найбільш занурені блоки, обмежені скидами, що падають назустріч один одному, є донними частинами грабенів. Вони розміщуються гіпсометрично нижче, ніж "плечі" грабенів або верхівки суміжних горстів.

Для "згідних" скидів Південної моноклинали така картина спостерігається на розрізі лише частково (рис. 4). У "незгідних" скидів висячі блоки також є скинутими, тобто зануреними, відносно лежачих. Але в цілому видно, що у лістрично ешелонованих серіях "незгідних" скидів найбільш структурно занурені (скинуті) блоки донних частин грабенів виявляються розміщеними в розрізах гіпсометрично набагато (на 1–3 км) вище, ніж незанурені блоки верхівок горстів. Така геологічна ситуація є аномальною.

**Мета статті** – виявлення причин аномального структурного положення грабен-горстової системи у сучасній геологічній структурі південного борту ДДЗ ("Південної моноклинали"). Також важливо показати, як ця аномальність узгоджується з загальною моделлю геологічної будови Східної України.

**Матеріали і методи дослідження.** Аналіз геологічної будови досліджуваної території опирався на геологічні матеріали, отримані при складанні детальних геологічних карт території, а також при вивченні 30 шахтних полів і 60 ділянок пошукових та розвідувальних робіт Павлоградсько-Петропавлівського, Лозівського, Красноармійського, Південно-Донбаського вуглепромислових районів Донбасу. Для складання геологічної моделі території було залучено більше 390 геологічних розрізів, побудованих за даними більш ніж 10 тисяч пошукових та розвідувальних свердловин. З них 265 свердловин розкрили ті скиди, що аналізуються. Додатково використовувались матеріали вивчення маркового складу вугілля [22], які відображають ступінь катагенетичних перетворень осадового розрізу. Геологічні побудови проводились стандартними методами структурної геології у програмному середовищі ГС MapInfo.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Згідно геологічних побудов (рис. 3), вісі горстів та грабенів в північно-західній частині території приблизно паралельні простяганню Південної моноклинали. У південно-східному напрямку вони розгортаються на південь і здійснюються вгору. В результаті донні частини грабенів вихо-

дять на рівень післяпалеозойського ерозійного зрізу. Таким чином, амплітуди підняття горстово-грабенової системи зростають на південний захід, де починають наочно перевищувати амплітуди занурень, що утворились при палеозойському осадконакопиченні. Це вказує на післяскидову дислокованість горстово-грабенової системи в цілому. Сама ж структура Західного Донбасу показує, що ці підняття не супроводжувались складчастими деформаціями – горизонтально-шаруватий чохол у лістрично скинутих блоках розгорнуто у положисту монокліналь без складок (рис. 4).

Численними свердловинами Південно-Донбаська меланжева зона дрібноблокової будови попередньо простежена по південно-західному борту Західного Донбасу – вздовж його зчленування з Українським кристалічним щитом. В її межах встановлено просторове чергування блоків карбонатних порід нижнього карбону та метаморфічних

порід докембрію. Ширина виходу зони під підошву кайнозою подекуди перевищує 15 км. За своїм загальним падінням на північний схід вона продовжується під Південну монокліналь, підрізаючи її (рис. 4).

Такі просторові співвідношення герцинської Південно-Донбаської меланжевої зони з встановленими скидовими структурами горстів та грабенів на південному борті ДДЗ пояснюють аномальність структурної позиції горстів та грабенів Західного Донбасу. Вони розміщені у висячому блоці регіональної насувної структури і знаходяться у алохтонному заляганні. Насування по ПДМЗ на південний захід призвело до підйому південно-західного борту рифтової западини відносно її центральних частин. Це призвело до перекосу загальної горстово-грабенової системи тектонічних блоків у ту аномальну позицію, що спостерігається нині (рис. 5).

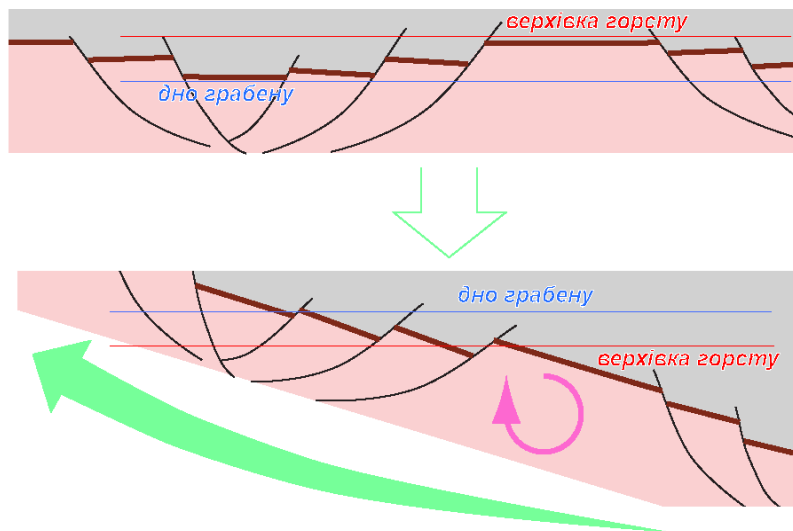


Рис. 5. Схема обертання скидів у аномальну структурну позицію /  
Fig. 5. Scheme of rotating faults to an anomalous structural position

Амплітуду вертикальної складової насування можна оцінити по катагенетичним перетворенням осадового розрізу Південної моноклінали. На ній на передтріасовий ерозійний зріз виведені вугільні пласти нижнього карбону. Вугілля Павлоградсько-Петропавлівського вуглепромислового району відноситься переважно до марки Г (газове). Згідно даним [22] таке вугілля формується на глибинах 3–3,5 км. Таким чином, вертикальна складова амплітуди насування Західного Донбасу на Український щит перевищує 3 км. Враховуючи, що кути насування по ПДМЗ становлять переважно  $10-15^{\circ}$  [7], істинну амплітуду насування може оцінити у 15–20 км.

Південно-Донбаська герцинська меланжева зона має неоднорідну будову вздовж простягання. Східніше Західного Донбасу, в зоні зчленування Східного Донбасу і Приазов'я, її форму-

вання відбулося вздовж падіння борту крупного рифтового грабену. В результаті там у складі перемішаних тектонічних блоків меланжу присутні не тільки породи докембрію, а й девону та карбону – тобто більш повного розрізу палеозою. Це відображене на державних геологічних картах тієї території.

На своєму продовженні вздовж борту ДДЗ на північний захід у Західному Донбасі меланжева зона зустріла велику неоднорідність фундаменту рифту – крупний горстовий блок з грабеново-горстовою будовою, покритий відкладами нижнього карбону. На цьому горсті відклади девону були відсутні, і тому вони відсутні і у складі тектонічних блоків ПДМЗ на ділянках Західного Донбасу.

Південно-Донбаська меланжева зона, обмежуючи горстовий блок з південного заходу, насу-

нула його як ціле на Український щит (рис. 4, 5). В результаті такого насування утворилась Південна монокліналь і аномальне положення загальної горстово-грабенової системи тектонічних блоків і її межах.

Вздовж східної окраїни цього горсту – Криворізько-Павлівського скиду – утворились окремі гілки герцинських насувів, що відокремлюються від меланжевої зони на північ (рис. 3). Вони обмежили цей алохтонний блок зі сходу і відокремили його від Кальміус-Торецької котловини, що розміщується східніше. Крім того, цей алохтонний блок як велика неоднорідність геологічної будови відобразився і при більш пізніх накладених ларамійських деформаціях північно-західної вергентності. Вздовж його східного обмеження проявились ларамійські лівобічні здвиги.

Таким чином, вздовж східного обмеження Південної монокліналі в одній вузькій тектонічній зоні розмістились скиди рифтового етапу, герцинські насуви та ларамійські лівобічні здвиги. Всі вони мають північно-західне простягання та північно-східне падіння. Розділити такі схожі розривні порушення за віком вдалось лише завдяки щільній сітці розвідувального буріння цієї зони.

Треба зазначити, що далі на північ ці три системи різновікових порушень просторово розходяться. Скиди рифтового етапу розгортаються на захід і затухають у обмеженні Південної монокліналі. Герцинські насуви продовжуються на північний захід. Ларамійські лівобічні здвиги на своєму північному продовженні розгортаються на

схід і переходять у дуговидні насуви, що ускладнюють суміжну Кальміус-Торецьку котловину.

**Наукова новизна.** Отримані результати дозволяють поповнити загальну насувну модель будови півдня Східної України та південного борту ДДЗ. Виявляється, що визначальним структурним елементом, який обумовлює будову палеозою Південної монокліналі, є Південно-Донбаська меланжева зона. Вона простежена вздовж південного борту ДДЗ на північний захід вже на 230 км від східного кордону України.

Структурне положення Південної монокліналі та її горстово-грабенової системи показує її розташування у алохтонному заляганні. Амплітуда цього насування становить перші десятки кілометрів. Це дає підставу прогнозувати наявність соленосних товщ девону, похованих під цим алохтоном. Про це опосередковано свідчить неотектонічне підняття докембрійських порід [19], про яке згадувалось (рис. 3). Воно схоже на соляний купол, але розміщене в області видимої відсутності девонських солей.

Таким чином, навіть у випадку відносно незначних на перший погляд деформацій палеозойських порід Південної монокліналі, Дніпровсько-Донецька "западина" проявляє себе у сучасній геологічній структурі не як рифт, а як післярифтова герцинська складчаста область. Вона сформована високоамплітудними насувами як по своєму північному, так і по південному борту (рис. 6).

Насувна модель не тільки приводить геофі-

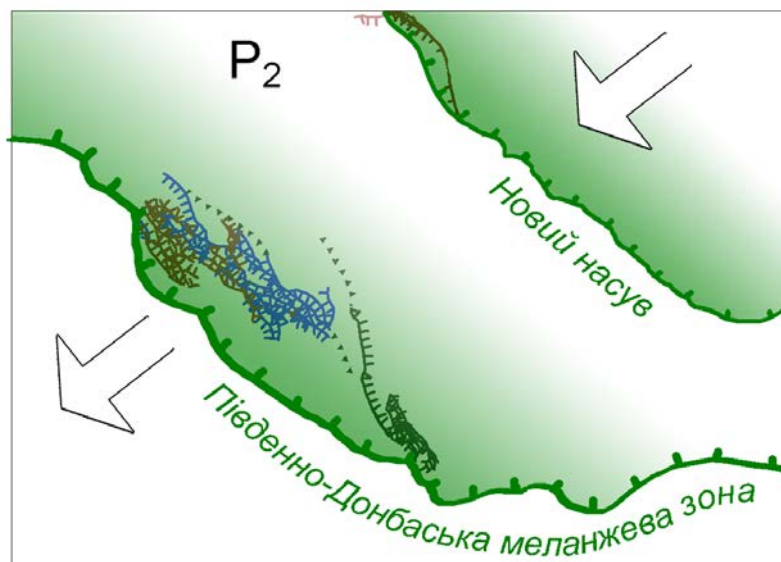


Рис. 6. Головні насуви похованої герцинської складчастої області Східної України /  
Fig. 6. Main thrusts of the buried Hercynian folded region of Eastern Ukraine

зичні параметри у відповідність до давно відомого геологічного (стратиграфічного, літологічного, фаціального) матеріалу, але й знаходить своє підтвердження фактичними даними.

Герцинський складчастий поверх похований під мезозойськими та кайнозойськими відкладами і додатково ускладнений ларамійськими та аттичними тектонічними рухами різної інтенсив-

ності в інших районах Східної України [6, 10, 13, 18]. Тому поняття "Дніпровсько-Донецька западина" відноситься тільки до палеотектонічної ситуації. Її можна реконструювати за даними про просторові зміни товщин палеозойських відкладів та про конседиментаційні скиди – при умові зняття накладених деформацій. Саме релікти структурного плану рифтового етапу розвитку ДДЗ спостерігаються на території Західного Донбасу.

**Висновки.** 1. Західний Донбас вивчений детальними геологорозвідувальними роботами. Під мезо-кайнозойським осадовим чохлам геологічна будова палеозою встановлена як слабо дислокована Південна монокліналь північно-східного падіння, подекуди порушена малоамплітудними конседиментаційними скидами ("згідними" та "незгідними").

2. Скиди сходяться та розгалужуються, і сумісно утворюють систему грабенів та горстів північно-західного простягання.

3. Вісі грабенів і горстів вигнуті у плані та здійснюються у південно-східному напрямку.

4. Горстово-грабенова система в цілому знаходиться у аномальній структурній позиції: у поперечному розрізі днища грабенів розташовані гіпсометрично вище, ніж верхівки суміжних горстів.

5. Така аномальна ситуація зумовлена розміщенням території у висячому крилі регіональної герцинської Південно-Донбаської меланжевої зони південно-західної вергентності.

6. Горстово-грабенова система Західного Донбасу разом з Південною монокліналлю представляє собою алохтон. Істинна амплітуда насунання алохтону у південно-західному напрямку

оцінюється у 15–20 км. Попри велику масштабність, ця структурна риса геологічної будови регіону не була оцінена в ході попередніх досліджень [20 та ін.].

7. Про велику амплітуду насунання опосередковано свідчить можливе збереження фрагменту девонської соленосної товщі під насунутими блоками кристалічного фундаменту. Сіль проявляє себе неотектонічним підняттям, проявленим положистою деформацією неогенових відкладів, підняттям сучасного рельєфу і формою ярово-балкової сітки [19].

8. Про герцинський вік насувних переміщень по Південно-Донбаській меланжевій зоні свідчить те, що мезозойські та кайнозойські відклади у її висячому крилі (над Південною монокліналлю) не деформовані, а перекривають її з розмивом.

9. Дніпровсько-Донецька западина в цілому завершила своє існування завдяки інтенсивному насувові і складкоутворенню ще у пізню перм, приблизно 250 млн. років тому (заальська фаза герцинської орогенії). На її місці зараз розміщується похована герцинська складчаста область (рис. 6). Вона виходить на поверхню на Донецькому кряжі і додатково ускладнена накладеними ларамійськими та аттичними деформаціями [7, 9–10, 12, 17, 29].

10. Насувна модель будови цієї герцинської складчастої області (колишньої ДДЗ) повністю узгоджується з наявними геологічними даними, наведеними геофізичними параметрами товщини земної кори та глибини залягання кристалічного фундаменту, а також з законами фізики (ізостатичної рівноваги, всесвітнього тяжіння тощо).

#### Список використаної літератури

1. Айзенберг Д.Е. Геологическое строение и газонефтеносность Днепровско-Донецкой впадины и северо-западных окраин Донецкого бассейна / Айзенберг Д.Е., Балуховский Н.Ф., Бражникова Н.Е. и др. – Киев : Изд-во АН УССР, 1954. – 822 с.
2. Айзенберг Д.Е. Геология и нефтегазоносность Днепровско-Донецкой впадины. Стратиграфия / Айзенберг Д.Е., Берченко О.И., Бражникова Н.Е. и др. / Под ред. Д.Е. Айзенберга; АН УССР, Ин-т геол. наук. – Киев : Наук. думка, 1988. – 148 с.
3. Геологічна карта докайнозойських утворень України. Масштаб 1:1000000 / Під ред. В.І. Калініна. – 2007.
4. Геологічна карта України. Масштаб 1:1000000 / Під ред. В.Я. Великанова. – 2007.
5. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР / Под ред. И.А. Кузнецова – Москва : Госгеолтехиздат. – 1963. – 1210 с.
6. Горяинов С.В. Об альпийском усложнении геологической структуры в различных регионах Украины / С.В. Горяинов // Доповіді НАНУ. – 1999. – №8. – С. 106–111.
7. Горяинов С.В. Новый прогнозный этаж газоносности в Юго-Западном Донбассе / С.В. Горяинов, В.В. Бережной, А.С. Тердовидов // Питання розвитку газової промисловості України : зб. наук. праць. – Харків : УкрНДІ-Газ, 2000. – С. 108–118.
8. Горяинов С.В. Тектонические особенности зоны сочленения Донбасса и Воронежского кристаллического массива / С.В. Горяинов // Питання розвитку газової промисловості України : збірник наукових праць. – Харків, 2002. – С. 143–147.
9. Горяинов С.В. О противоречиях геофизической модели строения Днепровско-Донецкой впадины // Вісн. Харк. нац. ун-та, № 620: Геологія – Географія – Екологія. – 2004. – С. 19–21.
10. Горяинов С.В. О ларамийском усложнении геологической структуры в различных регионах Украины / С.В. Горяинов // Доповіді НАНУ. – 2004. – №3. – С. 92–95.

11. Горяйнов С.В., Коренев В.В. Перекрестно-надвиговая структура зоны сочленения Донбасса с Приазовским блоком Украинского щита / С.В. Горяйнов, В.В. Коренев // Геологія та питання геологічного картування і вивчення докембрійських утворень Українського щита. Матеріали IV науково-виробничої наради геологів-зйомщиків України (8–12 жовтня 2007 р., м. Кривий Ріг). – Дніпропетровськ, 2007. – С. 102–104.
12. Горяйнов С.В. Метаморфические и метасоматические комплексы Приазовья и Южного Донбасса / С.В. Горяйнов, С.В. Аксенов, А.С. Алтухов, С.В. Воробьев, Е.П. Исаева, В.В. Коренев / Под ред. С.В. Горяйнова. – Харьков : Экограф, 2009. – 304 с.
13. Горяйнов С.В. Кайнозойские тектонические движения Восточной Европы / С.В. Горяйнов // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2013, №3 – С. 55–65.
14. Горяйнов С.В. Про будову розрізу палеозою Сентянівської ділянки за результатами буріння глибокої свердловини Сентянівська-10 / С.В. Горяйнов // Питання розвитку газової промисловості України. – Вип. 42, т. 1. – Харків: УкрНДІГаз: зб. наук. праць. – 2014. – С. 7–14.
15. Горяйнов С.В. Простеження Нового насуву параметричною свердловиною Тернівська-677 / С.В. Горяйнов // Питання розвитку газової промисловості України. – Вип. 42, т. 1. – Харків: УкрНДІГаз: зб. наук. праць. – 2014. – С. 14–17.
16. Горяйнов С.В. Нові результати дослідження глибоким бурінням геологічної будови палеозойського структурного поверху Північного Донбасу // Питання розвитку газової промисловості України. – Вип. 42, т. 1. – Харків: УкрНДІГаз: зб. наук. праць. – 2014. – С. 17–21.
17. Горяйнов С.В. Герцинские тектонические движения Восточной Украины // Новітні проблеми геології. Матеріали науково-практичної конференції до 100-річчя від дня народження В.П. Макрідіна (м. Харків, 21–23 травня 2015 р.) – Харків : Вид. Іванченка І.С., 2015. – С. 162–165.
18. Горяйнов С.В., Ковалев А.А. Особенности кайнозойской тектоники Восточной Европы и Ближнего Востока / С.В. Горяйнов., А.А. Ковалев – М. : Изд-во МГУ, 2019 – 28 с.
19. Горяйнов С. В. Альпійські тектонічні рухи і соляна тектоніка Східної України / С. В. Горяйнов // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 56. – С. 67–75. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-04>
20. Іваненко І.Е. Тектоника Донбасса (Павлоградско-Петропавловский район) / Іваненко І.Е., Комаров В.Е. – Днепропетровск : Укрюжгеология. – 1969.
21. Камалетдинов М.А. Шарьяжно-надвиговая тектоника литосферы / М.А. Камалетдинов, Т.Т. Казанцева, Ю.В. Казанцев, Д.В. Постников. – М.: Наука, 1991. – 255 с.
22. Карта метаморфизма углей Донецкого бассейна (1 : 500 000) / М.Л. Левенштейн, О.И. Спирина и др. – Артемовск : Донбассгеология, Артемовская ГРЭ, 1990.
23. Металогенічна карта України. Масштаб 1:1000000 / Під ред. Д.С. Гурського. – 2004.
24. Стратиграфія верхнього протерозою, палеозою та мезозою України / під ред. П.Ф. Гожика. – Київ : ІГН НАН України. – Логос, 2013. – 637 с.
25. Структурная карта поверхности кристаллического фундамента ДДВ / Т.И. Гоцалюк, М.Г. Малюта, Л.М. Мельник // Атлас геологического строения и нефтегазоносности Днепровско-Донецкой впадины / Под ред. Ю.А. Арсиря, В.А. Витенко, А.М. Паляя, А.Г. Ципко. – Киев : УкрНИГРИ. – 1984.
26. Тектонічна карта України. Масштаб 1:1000000 / Під ред. С.С. Круглова, Д.С. Гурського. – 2007.
27. Шемет В.Г. Результаты узагальнення геолого-геофізичних матеріалів по Північному борту ДДЗ : Звіт про НДР (заключний) / В. Шемет, В. Омельченко. – ДГЕ "Дніпрогеофізика", 2004.
28. Шульга В.Ф. Нижнекарбонная угленосная формация Донецкого бассейна / Шульга В.Ф. – М. : Наука. – 1981. – 176 с.
29. Goryainov S. Metamorphic and metasomatic complexes of the Ukrainian shield. Priazovye and Southern Donbass. – ScienciaScripts, 2021. – 291 p. <https://www.morebooks.shop/store/ru/book/metamorphic-and-metasomatic-complexes-of-the-ukrainian-shield/isbn/978-620-4-27127-9>

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

## Anomalous position of Paleozoic faults of Western Donbas

*Sergey Goryainov*<sup>1</sup>,

PhD (Geology and Mineralogy), Associate Professor,  
Department of Fundamental and Applied Geology,

<sup>1</sup> V.N. Karazin Kharkiv National University,  
4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine;

*Ihor Udalov*<sup>1</sup>,

DSc (Geology), Professor,

Department of Fundamental and Applied Geology

### ABSTRACT

**Statement of the general problem.** The oil and gas-bearing province of Eastern Ukraine is located in the Dnipro-Donetsk Basin (DDB). It covers the Paleozoic structural floor and is buried under younger sediments. The Paleozoic structural floor of the territory is represented as a long rift graben. The maximum thickness of the sedimentary cover in the graben is 15–17 km. According to geophysical data, the thickness of the earth's crust is 31–32 km under the axial part of the DDB and increases towards the sides. But according to the maximum thickness and facies characteristics of the Paleozoic deposits, the thickness of the Earth's crust below them could not exceed 20 km. The modern thickness is 1.5 times higher. Therefore, such a geological-geophysical model of the structure of the DDB is contradictory.

**Analysis of recent research and publications.** The removal of the contradiction is possible due to the detection of a series of Hercynian thrusts with total amplitude of thrusts of the order of 50 km. Such thrusts began to be established on the northern and southern flanks of the DDB. Hercynian thrusts have a southwestern vergence. In the north, the Voronezh crystalline massif is pushed onto the DDB along the Noviy thrust with an amplitude of 9–10 km. In the south, the South Donbas melange zone is established, which pushes the folded Donbas onto the Ukrainian shield. On its continuation to the northwest is the southern side of the DDB - the so-called Southern monocline. The well-studied Pavlograd-Petro-pavlovsk coal mining district of Western Donbas with operating coal mines is located within its borders.

**An unsolved part of the overall problem.** Numerous faults with relatively small amplitudes are established within the Paleozoic Southern Monocline. Together, they form a system of horsts and grabens with a north-western extension. But the bottom parts of the grabens are 1–3 km *higher* than the tops of the horsts. Such a geological situation is anomalous. This indicates the post-fault dislocation of the horst-graben system as a whole.

**The purpose of the article** is identification of the causes of the anomalous structural position of the graben-horst system in the modern geological structure of the Southern Monocline and in the general model of the geological structure of Eastern Ukraine.

**Research materials and methods.** Were involved more than 390 geological sections, constructed based on the data of more than 10,000 wells. Of them, 265 wells revealed the folds that are being analyzed. In addition, were used data of catagenetic transformations of the sedimentary section.

**Presentation of the main research material.** The South Donbas mélangé zone falls to the northeast and continues under the Southern Monocline. It is located in the upper block of this regional thrust structure and is in an allochthonous setting. According to geological data, the true amplitude of the thrust of Western Donbas on the Ukrainian shield is 15–20 km, and the vertical component of this amplitude exceeds 3 km. Such spatial parameters explain the abnormality of the structural position of the horsts and grabens of Western Donbas - their southwestern flanks were significantly raised relative to the northeastern flanks during thrusting.

**Scientific novelty.** Therefore, in the modern geological structure, the Dnipro-Donetsk "basin" is not a rift, but a post-rift Hercynian folded region. It is formed by high-amplitude thrusts on the northern and southern flanks. The Hercynian fold region is buried under Mesozoic and Cenozoic sediments and is further complicated by Laramian and Attic fold-thrust dislocations of lesser intensity.

**Conclusions.** The thrust model brings the geophysical parameters into the correspondence with the geological data and is confirmed by the actual material.

**Keywords:** Dnipro-Donetsk Basin, Western Donbas, fault, Hercynian folded region.

### References

1. Aizenverg D.E. et al. (1954) *Geological structure and gas and oil content of the Dnieper-Donetsk depression and the northwestern outskirts of the Donetsk basin*. Kyiv, Publishing House of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, 822 [in Russian].
2. Aizenverg D.E. et al. (1988). *Geology and oil and gas potential of the Dnieper-Donets depression*. Stratigraphy. Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, Institute of Geol. Sciences. Kyiv, Nauk. Dumka, 148 [in Russian].
3. *Geological map of pre-Cenozoic formations of Ukraine (2007)*. Scale 1:1000000 / Ed. V.I. Kalinin. [in Ukrainian].
4. *Geological map of Ukraine (2007)*. Scale 1:1000000. Ed. V.Ya. Velikanov [in Ukrainian].
5. *Geology of coal and oil shale deposits in the USSR (1963)*. Ed. I.A. Kuznetsov. Moscow, Gosgeoltekhizdat, 1210 [in Russian].
6. Goryainov S.V. (1999). *On the Alpine complication of the geological structure in various regions of Ukraine*. Reports of the National Academy of Sciences, 8, 106-111 [in Russian].

7. Goryainov S.V. et al. (2000). New predictive level of gas content in the South-Western Donbass. *Issues of the development of the gas industry of Ukraine, coll. of science works*. Kharkiv, UkrNDIGaz, 108–118 [in Russian].
8. Goryainov S.V. (2000). Tectonic features of the junction zone between the Donbass and the Voronezh crystalline massif. *Issues of the development of the gas industry of Ukraine, coll. of science works*. Kharkiv, UkrNDIGaz, 143–147 [in Russian].
9. Goryainov S.V. (2004). On the contradictions of the geophysical model of the structure of the Dnieper-Donetsk depression. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology–Geography–Ecology" (620)*, 19–21 [in Russian].
10. Goryainov S.V. (2004). On the Laramian complication of the geological structure in various regions of Ukraine. *Reports of the National Academy of Sciences*, 3, 92–95 [in Russian].
11. Goryainov S.V., Korenev V.V. (2007). Cross-thrust structure of the junction zone of the Donbass with the Azov block of the Ukrainian shield. *Geology and issues of geological mapping and study of Precambrian formations of the Ukrainian shield. Materials of the 4th scientific and industrial meeting of geologists-surveyors of Ukraine (October 8–12, 2007, Kryvyi Rih)*. Dnipropetrovsk, 102–104 [in Russian].
12. Goryainov S.V. et al. (2009). Metamorphic and metasomatic complexes of the Pripet region and Southern Donbass. *Kharkov, Ecograph*, 304 [in Russian].
13. Goryainov S.V. (2013). Cenozoic tectonic movements of Eastern Europe. *Geology and minerals of the World Ocean*, 3, 55–65 [in Russian].
14. Goryainov S.V. (2014). On the structure of the Paleozoic section of the Sentyanivska site based on the results of drilling the deep well Sentyanivska-10. *Issues of the development of the gas industry of Ukraine*. Kharkiv, UkrNDIGaz, coll. of science works, 42, 1, 7–14 [in Ukrainian].
15. Goryainov S.V. (2014). Tracing of the New thrust with the parametric borehole Ternivska-677. *Issues of the development of the gas industry of Ukraine*. Kharkiv, UkrNDIGaz, coll. of science works, 42, 1, 14–17 [in Ukrainian].
16. Goryainov S.V. (2014). New results of the study of the geological structure of the Paleozoic structural floor of the Northern Donbas by deep drilling. *Issues of the development of the gas industry of Ukraine*. Kharkiv, UkrNDIGaz, coll. of science works, 42, 1, 17–21 [in Ukrainian].
17. Goryainov S.V. (2015). Hercynian tectonic movements of Eastern Ukraine. *Latest problems of geology. Materials of the scientific and practical conference for the 100th anniversary of the birth of V.P. Makridin (Kharkov, May 21–23, 2015)*. Kharkiv, Ivanchenko, 162–165 [in Russian].
18. Goryainov S.V., Kovalev A.A. (2019). *Features of the Cenozoic tectonics of Eastern Europe and the Middle East*. Moscow. Publishing House of Moscow State University, 2019, 28. [in Russian]
19. Goryainov S. V. (2022). Alpine tectonic movements and salt tectonics of Eastern Ukraine. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology" (56)*, 67–75. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-04> [in Russian].
20. Ivanenko I.E., Komarov V.E. (1969). *Tectonics of Donbass (Pavlograd-Petropavlovsk region)*. Dnepropetrovsk, Ukryuzhgeology [in Russian].
21. Kamaletdinov M.A. et al. (1991). *Sharyazh-thrust tectonics of the lithosphere*. M., Nauka, 255 [in Russian].
22. Levenshtein M.L., Spirina O.I. et al. (1990). *Map of coal metamorphism in the Donets Basin (1:500000)*. Artemovsk, Donbassgeology, Artemovskaya GRE [in Russian].
23. *Metallogenic map of Ukraine (2004)*. Scale 1:1000000. Ed. D.S. Gursky [in Ukrainian].
24. *Stratigraphy of the Upper Proterozoic, Paleozoic and Mesozoic of Ukraine (2013)*. Ed. P.F. Gozhik. Kyiv, IGN NAS of Ukraine, Logos, 637 [in Ukrainian].
25. *Structural map of the surface of the crystalline basement DDV (1984)*. Atlas of the geological structure and oil and gas potential of the Dnieper-Donetsk depression. Kyiv, UkrNIGRI [in Russian].
26. *Tectonic map of Ukraine (2007)*. Scale 1:1000000. Ed. S.S. Kruglov, D.S. Gursky [in Ukrainian].
27. Shemet V.G., Omelchenko V. (2004). Results of the generalization of geological and geophysical materials on the Northern side of the DDZ. Report on the GRW (final). *DGE Dniprogeofizika* [in Ukrainian].
28. Shulga V.F. (1981). Lower Carboniferous coal-bearing formation of the Donetsk Basin. Moscow, Science, 176 [in Russian].
29. Goryainov S. et al. (2021). Metamorphic and metasomatic complexes of the Ukrainian shield. *ScientiaScripta*, 291. <https://www.morebooks.shop/store/ru/book/metamorphic-and-metaso-matic-complexes-of-the-ukrainian-shield/isbn/978-620-4-27127-9>

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work

Received 15 March 2023

Accepted 27 May 2023



## Відновлення вуглеводневих покладів родовищ України

Ярослав Лазарук

д. геол. н., гол. наук. співробітник відділу геології нафти і газу,  
Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України,  
вул. Наукова, 3а, м. Львів, 79060, Україна

e-mail: [lazarukjaroslav@gmail.com](mailto:lazarukjaroslav@gmail.com),  <https://orcid.org/0009-0002-2016-3424>

Останнім часом набуває популярності теорія дегазації Землі. З'являється все більше аргументів на користь того, що у багатьох нафтогазоносних провінціях світу поклади нафти і газу постійно поповнюються завдяки міграції вуглеводнів по трубах дегазації. Розрахунками встановлений відносно молодий вік вуглеводневих покладів планети. За результатами зростання пластів тисків відпрацьованих газоконденсатних покладів та повторних підрахунків запасів вуглеводнів Шебелинського, Чорнухинського, Білоусівського та Пролетарського родовищ Дніпровсько-Донецької западини автор робить висновок про поповнення покладів внаслідок вертикальної міграції нафти і газу, наводить ймовірні масштаби регенерації покладів. Геолого-геофізичні та геохімічні дослідження, результати промислової розробки Східноказантипського і Північнобулганського газових родовищ Індоло-Кубанського прогину теж свідчать про їхнє ймовірне підживлення з глибини. Ймовірно, що основними каналами надходження вуглеводнів до покладів є глибинні розломи. Поповнення запасів газу окремих родовищ Дніпровсько-Донецького басейну за підтвердженими фактами необхідний моніторинг, тому виведені з експлуатації свердловини доцільно не ліквідувати, а законсервувати або передати у фонд спостережних свердловин, періодично вимірюючи пластів тиск і визначаючи характер флюїдонасиченості відпрацьованих покладів. Для визначення каналів дегазації та картографування ділянок з високим рівнем природного поповнення покладів доцільно використовувати методи польової геофізики та геохімічних досліджень територій.

**Ключові слова:** дегазація Землі, регенерація вуглеводневих покладів, вуглеводневі флюїди, нафта, газ, породи-колектори.

**Як цитувати:** Лазарук Ярослав. Відновлення вуглеводневих покладів родовищ України / Ярослав Лазарук // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 58. – С. 49-58. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-04>

**In cites:** Lazaruk Yaroslav (2023). Regeneration of deposits of hydrocarbon fields of Ukraine. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (58), 49-58. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-04> [in Ukrainian]

**Постановка проблеми.** Під час воєнних дій та повоєнної відбудови народного господарства Україні вкрай необхідні енергоносії та паливно-мастильні матеріали, сировиною для яких є вуглеводні. У воєнний час суттєво сповільнилися темпи геологорозвідувальних робіт на нафту і газ: не відкриваються нові родовища, не споруджуються в необхідній кількості експлуатаційні свердловини. Певні перспективи підтримання нафтогазовидобутку можливі за рахунок природного відновлення виснажених покладів відомих родовищ. У нафтогазоносних басейнах світу відомі приклади збільшення запасів вуглеводнів родовищ, пов'язаних як з відкладами осадового чохла, так і фундаменту, в результаті підтікання флюїдів з глибини. Такі процеси помічені і на українських родовищах. Однак це питання вивчене недостатньо і потребує подальших досліджень.

**Аналіз публікацій за темою досліджень.** Сучасне формування відкритих гідродинамічних систем, до яких належать нафтогазові поклади, вимагає використання нових геологічних пара-

дигм та постулатів так званої «нелінійної нафтогазової геології» [14]. Створення теоретичної основи процесу відновлення запасів вуглеводнів у покладах, що знаходяться в розробці, можливе лише з урахуванням явища глибинної дегазації Землі – глобального процесу саморозвитку планети, що визначає формування та розвиток високоентальпійних і високонапірних флюїдних систем, які породжують різноманіття геологічних подій [11, 19, 29]. Аналіз нових концепцій та моделей нафтидогенезу, що виникли упродовж останніх десятиліть і активно розвиваються сьогодні, показує, що в основі кожної з них лежать різні види проявлення глибинної дегазації Землі.

Понад століття тому [5] нашим співвітчизником В. І. Вернадським запропонована концепція виходу легких речовин до поверхні Землі внаслідок дегазації її надр під назвою "газового дихання планети".

Теорія дегазації Землі [11], теорія абіогенного синтезу вуглеводнів [10, 22, 39, 41], «флюїдодинамічні» концепції [25, 21], твердження про

насичення воднем ядра і мантії Землі [42], конденсаційна модель [2], модель розвитку відновлених флюїдних систем фундаменту та осадового чохла [6], теорія нафтидогенезу [14] відводять мантійному джерелу – глибинному ендегенному фактору – або абсолютну, або домінуючу роль у формуванні родовищ вуглеводнів.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Явище регенерації вуглеводневих покладів українських родовищ згадувалося в основному в теоретичному аспекті, без достатнього обґрунтування фактичним матеріалом та без оцінки масштабів поповнення покладів.

**Мета досліджень.** Аргументувати фактичними матеріалами регенерацію покладів конкретних родовищ, оцінити ймовірні об'єми їх поповнення, визначити методи геологічних досліджень для оконтурювання зон підживлення вуглеводневих покладів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Отримання нових знань і формування нових уявлень про геодинаміку, тектонічне розшарування земної кори, формування та розвиток зон тріщинуватості в осадовому чохла та фундаменті нафтогазоносних басейнів дали змогу розглядати макроскупчення нафти і газу в аспекті флюїдодинамічних процесів з позиції глибинної будови кори та мантії. Аномальна будова та енергетична нестійкість верхньої мантії і земної кори під великими вуглеводневими скупченнями виявлені різними геофізичними методами та відображені у багатьох роботах [3, 20, 26]. Відповідно до поглядів О. Ю. Лукіна, помилково розглядати осадовий чохол в основному як ізольовану, самодостатню, закриту систему, в якій перетворення органічної речовини призводить до нафто- та газонакопичення. Насьогодні отриманий великий обсяг геолого-геофізичної інформації, що характеризує осадову облонку Землі як відкриту, термодинамічно нерівноважну, нестійку систему з нелінійним характером розвитку. Обов'язовим її атрибутом є обмін речовиною та енергією з оточуючим геологічним середовищем, що забезпечує функціонування системи в активному режимі [14].

Утворення та переформування родовищ вуглеводнів є наслідком розвитку наскрізьформаційних флюїдних систем у трубах дегазації [19]. Концепція підживлення нафтогазових покладів та поповнення їхніх запасів визначається основними аспектами плюмтектоніки. Вона передбачає існування суперплюмів – «гігантських відщеплень речовини і енергії від зовнішнього ядра Землі, які досягають земної поверхні» [9]. У літосфері проривається значна кількість флюїдів, б'єм яких зіставляється з об'ємом метаморфізованих порід [35]. Площа проникнення суперплюмів у літосферу може досягати тисяч квадратних кіло-

метрів. Їхня еволюція супроводжується структурною трансформацією породних масивів, змінами термобаричних режимів, геодинамічної і флюїдодинамічної активності. Плюмам відповідають різні за розмірами і віком басейни з характерними літогеодинамічними показниками (інтенсивний галогенез, нагромадження чорносланцевих товщ та ін.). Плюми визначають найбільші металогенічні та нафтогазоносні провінції.

З точки зору нафтидогенезу плюми розглядаються як труби дегазації Землі [29]. Основу плюма становить глибинний флюїд – полікомпонентний гелієво-воднево-метановий надстиснутий газ. Його дифузійно-фільтраційне проникнення через системи геологічних формацій [14, 15] зумовлює різноманітні метасоматичні перетворення порід, характер і інтенсивність яких, з одного боку, визначаються властивостями (у залежності від ступеня окиснення) флюїду, а з іншого – речовинним складом, структурно-текстурними і петрофізичними особливостями породного субстрату, в який проникає флюїд [13]. Таким чином плюмтектоніка забезпечує природний гідророзрив порід верхніх шарів літосфери, формуючи природні резервуари і одночасно заповнюючи їх вуглеводневими флюїдами. Найбільш сприятливими для формування вторинних колекторів вважаються крихкі породи: кварцито-пісковики і органогенні вапняки. У результаті виникають великі масивні поклади вуглеводнів, приурочені до розущільнених порід кристалічного фундаменту, чорносланцевих і рифогенно-карбонатних формацій. Така концепція може призвести до зміни парадигми пошукових робіт уже в недалекому майбутньому [17].

Глибинні флюїди можуть проникати до дна морів та земної поверхні. На дні морів і океанів відомі неглибокі округлі або витягнуті западини розміром десятки-перші сотні метрів. Останнім часом вони виявлені у великих кількостях в Атлантичному океані поблизу берегів Західної Африки [40], на північний захід від Іберійського півострова [35], біля східного узбережжя Канади [32], у Середземному морі поблизу гирла р. Ніл [38] і багатьох інших місцях. Геофізичними дослідженнями біля берегів Західної Африки [40], в Норвезькому морі [33] та інших акваторіях встановлено, що під западинами зазвичай знаходяться вертикальні газопровідні канали (труби), які простягаються на значні глибини. Багато з них з'єднуються з розломами земної кори. Ймовірний механізм формування каналів описаний в [33]. Цими каналами газ мігрує до дна басейнів, де проявляється струменевими газопроявами у товщі води.

На підтікання вуглеводнів з глибин у води Чорного моря вказують дослідження, проведені в

1988 р. американським науково-дослідним судном "Кнорр". У придонних шарах води зафіксована концентрація метану до 11 мікромолів. Розрахунки показали, що у водах Чорного моря міститься 80 млрд м<sup>3</sup> метану.

Дослідження природних нафтових виливів у Мексиканській затоці доводять, що кожні десять років з дна моря на поверхню витікає 40 млн л нафти [37]. Вона є продуктом сучасного нафтогазоутворення і тією часткою, що не захоплюється пастками і проривається на поверхню акваторії.

Ілюстрацією поступлення вуглеводнів з глибинних надр до земної поверхні є грязьові вулкани Керченського півострова. Їх тут понад п'ять десятків, вони різні за розміром та активністю, вони постійно вирують і вивергають грязь та метановий газ. У Західному нафтогазоносному регіоні відомий грязьовий вулкан в с. Старуна Івано-Франківської області, який виділяє газ, воду, глинисту пульпу, а часом – і нафту. Він утворився в 1977 р. під час землетрусу з епіцентром в Румунії. Відтоді вулкан існує постійно, реагуючи на будь-яку сейсмічну активність, навіть дуже віддалену. Поверхневі проявлення вуглеводнів у Складчастих Карпатах відомі упродовж декількох століть. В. Є. Шлапінським закартовані 437 природних виходів нафти, газу та бітумів [30, 31]. Найбільша їх концентрація зафіксована на границі Скибового та Кросненського покривів на північному заході Карпат поблизу польської границі, у межах скиб Парашка-Зелем'янка-Рожанка та в зоні зчленування Чорногорського і Турківського субпокривів Кросненського покриву. Границями згаданих структурних одиниць є насуви, тобто вуглеводневі прояви приурочені переважно до тектонічних порушень. Таким чином можна висловити припущення, що зони підтікання флюїдів перш за все пов'язані з глибинними розломами.

Теоретично проблему поновлення запасів нафти і газу вперше обґрунтував В. А. Соколов – засновник прямого геохімічного методу пошуків родовищ нафти і газу, відомого як газова зйомка [24]. Виконані ним підрахунки показали, що внаслідок дифузії всі родовища упродовж геологічного часу втрачають величезні кількості вуглеводнів, а існування покладів нафти і газу можливе тільки за умов підтікання все нових порцій вуглеводнів. Родовища нафти і газу є системами, що постійно змінюються. Внаслідок дифузії з родовищ до земної поверхні безперервно проникають вуглеводневі флюїди. Згаданим автором підраховано, що за 200 млн років родовище нафти чи газу, яким би великим воно не було, повинно розсіятися. Наявність родовищ у древніх породах свідчить про постійне підтікання нафти і газу в ці породи.

В літературі опубліковано ряд праць стосов-

но відновлення запасів вуглеводнів виснажених родовищ у різних нафтогазоносних басейнах світу. Достатньо повна інформація з цього питання підібрана В. І. Созанським [23]. Він навів матеріали, що на підтікання нафти з глибин в пласти, які є об'єктами розробки, звернув увагу понад століття назад грозненський геолог Л. І. Баскаков. Проаналізувавши історію розробки середньоміценових покладів Старогрозненського нафтового родовища, він довів, що кількість видобутої з родовища нафти не могла вміститися в об'ємах покладів. Та й на інших родовищах об'єднання "Грознефть" відзначалося додаткове надходження нафти, тому за результатами розробки запаси окремих родовищ перераховувалися в бік збільшення по декілька разів.

За результатами розробки одного з найбільших у світі Ромашкинського нафтового родовища з видобувними запасами 2,4 млрд т геологи Татарстану теж зробили висновок про відновлення покладів внаслідок підтікання вуглеводнів з глибинних надр [20].

Відомі факти поповнення запасів родовищ нафти і газу і в Україні. П. М. Чепіль наводить декілька прикладів родовищ Дніпровсько-Донецької западини, в яких помічена регенерація вуглеводневих покладів [28]. На думку В. І. Созанського [23] про сучасне формування газоконденсатних покладів Рудівсько-Червонозаводського родовища свідчить розподіл пластових тисків: за висоти поверху газоносності понад 2000 м коефіцієнт аномальності тиску в турнейських покладах дорівнює 1,45, а в низах верхньовізейського ярусу – лише 0,95-0,97. До регенованих родовищ належить, очевидно, і Шебелинське газоконденсатне родовище. За період розробки станом на 1988 р. тиски в покладах родовища зменшилися майже вдесятеро, внаслідок чого щорічні відбори газу з початкових 5,5 млрд м<sup>3</sup> зменшилися до 2,5 млрд м<sup>3</sup>. Після зниження рівня видобутку газу в період 1989-1990 р.р. у всіх свердловинах родовища пластові тиски почали зростати. В останні роки з родовища щорічно видобувається 1,6-2,0 млрд м<sup>3</sup> газу. За таких темпів відбору газу пластові тиски практично стабілізувалися. Характерною особливістю розробки родовища є збільшення з часом відборів газу на одиницю зниження пластового тиску. Якщо в початковий період (1956-1971 р.р.) відбір газу на 1 МПа зниження тиску становив у середньому 22,6 млрд м<sup>3</sup>, то в 1972-1988 рр. він зріс до 35,9 млрд м<sup>3</sup>, а на останньому етапі розробки родовища досягнув 158,4 млрд м<sup>3</sup>. Не заперечуючи можливість поповнення покладів газом з глибин, зазначимо, що крім цього в результаті зменшення пластових тисків газ можуть віддавати і низькопористі колектори, які не були враховані при оцінці запасів

вуглеводнів. Тим не менше, з часу відкриття Шелінського родовища його запаси постійно перераховуються у бік збільшення: від 360 млрд м<sup>3</sup> за першою геолого-економічною оцінкою у 1950 р. до понад 750 млрд м<sup>3</sup> за останніми даними.

У північно-західній частині регіону в 1957 р. відкрите Чорнухинське газоконденсатне родовище. Єдиний на родовищі поклад горизонту В-17 експлуатувався однією свердловиною. У 1969 р. свердловина повністю обводнилася, видобуток газу припинився, родовище зняте з Державного балансу. Через 30 років поклад відновився, свердловина знову запущена в експлуатацію, до Державного балансу зараховано 417 млн м<sup>3</sup> газу.

Поруч з Чорнухинським у 1977 р. відкрите Білоусівське родовище з трьома газоконденсатними покладами. Через рік воно введене в розробку трьома свердловинами. У 1984 р. пластові тиски суттєво знизилися, експлуатація свердловин припинилася, а залишкові запаси вуглеводнів списані з Державного балансу. Через 22 роки виснажені поклади відновилися і сьогодні знову розробляються. За результатами останньої геолого-економічної оцінки родовища до балансу зараховано 2,9 млрд м<sup>3</sup> газу.

Можливість регенерації промислових вуглеводневих скупчень встановлена на Пролетарському родовищі за результатами попередніх та виконаної фахівцями Львівського відділення УкрДГРІ під керівництвом автора у 2005 р. геолого-економічної оцінки родовища. Пролетарська структура розміщена поблизу південного крайового розлому Дніпровсько-Донецької западини і є асиметричною непорушеною брахіантиклінальною. Родовище відкрите у 1966 р., в його розрізі встановлені 14 газоконденсатних покладів, приурочених до відкладів московського, башкирського, серпуховського і візейського ярусів. Після 16-річної розробки та видобутку більшої частини запасів газу в 1984 р. у резервуарах горизонтів М-7 московського ярусу та Б-5, Б-9 башкирського ярусу створено підземне сховище газу, а залишкові запаси вуглеводнів основного горизонту Б-12 з Державного балансу списані. Через 17 років, у 2001 р., працівниками ТОВ «Дніпрогазресурс» у розконсервованих свердловинах здійснений комплекс газодинамічних і промислово-геофізичних досліджень продуктивних пластів під газосховищем. Виявилось, що тиски у відпрацьованих пластах за цей час суттєво зросли, хоч у різних горизонтах родовища по-різному. Оцінка запасів вуглеводнів 2005 р. показала їх відчутне збільшення: загальних запасів газу на 191%, конденсату – на 573%. У найбільшому покладі родовища в горизонті Б-12 запаси газу від нуля зросли до 902 млн м<sup>3</sup>, конденсату – до 87 тис. т. Поклад введений у розробку трьома свердловинами: 72, 77 і

78. Перша з них була залучена до видобутку в період з 2001р. по 2006 р, дві останні працюють і дотепер. Пластові тиски відновленого покладу станом на 2001 р. становили 11,44-12,33 МПа (апикальна частина покрівлі покладу залягає на глибині 1950 м), зараз вони знизилися до 1,39-2,04 МПа, відповідно дебіти газу зменшилися від 50,9-108,5 до 2,5-4,1 тис. м<sup>3</sup> за добу. Всього з 2001 р. свердловинами видобуто 193 млн м<sup>3</sup> газу і 6,1 тис. т конденсату. За даними останньої геолого-економічної оцінки родовища, виконаної у 2019 р., залишкові загальні запаси газу становлять ще 826 млн м<sup>3</sup>. Таким чином можемо констатувати, що поклад горизонту Б-12 відновлюється і під час його розробки. Зауважу, що у поклад газ не може попасти з газосховища, про що свідчить суттєво різний склад газів, які перманентно відбираються з газосховища та покладів під ним. Продуктивний піщаний пласт горизонту Б-12 витриманий за товщиною (15 м), відкрита пористість досягає 22%, в ньому немає низькопористих колекторів. Характерно, що коефіцієнти заповнення пасток родовища достатньо високі – 85-93%. Тому не виключено, що існує підтік газу з глибини через систему порушень крайового розлому. Ці порушення є лише провідниками флюїдів і не володіють екранувальними властивостями: за результатами наших досліджень понад два десятки розбурених структур, замкнених на крайові розломи Дніпровсько-Донецької западини, виявилися непродуктивними.

Східноказантипське родовище знаходиться в Індоло-Кубанському прогині в межах акваторії Азовського моря. Єдиний газовий поклад родовища залягає на глибині 427-439 м у відкладах мезотису (верхній міоцен) і пов'язаний з витриманим 10-метровий пластом вапняку з високим значенням відкритої пористості, яка досягає 25%. Зверху і знизу пласт перекритий глинами майкопського віку. Початковий пластовий тиск приблизно відповідав гідростатичному, наприклад, у свердловині 1 на глибині 430 м він дорівнював 4,46 МПа. Початковий дебін становив 62 тис. м<sup>3</sup> газу на 10-мм штуцері. Коефіцієнт заповнення пастки близько 100%. У 2002 р. родовище введене в розробку. Станом на 1.01. 2014 р. було видобуто більшу частину запасів газу – 1842 млн м<sup>3</sup> або 71%, залишкові видобувні запаси склали 733 млн м<sup>3</sup>. Проте поточний пластовий тиск становив ще 2,84 МПа, тобто знизився лише на 36%. Тому не виключено, що поклад постійно підживлюється газом з глибини. Це підтверджують і результати геохімічної зйомки в придонних шарах води, виконаної в районі родовища під керівництвом І. Д. Багрія. Навколо покладу фіксується аномально високий вміст метану, радону, гелію, в той час як над самим покладом їхні значення мінімальні. Це

може свідчити про витікання газу з переповненої пастки за межі покладу. А якщо ще врахувати той факт, що родовище знаходиться в зоні активного грязьового вулканізму, то припущення щодо постійного поповнення покладів метаном родовищ Індоло-Кубанського прогину видається достатньо переконливим.

Не виключено, що така ж сама ситуація і на сусідньому Північнобулганацькому газовому родовищі, де основна продуктивна пачка IV караган-чокрацьких відкладів бадену представлена пластом органогенних вапняків з відкритою пористістю 20,4-23,1%. Коефіцієнт заповнення пастки близько 100%. Початковий пластовий тиск був рівним гідростатичному. Початковий дебіт становив 260 тис. м<sup>3</sup> газу на 16-мм діафрагмі. У 2004 р. введено в розробку. На 1.01. 2014 р. було видобуто 883 млн м<sup>3</sup> газу (з 1145 млн м<sup>3</sup> балансових), хоч пластовий тиск на глибині 885-1091 м залишався ще досить високим і становив 4,1 МПа.

Це тільки деякі приклади ймовірного поповнення вуглеводневих покладів на родовищах України. Додатковим аргументом цього процесу може бути і той загальновідомий факт, що прямі на графіках залежності приведених пластових тисків від накопичених видобутків газу практично не досягають осі накопичених видобутків газу, а на пізній стадії розробки асимптотично наближаються до згаданої осі. Свердловини можуть ще довго працювати з невеликими дебітами.

Грунтовні дослідження з проблеми відновлення вуглеводневих покладів для Східного і Західного нафтогазоносних регіонів України з метою нарощування ресурсного потенціалу родовищ з високим ступенем вироблення початкових запасів здійснив у 2007-2009 рр. колектив дослідників під науковим керівництвом А.М. Ковалю [8]. Встановлені десятки родовищ, на яких видобуток нафти і газу перевищив їхні початкові запаси. Розроблені практичні рекомендації щодо відновлення ліквідованих експлуатаційних свердловин та повернення до відпрацьованих покладів з метою нарощування ресурсного потенціалу вуглеводнів і їхнього видобутку. На основі результатів згаданих досліджень у 2016 р. розроблений проєкт концепції інтенсифікації та оптимізації нафтогазовидобутку з урахуванням природних поновлюваних процесів нафтових і газових родовищ [4].

Наведені вище матеріали стосувалися поповнення традиційних пасток вуглеводнів. Однак останнім часом все більше уваги приділяється нетрадиційним покладам, пов'язаним з епігенетичним формуванням порід-колекторів на великих глибинах. Теоретичні аспекти цієї проблеми висвітлені в працях О. Ю. Лукіна і пов'язуються з

тріщинуватістю [12, 16, 18]. Зазвичай основою моделювання і прогнозування тріщинних колекторів нафти і газу є тектонофізичні критерії, які базуються на принципах механіки руйнування твердих тіл і пов'язують тріщини сколювання і тріщини відриву з полями напруг породних масивів внаслідок тектонічних деформацій. Однак тріщини сколювання часто заповнені мілонітовими глинками, тріщини відриву з часом заліковуються переважно кальцитом, інколи кварцовими, сульфідними і полімінеральними компонентами, що врешті-решт призводить до втрати провідності відкритих тріщин.

Істотно іншу роль в нафтогазонакопиченні на думку О. Ю. Лукіна відіграє адиабатичне утворення тріщин, пов'язане з сеймотектонічними імпульсами і явищами природного розриву порід глибинними флюїдами [12, 18]. До подібного висновку дійшли також геофізики-інтерпретатори [27], які за результатами опрацювання часових розрізів методом амплітудно-частотної характеристики середовища (АЧХС) виділяють у товщах порід під родовищами вузькі вертикальні зони розущільнення, які зазвичай співпадають з тектонічними порушеннями. На думку згаданих авторів ці зони слугують каналами підведення вуглеводнів до пасток. Природний розрив порід глибинними флюїдами зумовлений плюмтектонікою, що підтверджується різними індикаторами (трасерами) глибинних флюїдів. Результатом флюїдорозриву порід є специфічна матрична мікротріщинуватість, яка суттєво відрізняється від тектонічної і літогенетичної тріщинуватості своєю хаотичністю. Логічно допустити, що якщо об'єм тріщин буде заповнений вуглеводнями, то вони законсервують ці тріщини, тобто будуть запобігати їхньому заповненню кальцитом чи іншими мінеральними асоціаціями.

Ілюстрацією викладеному можуть бути такі факти. У 2015 р. ТОВ «Нафтогазовидобування» компанії ДТЕК на Семиренківській структурі пробурена свердловина 17 глибиною 6750 м – найглибша свердловина Дніпровсько-Донецької западини. Нею розкриті відклади верхнього девону в приосьовій частині регіону, які складені пісковиками, алевролітами і аргілітами. Пісковики різнозернисті, в основному середньозернисті, з поодинокими уламками розміром до 4 мм, сильно окварцовані, з відкритою пористістю 3-5%. Зрідка трапляються тектонічні тріщини, в основному вертикальні, заповнені глинисто-бітумним матеріалом. Однак від легкого удару ядра молотком проявляється інша система різноспрямованих скритих, нічим не заповнених тріщин. Густина тріщин дуже велика. Ймовірно, це і є тріщини природного флюїдорозриву. Найкраще вони проявляються у карбонатних породах,

наприклад, вапняках нижньовізейської карбонатної плити. Характерно, що чисті некарбонатні аргіліти на глибинах 6,5 км не розтріскуються або, можливо, розтріскуються менш інтенсивно. У свердловині випробувані три суміжні пласти, які залягають в інтервалі глибин 6541-6602 м. Пластовий тиск на середину інтервалу склав 110 МПа; коефіцієнт аномальності рівний 1,7. За депресії на пласт 17 МПа на 5-мм штуцері отримано 90 тис. м<sup>3</sup> газу і 8 м<sup>3</sup> пластової води з низькою мінералізацією – 30-40 г/л. Не виключено, що згідно з концепцією О. Ю. Лукіна ця вода є результатом конденсації глибинної водяної пари. З дебітами 70-140 тис. м<sup>3</sup>/добу газу і води 20-80 м<sup>3</sup>/добу свердловина працювала близько півтора року в пульсуючому режимі поки не зруйнувалася привибійна зона пласта. Загалом із свердловини видобуто 43 млн м<sup>3</sup> газу.

Ймовірно, що подібна ситуація може бути і на Мачуському газоконденсатному родовищі, де продуктивні турнейсько-нижньовізейські перекристалізовані органогенно-детритові вапняки залягають на глибинах 5135-5678 м. Для них притаманна сильно розвинена мікротріщинуватість, яка виявляється при розбиванні керна і проявляється у специфічних нерівностях поверхонь розколювання [36]. Мікротріщини не кальцитизовані, не заповнені твердою фазою бурового розчину і таким чином можуть фільтрувати пластові флюїди. Внаслідок мікротріщинуватості суттєво зменшується винос керна – від 2% до 41%, зазвичай 17-20%, в той час як глинисті літотики виносяться майже повністю.

Ймовірно, на глибинах до 5 км породи ще зберігають пластичність, тому не піддаються природному флюїдорозриву. Глибше породи розтріскуються внаслідок ін'єкції глибинних флюїдів, утворюючи таким чином зональні вуглеводневі скупчення. Вони не контролюються структурним фактором, не піддаються гравітаційній диференціації (тобто вертикальному розподілу газ-вода) і мають, скоріш за все, зональний характер.

Для нетрадиційних покладів, пов'язаних з природним флюїдорозривом, ми поки що не можемо оцінити об'єми поступлення вуглеводнів з глибини, запаси, промислові характеристики, не кажучи вже про економічну доцільність розробки таких скупчень. Масштаби і швидкість регенерації конвенційних покладів визначити простіше. Це можна зробити за результатами моніторингу пластових тисків та рівнів нафто- і газоводяних контактів. На основі проведених розрахунків для розглянутих вище родовищ ДДЗ можемо констатувати такі щорічні величини поповнення традиційних газових покладів: Чорнухинське – 14 млн м<sup>3</sup>, Білоусівське – 132 млн м<sup>3</sup>, Пролетарське – 53 млн м<sup>3</sup>, Шебелинське – 1800 млн м<sup>3</sup>.

Судити про інтенсивність підтікання вуглеводнів з глибин можна за результатами спостереження грязьових вулканів Керченського півострова. Найбільша грязьова сопка Центральне озеро щодоби вивергає понад 5000 л грязі та 100 м<sup>3</sup> метанового газу. З розглянутих у цій статті родовищ Білоусівське родовище знаходиться у зоні впливу Канівсько-Білопольського розлому, Чорнухинське – Київсько-Гадяцького, Шебелинське – Жмеринсько-Старобільського, Семиренківське – Андрушівсько-Хорольсько-Розсошинського, Пролетарське – Південного крайового розлому. Однак потрібно враховувати, що провідність розломів, якими вуглеводні поступають в поклади, в різних місцях неоднакова. Очевидно, що вона постійно змінюється у залежності від характеру тектонічних рухів. Тому об'єми поступлення флюїдів з глибин до покладів змінюватимуться як у просторі, так і в часі.

Розпізнавання вертикальних зон підживлення вуглеводневих покладів є перспективною, але на сьогодні надзвичайно складною задачею. Картування зон розущільнених порід – це перш за все задача польової геофізики і, зокрема, – методу АЧХС. Прямопошукова структурно-термо-атмогідролого-геохімічна технологія (СТАГГТ) теж може дати позитивні результати з виділення зон вертикальної міграції пластових флюїдів [1]. Потрібен також моніторинг відпрацьованих покладів за допомогою нещодавно зупинених експлуатаційних свердловин, а також свердловин, які давно законсервовані і які доцільно відновити.

**Висновки.** Фактичними матеріалами доведено, що внаслідок підтікання глибинних флюїдів деякі вуглеводневі родовища України постійно поповнюються.

Ймовірно, що основними каналами підведення вуглеводнів до родовищ є глибинні розломи.

Для визначення каналів дегазації та картування ділянок з високим рівнем природного підживлення покладів доцільно застосовувати методи польової геофізики та геохімічні дослідження територій.

Поки що немає критеріїв для кількісної оцінки регенерації родовищ, однак можемо констатувати, що поповнення запасів газу деяких родовищ ДДЗ за підтвердженими фактами коливаються в межах 14-1800 млн м<sup>3</sup> щорічно.

Масштаби регенерації покладів значно менші, ніж об'єми відбору вуглеводнів у процесі розробки родовищ, але це додатковий ресурс, який необхідно вивчати, обліковувати, який локалізований в межах родовищ з облаштованою інфраструктурою і для видобування якого не потрібні значні додаткові капіталовкладення.

Необхідно здійснювати моніторинг відпра-

цьованих покладів, тому виведені з експлуатації свердловини доцільно не ліквідувати, а консервувати чи переводити у спостережні, періодично здійснюючи замірювання пластових тисків та визначення характеру флюїдонасичення відпрацьованих пластів.

Необхідно здійснювати керуванням процесом вилучення вуглеводнів, застосувавши політику збалансованого ощадливого видобутку, що продовжить термін розробки покладів і збільшить накопичений видобуток вуглеводнів.

#### Список використаної літератури

1. Багрій І. Д. Гідро-біогенно-мантійна концепція походження вуглеводнів – запорука високоефективної пошукової технології / І. Д. Багрій, М. І. Павлюк, Г. І. Рудько, М. Д. Красножон, І. М. Наумко // – К. – Інститут геологічних наук НАН України. – 2021. – 413 с. ISBN 978-617-7399-01-7.
2. Баталин О. Ю. Конденсационный механизм формирования углеводородных залежей / О. Ю. Баталин, Н. Г. Вафина // *Scientific Reports*, 2017. – 7:10253. Published online: 31 August 2017. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-10585-7>
3. Булин Н. К. Прогнозирование нефтегазоносности недр по глубинным сейсмическим критериям / Н. К. Булин, А. В. Егоркин, Л. Н. Солодилов // *Региональная геология и металлогения*. – 2000. – №10. – С. 19-204.
4. Вдовиченко А. І. Концепція інтенсифікації і оптимізації нафтогазовидобутку в Україні з урахуванням відновлювальних процесів / А. І. Вдовиченко, П. П. Єрмаков, М. П. Єрмаков // *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. Сб. науч. тр. – К. – ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины*, 2016. – Вып. 19. – С. 5-10.
5. Вернадский В. И. О газовом обмене земной коры // *Изв. Император Акад. наук*. – 1912. – Т. 141. – С. 71.
6. Готтих Р. П. Глубинные восстановленные флюидные системы в процессах нефтеобразования и нефтенакопления / Р. П. Готтих, Б. И. Писоцкий // *Фундаментальные проблемы геологии и геохимии нефти и газа и развития нефтегазового комплекса России*. – М.: Институт проблем нефти и газа РАН. – 2007. – С. 55-65.
7. Дмитриевский А. Н. Механизмы, масштабы и темпы восполнения нефтегазовых залежей в процессе их разработки / А. Н. Дмитриевский, Б. М. Валяев, М. Н. Смирнова // *Генезис нефти и газа*. – М. – ГЕОС. – 2003. – С. 106–109.
8. Коваль А. М. Вивчення можливості регенерації покладів вуглеводнів Східних та Західних нафтогазоносних регіонів України / А. М. Коваль, Ю. З. Крупський, В. О. Оксьоненко, Н. В. Дюганчук // *Звіт про виконання робіт за договором № 4/17 від 22.04.2009*. – Київ, НВП «Геосвіт». – 2009. – 248 с.
9. Комаров П. В. О плюмах и их влиянии на формирование благороднометального оруденения в углеродсодержащих породах / П. В. Комаров, И. Н. Томсон // *Доклады РАН*. – 2007. – Т. 415. – С. 779-781.
10. Краюшкин В. А. Абиогенно-мантийный генезис нефти / В. А. Краюшкин // *Киев, Наукова думка*. – 1984. – 176 с.
11. Кропоткин П. Н. Дегазация Земли и генезис углеводородов / П. Н. Кропоткин // *Вестн. хим. об-ва*. – 1986. – № 5. – С. 540-547.
12. Лукин А. Е. Инъекции глубинного углеводородно-полиминерального вещества в глубокозалегающих породах нефтегазоносных бассейнов: природа, прикладное и гносеологическое значение / А. Е. Лукин // *Геологичний журнал*. – 2000. – № 2. – С. 7-21.
13. Лукин А. Е. Гипогенно-аллогенетическое разуплотнение – ведущий фактор формирования вторичных коллекторов нефти и газа / А. Е. Лукин // *Геологичний журнал*. – 2002. – № 4. – С. 15-32.
14. Лукин А. Е. Проблемы нафтидосинергетики – нелинейной геологии нефти и газа / А. Е. Лукин // *Геологичний журнал*. – 2004. – Вып. 307. – С. 21-39.
15. Лукин А. Е. О роли глубинных и сверхглубинных флюидов в нефтегазообразовании / А. Е. Лукин, Ю. И. Пиковский // *Геологичний журнал*. – 2004. – № 2. – С. 21-33.
16. Лукин А. Е. Чернотанцевые формации эвксинского типа – мегаловушки природного газа / А. Е. Лукин // *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. – 2013. – № 3. – С. 5-28.
17. Лукин, А. Е. Флюидный литогенез – важнейшее направление литологических исследований в XXI столетии / А. Е. Лукин // *Геологичний журнал*. – 2014. – № 4. – С. 27-42.
18. Лукин, А. Е. О природе трещиноватости нефтегазоносных пород-коллекторов с низкопроницаемой матрицей / А. Е. Лукин // *Допов. НАН України*. – 2015. – № 6. – С. 114-122.
19. Лукін О. Ю. Від нової геологічної парадигми до задач геолого-геофізичних досліджень / О. Ю. Лукін, В. М. Шестопалов // *Геофізичний журнал*. – 2018. – № 40. – С. 3-72.
20. Муслимов Р. Х. Роль глубинной дегазации Земли и кристаллического фундамента в формировании и естественном восполнении запасов нефтяных и газовых месторождений / Р. Х. Муслимов, В. А. Трофимов, И. Н. Плотникова, Р. Р. Ибатуллин, Е. Ю. Горюнов. – Казань: Изд-во «ФЭН» Академии наук Республики Татарстан. – 2019. – 264 с.
21. Павленкова Н. И. Флюидная концепция глобальной тектоники / Н. И. Павленкова // *Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть и газ*. – М. ГЕОС. – 2002. – С. 58–60.
22. Порфирьев В. Б. К вопросу о времени формирования нефтяных месторождений / В. Б. Порфирьев // *Проблема миграции нефти и формирования нефтяных и газовых скоплений*. – М.: Изд-во АН СССР. – 1959. – С. 165-193.
23. Созанський В. І. Відновлення світових запасів нафти і газу як стратегічна проблема сучасності / В. І. Созанський // *Геологичний журнал*. – 2013. – № 2. – С. 68-74.

24. Соколов В. А. Геохимические методы поисков нефти / В. А. Соколов // *Общий курс геофизических методов разведки нефтяных и газовых месторождений*. – М., Гостоптехиздат. – 1954. – С. 406-453.
25. Соколов Б. А. Флюидодинамическая модель нефтегазообразования / Б. А. Соколов, Э. А. Абя // – М. – ГЕОС. – 1999. – 76 с.
26. Трофимов В. А. Нефтепроводящие каналы и современная подпитка нефтяных месторождений: гипотезы и факты / В. А. Трофимов // *Георесурсы*. – 2009. – № 1. – С. 46-48.
27. Хавензон І. В. Прогноз нафтогазоносності Лопушянського нафтового родовища з використанням методики сейсмомітмологічного аналізу / І. В. Хавензон, Б. В. Пилипишин, О. С. Гневуш, І. В. Гук, М. В. Денис // *Геодинаміка*. – 2011. – № 2. – С. 317-319.
28. Чепіль П. М. Друге життя родовищ нафти і газу України – міф чи реальність / П. М. Чепіль // *Мінеральні ресурси України*. – 2008. – № 2. – С. 37-38.
29. Шестопалов В. М. Нариси дегазації землі / В. М. Шестопалов, О. Ю. Лукін, В. О. Згоннік, О. М. Макаренко, Н. В. Ларін, О. С. Бозулавський // *Науково-інженерний центр радіогідроекологічних полігонних досліджень НАН України. Інститут геологічних наук НАН України*. – Київ. – 2018. – 631 с.
30. Шлапинский В. Е. Геохимические аномалии Складчатых Карпат и их связь с нефтегазоносностью / В. Е. Шлапинский // *Докл. респ. конф. «Проблемы геологии и геохимии горючих ископаемых Запада Украинской ССР»*, Львов, 2-6 октября 1989 г. Львов. – 1989. – Т. III. – С. 77-78.
31. Шлапинский В. Е. Прямые и не прямые признаки нефтегазоносности Украинских Карпат как новые критерии ее оценки. IV Международная конф. «Новые идеи в науках о Земле». – 2003. – М. – Т. I. – С. 277.
32. Brothers L. L. Shallow stratigraphic control on pockmark distribution in north temperate estuaries / L. L. Brothers, J. T. Kelley, D. F. Belknap // *Marine Geology*. – 2012. – Vol. 329-331. – P. 34-45. <https://doi.org/10.1016/j.mar-geo.2012.09.006>
33. Cathles L. M. The physics of gas chimney and pockmark formation, with implications for assessment of seafloor hazards and gas sequestration / L. M. Cathles, Zheng Sub, Duofu Chen // *Marine and Petroleum Geology*. – 2010. – Vol. 27. – Issue 1. – P. 82-91. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2009.09.010>
34. Ferry J. M. A historical review metametics fluid flow // *J. Geoph. Research*. – 1994. – Vol. 99. – P. 15487-15498. <https://doi.org/10.1029/94JB01147>
35. Jane G. Occurrence of pockmarks on the Ortegá Spur continental margin, Northwestern Iberian Peninsula / G. Jane, A. Maestro, G. Ercilla // *Marine and Petroleum Geology*. – 2010. – Issue 7. – P. 1551-1564. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2010.04.001>
36. Lazaruk Ya. Geodynamic aspects of hydrocarbon deposit formation in carbonate complex of Lower Carbon of the Dnieper-Donets Basin / Ya. Lazaruk // *Geodynamics*. – 2022. – № 1 (32). – P. 49-63. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.049>
37. MacDonald Ian R. Natural oil spills / Ian R. MacDonald // *Scientific American*. – 1998. – November. – P. 31-35.
38. Moss I. L. Evidence for fluid migration following pockmark formation: Examples from the Nile Deep Sea Fan / I. L. Moss, J. Cartwright, B. Moore // *Marine Geology*. – 2012. – Vol. 303-306. – P. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.mar-geo.2012.01.010>
39. Ohtani E. Distribution of Hydrogen in the Deep Earth and its Role in Earth's dynamics / E. Ohtani, Y. Shibazaki, H. G. // *Terasaki American Geophysical Union, Fall Meeting 2009, San Francisco, USA / Eos Trans. AGU, 90 (52), Fall Meet. Suppl., abstract № V14C-01*.
40. Pilchen R. Mega-pockmarks and linear pockmark trains on the West African continental margin / R. Pilchen, J. Argent // *Marine Geology*. – 2007. – Vol. 244, Issues 1-4. – P. 15-32. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2007.05.002>
41. Stevenson D. J. Hydrogen in the Earth's core // *Nature*. – 1977. – Vol. 268. – P. 130-131.
42. Walshe J. L. Degassing of hydrogen from the Earth's core and related phenomena of system Earth // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2006. – № 70 (18). – P. 684-684. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2006.06.1490>

## Regeneration of deposits of hydrocarbon fields of Ukraine

Yaroslav Lazaruk,

DSc (Geology), Chief Researcher, Department of Oil and Gas Geology,  
Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of the NAS of Ukraine,  
3a Naukova St., Lviv, 79060, Ukraine

### ABSTRACT

**Formulation of the problem.** In the world's oil and gas-bearing basins, there are known examples of an increase in the reserves of hydrocarbon deposits as a result of inflow of fluids from the deep subsoil. Recently, the theory of the Earth degassing is gaining popularity. There are more and more arguments in favor of the fact that in many oil- and gas-bearing provinces of the world, oil and gas deposits are constantly replenished due to the migration of hydrocarbons through degassing pipes. Certain prospects for maintaining oil and gas production are possible as a result of the natural recovery of depleted deposits in Ukraine as well. However, this issue has not been sufficiently studied and requires further research.



**The purpose of the article** is to argue with actual materials for the regeneration of hydrocarbon deposits, to estimate the probable volumes of their replenishment, to determine the methods of geological research to outline the zones of nourishment of hydrocarbon deposits.

**Materials and methods.** Research materials are actual materials from the development and permanent assessment of hydrocarbon reserves of Ukrainian deposits. The research methodology consists in the analysis of the facts of the replenishment of hydrocarbon deposits from the point of view of new scientific concepts of the supply of hydrocarbons from the deep subsoil.

**Results.** Based on the results of the increase in reservoir pressures of spent gas condensate deposits and repeated calculations of hydrocarbon reserves of the Shebelynka, Chornukhy, Bilousivka and Proletarka deposits of the Dnipro-Donets Basin, a conclusion was made about the replenishment of deposits due to the vertical migration of oil and gas, the probable scales of deposit regeneration were estimated. The results of industrial development of the East Kazantyp and North Bulganak gas fields of the Indolo-Kuban depression also testify to their probable feeding from the depths. Adiabatic fracture formation associated with seismotectonic impulses and phenomena of natural rupture of rocks by deep fluids plays a significant role in the formation of unconventional deposits. The result of fluid fracturing of rocks is specific matrix microcracking. It is well manifested in well cores from depths of more than 5.5 km (Semyrenky, Machushy deposits of the Dnipro-Donets Basin). Hydrocarbon deposits at these depths have a zonal character and are not controlled by the structural factor.

**Scientific novelty, practical significance and recommendations.** Actual materials have proven that some hydrocarbon deposits in Ukraine are constantly being replenished as a result of seepage of deep fluids. It is likely that the main channels of hydrocarbon supply to deposits are deep faults. To determine the degassing channels it is advisable to use the methods of field geophysics and geochemical studies. We can state that the replenishment of gas reserves of some Dnipro-Donets Basin fields according to confirmed facts ranges from 14 to 1800 million m<sup>3</sup> annually. It is necessary to monitor the spent deposits, therefore it is advisable not to liquidate decommissioned wells, but to preserve them or transfer to the fund of observation wells, periodically measuring reservoir pressures and determining the character of fluid saturation of spent deposits. It is necessary to manage the process of extraction of hydrocarbons, applying a policy of balanced economical production.

**Keywords:** *degassing of the Earth, regeneration of deposits, hydrocarbon fluids, oil, gas, reservoir rocks.*

#### References


1. Bagriy I. D., Pavlyuk M. I., Rudko G. I., Krasnozhon M. D., Naumko I. M. (2021). *Hydro-biogenic-mantle concept of the origin of hydrocarbons - the key to highly effective search technology*. K., Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, 413 [in Ukrainian].
2. Batalin O. Yu., Vafina N. G. (2017). *Condensation mechanism of formation of hydrocarbon deposits*. *Scientific Reports*, 7:10253. Published online: 31 August 2017. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-10585-7> [in Russian].
3. Bulin N. K., Egorkin A. V., Solodilov L. N. (2000). *Forecasting of oil and gas subsoils according to deep seismic criteria*. *Regional geology and metallurgy*, 10, 195-204 [in Russian].
4. Vdovichenko A. I., Yermakov P. P., Yermakov M. P. (2016). *The concept of intensification and optimization of oil and gas production in Ukraine taking into account recovery processes. A rock-destroying and metal-working tool – technique and technology of its manufacture and application*. *Sat. science tr. K., ISM named after V. N. Bakulya of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 19, 5-10 [in Ukrainian].
5. Vernadsky V. I. (1912). *On the gas exchange of the earth's crust*. *News of Imperial Acad. Sciences*, 141, 71.
6. Gottikh R. P., Pisotsky B. I. (2007). *Deep recovered fluid systems in oil formation and accumulation processes. Fundamental problems of geology and geochemistry of oil and gas and the development of the oil and gas complex in Russia*. M., Institute of Oil and Gas Problems RAS, 55-65 [in Russian].
7. Dmitrievsky A. N., Valyaev B. M., Smirnova M. N. (2003). *Mechanisms, scales and rates of replenishment of oil and gas deposits in the process of their development*. *Genesis of oil and gas*. M., GEOS, 106-109 [in Russian].
8. Koval A. M., Krupsky Yu. Z., Oksyonenko V. O., Dyuganchuk N. V. (2009). *Study of the possibility of regeneration of hydrocarbon deposits in the Eastern and Western oil and gas-bearing regions of Ukraine. Report on performance of works under contract, 4/17 dated 22.04.2009*. Kyiv, NVP "Geosvit", 248 [in Ukrainian].
9. Komarov P. V., Tomson I. N. (2007). *On plumes and their influence on the formation of precious metal mineralization in carbonaceous rocks*. *Reports of the Russian Academy of Sciences*, 415, 779-781 [in Russian].
10. Krayushkin V. A. (1984). *Abiogenic-mantle genesis of oil*. Kiev, Naukova Dumka, 176 [in Russian].
11. Kropotkin P. N. (1986). *Degassing of the Earth and the genesis of hydrocarbons*. *Bulletin of the Chemical Society*, 5, 540-547 [in Russian].
12. Lukin A. E. (2000). *Injections of deep hydrocarbon-polymineral matter in deep-lying rocks of oil and gas basins: nature, applied and epistemological significance*. *Geological Journal*, 2, 7-21 [in Russian].
13. Lukin A. E. (2002). *Hypogenetic-allogenic decompaction is the leading factor in the formation of secondary oil and gas reservoirs*. *Geological Journal*, 4, 15-32 [in Russian].
14. Lukin A. E. (2004). *Problems of naphthidosynergetics – non-linear geology of oil and gas*. *Geological journal*, 307, 21-39 [in Russian].
15. Lukin A. E., Pikovsky Yu. I. (2004). *On the role of deep and superdeep fluids in oil and gas formation*. *Geological journal*, 2 (308), 21-33 [in Russian].
16. Lukin A. E. (2013). *Black shale formations of the Euxinian type - natural gas megatrap*. *Geology and minerals of the*

- World Ocean*, 3, 5-28 [in Russian].
17. Lukin, A. E. (2014). Fluid lithogenesis is the most important area of lithological research in the XXI century. *Geological Journal*, 4, 27-42 [in Russian].
  18. Lukin, A. E. (2015). On the nature of fracturing of oil and gas-bearing reservoir rocks with a low-permeability matrix. *Reports of NAS of Ukraine*, 6, 114-122 [in Russian].
  19. Lukin O. Yu., Shestopalov V. M. (2018). From a new geological paradigm to the problems of geological and geophysical research. *Geophysical Journal*, 40, 3-72 [in Ukrainian].
  20. Muslimov R. Kh., Trofimov V. A., Plotnikova I. N., Ibatullin R. R., Goryunov E. Yu. (2019). The role of deep degassing of the Earth and the crystalline basement in the formation and natural replenishment of reserves of oil and gas fields. Kazan, Publishing house "FEN" of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, 264 [in Russian].
  21. Pavlenkova N. I. (2002). Fluid concept of global tectonics. Degassing of the Earth: geodynamics, geofluids, oil and gas. M., GEOS, 58-60 [in Russian].
  22. Porfiriev V. B. (1959). On the question of the time of formation of oil fields. The problem of oil migration and the formation of oil and gas accumulations. M., Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 165-193 [in Russian].
  23. Sozansky V. I. (2013). Restoration of world oil and gas reserves as a strategic problem of modernity. *Geological Journal*, 2, 68-74 [in Ukrainian].
  24. Sokolov V. A. (1954). Geochemical methods of oil prospecting. General course of geophysical methods of exploration of oil and gas fields. M., Gostoptekhizdat, 406-453 [in Russian].
  25. Sokolov B. A., Ablya E. A. (1999). Fluid dynamic model of oil and gas formation. M., GEOS, 76 [in Russian].
  26. Trofimov V. A. (2009). Oil-conducting channels and modern replenishment of oil fields: hypotheses and facts. *Georesursy*, 1, 46-48 [in Russian].
  27. Havenzon I. V., Pylypyshyn B. V., Gnevush O. S., Huk I. V., Denys M. V. (2011). Forecast of oil- and gas-bearing of the Lopushna oil field using the technique of seismolitmological analysis. *Geodynamics*, 2, 317-319 [in Ukrainian].
  28. Chepil P. M. (2008). Second life of oil and gas deposits of Ukraine – myth or reality. *Mineral resources of Ukraine*, 2, 37-38 [in Ukrainian].
  29. Shestopalov V. M., Lukin O. Yu., Zgonnik V. O., Makarenko O. M., Larin N. V., Boguslavskiy O. S. (2018). Essays of Earth degassing. Scientific the Engineering Center of Radio-Hydrogeoecological Polygon Research of the National Academy of Sciences of Ukraine. Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv, 631 [in Ukrainian].
  30. Shlapinsky V. E. (1989). Geochemical anomalies of the Folded Carpathians and their connection with oil and gas potential. Reports of Republican conference "Problems of geology and geochemistry of fossil fuels in the West of the Ukrainian SSR", Lvov, October 2-6, 1989. Lvov, III, 77-78 [in Russian].
  31. Shlapinsky V. E. (2003). Direct and indirect signs of oil and gas potential of the Ukrainian Carpathians as new criteria for its assessment. IV International Conference "New ideas in the Earth sciences", M., I., 277 [in Russian].
  32. Brothers L. L., Kelley J. T., Belknap D. F. (2012). Shallow stratigraphic control on pockmark distribution in north temperate estuaries. *Marine Geology*, 329-331, 34-45. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2012.09.006>
  33. Cathles L. M., Sub Zheng, Chen Duofu (2010). The physics of gas chimney and pockmark formation, with implications for assessment of seafloor hazards and gas sequestration. *Marine and Petroleum Geology*, 27, 82-91. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2009.09.010>
  34. Ferry J. M. (1994). A historical review metametics fluid flow. *J. Geoph. Research*, 99, 15487-15498. <https://doi.org/10.1029/94JB01147>
  35. Jane G., Maestro A., Ercilla G. (2010). Occurrence of pockmarks on the Ortegá Spur continental margin, Northwestern Iberian Peninsula. *Marine and Petroleum Geology*, 7, 1551-1564. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2010.04.001>
  36. Lazaruk Ya. (2022). Geodynamic aspects of hydrocarbon deposit formation in carbonate complex of Lower Carbon of the Dnieper-Donets Basin. *Geodynamics*, 1 (32), 49-63. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.049>
  37. MacDonald Ian R. (1998). Natural oil spills. *Scientific American*. November, 31-35.
  38. Moss I. L., Cartwright J., Moore B. (2012). Evidence for fluid migration following pockmark formation: Examples from the Nile Deep Sea Fan. *Marine Geology*, 303-306, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2012.01.010>
  39. Ohtani E., Shibasaki Y., H. G. (2009). Distribution of Hydrogen in the Deep Earth and its Role in Earth's dynamics. Terasaki American Geophysical Union, Fall Meeting, San Francisco, USA. *Eos Trans. AGU*, 90 (52), Fall Meet. Suppl., abstract № V14C-01.
  40. Pilchen R., Argent J. (2007). Megapockmarks and lib near pockmark trains on the West African continental margin. *Marine Geology*, 244, 1-4, 15-32. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2007.05.002>
  41. Stevenson D. J. (1977). Hydrogen in the Earth's core. *Nature*, 268, 130-131.
  42. Walshe J. L. (2006). Degassing of hydrogen from the Earth's core and related phenomena of system Earth. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70 (18), 684-684. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2006.06.1490>

## Стратиграфія юрської системи району села Кам'янка. Частина 1. Кожулинська світа

*Андрій Матвеев*<sup>1</sup>

д. геол. н., доцент, кафедра фундаментальної та прикладної геології,

<sup>1</sup> Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, м. Свободи, 4, Харків, 61022, Україна,  
e-mail: [matveev@karazin.ua](mailto:matveev@karazin.ua),  <https://orcid.org/0000-0002-2600-6529>;

*Маріанна Паккі*<sup>1</sup>

к. пед. н., доцент, кафедра фундаментальної та прикладної геології,

e-mail: [marrjana@gmail.com](mailto:marrjana@gmail.com),  <http://orcid.org/0000-0002-1343-572X>;

*Олена Шевчук*<sup>2,3</sup>

д. геол. н., пров. наук. співроб.,

<sup>2</sup> Шведський музей історії природи, дорога Сванте Арреніуса, 9, Стокгольм, 11418, Швеція,

<sup>3</sup> Інститут геологічних наук НАН України, вул. Олеса Гончара 55-б, Київ, 01601, Україна,

e-mail: [hshevchuk@ukr.net](mailto:hshevchuk@ukr.net),  <http://orcid.org/0000-0001-7221-4540>

*Олександр Клевцов*<sup>1</sup>

к. геол. н., доцент, кафедра фундаментальної та прикладної геології,

e-mail: [klevcov858@gmail.com](mailto:klevcov858@gmail.com),  <https://orcid.org/0000-0002-9397-5872>

Попри активне дослідження відкладів юрської системи Донбасу протягом останніх двох сторіч, досі дискусивним залишається питання їх стратиграфії. Здійснений авторами аналіз наявного наукового доробку виявив суперечність між нормативно закріпленою вимогою спиратися на літостраграфію в процесі дослідження відкладів, та тим, що існуюча використовувана система спирається на біостратиграфію. Розв'язання цієї проблеми можливе завдяки вивченню літостраграфічних одиниць донецької юри. Тому, метою статті стало дослідження кожулинської світи, встановлення її складу та опис основних особливостей. Були досліджені нижньоюрські відклади з відслонень поблизу с. Кам'янка (Ізюмського району), оскільки на даній території наявні придатні для дослідження стратотипи більшості стратонів юри, які добре відслонюються на вивченій території. Науковий пошук спирався на аналіз літературного доробку, результатів попередніх бурових та картувальних робіт, а також власні польові, лабораторні та аналітичні дослідження. Було відібрано проби глин з різних стратиграфічних рівнів світи та з різних літологічних відмін. Лабораторне дослідження проводилося за двома напрямками: з використанням електронного мікроскопа та спектрометра для виявлення речовинного складу глин. Це дозволило вперше представити результати детального хімічного аналізу глин, а також встановити співвідношення концентрацій акцесорних елементів у глинах відносно одного. Також було проведено палінологічний аналіз цих відкладів, а саме стратифіковані відклади за допомогою мікрофітофосилій, в тому числі, вперше за ортостратиграфічною групою – диноцисти. Результати показали, що кожулинська світа представлена переважно сланцюватими сірими, темно-сірими, іноді блакитно-сірими глинами з відносно тонкими шарами пісковиків. Основна маса глин складається з гідролуд з незначним вмістом монтморилоніту та ще меншим вмістом добре розкристалізованого каоліну. Місцями в нижній частині світи зустрічаються лінзи та прошарки вохристих, тонковідмучених глин, зі зкупченнями відбитків двостулкових молосків. Також у нижній частині світи наявні конкреції сидериту та лімоніту (на поверхні), кристали добре сформованого гіпсу. Особливо простежуються витримані за простяганням прошарки кварцевих, зцементованих глинистим матеріалом пісковиків. Палеонтологічні рештки в глинах кожулинської світи зустрічаються рідко. Палінологічні угруповання представлені переважно пилом і спорами, також рештками динофітових, зелених водоростей та акрита-рами.

**Ключові слова:** юрська система, Північно-Західний Донбас, стратиграфія, літологія, палеонтологічні рештки.

**Як цитувати:** Матвеев Андрій. Стратиграфія юрської системи району села Кам'янка. Частина 1. Кожулинська світа / Андрій Матвеев, Маріанна Паккі, Олена Шевчук, Олександр Клевцов // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 58. – С. 59-72. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-05>

**In cites:** Matveev Andriy, Pakki Marianna, Shevchuk Olena, Oleksandr Klevcov (2023). Jurassic system stratigraphy at the Kamianka village. Part 1. The Kozhulinska formation. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (58), 59-72. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-05> [in Ukrainian]

**Вступ.** Створення стратиграфічної схеми юрських відкладів північно-західного Донбасу з моменту перших досліджень (кінець 18 ст.) і понині залишається дискусійним, зокрема в аспекті керівних принципів, за якими вона будується. Одна із перших її редакцій, запропонованих О. Борисяком на межі 19-20 ст., ґрунтувалася на поєднанні двох груп методів: дослідженні літологічних ознак порід та знахідок керівної фауни. Натомість

стратиграфічна схема, запропонована Л. Лунгерсгаузеном в першій половині 20 ст., враховувала лише літологічні ознаки. Однак вже у 1950-х роках остаточно перевага була надана палеонтології. Так, силами дослідників Інституту геологічних наук АН України та Харківського університету була розроблена біостратиграфічна схема, яка з незначними змінами успішно проіснувала до кінця 20 ст.

Але, за цей час практика геологокартувальних робіт показала, що для складання карт великого і середнього масштабів літостратиграфічні схеми мають переважне значення, що власне і було відображено в створеному у 2012 році «Стратиграфічному кодексі». Проте, оскільки цілеспрямованих робіт у цьому напрямку не проводилось, фактично довелося повернутися до схеми 1941 року, що ми і спостерігаємо у фундаментальній праці по стратиграфії України за головною редакцією П.Ф. Гожики, виданій у 2013 р. [17].

Таким чином, під час дослідження відкладів юрської системи Донбасу було виявлено неузгодженість: нормативними документами рекомендовано спиратися на літостратиграфію, в той час як існуюча схема побудована за принципами біостратиграфії. Водночас апелювати до літостратиграфічної схеми, запропонованої Л. Лунгерсгаузеном у праці [12], теж не видається оптимальним, оскільки за майже сторіччя існування вона потребує корективів та уточнення.

Вирішення вказаної неузгодженості вбачаємо у дослідженні літостратиграфічних одиниць донецької юри задля подальшого уточнення стратиграфічної схеми. Вибраний нами район села Кам'янка, Ізюмського району, у вирішенні питань стратиграфії юрських відкладів Донбасу є ключовим. Саме тут розташована низка стратотипів місцевих стратонів, територія добре відслонена та досить щільно розбурена під час картувальних та пошуково-розвідувальних робіт, також на цій площі проводилася розробка корисних копалин, пов'язаних з юрськими відкладами.

Зважаючи на обсяг фактичного матеріалу зі стратиграфії юрських відкладів Північно-Західного Донбасу, отримані результати плануємо викласти у серії публікацій.

**Аналіз попередніх публікацій.** Цілеспрямоване вивчення юрської системи Донбасу почалося у 1787 році під керівництвом Г. Гюлденштедта. Проте лише в 1905 році О. Борисяком [1] описано її нижню глинисту частину. Виділення лейясу у праці А.В. Гурова (1882) було помилковим, оскільки до нього були віднесені бат-келовейські відклади. Остаточна ж стратиграфічна схема юрських відкладів О.О. Борисяка була опублікована у 1917 році [2]. В ній до нижньоюрського відділу віднесена глинистосланцева світа, яка об'єднала безумовно морські відклади нижньої юри та континентальні верхнього тріасу.

Проведені у 1939-1941 роках дослідження дозволили Л.Ф. Лунгерсгаузену [13] запропонувати більш детальну схему розчленування юрських відкладів північного Донбасу. Зокрема в нижньому та середньому відділах юрської системи були виділені світи: новорайська (пізніше був встановлений її тріасовий вік), козулинська,

бурханівська та черкаська. Втім, вже в перші повоєнні роки від цієї літостратиграфічної схеми відмовляються і починається робота над детальною біостратиграфічною схемою. Низка стратиграфічних схем 1951, 1955, 1964 років відображають саме такий стан.

У 1953 році Б.П. Стерлін [19] виділив у нижній частині козулинської світи лінгулові, і вище них естерієві шари, а у 1964 В.Г. Конашов [7], в її основі – амодискусіві верстви.

У 1969 році В.Г. Конашовим та І.М. Ямніченко [8] доведено, що бурханівська світа, принаймні в межах кам'яньського полігону, є фаціальним аналогом пісковиків козулинської світи. Але у фундаментальній монографії [17] вона знов виділяється.

До кінця 1960-х років спеціальні літологічні дослідження нижньоюрських відкладів не проводилися. Так, всі дослідники описують глини, що складають козулинську світу, як бейделітові, не наводячи жодних результатів мінералогічних або хімічних аналізів на підтвердження такого висновку. Більш пізні дослідження дають певну деталізацію. Наприклад, М. Канський [4], Є. Литовченко, Г. Карпова, О. Додатко [11] характеризують їх як переважно гідрослюдисті глини з домішками монтморилоніту. Доволі ґрунтовний аналіз досліджень, присвячених глинам козулинської світи здійснено в роботі В. Космачова [9].

Тому, зважаючи на складну стратиграфію юрської системи в межах Кам'яньської площі метою цієї статі стало дослідження козулинської світи, встановлення її складу та опис основних особливостей.

**Матеріал та методи.** Козулинська світа на території Кам'яньської площі поширена всюди, за виключенням ядер антиклиналей, де вона розмита. На жаль, відклади світи відслонені дуже нерівномірно. Її нижній контакт та, приблизно, нижня половина майже повністю відслонені в ярах правого схилу балки Протопівської. Верхня частина відслонена значно гірше і не дає суцільних виходів, найкращі її відслонення розташовані в Топальській балці. Невеликі за об'ємом, але важливі в стратиграфічному відношенні відслонення є в околицях с. Суха Кам'янка та хут. Тихоцький, а також, і у ярах вздовж берега р. С. Дінець біля с. Шпаківка (рис. 1).

Відклади світи також виявлені низкою свердловин структурно-пошукового буріння.

Нами були відібрані проби глин з різних стратиграфічних рівнів світи та з різних літологічних відмін (рис. 3). Проби 2 та 3 відібрані з тонковідмучених вохристих глин, які використовувалися промисловістю в якості пігментів. Всі інші проби – світло сірі алевритисті глини. Проби з відміткою «п» відбирались на палінологічний аналіз.

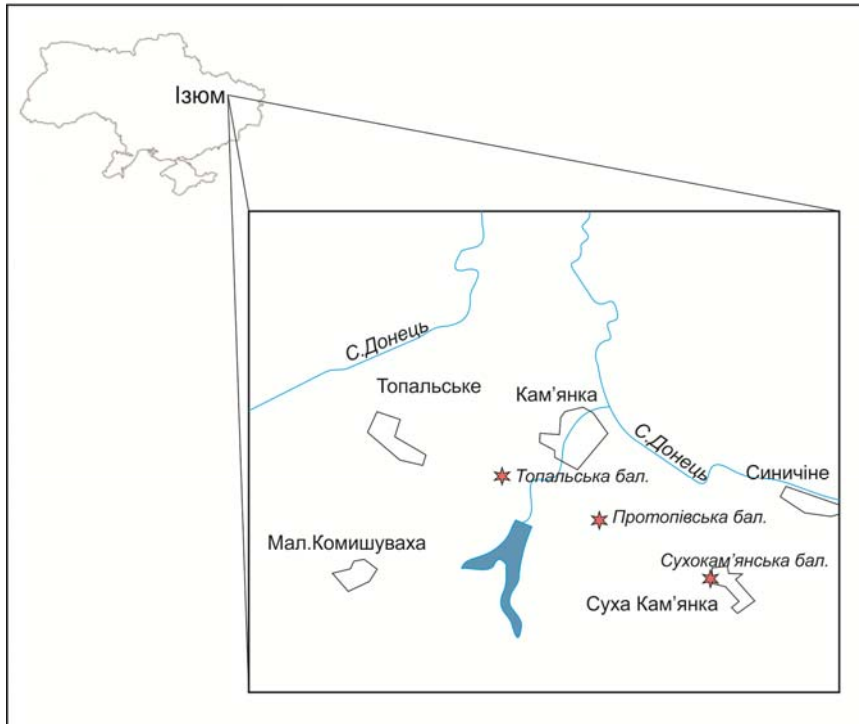


Рис. 1. Схема розміщення досліджених розрізів / Fig. 1. Scheme of placement of the investigated sections

Зразки глин були досліджені в лабораторії кафедри експериментальної фізики Харківського Національного університету імені В.Н. Каразіна. Попередньо відібрані зразки були відмиті та подрібнені, для аналізу використовувалася лише найдрібніша фракція. Для дослідження глин було використано два основні інструменти: електронний мікроскоп «Tescan Vega 3 LMN» (на якому було зроблено низку фотографій глин під збільшенням) та спектрометр «Bruker XFlash 5010» (який дав змогу встановити речовинний склад глин).

Для виявлення мікрофітофосилій в "Інституті геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка проведено мацерацію досліджених порід за стандартною методикою первинної обробки зразків на палинологічний аналіз: породу розчиняли у 10% розчині соляної кислоти, заливали гарячим розчином пірофосфату натрію і відмивали від колоїдних глинистих частин, промивали кожні 2-3 години дистильованою водою за допомогою сифонного пристрою, зливали воду до позначки 2 см над осадом, після чого відокремлювали у важкій кадмієвій рідині з питомою вагою 2,25 (для спорово-пилкового аналізу) і 2,0 (для виділення диноцист). Частина зразків було оброблено відповідно до стандартних палинологічних процедур у Global Geolab Limited. Аналітичні роботи виконувались за допомогою мікроскопу модульного Olympus BX51 в Департаменті Палеобіології Шведського Музею історії природи.

Були проаналізовані дані, отримані під час буріння, а також узагальнені відомості з власних зборів та літературних даних про знахідки викопних решток.

**Результати та обговорення.** Кожулинська світа представлена переважно сланцюватими сірими, темно-сірими, іноді блакитно-сірими глинами потужністю більше 100 м з відносно тонкими (товщиною 2-5 м) шарами пісковиків. Світа виділена Л.Ф. Лунгерсгаузенем у 1941 р [12], стратотип не вказаний (можна припустити за назвою, що це відслонення у балці Кожулинській (Кожуховій) біля м. Краматорська).

**Літологія.** Попередні дослідження показують, що відклади кожулинської світи представлені сірими тонкодисперсними, зазвичай алевритовими, глинами, з лінзами тонковідмучених охристих (нижня частина), іноді сіро-зеленкуватих (верхня частина). За мінералогічним складом це переважно гідрослюдисті глини з домішками монтморилоніту [4, 11].

Електронно-мікроскопічні дослідження (рис. 2) показали, що основна маса глин складається з гідрослюд, в яких значно менша кількість монтморилоніту, та ще менша досить добре розкриталізованого каоліну.

Хімічний аналіз глин, отриманий за допомогою спектрометра «Bruker XFlash 5010», наведений у таблиці I. Водночас у зв'язку із тим, що С, О<sub>2</sub>, Al та Si є базовими складниками глин, для дослідження елементного складу проб їх було включено з аналізу (тобто ми ігнорували їх, а сума

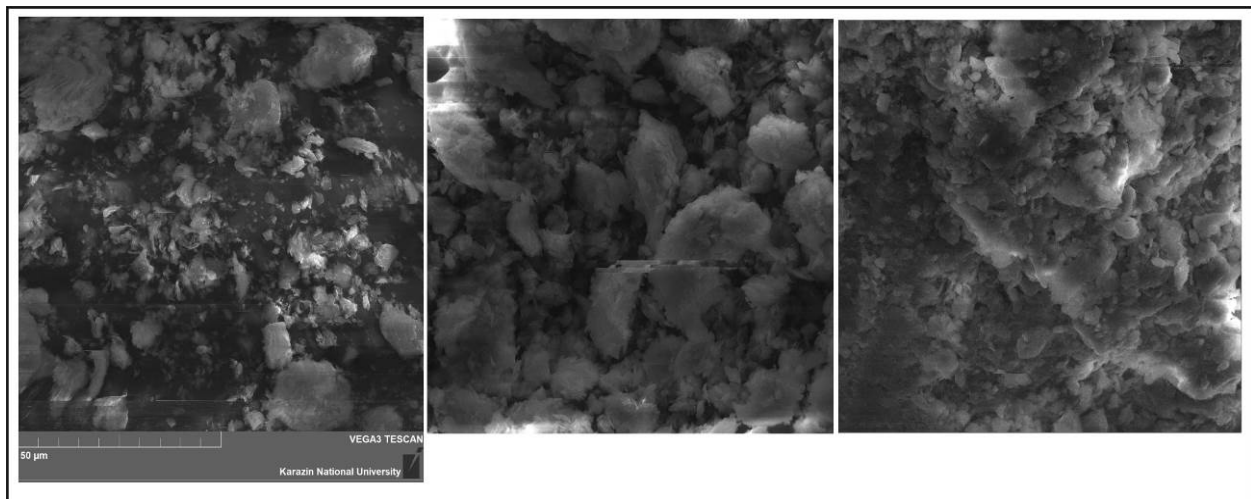


Рис. 2. Електронномікроскопічне зображення глин козулинської світи /  
Fig. 2. Electron microscopic image of the clays of Kozhulinska formation

інших елементів складала 100 %). Так ми змогли чіткіше побачити співвідношення концентрацій акцесорних елементів у глинах відносно одного. Перераховані дані подано в таблиці II. Для підтвердження валідності результатів було проведено декілька повторних аналізів. Загалом за речовинним складом кожна проба була гомогенною без суттєвих відмінностей.

Місцями (хут. Тихоцький, с. Сулигівка) в нижній частині світи зустрічаються лінзи та прошарки товщиною від 0,4 до 0,8 м вохристіх, тонко-відмучених глин. Для цих глин характерні скупчення відбитків двостулкових моллюсків. За основним складом вохристі глини не відрізняються від інших глин козулинської світи, але містять вдвічі більшу кількість заліза. Ймовірно, вони утворилися за рахунок перевідкладення глини з тріасових континентальних утворень.

Для нижньої частини козулинської світи характерний вміст у глинах досить великих (до 1 м) конкрецій сидериту, які при окисленні на поверхні перетворюються на лімоніт та надають глинам строкате – червоне та фіолетове забарвлення. Також у нижній частині світи в глинах містяться численні кристали та друзи добре сформованого гіпсу, розміром до 5 см.

В цій одноманітній товщі глини в досліджених розрізах простежуються витримані по простяганню шість прошарків пісковиків. Пісковики ясно-жовті, білі, зеленувато-жовті дрібно- та тонкозернисті, прошарками глинисті, зазвичай з поодинокими гравійними зернами, слабоцементовані. Текстура масивна або косошарувата. Товщина прошарків 3-5 м, верхній (буханівський пісковик) – 10-15 м, відстань між прошарками 15-20 м. Пісковики кварцові, цементовані глинистим матеріалом, верхня частина прошарків зазвичай цементується залізистими мінералами: сидерит, шамозит, окисли заліза.

За вмістом акцесорних мінералів в пісковиках М. Канський [4] відносить відклади тоару та аалену на досліджуваній території до епідот-турмалін-дістенової провінції. Найбільш поширеними мінералами (в порядку зменшення вмісту) є: епідот, турмалін, дістен, біотит, циркон, гранати. Водночас в аалені дещо збільшується концентрація циркону та гранатів, зменшується кількість біотиту.

Серед алотигенних мінералів козулинської світи зустрічаються: кварц (переважно кутасто-обкатаний), польовий шпат (завжди кутасто-обкатаний), уламки аргілітів та кременю, вивітрилий хлоритизований зеленкувато-бурий біотит, зерна зеленкуватого кутуватого епідоту, переважно обкатані зерна бурого або рожевого циркону, добре обкатані зерна турмаліну (зрідка синього або зеленого) та безбарвні кутасті зерна гранату. Серед аутигенних мінералів трапляються оксиди кременю, гіпс, кальцит (біогенного та хемогенного походження), гідрослюди (найпоширеніший мінерал глинистих порід, що зустрічається разом із мусковітом, монтморилонітом та каолінітом); монтморилоніт (значно рідший), бейделіт (має найбільше поширення після гідрослюди), каолініт, зрідка арагоніт [4].

**Палеонтологічні рештки.** Відзначимо, що палеонтологічні рештки в глинах козулинської світи зустрічаються вкрай рідко. Навіть в результаті ретельних цілеспрямованих пошуків керівних груп (амонітів) протягом десятків років знайдені лише поодинокі екземпляри. Деякі групи решток, які можна було б передбачати, зокрема, вапняний нанопланктон, секретуючі форамініфери, остракоди, в результаті спеціальних досліджень не знайдені зовсім.

**Рослинні рештки.** Рослинні рештки з козулинської світи були описані у 1911 р. Х.Х Томасом [27]. Відбитки рослин зустрічаються у залізи-

Таблиця I / Table I

Елементний склад проб, у % (номери проб на рис. 3)  
Elemental composition of samples, in % (sample numbers in Fig. 3)

№ проби / № аналізу	1/1	1/2	2/1	2/2	3/1	3/2	4/1	4/2	4/3	5/1	5/2	5/3	6/1	6/2	6/3
<b>O</b>	57,43	54,71	55,53	55,05	47,46	51,75	57,93	61,48	57,65	55,78	56,47	57,20	57,20	55,95	56,20
<b>Si</b>	23,72	25,37	20,75	23,95	25,10	23,73	24,35	20,14	24,62	25,27	24,87	24,05	22,61	24,14	23,54
<b>Al</b>	11,55	12,36	11,34	10,35	14,57	13,18	14,78	13,22	13,39	12,39	12,24	12,35	14,34	14,57	14,56
<b>Fe</b>	2,61	2,86	7,96	6,58	8,23	7,30	0,78	1,13	1,25	1,62	1,70	1,69	1,63	1,72	1,76
<b>K</b>	2,13	2,30	1,87	1,40	2,02	1,67	0,41	0,54	0,56	2,51	2,31	2,10	1,65	1,70	1,60
<b>Mg</b>	0,90	0,94	0,80	0,48	0,36	0,36	0,41	0,30	0,1	0,72	0,65	0,73	0,83	0,46	0,47
<b>Na</b>	0,63	0,23	0,54	0,60	0,46	0,56	0,59	0,83	-	0,77	0,75	0,83	0,77	0,36	0,76
<b>Ti</b>	0,54	0,48	0,41	0,49	0,61	0,46	0,56	0,48	0,65	0,56	0,67	0,73	0,64	0,65	0,70
<b>Ca</b>	0,36	0,58	0,51	0,90	0,87	0,74	0,11	1,15	1,39	0,26	0,23	0,24	0,23	0,27	0,21
<b>Cu</b>	0,09	0,12	0,11	-	0,22	0,20	-	0,21	0,21	-	-	-	-	0,08	0,12
<b>Cl</b>	0,002	0,006	0,03	0,04	0,05	0,01	0,03	0,08	0,06	0,02	0,04	0,03	0,03	0,05	0,04
<b>P</b>	-	-	0,10	0,09	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-
<b>S</b>	-	-	-	-	-	-	-	0,41	0,08	0,05	-	-	-	-	-

Таблиця II / Table II

Деталізований елементний склад проб без C, O<sub>2</sub>, Al та Si, у % (номери проб на рис. 3) /  
Detailed elemental composition of samples without C, O<sub>2</sub>, Al and Si, in % (sample numbers in Fig. 3)

№ проби / № аналізу	1	2/1	2/2	3/1	3/2	4/1	4/2	4/3	5/1	5/2	5/3	6/1	6/2	6/3
<b>Fe</b>	28,36	52,12	51,60	53,11	53,44	21,17	18,23	20,78	20,60	22,01	22,02	24,09	24,10	24,68
<b>Mg</b>	24,47	14,54	15,04	12,48	13,32	26,27	19,38	31,12	23,58	22,97	23,88	23,35	22,51	22,64
<b>K</b>	22,99	10,92	10,78	12,40	11,57	10,10	7,86	7,98	29,16	27,36	25,07	22,24	21,86	20,62
<b>Na</b>	10,56	10,42	10,54	9,64	10,77	21,34	17,51	-	13,97	13,90	14,74	15,97	15,81	16,20
<b>Ca</b>	7,08	7,70	7,47	5,97	5,71	3,40	17,98	22,47	4,28	3,88	3,97	4,19	4,57	3,71
<b>Ti</b>	5,29	4,04	3,94	4,01	3,45	14,39	8,00	11,77	7,53	9,01	9,85	9,66	9,29	9,90
<b>S</b>	-	-	-	0,45	-	-	6,01	1,34	-	-	-	-	-	-
<b>Cu</b>	1,19	-	-	1,63	1,73	2,46	3,62	3,54	0,58	-	-	-	1,18	1,72
<b>Cl</b>	0,05	-	0,35	0,31	-	0,87	1,42	0,99	0,30	0,56	0,46	0,51	0,66	0,52
<b>P</b>	-	0,26	0,28	-	-	-	-	-	-	0,31	-	-	-	-

стих пісковиках в нижній частині світи досить регулярно. Втім, визначити вдалось лише *Dictyophillum nathorsti* Zeiller, *Clathropteris meniscoides* Brongniar, *Podozamites* sp. Більшість знахідок представлені незначними уривками (табл. III, фіг. 1-3).

Органостінкові рештки. Нами були проведені результативні палінологічні дослідження. Палінологічні угруповання представлені переважно пилом і спорами, також відмічаються рештки динофітових, зелених водоростей та акри тархи (табл. IV). Оцінка віку базується на наявності/відсутності ключових таксонів у поєднанні з даними про чисельність у порівнянні з паліностратиграфічними схемами північної Європи та світу, викладеними в роботах [25, 24, 28, 20]. Комплекси з відкладів Топальської, Сухокам'янської та Протопівської балок характеризуються типовими ранньоюрськими таксонами пилку та спор. Більшість із 37 ідентифікованих таксонів є транзитними. Палінофлора включає один таксон мохоподібних, три лікоподіуми, 15 спорових таксонів папороті та 17 пилових таксонів голонасінних. Пилок голонасінних складає 66%, спори – 25%, інші рештки – 9%. Домінуючими спорами є *Marattisporites scabratus* Couper, *Osmundacidites wellmanii* Couper, *Dictyophyllidites* spp., *Densoisporites* sp. та поодинокі *Cyathidites* spp., *Concavisporites* sp. Також відмічаються *Todisporites major* Couper, *Todisporites minor* Couper, *Deltoidospora toralis* Lund, *Laevigatosporites ovatus* Wilson & Webster, *Apiculatisporis* sp., *Neoraistrickia* sp., *Selaginellidites* sp., *Reticulatisporites* sp. і інші. Серед мохоподібних встановлено спори *Stereisporites* spp. Домінуючим пилом голонасінних є *Alisporites* spp., *Pinuspollenites* sp., *Piceapollenites* sp., *Vitreisporites pallidus* Nilsson, *Podocarpidites* sp., *Parvisaccites* sp. та *Protopinus* sp. Серед однобороздного пилку багато *Perinopollentia elatoides* Couper, *Callialasporites* sp., що утворюються голонасінними рослинами, пов'язаними з Taxodiaceae/Cupressaceae та *Eucommiidites troedsonii* (Erdtman) Potonié. Відмічені поодинокі *Monosulcites* spp., *Araucariacites australis* Cookson, *Callialasporites* spp., *Cerebropollenites thiergartii* Eberh. Schulz, *Classopollis* sp., *Spheripollenites psilatus* Couper також гінкгові та цикадові.

Диноцисти встановлені в зразках Топальської балки: *Nannoceratopsis* sp., *Batiacasphaera* sp., *Endoscrinium* sp., *Dissiliodinium* sp., *Chytroesphaeridia* sp., у верхніх шарах - поодинокі *Pareodinia* sp. та поганій збереженості *Ctenidodinium* sp. Такий комплекс диноцист є характерним для тоар-ааленського часу. У зразках з відкладів нижчих шарів відбору Сухокам'янської балки встановлено поодинокі диноцисти *Dapcodinium* cf. *priscus* Evitt. та *Suessia* sp.

Рештки зелених водоростей представлені *Tasmanites* sp., *Ovoidites* sp., *Pteropspermella* sp. and *Pediastrum* sp. В зразках Сухокам'янської балки зустрічаються численні *Botryococcus* sp.

Встановлені акри тархи *Baltisphaeridium* sp. [22].

Всі зразки містять рештки деревини – *tracheids*, окремі рештки дуже вуглефіковані [21].

На підставі палінологічних досліджень вік більшої частини кожулинської світи, яка відслонюється у Протопівській та Топальській балках можна датувати як тоар-ааленський, так як щільні спори *Densoisporites* та незначний відсотковий вміст *Classopollis* sp. і *Spheripollenites psilatus*, сприяють тоарському датуванню, а високий відсотковий вміст однобороздного пилку *Perinopollenites elatoides* та пилку хвойних родини Pinaceae [26], а також поява *Eucommiidites troedsonii* є характерними ознаками ааленського віку. У зразках 1п-3п з відкладів Сухокам'янської балки встановлені диноцисти *Dapcodinium* cf. *priscus*, які є зональним видом для встановлення пограничних відкладів тріасу та юри і не зустрічаються в комплексах вище плінсбахського, а також великий відсоток складають диноцисти *Suessia* spp., які характерні для пізньотріасового часу (норійський-ретський час).

За даними палеоальгологічного аналізу відклади кожулинської світи датуються вперше.

Форамініфери. Дослідження форамініфер донецької юри проводилось лише у 50-х роках ХХ сторіччя [5, 6]. В роботах не приділяється увага біостратиграфії і для великих стратиграфічних підрозділів наводяться списки видів.

Плінсбах – нижній тоар. *Ammodiscus marginatus* Kapt. (табл. III), *A. incertus* (Orb.), *Reophax multilocularis* Kaeusler, *Ammobaculites fontinensis* (Terq.), *A. agglutinans* (Orb.), *Trochananina squamataformis* Kapt. Ці форамініфери мають широкий стратиграфічний діапазон і не можуть бути використані для встановлення віку нижньої межі кожулинської світи. Втім, в нижній частині світи, в шарах з великим вмістом формініфер з роду *Ammodiscus*, було запропоновано виділяти місцеву одиницю аммодискусові верстви [7].

Верхній тоар. *Rhizammina rudis* Kaptarenko, *Protonina ampullacea* (Brady), *Protonina difflugiformis* (Brady), *P. micra* Kaptarenko, *Hyperammina ramosa* Brady, *Reophax helveticus* Haeusler, *Ammodiscus incertus* (Orb.), *Ammodiscus marginatus* Kaptarenko, *A. varians* Kaptarenko, *Ammobaculites agglutinans* (Orb.), *A. fontinensis* (Terquem), *A. pictonicus* (Berthelin), *Spiroplectamina bififormis* (Parker et Jones), *Textularia haeusleri* Kaptarenko, *Trochammina squamata* Parker et Jones, *T. squamataformis* Kaptarenko, *Placopsilina cenomana* Orb.



Аален. *Ammodiscus sulcatus* Blank, *Frondicularia tenerrima* Kobler et Zwingli, *Lenticulina constricta* (Kaptarenko), *L.hoplites* (Wisniowski), *L.insignis* Kaptarenko, *L.orbignyi* (Roemer), *L.praeintegrata* Kaptarenko, *L.subalata* (Reuss), *Astacolus primus* (Orb.), *A.quadricoslatus* (Terquem), *Planularia cordiformis* (Terquem), *P.crepidula* (Fichtel et Moll), *P.filosa* (Terquem), *P.minuta* (Bornemann), *P.protracta* (Bornemann), *P.terquemi* (Orb.), *Marginulina ooliliica* (Terquem), *Dentalina bicornis* Terquem, *Citharinella obliqua* (Terquem), *Praelamarckina humilis* Kaptarenko, *Lamarckella antiqua* Kaptarenko, *Pseudolutilurclina discorbisi* (Kaptarenko), *Pseudolamarckina prima* (Kaptarenko).

**Двостулкові молюски.** Двостулкові молюски у нижньоюрських відкладах Червонооскільського куполу були досліджені А.Є. Юнгерман, А.Я. Янчук та Б.П. Стерліним і монографічно описані А.Є. Юнгерман [23], якою встановлені наступні види: *Nuculana acuminata* Goldf., *N.inflexa* Quenst., *Myophora aff. laevigata* Ziet., *Lucina* sp., *Plesiocyprina rostralis* Pcel., *Pleuromya goldfussi* Roll., *P.unioides* Roem., *P.aff.alduni* Goldf., *P.galatheia* Agas., *P olenekii* Lah., *Gresslia major* Agas., *G.aff.rostrata* Agas., *Pholadomya* sp., *Bureiomya* sp., *Mytiloides dubius* Sow., *M.amygdaloides* Goldf., *M.quenstedti* Pcel. Представники цих видів мають тонкостінну мушлю та відносяться до бентосу, що заривається.

**Червононогі молюски.** В верхній половині світи зустрічається своєрідна фауна червононогих молюсків, представлена дрібними формами: *Pro-mathilda tricostata* Jam., *P.quadricostata* Jam., *Zygopleura infima* Jam., *Procerithium matutinum* Jam., *Pseudomelania leyerbergensis* Krumb.

**Головноногі молюски.** Вперше амоніти з кожулинської світи були описані у 1908 р. О.О. Бори-сяком [3]. В межах кам'яньської площі ним були зібрані *Hammatoceras insigne* перевизначений пізніше, як *Hammatoceras semilunatum* (Quehst.) [16] та *Lioceras cf.opalinum* Rein., а в районі м. Слав'янськ *Coeloceras* sp., *Hildoceras cf. serpentinum* Schloth та *Hildoceras quadratum* Haug. Пізніше цей список був суттєво доповнений, але на жаль без прив'язки знахідок.

Були встановлені керівні форми майже всіх тоарських зон і в останньому опублікованому вигляді до зазначених вище додалися [18]: *Hildoceras bifrons* (Bruguiere), *Lytoceras cf.jurense* (Ziet.), *Grammoceras thouarsense* (Orb.), *G.quadratum* Haug., *Pseudogrammoceras fallaciosum* Bayle.

Також в районі с. Кам'янки в залізистих пісковицях зустрічаються відбитки белемнітів *Bellemnites aff. compressus* Blain., а в районі м. Слав'янська в тоарських відкладах ростри *Mesoteuthis aff.rhenana* (Opp.), *M.janenschii* (Ernst.), *M.exycona* (Hehl.), *M.pyramidalis* (Munst.),

*M.tripartita* (Schloth.), *M.triscissa* (Janensch.) та в аалені *Dactiloteuthis digitalis* (Voltz.), *D.cf.heberata* Ernst., *D.krimgolzi* Nikitin, *D.similis* (Seebach.), *D.lancetica* Nikitin [15].

**Брахіоподи.** Фауна брахіоподів з кожулинської світи відзначається багатьма дослідниками та була описана у монографії В.П. Макридіна [14]. В нижній частині світи у глинах зустрічаються численні залишки *Lingula longo-viciensis* Terq., та більш рідкі *Lingula sacculus* Chap.et Dew., *L.metensis amadocensis* Makrid (табл. III, фіг. 7).

**Членистоногі.** Скупчення відбитків дрібних мушель *Estheria* відомі з перших робіт, присвячених дослідженню юри Донбасу. Пізніше вони були визначені як *Estheria aff. heckeri* (Tchern.) (табл. III, фіг. 8), *Cyclestheroides* sp., *Pseudostheria* sp., втім монографічного опису цієї групи досі немає.

**Стратиграфія.** Таким чином, виходячи з вищеведеного, кожулинська світа представлена достатньо одноманітною товщею глин монтморилоніт гідрослюдистого складу. Глини переважно алевритові, але зустрічаються, особливо в нижній частині, перемиті чисті різновиди. Приблизно через рівні інтервали в 15-20 м в товщі глин знаходяться відносно тонкі 2-5 м прошарки дрібно- та тонкозернистих пісковиків, які витримані по площі та можуть бути визнані як маркувальні горизонти (Рис. 3). Розділити світу на підсвіти, за літологічними ознаками, неможливо.

По вмісту в глинах залишків викопних організмів в нижній частині світи можна виділити шари з фауною. В повних розрізах (Сухокам'янська балка) в нижній пачці глин виділяються шари з *Ammodiscus* по відносно високому вмісту аглютинуючих форамініфер. Вище них зосереджені шари з *Lingula*, ще вище знаходяться шари з *Estheria*.

В підшві світи зазвичай знаходиться тонкий 0,3-0,5 м прошарок гравійних конгломератів або грубозернистих пісків. У випадку їх відсутності нижня межа фіксується або по літологічних змінах: сірі шаруваті глини залягають на строкатоколірних алевролітах та глинах тріасу, або по вмісту аглютинуючих форамініфер.

В верхній частині світи у вигляді лінзоподібних тіл, які облямовують палеопідняття, можна виділити бурханівські верстви, складені дрібнозернистими, косоверстуватими пісковиками.

За біостратиграфічними даними відклади кожулинської світи відносяться до плінсбахського, тоарського та ааленського ярусів.

По знахідкам керівних амонітів вік світи встановлюється як тоар – аален. Втім, вкрай рідкі знахідки амонітів та їх переважно погана збереженість не дають змоги виділити зони. По поодиноким знахідкам амонітів та ще й у різних відслоненнях, які не завжди можна однозначно співста-

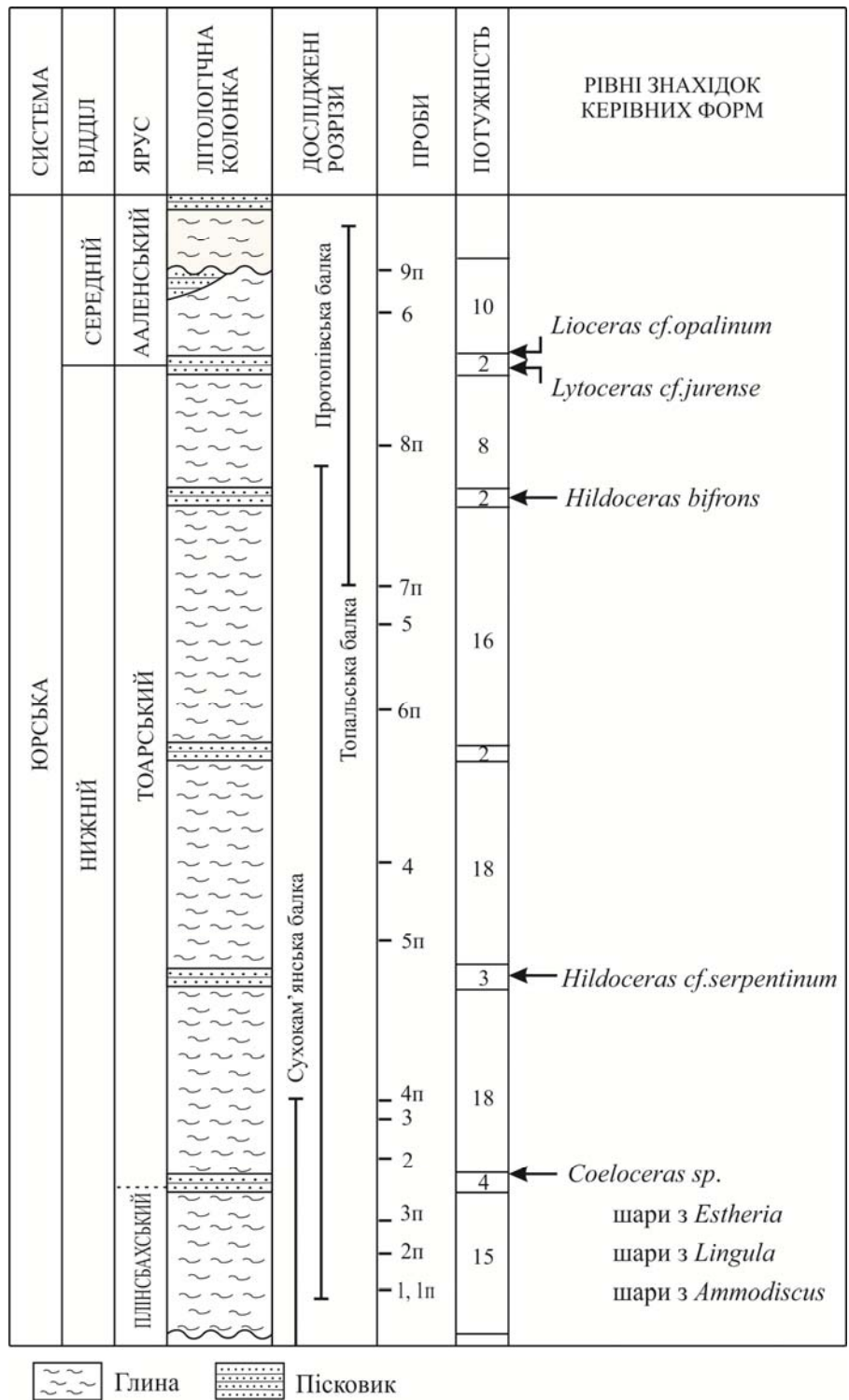
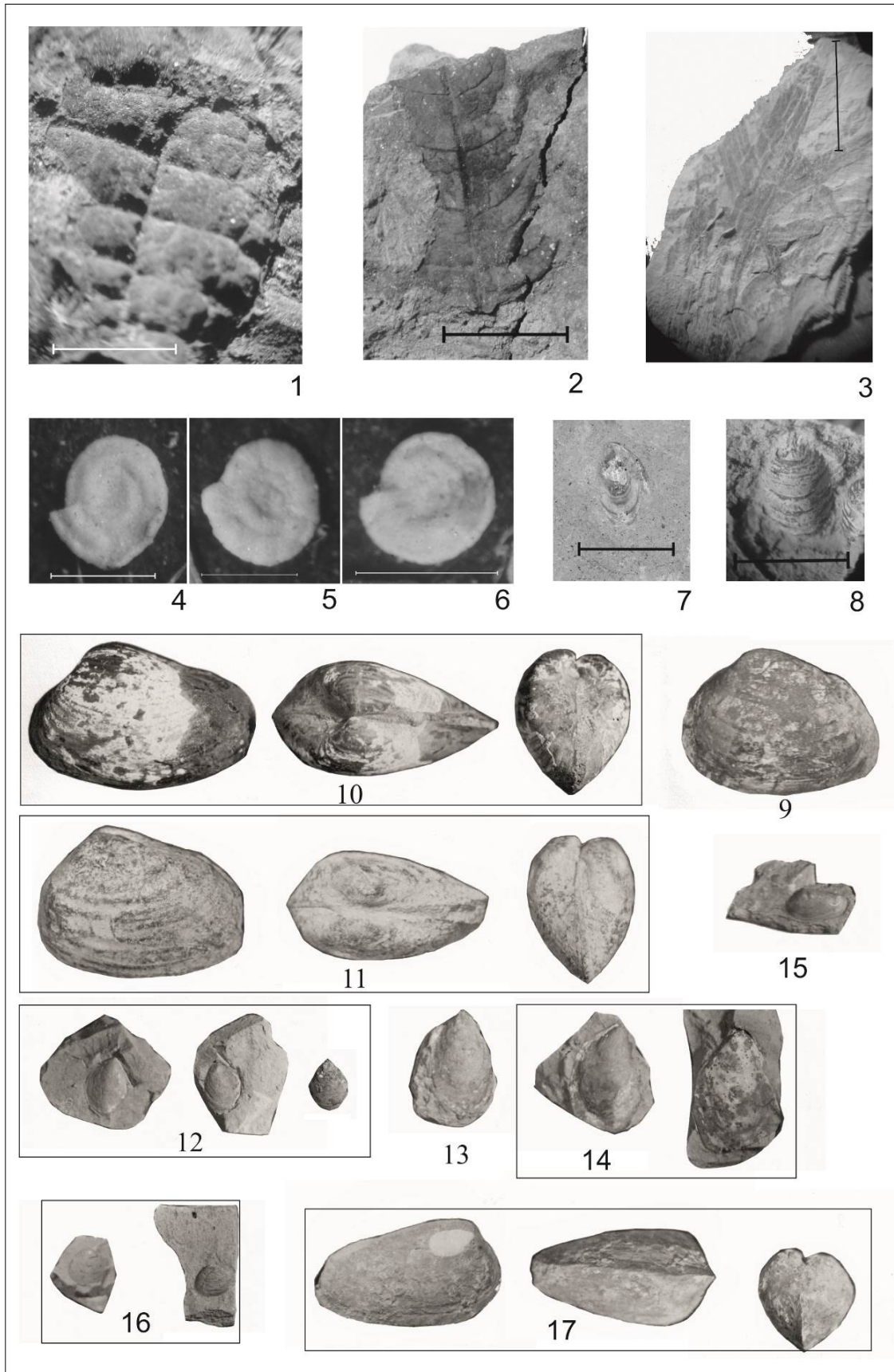


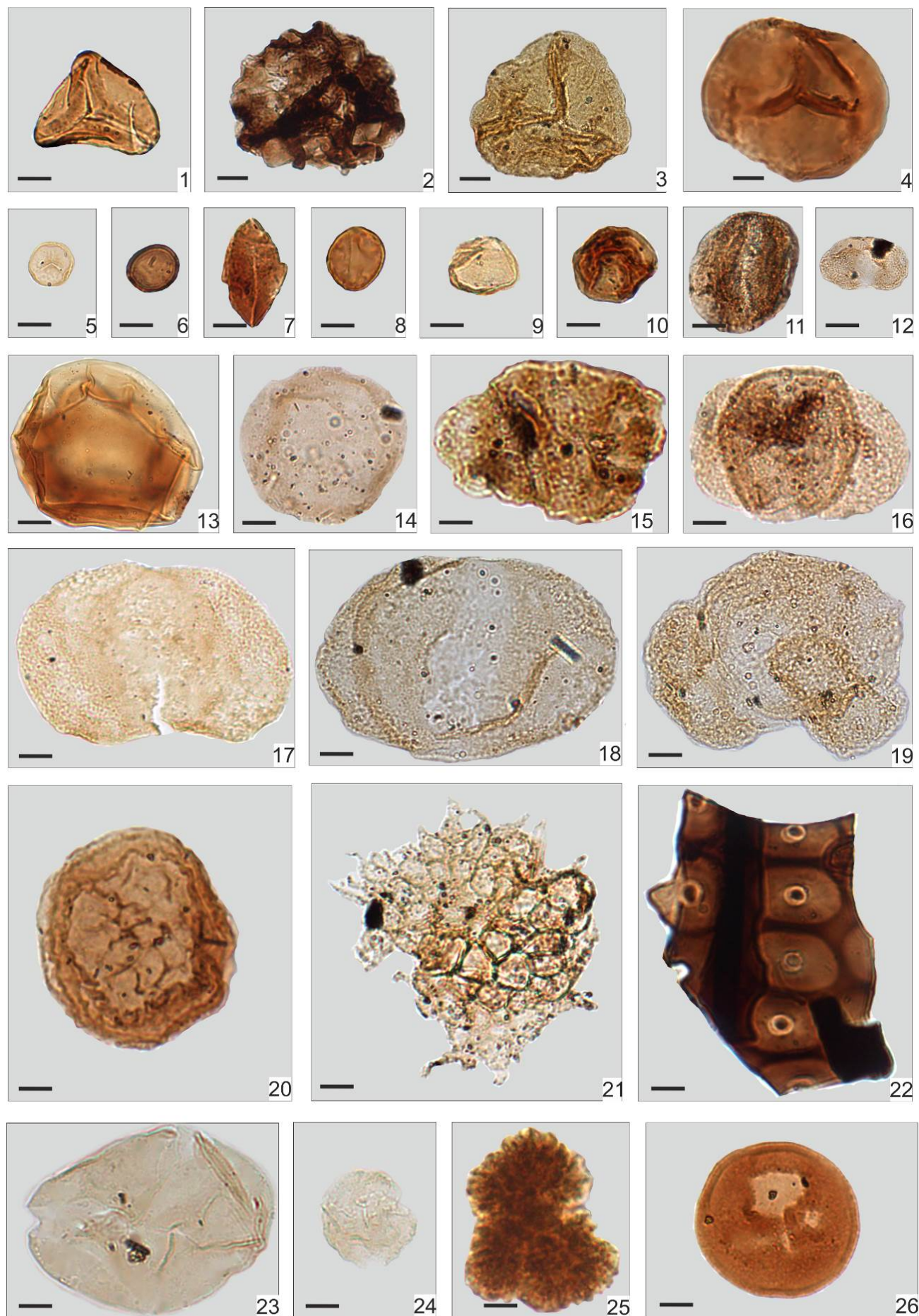
Рис. 3. Стратиграфія козулинської світи / Fig. 3. Stratigraphy of Kozhulinska formation

вити, доцільно встановити лише датовані рівні. Точно встановлюється по знахідкам амонітів та белемнітів межа між тоаром та ааленом [15], яка проходить у товщі першого від поверхні, так званого шамозітового, пісковіку. Нижня частина світи, глиниста пачка до, принаймні, першого від низу пісковіку по знахідкам диноцист відноситься до плінсбаху. Встановлення точного положення границі плінсбах/тоар потребує додаткових досліджень.

**Палеогеографія.** В кінці ранньоюрської та початку середньоюрської епохи територія кам'янської площі представляла собою досить мілководну частину морського дна, що осушувалась під час відливів, аналогічно сучасним ваттам. Суша, що її оточувала, була низинною і майже не постачала уламкового матеріалу, втім, спостерігається регулярний винос рослинного детриту. Джерелом теригенного матеріалу, на думку М. Канського [4] стали осадові комплекси Донецького кряжу.



Таблиця III. Палеонтологічні рештки козулинської світи району с. Кам'янка. Масштабна шкала 10 мм. (якщо не вказано інше): флора 1. *Dictyophillum nathorsti* Zeiller, 2. *Clathropteris meniscoides* Brongniar, 3. *Podozamites* sp.; форамініфери (масштаб 1 мм): 4-5. *Ammodiscus marginatus* Kapt., 6. *Ammodiscus incertus* (Orb.); брахіоподи: 7. *Lingula metensis amadocensis* Makrid; членистоногі (масштаб 5 мм): 8. *Estheria aff. heckeri* (Tchern.); двостулкові молюски: 9. *Pleuromya uniooides* Roem., 10. *Pleuromya goldfussi* Roll., 11. *Pleuromya regularis* Pcel., 12. *Mytiloides dubius* Sow., 13. *Mytiloides amigdaloides* Goldf., 14. *Mytiloides quenstedti* Pcel., 15. *Nucula inflexa* Quenst., 16. *Nucula subovalis* Goldf., *Cypricardia porrecta* Dum /



Таблиця IV. Характерні спори та пилок голонасінних рослин, рештки деревини, водоростей

з відкладів Кожулинської світи (північно-західна окраїна Донбасу, Україна). За номером зразка сліду-  
ють координати England Finder. Масштабна шкала 10 мкм. Спори: 1. *Dictyophyllidites* sp. cf. *D. harrisi*  
Courer, Топальська балка, зр. ТВ-4а, М29. 2. *Reticulatisporites* sp., Топальська балка, зр. ТВ-5а, J38-4.  
3. *Selaginellidites* sp., Топальська балка, зр. ТВ-1а, О44. 4. *Todisporites major*, Топальська балка, зр. ТВ-  
5а, R41-3. 5. *Stereisporites* sp., Сухокам'янська балка, зр. 6, J33. 6. *Marattisporites scabratus*, Топальська  
балка, зр. ТВ-5а, J29. Пилок: 7. *Sycadopites* sp., Топальська балка, зр. ТВ-5а, J29-1. 8. *Eucomiidites*  
*troedsonii*. Сухокам'янська балка, зр. ТВ-5а, J30. 9. *Monosulcites* sp., Топальська балка, зр. ТВ-5а, М24-  
3. 10. *Classopollis* sp., Топальська балка, зр. ТВ-5а, Y12. 11. *Protopinus* sp., Топальська балка, зр. ТВ-5а,  
S41-2. 12. *Vitreisporites pallidus*, Топальська балка, зр. ТВ-5а, R23. 13. *Callialasporites* sp., Топальська  
балка, зр. ТВ-3b, T26-1. 14. *Araucariacites australis*, Топальська балка, зр. ТВ-5а, L35. 15. *Parvisaccites*  
sp., Топальська балка, зр. ТВ-6а, E32-3. 16. *Podocarpidites* sp., Топальська балка, зр. ТВ-5а, L35-4. 17.  
*Alisporites* sp., Топальська балка, зр. ТВ-5b, S23. 18. *Alisporites* sp., Топальська балка, зр. ТВ-5а, F32-4.  
19. *Pinuspollenites* sp., Топальська балка, зр. ТВ-4а, F16-2. Рештки водоростей (динофітові та зелені):  
20. *Suessia* sp., Сухокам'янська балка, зр. 1, L32-2. 21. *Pediastrum* sp., Топальська балка, зр. ТВ-4а,  
Q14-3. 23. *Dissiliodinium* sp., Топальська балка, зр. ТВ-5а, E38-2. 24. *Dapcodinium* cf. *priscus*. Сухо-  
кам'янська балка, зр. 1, J30. 25. *Votryococcus* sp., Топальська балка, зр. ТВ-4b, R15-3. 26.  
*Batiacasphaera* sp., Топальська балка, зр. ТВ-4b, R23. 22. Рештки деревини – *tracheids*, Топальська ба-  
лка, зр. ТВ-6а, T31-3

Швидкість осадконакопичення досить низька і дорівнює 0,8-1 см/тис. років. Особливостями хімічного складу світи є значна кількість заліза (сидерит, вохра, шамозит) та відсутність карбонатів кальцію та магнею.

В таких умовах, у дещо розпрісненій водоймі, існували переважно тварини, що занурювалися в мул: естерії, лінгули, двостулкові моллюски з тонкою мушлею, а в кінці цього етапу дрібнорослі гастроподи та двостулкові моллюски. При цьому солоність порових вод була значною, що приводило до утворення кристалів гіпсу.

Періодично підняття рівня моря приводило до незначного збільшення глибини водойми та накопичення тонкозернистих косоверстуватих пісковиків барової фації, а в більш глибоких частинах – детритових вапняків. Солоність води в ці часи нормалізувалась, саме в верствах пісковиків знайдені залишки амонітів. Зазвичай у верхній частині прошарків пісковиків спостерігаються шамозитові ооліти, що іноді зливаються у суцільну плиту в декілька десятків сантиметрів товщиною, що свідчить про дефіцит кисню при їх утворенні.

В кінці раннього аалену цей нестійкий ба-сейн остаточно регресує, що приводить до нако-

пичення потужної субаеральної пачки пісковиків (бурхановські пісковики), які тяжіють та облямовують ядра антикліналей – піднесені ділянки дна або невеличкі острови.

**Висновки.** Кожулинська світа є єдиним геологічним тілом, яке було сформовано протягом плінсбахського – ааленського віків та відповідає початковим фазам трансгресії юрського моря до Дніпровсько-Донецької западини. Незважаючи на досить різноманітний склад викопних решток, час формування світи тривалий час залишався дискусійним. Нам вперше вдалось довести плінсбахський час початку формування кожулинської світи.

Результати цього дослідження можуть бути використані для подальшої детальної стратифікації юрських відкладів та уточнення існуючих стратиграфічних схем Донбасу.

**Подяка.** У цій публікації висвітлено результати палеологічних досліджень, що виконані за фінансової підтримки по Сепкоського гранту Американського союзу палеонтологів для виконання наукової роботи на тему: «Palynostratigraphy of the Triassic–Jurassic transition of the north-western outskirts of Donbas», 2022.

#### Список використаної літератури

1. Борисьяк А.А. Геологический очерк Изюмского уезда и прилегающей полосы Павлоградского и Змиевского уездов / А.А. Борисьяк // Тр. Геолком. Новая серия. – 1905. – Вып. 3. – 423 с.
2. Борисьяк А.А. Донецкая юра / А.А. Борисьяк. – 1917. – Изд. Геолкома, т.3. – Вып. 3. – 18 с.
3. Борисьяк А.А. Фауна Донецкой юры. Вып. 1. Serphalopoda / А.А. Борисьяк // Тр. Геол. ком., Нов. сер. – 1908 – Вып. 37.
4. Канский Н.Е. Литология юрских отложений Днепровско-Донецкой впадины / Н.Е. Канский. – Издательство Харьковского университета, 1969. – 219 с.
5. Каптаренко-Черноусова О.К. Последовательность развития мезозойских фораминифер в Днепровско-Донецкой впадине и Северо-Западной окраине Донбасса / О.К. Каптаренко-Черноусова // Геол. строение и нефтегазоносность вост. обл. Украины. – 1950.
6. Каптаренко-Черноусова О.К. Фораминифери юрских отложений Днепровско-Донецької западини / О.К. Каптаренко-Черноусова // Тр. ІГН АН УРСР, сер. Стратиграфії і палеонтології, в. 15. – 1959.

7. Конашов В.Г. Новый маркирующий горизонт в основе тоарського ярусу донецької юри // Геол.ж. – 1964, т. XXIV, вип. 2. – С. 81.
8. Конашов В.Г. Новые данные о бурхановской свите Донецкой юри / В.Г. Конашов, И.М. Ямниченко // Геол. ж., 1969. – №6. – С. 92-95.
9. Космачев В.Г. Геологическая база «Каменка». Учебное пособие / В.Г. Космачев. – Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, 1993. – 104 с.
10. Котельников Д.Д. Глинистые минералы осадочных пород / Д.Д. Котельников, А.И. Конюхов. – М.: Недра. – 1986. – 247 с.
11. Литовченко Е.И. Глинистые породы Украины / Е.И. Литовченко, Г.В. Карпова, А.Д. Додатко и др. – Изд-во «Наукова думка», 1982. – 248 с.
12. Лунгерсаузен Л.Ф. Новые данные по стратиграфии юри / Л.Ф. Лунгерсаузен. – В кн. «Геологическое строение СССР. Донбасс. Геологическое описание», 1941. – С. 234-243.
13. Лунгерсаузен Л.Ф. Стратиграфия Донецкого лейяса / Л.Ф. Лунгерсаузен // ДАН СССР, нов.сер, XXXIV, №4-5. – 1942. – С. 150-153
14. Макридин В.П. Брахиоподы юрских отложений Русской платформы и некоторых прилежащих к ней областей / В.П.Макридин. – М.: Недра, 1964. – 396 с.
15. Нікітін І.І. Про положення межі між відкладами тоару та аалену в районі білки Кожухової (Кожулиної) на північно-захадній окраїні Донецького кряжа / І.І. Нікітін, І.М. Ямниченко // Тектоніка і стратиграфія. – 1973. – №5. – С. 23-35.
16. Парышев А.В. Аммонит *Hammatoceras semilunatum Janensch* из верхнего тоара северо-западных окраин Донбасса / А.В.Парышев // Палеонтологический сб., 1974. – №10, вып. 1. – С. 53-55.
17. Стратиграфія верхнього протерозою та фанерозою України. Т.1: Стратиграфія верхнього протерозою, палеозою та мезозою України / Гол. ред. П.Ф. Гожик. – К.: ІГН НАН України. – Логос, 2013. – 638 с.
18. Стратиграфія УРСР. Т. VIII Юра. – Київ, Наук.думка, 1969. – 219 с.
19. Стерлин Б.П. Новые данные по стратиграфии юрских отложений Донецкого бассейна и области его северо-западного погружения / Б.П. Стерлин // ДАН СССР, 1953. – Т. 89, №5. – с. 83-86.
20. Шевчук О.А. Біостратиграфія середньої юри центральної та східної частини платформної України / О.А. Шевчук // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2016. – Вип. 45. – С. 86-99. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2016-45-12>
21. Шевчук О.А. Трахеїди з юрських відкладів України / О.А. Шевчук // Доповіді Національної Академії наук України, 2015. – № 7. – С.105-109. DOI: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2015.07.105>
22. Шевчук О.А. Акритархи мезозою України / О.А. Шевчук, К.В. Іванченко // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2021. – Вип. 55. – С. 107-116. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-08>
23. Юнгерман А.Е. О новом местонахождении нижнеюрских пелеципод Краснооскольского купола (Донбасс) / А.Е. Юнгерман // Записки геол.ф-та ХГУ, 1957. – Т. 14. – С. 173-200.
24. Pienkowski G. Sedimentological, palynological and geochemical studies of the terrestrial Triassic–Jurassic boundary in northwestern Poland / G. Pienkowski, G. Niedźwiedzki, M. Waksmundzka // Geological Magazine, 2012. – 149(2). – P. 308-332. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0016756811000914>
25. Schrank E. Pollen and spores from the Tendaguru Beds, Upper Jurassic and Lower Cretaceous of southeast Tanzania: palynostratigraphical and paleoecological implications / E. Schrank // Palynology, 2010. – 34:1. – P. 3-42. DOI: <https://doi.org/10.1080/01916121003620106>
26. Sirenko O.A. Levels of changes in the genus *Pinus* Linné in the composition of Mesozoic and Cenozoic flora and vegetation as an additional criterion for the division of sediments by the Mesozoic and Cenozoic of Ukraine / O.A. Sirenko, O.A. Shevchuk // Journal of Geology, Geography and Geoecology, 2021. – Том 30, №4. – Дніпро. – P. 741-753. DOI: <https://doi.org/10.15421/112168>
27. Thomas H.H. Юрская флора Каменки в Изюмском уезде / H.H. Thomas // Тр. геол. ком. Новая сер., 1911. – Вып. 71. – 95 с.
28. Vajda V. Disrupted vegetation as a response to Jurassic volcanism in southern Sweden / V. Vajda, H. Linderson, S. Mcloughlin // Geological Society London Special Publications, 2016. – 434. – P. 127-147 DOI: <https://doi.org/10.1144/SP434.17>

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

## Jurassic system stratigraphy at the Kamianka village. Part 1. The Kozhulinska formation

**Andriy Matveev**<sup>1</sup>,

PhD (Geology), Associate Professor,

Department of Fundamental and Applied Geology,

<sup>1</sup> V.N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine;

**Marianna Pakki**<sup>1</sup>,

PhD (Pedagogy), Associate Professor;

**Olena Shevchuk**<sup>2,3</sup>,

DSc (Geology), Senior Researcher,

<sup>2</sup> Swedish Museum of Natural History, 9 Svante Arrhenius road, Stockholm, 11418, Sweden,

<sup>3</sup> Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, 55b O. Gonchara St., Kyiv, 01601, Ukraine

**Oleksandr Klevcov**<sup>1</sup>,

PhD (Geology), Associate Professor

### ABSTRACT

**Introduction.** Despite the active research of Jurassic system deposits of Donbas during the last two centuries the issue of their stratigraphy principles is still debatable. The authors' analysis of the available scientific material revealed a conflict between the normatively established requirement to rely on lithostratigraphy during the sediment research, and the fact that the existing common system relies on biostratigraphy. This contradiction could be solved by the study of lithostratigraphic units of the Donetsk Jurassic deposits. Therefore, the purpose of the article was to research the Kozhulinska formation, establish its composition and describe its main features. The Lower Jurassic deposits from the outcrops near the village of Kamyanka (Izyum district) were studied, since the studyable stratotypes of most of the Jurassic strata, which are well exposed in the studied area, are available in this area.

**Material and methods.** The scientific search was based on the analysis of literature, results of previous drilling and mapping works, as well as own field, laboratory and analytical studies. Clay samples were taken from different stratigraphic levels of the formation and from different lithological varieties. Laboratory research was carried out in two directions: using an electron microscope and a spectrometer to detect the material composition of clays. A palynological analysis of these deposits was also carried out, namely, stratified deposits with the help of microphytofossils, including, for the first time, according to the orthostratigraphic group – dinocysts.

**Results and discussion.** The results showed that the Kozhulinska formation was mainly represented by shaly clays (gray, dark gray, sometimes blue-gray) that contained relatively thin layers of sandstones. The main mass of clays consisted of hydromicas, with an insignificant content of montmorillonite, and an even smaller amount of kaolin. The layers of quartz sandstones cemented with clay material were separately traced along the strike.

Paleontological remains in the clays of Kozhulinska formation were rare. Palynological groups are mainly represented by pollen and spores, as well as remains of dinophytes, green algae and acritarchs. According to paleoalgeological analysis, the sediments of the Kozhulinska formation are dated for the first time.

**Stratigraphy.** Kozhulinska formation is represented by a fairly uniform layer of montmorillonite clays of hydromica composition. The clays are mainly siltstone, but there are, especially in the lower part, washed clean varieties. It is impossible to divide the formation into sub formation based on lithological features. According to biostratigraphic data, deposits are divided into Plinsbachian, Toarian and Aalenian.

**Paleogeography.** At the end of the Early Jurassic and the beginning of the Middle Jurassic era, the territory of the Kamianska area was a low-lying part of the seabed that was drained during low tides. The land that surrounded it was also low-lying and almost did not supply detrital material, however, there is a regular removal of plant detritus. The source of the terrigenous material was the sedimentary complexes of the Donetsk Ridge. Features of the chemical composition of the world are a significant amount of iron (siderite, ocher, chamosite) and the absence of calcium and magnesium carbonates. At the end of the early Aalene, this unstable basin finally regresses, which leads to the accumulation of a powerful subaerial pack of sandstones, which weigh and border the cores of anticlines - elevated areas of the bottom or small islands.

**Keywords:** Jurassic system, North-Western Donbas, stratigraphy, lithology, paleontological remains.

### References

1. Borysiak A. (1905). *Geological sketch of the Izyum district and the adjacent strip of the Pavlograd and Zmiiv districts. Works of Geolkom. New series, 3, 423. [in Russian]*
2. Borysiak A. (1917). *Donetsk Jura. Geolkom Publishing House, 3 (3), 18. [in Russian]*
3. Borysiak A. (1908). *Fauna of the Donetsk Jura. Issue 1. Cephalopoda. Works of Geolkom. New series, 37. [in Russian]*
4. Kansky N.E. (1969). *Lithology of the Jurassic sediments of the Dnieper-Donetsk basin. Kharkiv University Publishing House, 219. [in Russian]*
5. Kaptarenko-Chernousova O.K. (1950). *The sequence of development of Mesozoic foraminifera in the Dnieper-Donetsk basin and the North-Western outskirts of Donbas. Geological structure and oil and gas production of eastern regions of Ukraine. [in Russian]*

6. Kaptarenko-Chernousova O.K. (1959). Foraminifera of the Jurassic sediments of the Dnipro-Donetsk Basin. Works of the Geology Institute of Scientific Research of the Ukrainian SSR, series "Stratigraphy and Paleontology", 15. [in Ukrainian]
7. Konashov V.G. (1964). A new marking horizon at the base of the Toar stage of the Donetsk Jurassic. *Geol. journ.*, XXIV, 2, 81. [in Ukrainian]
8. Konashov V.G., Yamnychenko I.M. (1969). New data on the Burkhanov Formation of the Donetsk Jura. *Geol. journ.*, 6, 92-95. [in Russian]
9. Kosmachev V.G. (1993). Geological base "Kamenka". Textbook. V.N. Karazin Kharkiv National University, 104. [in Russian]
10. Kotelnikov D.D., Konyukhov A.I. (1986). Clay minerals of sedimentary rocks. M., Nedra, 247. [in Russian]
11. Lytovchenko E.I., Karpova G.V., Dudshcho A.D. etc. (1982). Clay rocks of Ukraine. Scientific Thought Publishing House, 248. [in Russian]
12. Lungershausen L.F. (1941). New data on Jurassic stratigraphy. In the book Geological structure of the USSR. Donbass. Geological description, 234-243. [in Russian]
13. Lungershausen L.F. (1942). Stratigraphy of the Donetsk leyas. RAS USSR, New series, XXXIV, 4-5, 150-153. [in Russian]
14. Makrydin V.P. (1964). Brachiopods of the Jurassic sediments of the Russian platform and some areas adjacent to it. M., Nedra, 396. [in Russian]
15. Nikitin I.I., Yamnychenko I.M. (1973). On the position of the boundary between thoar and aalenian deposits in the area of the Kozuhova (Kozhulina) squirrel on the northwestern edge of the Donetsk ridge. *Tectonics and stratigraphy*, 5, 23-35. [in Ukrainian]
16. Paryshev A.V. (1974). Ammonite *Hammatoceras semilunatum* Janensch from the upper toar of the north-western outskirts of Donbas, *Paleontological coll.*, 10 (1), 53-55. [in Russian]
17. Stratigraphy of the Upper Proterozoic and Phanerozoic of Ukraine. Volume 1: Stratigraphy of the Upper Proterozoic, Paleozoic and Mesozoic of Ukraine. Chief editor P.F. Gozhik (2013). K., IGSNAS of Ukraine, Logos, 638. [in Ukrainian]
18. Stratigraphy of the Ukrainian SSR. T. VIII Jurassic (1969). Kyiv, Nauk. dumka, 219. [in Ukrainian]
19. Sterlin B.P. (1953). New data on the stratigraphy of the Jurassic sediments of the Donetsk basin and the area of its north-western subduction. RAS USSR, 89 (5), 83-86. [in Russian]
20. Shevchuk O.A. (2016). Biostratigraphy of the Middle Jurassic of the central and eastern part of platform Ukraine. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (45), 86-99. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2016-45-12> [in Ukrainian]
21. Shevchuk O.A. (2015). Tracheids from the Jurassic deposits of Ukraine. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*. Kyiv, (7), 105-109. DOI: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2015.07.105> [in Ukrainian]
22. Shevchuk O.A., Ivanchenko K.V. (2021). Mesozoic acritarchs of Ukraine. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (55), 107-116. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-08> [in Ukrainian]
23. Jungerman A.E., Makrydin V.P. (1953). To the question of the Lower Jurassic sediments of the Krasnooskol dome of the northwestern edge of the Donetsk ridge. *Reports of the National Academy of Sciences of the USSR*, 92, (2), 409-411. [in Russian]
24. Pienkowski G., Niedźwiedzki G., Waksmundzka M. (2012). Sedimentological, palynological and geochemical studies of the terrestrial Triassic–Jurassic boundary in northwestern Poland. *Geological Magazine*, 149(2): 308-332. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0016756811000914>
25. Schrank E. (2010). Pollen and spores from the Tendaguru Beds, Upper Jurassic and Lower Cretaceous of southeast Tanzania: palynostratigraphical and paleoecological implications, *Palynology*, 34:1, 3-42. DOI: <https://doi.org/10.1080/01916121003620106>
26. Sirenko O.A., Shevchuk O.A. (2021). Levels of changes in the genus *Pinus* Linné in the composition of Mesozoic and Cenozoic flora and vegetation as an additional criterion for the division of sediments by the Mesozoic and Cenozoic of Ukraine. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. Dnipro, 30, (4), 741-753. DOI: <https://doi.org/10.15421/112168>
27. Thomas H.H. (1911). Jurassic flora of Kamenka in Izium district. Works of the geological committee. New series, 71, 95. [in Russian]
28. Vajda V., Linderson H., Mcloughlin S. (2016). Disrupted vegetation as a response to Jurassic volcanism in southern Sweden. *Geological Society London Special Publications* 434: 127-147. DOI: <https://doi.org/10.1144/SP434.17>

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work

Received 2 March 2023

Accepted 26 April 2023



## Assessment of groundwater vulnerability within the cross-border areas of Ukraine and Poland

*Halyna Medvid*<sup>1</sup>

PhD (Geology), Head of the Laboratory of Geoecology Problems,

<sup>1</sup> Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine,

3a Naukova St., Lviv, 79060, Ukraine,

e-mail: [halmedvid@gmail.com](mailto:halmedvid@gmail.com), [ID https://orcid.org/0000-0002-5059-245X](https://orcid.org/0000-0002-5059-245X);

*Luibov Yanush*<sup>2</sup>

MSc (Geology), Leading Engineer,

<sup>2</sup> Subsidiary Enterprise of PJSC Nadra Ukrayny Zahidukrgeologiya,

8 Mickiewich Sq., Lviv, 79005, Ukraine,

e-mail: [luibovyanush@ukr.net](mailto:luibovyanush@ukr.net), [ID https://orcid.org/0000-0002-4225-8646](https://orcid.org/0000-0002-4225-8646);

*Tatiana Solovey*<sup>3</sup>

DSc (Geography), Associate Professor at <sup>3</sup> Polish Geological Institute - National Research Institute,

Department of Groundwater Recognition and Protection,

4 Rakowiecka St., Warszawa, 00-975, Poland,

e-mail: [tatiana.solovey@pgi.gov.pl](mailto:tatiana.solovey@pgi.gov.pl), [ID https://orcid.org/0000-0001-8949-4075](https://orcid.org/0000-0001-8949-4075);

*Dmytro Panov*<sup>2</sup>

MSc (Geology), Head of the Geology and Production Department,

[dgp.panov@gmail.com](mailto:dgp.panov@gmail.com), [ID https://orcid.org/0000-0002-9560-0193](https://orcid.org/0000-0002-9560-0193);

*Vasyl Harasymchuk*<sup>1</sup>

PhD (Geology), Senior Researcher of the Laboratory of Geoecology Problems,

e-mail: [v\\_harasymchuk@ukr.net](mailto:v_harasymchuk@ukr.net), [ID https://orcid.org/0000-0002-4377-2655](https://orcid.org/0000-0002-4377-2655)

### ABSTRACT

**Problem statement.** The growing global trend of groundwater consumption and excessive groundwater abstraction in many parts of the world requires an accurate and comprehensive assessment of the potential for groundwater resource development. The EU-WATERRES international project has begun developing a concept for coordinated management and harmonized monitoring of groundwater resources in the transboundary areas of Ukraine and Poland. Studying groundwater's natural protection status or vulnerability is a priority, as groundwater pollution has become a significant environmental problem in recent decades due to the growth of industrial production and agricultural activities.

**Study objective** is to analyze the existing materials on the natural protection of groundwater within the study area and to quantify the vulnerability of the main useful aquifer (MUA) to surface pollution in the cross-border Polish-Ukrainian area.

**Methodology** involves the quantitative method of groundwater vulnerability assessment by calculating the time of pollutant penetration into the aquifer through the aeration zone using the modified Bindemann formula and GIS.

**Research results.** Studies have shown that the most vulnerable among MUA there is an unconfined alluvial Quaternary horizon (aIQ) of the Syan and Dniester River basins. Throughout its entire development, its vulnerability corresponds to the "very high" category because of pollution from the surface caused by precipitation filtration. The Upper Cretaceous aquifer (K2) is less vulnerable. The groundwater of this horizon in the Polish part of the cross-border area is more vulnerable - here the vulnerability corresponds to the categories "very high" and "high". In the Ukrainian part, the Upper Cretaceous aquifer is characterized by better natural hydrogeological conditions and is less vulnerable to pollution. The Lower Neogene aquifer, which has a limited distribution on the slopes of the Western Bug-Syan River watershed within Roztochia, is the least vulnerable to pollution as compared to the others. The lithological composition of the aeration zone and the thickness of weakly permeable and practically impermeable rocks have a decisive impact on the filtration time and vulnerability of groundwater to pollutants from the surface by infiltration.

**Scientific novelty of the research.** For the first time, a quantitative assessment of the vulnerability of the MUAs for the Polish-Ukrainian cross-border area was carried out. The use of the results of this assessment will facilitate the adoption of appropriate management decisions for the comprehensive protection of transboundary groundwater, prevention of its pollution, and reduction of anthropogenic impact.

**Keywords:** groundwater vulnerability, transboundary aquifer, main aquifer, Polish-Ukrainian cross-border area.

**In cites:** Medvid Halyna, Yanush Luibov, Solovey Tatiana, Panov Dmytro, Harasymchuk Vasyl (2023). Assessment of groundwater vulnerability within the cross-border areas of Ukraine and Poland. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (58), 73-84. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-06>

**Introduction.** The coordinated management of transboundary groundwater resources (TGR) is becoming increasingly important worldwide to minimize adverse transboundary impacts. Due to the growing global trend of groundwater consumption, exceeding groundwater abstraction in many parts of the world, an accurate and comprehensive assessment of the development potential of groundwater

resources is needed [13, 23]. The global identification of TGR began in 2000 under the coordination of the International Shared Aquifer Resources Management (ISARM) under the auspices of UNESCO. Since its foundation, ISARM has launched a number of global and regional initiatives aimed at inventorying transboundary aquifers and encouraging states to work together in a mutually beneficial and sustainable manner.

The International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC) is developing a global information system that facilitates the availability of relevant information and knowledge on groundwater resources worldwide, with a focus on developing countries. Since 2003, IGRAC specialists have been focusing on the assessment of transboundary aquifers (TBAs) and groundwater monitoring for their sustainable development and coordinated management. It is estimated that there are 591 TBAs in the world, including 317 in Europe [15].

The issue of studying and continuously monitoring the state of water resources for transboundary water basins, which involves establishing international cooperation in this area, is extremely relevant. Therefore, within the framework of the international project "EU-WATERRES: European Integrated Management System for Transboundary Groundwater Resources and Anthropogenic Hazards", funded by Iceland, Liechtenstein, and Norway through the European Economic Area Grant Fund and the Norwegian Regional Cooperation Grant Fund, the development of a concept for coordinated management and harmonized monitoring of TGR for the pilot area of the Vistula River basin (Western Bug and San sub-basins) and part of the Dniester River basin has been started.

Among many aspects of the project research tasks, the study of the natural protection or vulnerability of groundwater is a priority, as groundwater pollution has become a significant environmental problem in recent decades due to the increasing rate of industrial production and agricultural activities. Knowledge on areas that are particularly vulnerable to pollution helps to properly assess the state of transboundary groundwater, prevent its pollution, make informed decisions on its protection, and foresee the consequences of decisions.

#### **Analysis of recent research and publications.**

Various models and approaches for assessing the vulnerability of aquifers have been developed and tested in the world over the past three to four decades. Methods for determining the vulnerability of an aquifer can be divided into two standard categories - qualitative and quantitative. According to V.M. Shestopalov and others [10], there are four main types of methods for assessing the protection and vulnerability of groundwater: hydrogeological zoning methods, index-rating methods (qualitative methods), parametric

methods, and modeling methods (quantitative methods). The latter is based on mathematical modeling of the processes of filtration and migration of pollutants, taking into account the physical and chemical interactions in the "migrant-water-rock" system and the main barrier properties of the geological environment.

Qualitative methods based on indices combined with Geographic Information Systems (GIS) are the most frequently used models, as they facilitate the interpretation of results for users. With their help, maps are created that describe zones with different levels of vulnerability, which ease the decision-making procedure for monitoring and preserving groundwater quality [10]. The advantages and disadvantages of the most popular index-based methods (DRASTIC, GOD, and SI) are analyzed and presented in [14].

Currently, there is no specific definition of the concept of groundwater vulnerability, as well as a standard technique for its, since the concept of groundwater vulnerability is not an absolute property, but a complex indicator. Therefore, researchers applying the DRASTIC method often adapt it to their data or tasks [16]. To ensure that the GIS technique can provide an effective way of working with the large amount of spatial data used in the DRASTIC model, the groundwater vulnerability map can be confirmed with an additional layer of nitrates or any other specific contamination values [4, 21]. Some researchers use two different index-based methods to compare results [11]. The DRASTIC method can be used both for regional studies and for processing a significant array of data as the authors did for assessing the vulnerability and risk of groundwater pollution on a pan-African scale [19]. The cartographic model was also confirmed by data on the concentration of nitrates in groundwater.

Qualitative methods for assessing groundwater vulnerability include the hydrogeological zoning method, which is based on the qualitative categorization of vulnerability for the respective selected zones. It has been used to assess the vulnerability of groundwater in urbanized areas [1, 5]. Thanks to hydrogeological zoning by the degree of vulnerability of aquifers and taking into account potential sources of groundwater pollution, researchers can assess and visualize the risks of disasters [3].

According to S. Levoniuk and I. Udalov, all methods have a common drawback as they are aimed solely at assessing the degree of protection (vulnerability) of groundwater from surface pollution. The authors believe that it is also necessary to take into account the impact of deep highly mineralized groundwater on the quality of drinking water in the active water exchange zone, given the current geodynamic activity of the earth's crust in the context of intensive technogenesis. To this end, researchers

have proposed their own methodology for the rational combination of geo-environmental indicators, which allows for determining the degree of comprehensive protection of groundwater from the pollution of both anthropogenic (surface) and natural (neotectonic) nature [6].

In Ukraine, one of the most widely used methods for assessing the protection and vulnerability level to groundwater pollution is the Goldberg method [2]. It takes into account natural factors and stipulates assigning a certain number of conditional points or an index to an aquifer, the criteria for determining which are set by the researcher. To assess the security of unconfined groundwater, the methodology provides for the determination of the sum of scores, which consists of a score for the thickness of the entire aeration zone and scores for each low-permeability layer belonging to one of three lithological groups in the structure of the aeration zone: group a - if the poorly permeable layer contains sandy loam and light loam, b - loam, and c - heavy loam and clay). A qualitative assessment of the protection level of confined groundwater is to assign it to conditional protection categories, which directly depend on the thickness of the overlying water-resistant layer.

Quantitative methods for assessing groundwater vulnerability involve calculating the time (rate) of penetration of a particular pollutant into an aquifer, taking into account natural properties of the aeration zone and migration properties of the pollutant. Ukrainian researchers I. Sanina and N. Liuta used the following formula to calculate the time of penetration through layered rocks [8]:

$$A_0 = \frac{m_0}{k_0},$$

where  $A_0$  is the penetration time, days;

$m_0$  - thickness of the low-permeable layer, m;

$k_0$  - filtration coefficient of the low-permeability layer, m/day.

According to the authors, such studies are somewhat generalized, especially given that there is very little data on determining the filtration coefficients of rocks in the aeration zone for the territory of Ukraine in general. And to calculate the time of contamination penetration through the rocks of the layered strata, which is most typical for the aeration zone section, the authors recommend using a technique that ensures the heterogeneous strata are brought to a single permeability estimate by its calculating for a less permeable layer [8].

In Poland, researchers often estimate vertical seepage of contamination using the formulas of Witczak and Żurek, Bachmat and Collin, and Bindeman. However, these formulas often give unreasonable differences in the results obtained. Tadeusz Macioszczyk made an attempt to level these differences

by proposing a modified Bindeman formula. In his opinion, supported by specific examples, the estimate of vertical seepage in the unsaturated zone obtained with this modified formula becomes clearly more rational [18]. The problem of discrepancies between these equations continues to be discussed by researchers [17]. To establish the most reliable way to determine the time of vertical seepage, the team of authors, in addition to the four widely used equations, used the modeling method employing the HYDRUS 1D numerical code. Calculations and modeling showed quite variable results of migration time for conservative contamination depending on the chosen equation, but the greatest similarity of results obtained by the model is demonstrated by the Macioszczyk equation [20].

**Study objective** is to analyze the existing materials on the natural protection of groundwater within the study area and to quantify the vulnerability of the main useful aquifer (MUA) to surface pollution in the cross-border Polish-Ukrainian area.

**Methodology** – quantitative method of groundwater vulnerability assessment by calculating the time of pollutant penetration into the aquifer through the aeration zone using the modified Bindemann formula and GIS.

**Scientific novelty of the research.** For the first time, a quantitative assessment of the vulnerability of the MUAs for the Polish-Ukrainian cross-border area was carried out. The use of the results of this assessment will facilitate the adoption of appropriate management decisions for the comprehensive protection of transboundary groundwater, prevention of its pollution, and reduction of anthropogenic impact.

**Research results.** IGRAC identified only one TGR in the Polish-Ukrainian border area within the Vistula River basin, Bug River sub-basin (in Ukraine, the Western Bug River) [15]. In the EU-WATERRES project, the study covered the transboundary areas of the San sub-basin (within the San River basin) and the Dnister River basin (within the water management area from the source to the mouth of the Stryi River) (Fig. 1). The area of the study site is as follows: within the transboundary basin of the Western Bug River – 15 575 km<sup>2</sup>, the San River – 4 569 km<sup>2</sup>, and the Dnister River – 5 929 km<sup>2</sup>.

The choice of the study area was based on the allocation of hydrogeological units of transboundary nature - transboundary aquifers (TBA). The hydrogeological identification and definition of TBA were carried out by harmonizing hydrogeological spatial data between neighboring countries, spatial diversification of the development and properties of usable aquifers, and mapping of the hydroisohypsum surface and aquifer thickness.

The transboundary nature of an aquifer was determined based on the criterion of the potential for

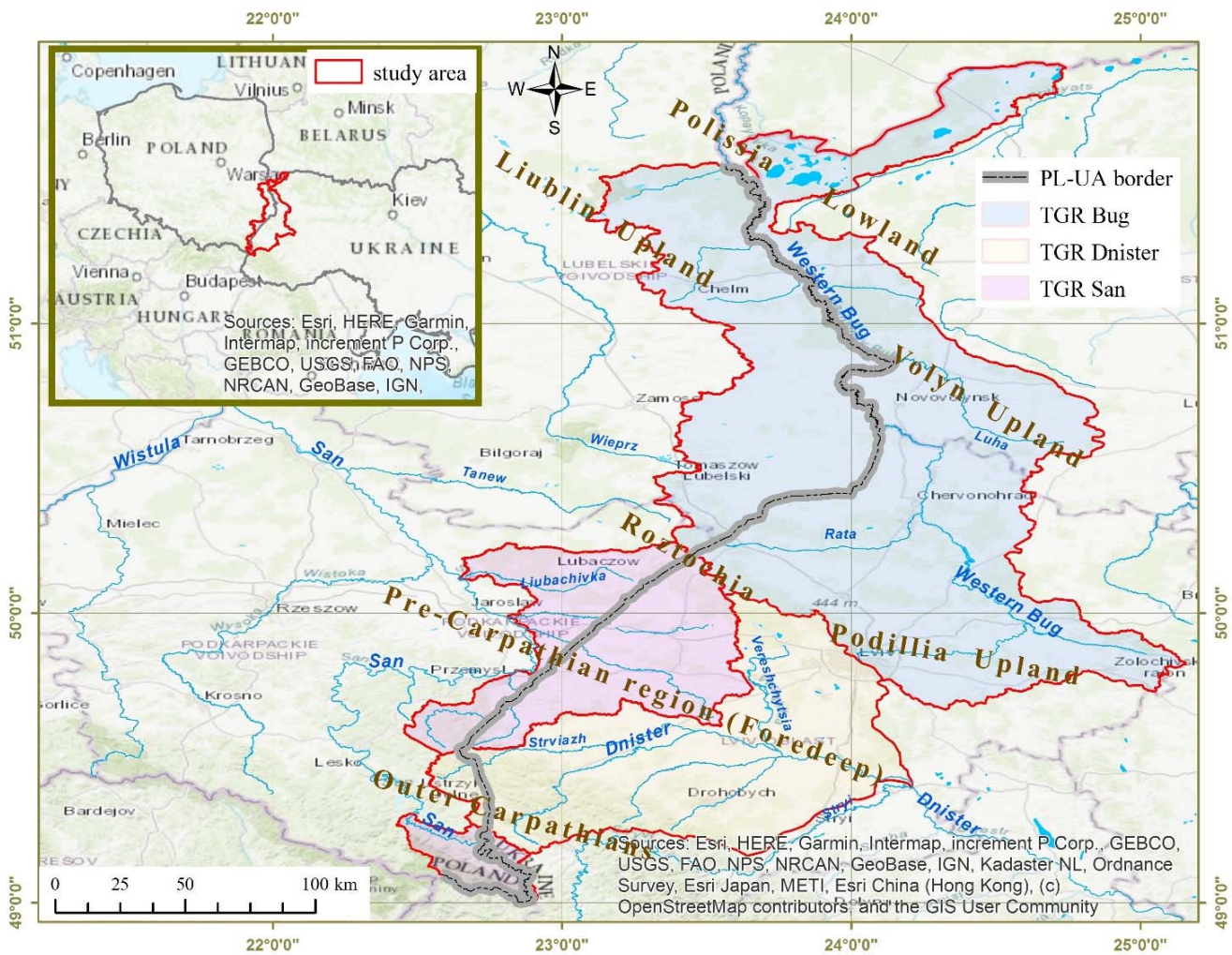


Fig. 1. Location of the research area

groundwater exchange between neighboring countries. The absence of groundwater exchange is stated in the case of the detection of a "dense" boundary of groundwater flow, which is formed by watercourses draining a certain aquifer and watersheds [7, 22].

The approach to the division of hydrogeological units in Poland and Ukraine is similar and consists in zoning the first usable aquifer. Unified rules for the division of hydrogeological units within the TGR have been developed for the first usable aquifer.

The unified hydrogeological map of the Bug, San, and Dnister River basins identified the main useful aquifers (MUAs) that meet the following criteria:

- provide water yield of more than 50 m<sup>3</sup>/day;
- have a total thickness of 5 meters or more;
- demonstrate a consistent occurrence over an area of at least 20 km<sup>2</sup> (5 km<sup>2</sup> is allowed if the hydrogeological conditions are well identified and differentiated in space);
- wells with a flow rate of more than 5 m<sup>3</sup>/hour.

The MUAs of the Poland and Ukraine border area include an unconfined aquifer of alluvial Quaternary sediments (a1Q); a confined aquifer of Lower Neogene sediments (N1) and a confined-unconfined

aquifer of Upper Cretaceous sediments (K2) (Fig. 2). The total area of the MUAs is 2,973 km<sup>2</sup> in alluvial deposits (a1Q), 16,070 km<sup>2</sup> in Upper Cretaceous deposits (K2), 400 km<sup>2</sup> in Upper Cretaceous-Quaternary deposits in Poland (K2-Q), and 1,724 km<sup>2</sup> in Lower Neogene deposits in Ukraine (N1).

Before choosing a method and performing the groundwater vulnerability assessment within the Polish-Ukrainian pilot site, we analyzed previous studies regarding the Ukrainian part of the territory. In Ukraine, a qualitative assessment of groundwater protection was performed using the Goldberg methodology to compile and publish "Maps of Natural Groundwater Protection of the Ukrainian SSR" scaled 1:200,000 encompassing the whole territory of Ukraine. We present the map of natural groundwater protection in the Lviv region, which was analyzed and modified using GIS [9]. For convenience, we have separated the distribution of unconfined and confined groundwater into separate schemes.

Figure 3 shows that unconfined aquifers are classified as unprotected in the vast majority of the area of distribution, as they do not have a waterproof overlay and lie shallow from the ground surface, depending on the relief, the depth varies from 2-4 to 5-

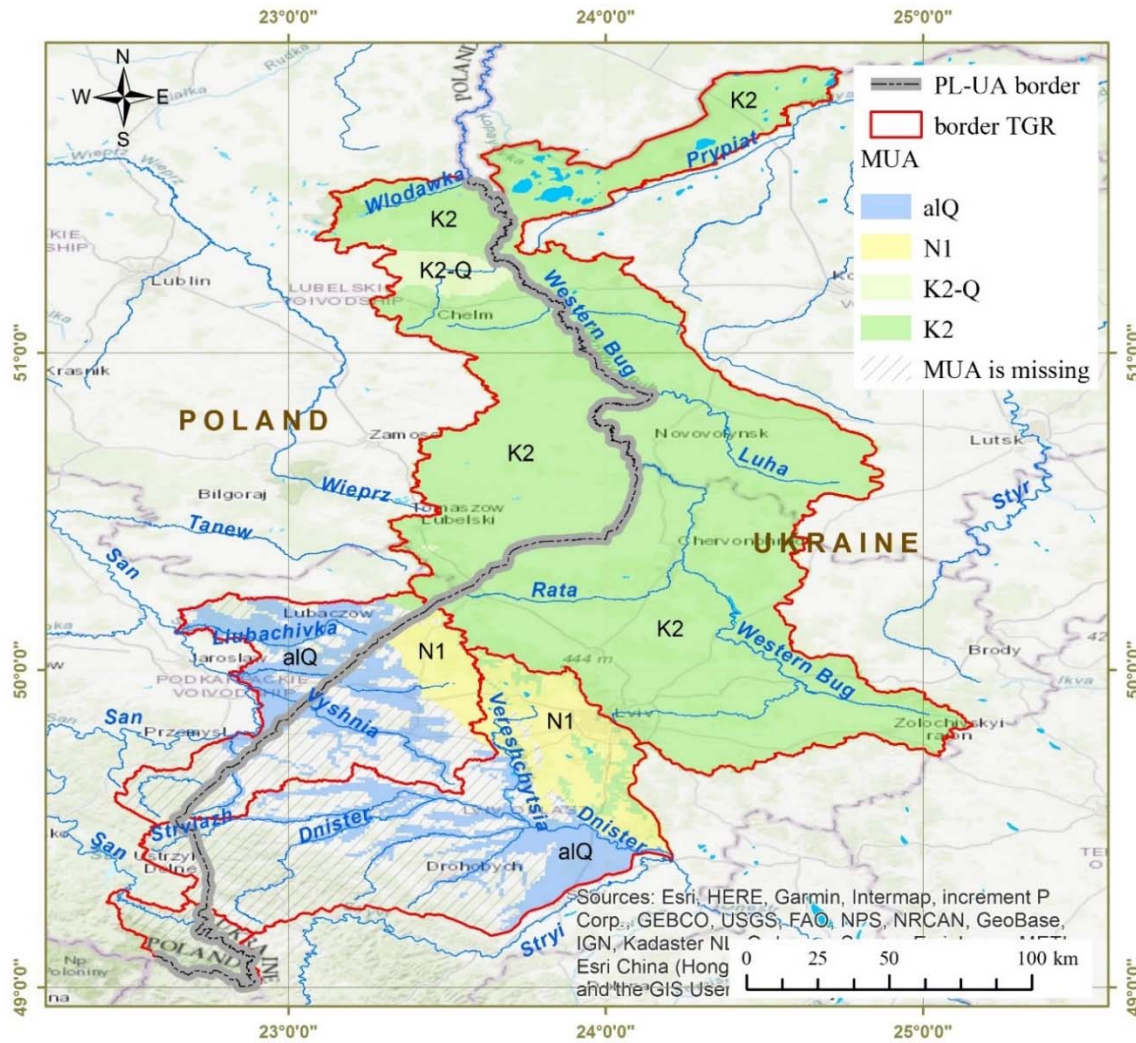


Fig. 2. Map of the main useful aquifers

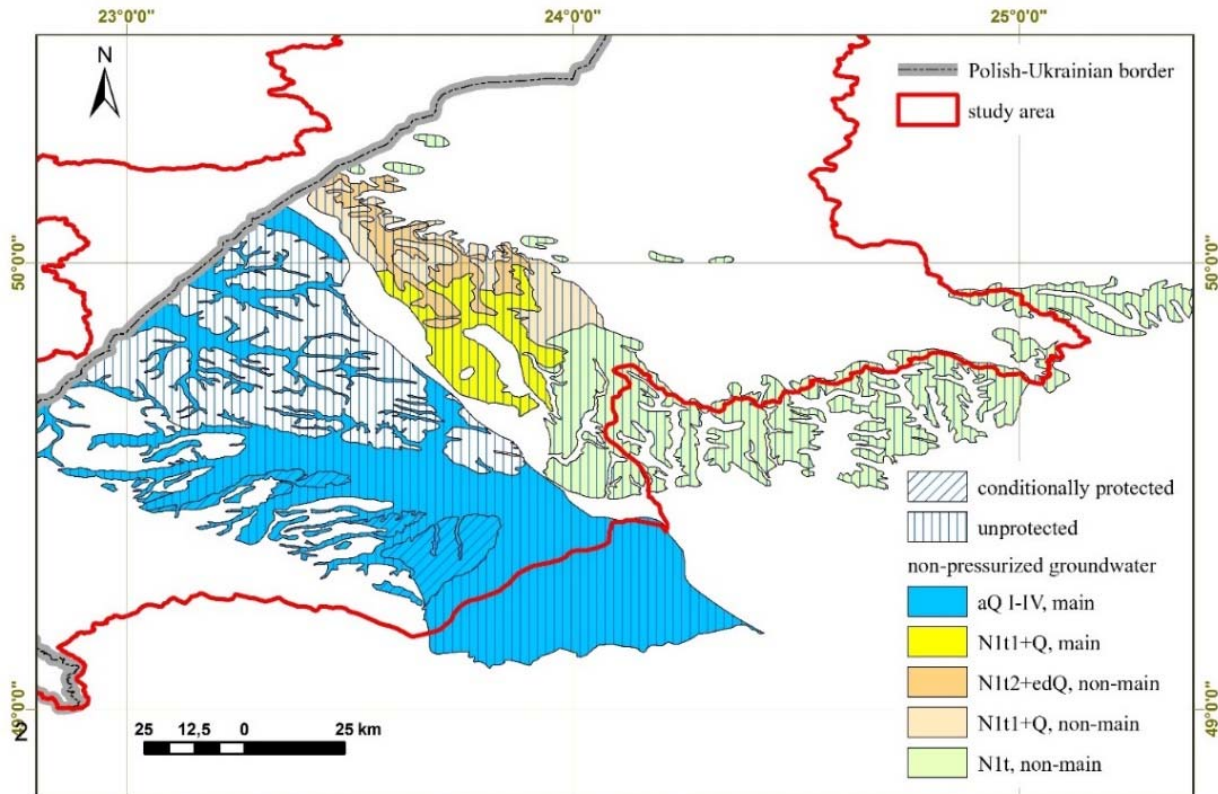


Fig. 3. Map of natural protection of unconfined groundwater in Lviv region (based on Tkachuk et al., 1986)

10 meters. Only minor locally widespread alluvial Quaternary waters within the Pre-Carpathian Artesian Basin, which occur at a depth of >10 m (10-25 m) and have clay loam rocks in the aeration zone, are

qualified as conditionally protected (Fig. 3).

Figure 4a shows the distribution of the main confined aquifers associated with the Upper Tortonian (N1t2; N1ts), Lower Tortonian (N1t1), and Up-

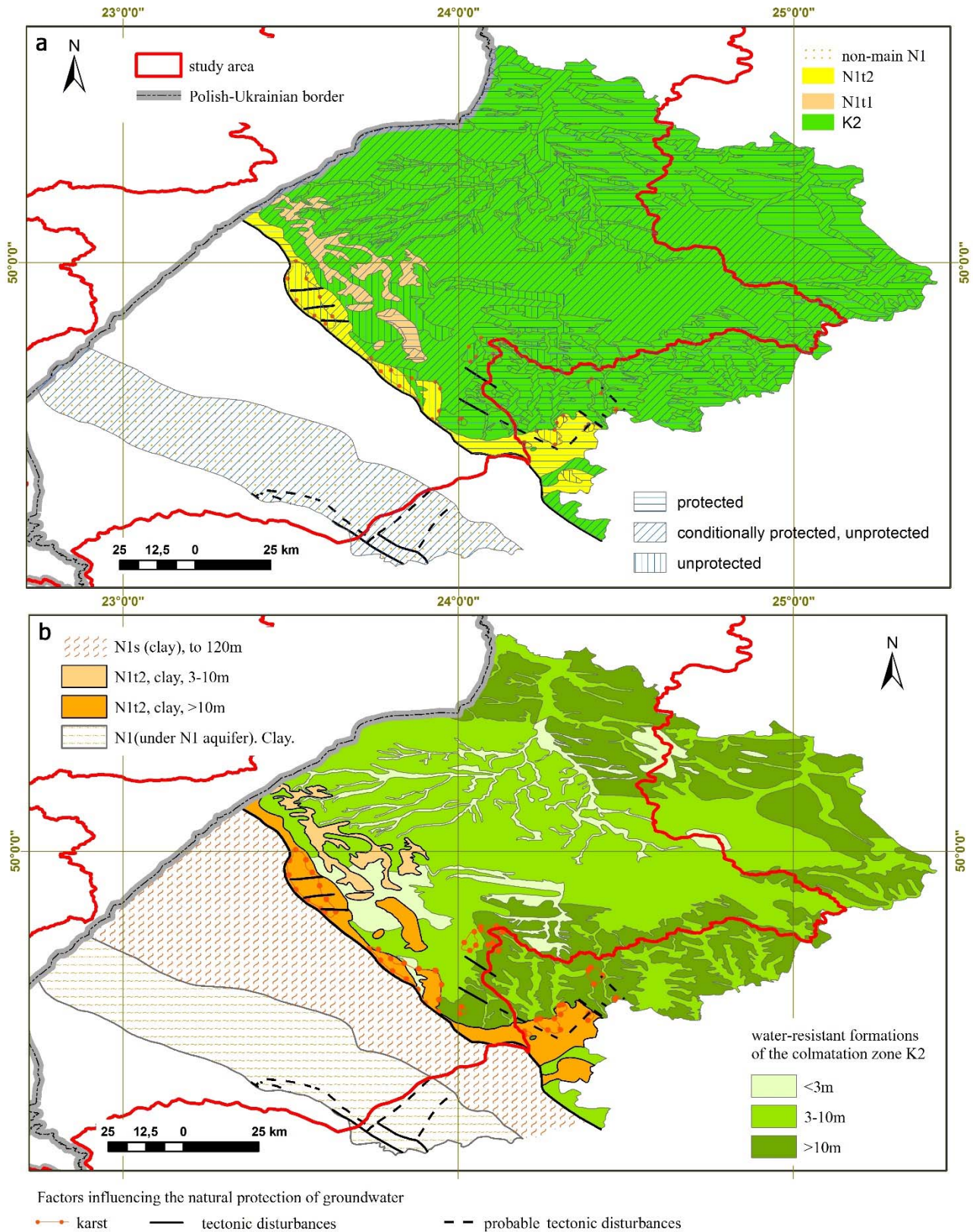


Fig. 4. Map of the natural protection of confined groundwater in Lviv region (based on Tkachuk et al., 1986): a - distribution of the main confined aquifers with an indication of their protection class; b - distribution of the main confined aquifers with an indication of their capacities.

per Cretaceous (K2) deposits, as well as the non-main Lower Neogene aquifer (N1), indicating their protection class. Figure 4b shows the distribution of waterproof layers with their capacities. The qualitative assessment of the natural protection of confined groundwater is based mainly on the presence of overlying impermeable and slightly permeable rocks and their thickness. If the thickness of clay and marl rocks is up to 3 m, the aquifer is classified as "unprotected", from 3 m to 10 m - "conditionally protected" and >10 m - "protected". Additional factors influencing the assessment of groundwater vulnerability to contamination are the areas of development of surface karst forms and zones of tectonic fractures in the thickness of pre-Quaternary sediments.

Confined groundwater is mostly unprotected or conditionally protected. Only groundwater of the Lower Neogene deposits is classified as protected, except for the areas of karst development, which worsens their hydrogeological conditions. This is due to the absence of sufficiently thick water-resistant layers in the aeration zone above the aquifers. The so-called "colmatage zone", which is a lithologically calcified doughy chalk, sometimes sandy, plays the role of the upper water-bearing layer in the aeration zone for the Upper Cretaceous aquifer. Hydrodynamically, it separates the Quaternary and Upper Cretaceous aquifers and plays an important role in protecting the MUAs from contamination.

Within the pilot area of the Polish-Ukrainian territory, we quantified the vulnerability of the MUAs

using the modified Bindemann formula for calculating the time of water infiltration through the aeration zone [18]:

$$t = \frac{m \times W_0}{\sqrt[3]{i^2 \times k_z}},$$

where  $t$  – is infiltration time of precipitation through the aeration zone, days;

$m$  – thickness of the aeration zone, m;

$W_0$  – volumetric moisture of sediments in the aeration zone,

$i$  – annual effective infiltration,  $i = P \times k^*$ , m/day (where  $P$  – is precipitation indicator, m/day;  $k^*$  – coefficient of effective infiltration);

$k_z$  – vertical infiltration coefficient of the aeration zone, m/day.

The values of volumetric moisture ( $W_0$ ), effective infiltration coefficients ( $k^*$ ), and vertical infiltration of the aeration zone ( $k_z$ ), which depend on the lithological composition of the aeration zone, are taken from Witczak and Żurek [24].

Precipitation indicator  $P$  for individual TGR was calculated by us according to the site "Meteopost. Weather statistics. Climate data by year and month" (<https://meteopost.com/weather/climate/>). For the Western Bug and San River basins, it is 0.00196, and for the Dnister basin, it is 0.00207 m/day.

In the process of fulfilling the project tasks, the following vulnerability classification was adopted based on the time of pollution migration from the surface:

Time of pollution migration from the surface, years	Vulnerability
< 5	Very high
5-25	High
25-50	Average
50-100	Low
>100	Very low

It should be noted that taking into account the experience of Sanina I. and Liuta N., with a heterogeneous structure of the aeration zone, we performed calculations only for the water-resistant layers combined into one [8].

The process of vulnerability study can be presented as a series of step-by-step plots of the distribution of power, volumetric moisture content of sediments, annual effective infiltration, and vertical infiltration coefficient of the aeration zone of the MUAs (Fig. 5).

Figure 6 shows the results of the assessment of the vulnerability of the MUAs in the Polish-Ukrainian border area.

The figures of the step-by-step construction of the vulnerability map show that the value of the volu-

me humidity of the rocks in the aeration zone correlates with the infiltration time the most. A direct correlation between higher value of the volume humidity and longer time of pollutant filtration from the surface to groundwater is observed. It is well known that the highest values of volumetric moisture content are characterized by weakly permeable and practically waterproof rocks.

The correlation between the aeration zone's thickness and the filtration time through it is somewhat weaker. Hence, taking into account the previous conclusion, it follows that the infiltration time is influenced rather by the thickness of the weakly permeable or practically impermeable rocks than by the total thickness of the aeration zone. The direct dependence of the filtration time on the vertical infiltration

coefficient of the aeration zone is also evident, and less obvious with the annual effective infiltration. The precipitation rate undoubtedly affects filtration but is not decisive in this process.

The analysis of the performed plots shows that the vulnerability of 43.5% of the MUAs area is very high, 37.9% - high, 6.2% - average, 5.9% - low, and only 6.4% - very low.

The most vulnerable among the MUAs is the unconfined alluvial Quarterly horizon (aIQ). It is widespread in the river valleys of the Dnister and the San with their tributaries within the Carpathian Foredeep, lies shallowly from the earth's surface, and is not covered by thick waterproof layers. The same vulnerability is also characteristic of the aquifer of undivided

Upper Cretaceous-Quaternary sediments (K2-Q) in Poland for similar reasons. Over the entire area of their distribution, they fully (100%) correspond to the "very high" vulnerability category to surface pollution.

The Upper Cretaceous aquifer (K2) is less vulnerable, which is of the greatest importance for meeting consumer needs in the transboundary area and covers the entire Bug TGR area from the Polissia Lowland in the north to the Podillia Upland in the south. Vulnerability of 36% of the area is very high, 50% is high, 8.2% is medium, 4% is low, and only 2% of the area falls into the category of very low. It should be noted that the groundwater of this horizon in the part of the study area, the Upper Cretaceous aquifer is characterized by somewhat better natural hydrogeo-

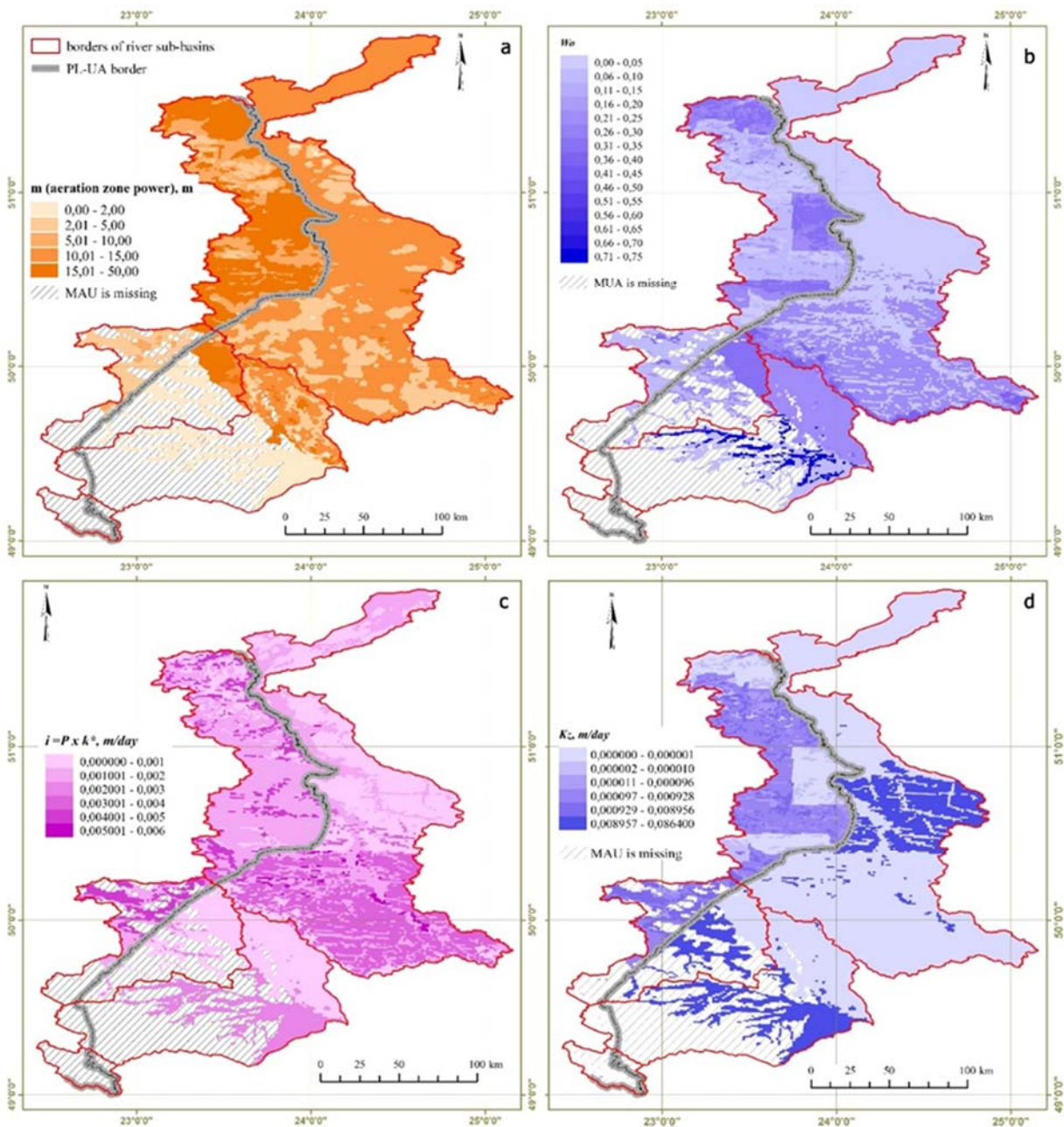


Fig. 5. Step-by-step construction of the MUAs vulnerability map: a - distribution of aeration zone capacity; b - distribution of volumetric moisture content of aeration zone sediments; c - annual effective infiltration for aeration zone sediments; d - distribution of vertical infiltration coefficient of aeration zone sediments



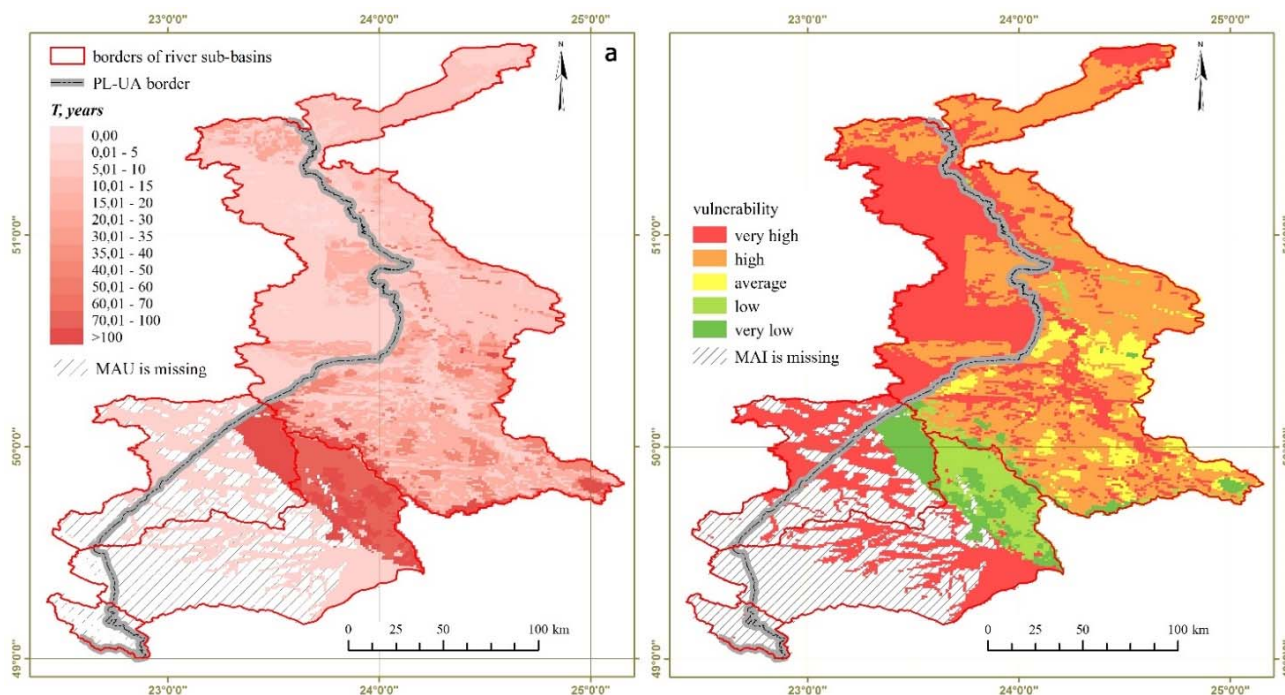


Fig. 6. The map of the vulnerability of the MUAs for the Polish-Ukrainian border area: a - by the time of pollution infiltration from the surface; b - by the vulnerability class

logical conditions (higher aquifer thickness, presence of a "colmatage zone"). There is a tendency for vulnerability to decrease from north to south: from very high in Polissia to high and medium in Volyn-Podillya. On the slopes of Roztochia, groundwater of the Upper Cretaceous horizon (K2) is sufficiently protected (very low vulnerability). However, in this region, the role of the MUA is taken over by the Lower Neogene aquifer (N1), which lies hipsometrically higher. In fact, the Lower Neogene aquifer (N1), which has a limited distribution on the slopes of the Western Bug and San Rivers watershed within the Roztochia Upland, is the least vulnerable to pollution compared to the others. The vulnerability of about 60% of the area is very low, 37% is low, and only 3% is very high.

**Conclusions.** The conducted studies have shown that the lithological composition of the area-

tion zone and the thickness of weakly permeable and practically impermeable rocks have a decisive influence on the filtration time and, accordingly, the assessment of groundwater vulnerability to pollutant penetration from the surface by filtration. Such an assessment of the vulnerability of the MUAs, performed by the quantitative method, correlates well enough with the analyzed map of the qualitative assessment of the natural protection of groundwater.

It has been established that the MUAs in the study area are poorly protected and therefore require constant monitoring of their condition. The use of the results of this assessment will facilitate the adoption of appropriate management decisions for the comprehensive protection of transboundary groundwater, prevention of its pollution, and reduction of anthropogenic impact.

#### Bibliography

1. Волошин П. Оцінка природної захищеності та уразливості підземних вод території Львова від антропогенного забруднення / П. Волошин // Вісник Львів. ун-ту. Серія геогр. – 2012. – Вип. 40. – Ч. 1. – С. 149–155. – Режим доступу: <http://publications.lnu.edu.ua/bulletins/index.php/geography/article/view/2039>
2. Гольдберг В. М. (1987). Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды / В. М. Гольдберг // Бюллетень МОИП. – 1983. – № 2. – С. 103–110.
3. Давибіда, Л. І., Подголов, В. М. Геоінформаційна оцінка ризику забруднення підземних вод Чернігівської області. / Л. І. Давибіда, В. М. Подголов // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. – 2019. – № 1(19). – С. 59–68. [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2019-1\(19\)-59-68](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2019-1(19)-59-68)
4. Ємчук Т. В. Оцінка захищеності підземних вод: методологічні аспекти і практичне застосування вод / Т. В. Ємчук // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2011. – Т.1. – № 22. – С. 45–50. Режим доступу: [http://www.library.univ.kiev.ua/ukr/host/viking/db/ftp/univ/ggg/ggg\\_2011\\_22](http://www.library.univ.kiev.ua/ukr/host/viking/db/ftp/univ/ggg/ggg_2011_22)
5. Кошляков О. Є. До питання вразливості питних підземних вод в межах Київської міської агломерації з урахуванням природної захищеності / О. Є. Кошляков, О. В. Диняк, І. С. Кошлякова // Вісник Одеського національного університету. Серія «Географічні та геологічні науки». – 2014. – Т.19. – № 3(22). – С. 269–273. Режим

- доступу: <http://visgeo.onu.edu.ua/article/view/40431>
6. Левонюк С. М. Комплексна геоекологічна оцінка захищеності питних підземних вод / С. М. Левонюк, І. В. Удалов // Вісник Одеського національного університету. Серія «Географічні та геологічні науки». – 2018. – Т.23. – Вип. 2(33). – С. 111–133. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2018.2\(33\).146642](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2018.2(33).146642)
  7. Панов Д. Г. Оцінка ресурсів підземних вод транскордонної між Україною та Польщею території в рамках проекту “EU-WATERRES: європейська інтегрована система управління транскордонними ресурсами підземних вод та антропогенними небезпеками” / Д. Г. Панов, В. Ю. Гарасимчук, Т. В. Соловей, Л. О. Януш, С. М. Сокоренко, Н. М. Павлюк // Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування: Матеріали Сьомої міжнародної науково-практичної конференції (2021 р., м. Львів). Державна комісія України по запасах корисних копалин (ДКЗ). – Том 2. – К.: ДКЗ. – 2021. – С. 299–305. Режим доступу: [https://conf.dkz.gov.ua/files/2021\\_materials\\_vol\\_2\\_net.pdf](https://conf.dkz.gov.ua/files/2021_materials_vol_2_net.pdf)
  8. Саніна І.В. Досвід регіональних оцінок захищеності вод першого від поверхні водоносного горизонту із застосуванням ГІС-технологій / І.В. Саніна, Н.Г. Люта // Сучасні проблеми геології: Зб. наук. праць, до 155-річчя з дня народження Павла Аполлоновича Тутковського, 15- 17 травня 2013 р. – Київ: Фітон, 2013. – С. 309–311.
  9. Ткачук В.Г., Розенберг Г.Ф., Калашиник В.К. Карта естественной защищенности подземных вод Украинской ССР. Масштаб 1:200 000. Львовская область / В. Г. Ткачук, Г. Ф. Розенберг, В. К. Калашиник – К.: 1986. – 52 с.
  10. Шестопалов В. М. Оценка защищенности и уязвимости подземных вод с учетом зон быстрой миграции / В. М. Шестопалов, А. С. Бозулавский, В. Н. Бублясь. – Киев: Ин-т геол. наук НАН Украины. – 2007. – 120 с.
  11. Abdullah T. Groundwater Vulnerability Using DRASTIC and COP Models: Case Study of Halabja Saidiadiq Basin, Iraq [Текст] / T. Abdullah, S. Ali, N. Al-Ansari, S. Knutsson, // Engineering, – 2016. – Vol. 8. – P. 741–760. doi: <https://doi.org/10.4236/eng.2016.811067>
  12. Aller L. DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings / L. Aller, T. Bennet, J. H. Lehr, R. Petty, and G. Hackett. – Washington: U. S. Environmental Protection Agency. – 1987. – EPA/600/2-85-018. – 252 p.
  13. Burchi S. Legal frameworks for the governance of international transboundary aquifers: Pre- and post-ISARM experience / S. Burchi // Journal of Hydrology: Regional Studies. – 2018. – Vol. 20. – P. 15-20. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.04.007>
  14. Fannakh A. DRASTIC, GOD, and SI approach for assessing groundwater vulnerability to pollution: a review / A. Fannakh, A. Farsang // Environmental Sciences Europe. – 2022. – Vol. 34. – No 77. – 16 p. <https://doi.org/10.1186/s12302-022-00646-8>
  15. IGRAC. Transboundary Aquifers of the World Map, 2015. <https://isarm.org/transboundary-aquifers-world-map-2015>
  16. Kozłowski, M., Sojka, M. Applying a Modified DRASTIC Model to Assess Groundwater Vulnerability to Pollution: A Case Study in Central Poland / M. Kozłowski, M. Sojka // Polish Journal of Environmental Studies. – 2019. – Vol. 28(3). – No 3. – P. 1223-1231. <https://doi.org/10.15244/pjoes/84772>
  17. Liszkowska E. Nieprawidłowości przy ocenie czasu przesączania zanieczyszczeń przez strefę aeracji na podstawie formuł obliczeniowych stosowanych w praktyce hydrogeologicznej. Przegląd Geologiczny. – 2017. – Vol. 65. – Nr. 11/1. – P. 1109–1114. Режим доступу: <https://www.pgi.gov.pl/oferta-inst/wydawnictwa/czasopisma/przeglad-geologiczny/10289-przeglad-geologiczny-2017-11-1-tom-65.html>
  18. Macioszczyk T. Czas przesączania pionowego wody jako wskaźnik stopnia ekranowania warstw wodonośnych / T. Macioszczyk // Przegląd Geologiczny. – 1999. – Vol. 47. – Nr. 8. – P. 731–736. Режим доступу: <https://geojournal.pgi.gov.pl/pg/article/view/15897/13324>
  19. Ouedraogo I. Mapping the groundwater vulnerability for pollution at the pan-African scale / I. Ouedraogo, P. Defourny, M. Vanclooster // Science of The Total Environment. – 2016. – Vol. 544. – P. 939-953. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.135>
  20. Potrykus D. Assessing groundwater vulnerability to pollution in the Puck region (denudation moraine upland) using vertical see page method / D. Potrykus, A. Gumuła-Kawęcka, B. Jaworska-Szulc, M. Pruszkowska-Caceres, A. Szymkiewicz. – E3S Web Conf. 44, 2018 / 10th Conference on Interdisciplinary Problems in Environmental Protection and Engineering EKO-DOK. – 2018. – Article Number 00147. – 8 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184400147>
  21. Ravindranath I. Spatial mapping for Groundwater Vulnerability to Pollution Risk Assessment Using DRASTIC Model in Ponnaiyar River Basin, South India / I., Ravindranath, V. Thirukumaran // Journal of Geology, Geography and Geoecology. – 2021. – Vol. 30(2). – P. 355-364. <https://doi.org/10.15421/112132>
  22. Solovey T. Hydrogeological Conceptual Model of Transboundary Aquifers with Significant Groundwater Exchange Potential Between Poland and Ukraine / T. Solovey, V. Harasymchuk, R. Janica, M. Przychodzka, T. Ryvak, O. Teleguz, L. Yanush. – UNESCO 2022, 07 September, Paris, France. – 2022. – P. 148–158. – Режим доступу: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000383775>
  23. Wada Y. Assessment of transboundary aquifers of the world – vulnerability arising from human water use / Y. Wada, L. Heinrich // Environmental Research Letters. – 2013. – Vol. 8. – № 2. – 13 p. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/2/024003>
  24. Witczak S. Wykorzystanie map glebowo-rolniczych w ocenie ochronnej roli gleb dla wód podziemnych / S. Witczak, A. Żurek // W: Kleczkowski A.S. (red.) Metodyczne podstawy ochrony wód podziemnych. – 1994. – AGH: P. 155-180.

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work

## References

1. Voloshyn, P. (2012). Assessment of natural protection and vulnerability of groundwater in Lviv from anthropogenic pollution. *Visnyk of Lviv University, Series Geography*. 40 (1), 149–155. Available at: <http://publications.lnu.edu.ua/bulletins/index.php/geography/article/view/2039> [in Ukrainian].
2. Goldberg V.M. (1987). Relationship between groundwater pollution and the natural environment. L. *Gidrometeoizdat*, 248 p. [in Russian].
3. Davybidia L., Podholov, V. (2019). Geoinformation assessment of the groundwater contamination risk in Chernihiv region. *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*, 1(19), 59–68. [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2019-1\(19\)-59-68](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2019-1(19)-59-68) [in Ukrainian].
4. Iemchuk T.V. (2011). Assessment of groundwater protection: methodological aspects and practical application. – *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology. The scientific collection / Editor-in-chief V.K. Khilchevskiy*. 1(22), 45–50. Available at: [http://www.library.univ.kiev.ua/ukr/host/viking/db/ftp/univ/ggg/ggg\\_2011\\_22](http://www.library.univ.kiev.ua/ukr/host/viking/db/ftp/univ/ggg/ggg_2011_22) [in Ukrainian]
5. Koshliakov O.E., Dyniak O.V., Koshliakova I.E. (2015). Natural security (vulnerability) of groundwater used for drinking water supply in Kiev. *Odesa National University Herald. Geography and Geology*, 19(3(22)), 269–275. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2014.3\(22\).40431](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2014.3(22).40431) [in Ukrainian]
6. Levoniuk S.M., Udalov I.V. (2018). Complex geo-ecological assessment of the protection of drinking groundwater. *Odesa National University Annals. Geography and Geology*, 23(2), 33, 111–133. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2018.2\(33\).146642](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2018.2(33).146642) [in Ukrainian].
7. Panov D.H., Harasymchuk V.Y., Solovey T.V., Yanush L.O., Sokorenko S.M., Pavliuk N.M. (2021). Assessment of groundwater resources in the transboundary area between Ukraine and Poland within the framework of the project "EU-WATERRES: European Integrated Management System for Transboundary Groundwater Resources and Anthropogenic Hazards" // *Subsoil Use in Ukraine. Investment prospects. Proceedings of the Seventh International Scientific and Practical Conference (2021, Lviv)*. State Commission of Ukraine on Mineral Resources (SCR) - Kyiv: SCR - 2, 299-305. Available at: [https://conf.dkz.gov.ua/files/2021\\_materials\\_vol\\_2\\_net.pdf](https://conf.dkz.gov.ua/files/2021_materials_vol_2_net.pdf) [in Ukrainian].
8. Sanina I.V., Lyuta N.H. (2013). Experience in regional assessments of water protection of the first aquifer from the surface using GIS technologies. *Modern problems of geology: Collection of scientific papers, dedicated to the 155th anniversary of Pavlo Apolonovych Tutkovsky, May 15-17, 2013*. Kyiv, Fiton, 309-311. [in Ukrainian].
9. Tkachuk V.G., Rosenberg G.F., Kalashnik V.K. (1986). Map of natural protection of groundwaters in Ukrainian SSR. Scale 1:200 000. Lviv Region. Kiev, 52 [in Russian].
10. Shestopalov V.M., Boguslavsky A.S., Bublyas V.N. (2007). Assessment of protection and vulnerability of groundwater, taking into account the zones of rapid migration. Kiev, 120. [in Russian].
11. Abdullah, T., Ali, S., Al-Ansari, N. and Knutsson, S. (2016). Groundwater Vulnerability Using DRASTIC and COP Models: Case Study of Halabja Saidsadiq Basin, Iraq. *Engineering*, 8, 741-760. <https://doi.org/10.4236/eng.2016.811067>
12. Aller, L., Bennett, T., Lehr, J.H., Petty, R.H., and Hackett, G. (1987). DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Setting. USEPA Report 600/2-87/035, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Ada, 252.
13. Burchi S. (2018). Legal frameworks for the governance of international transboundary aquifers: Pre- and post-ISARM experience. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 20, 15-20. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.04.007>
14. Fannakh A., Farsang A., (2022). DRASTIC, GOD, and SI approaches for assessing groundwater vulnerability to pollution: a review. *Environ Sci Eur* 34, 77 (2022). <https://doi.org/10.1186/s12302-022-00646-8>
15. IGRAC, 2015. Transboundary Aquifers of the World Map 2015. Available at: <https://isarm.org/transboundary-aquifers-world-map-2015>
16. Kozłowski, M., Sojka, M. (2019). Applying a Modified DRASTIC Model to Assess Groundwater Vulnerability to Pollution: A Case Study in Central Poland. *Polish Journal of Environmental Studies*, 28(3), 1223-1231. <https://doi.org/10.15244/pjoes/84772>
17. Liszkowska E. (2017). Nieprawidłowości przy ocenie czasu przesączania zanieczyszczeń przez strefę aeracji na podstawie formuł obliczeniowych stosowanych w praktyce hydrogeologicznej. *Przegląd Geologiczny*, 65, (11/1), 1109–1114. Available at: <https://www.pgi.gov.pl/oferta-inst/wydawnictwa/czasopisma/przeglad-geologiczny/10289-przeglad-geologiczny-2017-11-1-tom-65.html> [in Polish].
18. Macioszczyk T. (1999). Czas przesączania pionowego wody jako wskaźnik stopnia ekranowania warstw wodonośnych. *Przegląd Geologiczny*, 47(8), 731–736. Available at: <https://geojournals.pgi.gov.pl/pg/article/view/15897/13324> [in Polish].
19. Ouedraogo I., Defourny P., Vanclooster M. (2016). Mapping the groundwater vulnerability for pollution at the pan-African scale. *Science of The Total Environment*, 544, 939-953. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.135>
20. Potrykus D., Gumuła-Kawęcka A., Jaworska-Szulc B., Pruszkowska-Caceres M. And Szymkiewicz A. (2018). Assessing groundwater vulnerability to pollution in the Puck region (denudation moraine upland) using vertical seepage method. *E3S Web Conf. Volume 44, 2018/ 10th Conference on Interdisciplinary Problems in Environmental Protection and Engineering EKO-DOK 2018*. 00147, 8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184400147>
21. Ravindranath, I., & Thirukumaran, V. (2021). Spatial mapping for Groundwater Vulnerability to Pollution Risk Assessment Using DRASTIC Model in Ponnaiyar River Basin, South India. *Journal of Geology, Geography and Geocology*, 30(2), 355-364. <https://doi.org/10.15421/112132>
22. Solovey T., Harasymchuk V., Janica R., Przychodzka M., Ryvak T., Teleguz O., Yanush L. (2022). Hydrogeological

*Conceptual Model of Transboundary Aquifers with Significant Groundwater Exchange Potential Between Poland and Ukraine. UNESCO, Paris 07 SP, France, 148–158. Available at: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000383775>.*

23. Wada Y. and Heinrich L. (2013). Assessment of transboundary aquifers of the world—vulnerability arising from human water use. *Environmental Research Letters*, 8, (2024003), 13. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/2/024003>
24. Witczak S. & Żurek A. (1994). Wykorzystanie map glebowo-rolniczych w ocenie ochronnej roli gleb dla wód podziemnych [W:] Kleczkowski A.S. (red.) *Metodyczne podstawy ochrony wód podziemnych*, AGH: 155-180.

## Оцінка вразливості підземних вод в межах транскордонних територій України та Польщі

**Галина Медвідь**<sup>1</sup>,

к. геол. н., керівник Лабораторії проблем геоекології,

<sup>1</sup> Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України,

вул. Наукова, 3а, Львів, 79060, Україна;

**Любов Януш**<sup>2</sup>,

провідний інженер, <sup>2</sup> ДП "Західукргеологія" ПрАТ НАК "Надра України",

пл. Міцкевича, 8, Львів, 79005, Україна;

**Тетяна Соловей**<sup>3</sup>,

д. геогр. н., професор, <sup>3</sup> Польський геологічний інститут –

Національний науково-дослідний інститут,

вул. Раковецька, 4, Варшава, 00-975, Польща;

**Дмитро Панов**<sup>2</sup>,

начальник відділу геології і виробництва;

**Василь Гарасимчук**<sup>1</sup>,

к. геол. н., ст. наук. співроб. лабораторії проблем геоекології

В рамках міжнародного проекту "EU-WATERRES: Європейська інтегрована система управління транскордонними підземними водними ресурсами та антропогенними небезпеками" розпочато розробку концепції скоординованого управління та гармонізованого моніторингу транскордонних водоносних горизонтів для пілотної ділянки басейну ріки Вісла (суббасейни річок Західний Буг, Сян) та частини басейну ріки Дністер. Вивчення природної вразливості підземних вод стало важливою частиною досліджень, оскільки забруднення підземних вод в останні десятиліття є вагомою екологічною проблемою через зростання темпів промислового виробництва та сільськогосподарської діяльності. Авторами проаналізовано матеріали вивчення природної захищеності підземних вод у межах досліджуваної території попередніми дослідниками та проведена кількісна оцінка вразливості основного корисного водоносного горизонту (ОКВГ) до забруднення з поверхні за модифікованою формулою Біндемана і використанням ГІС. Дослідження показали, що найбільш вразливим серед ОКВГ є безнапірний алювіальний четвертинний горизонт (a1Q) басейнів річок Сяну та Дністра. На всій площі свого розвитку його вразливість відповідає категорії "дуже висока" до забруднення з поверхні за рахунок фільтрації атмосферних опадів. Менш вразливим є верхньокрейдний водоносний горизонт (K2). Підземні води цього горизонту на польській частині транскордонної території є більш вразливими - тут вразливість відповідає категоріям "дуже висока" і "висока". На українській частині верхньокрейдний водоносний горизонт характеризується кращими природними гідрогеологічними умовами і є менш вразливим до забруднення. Нижньонеогеновий водоносний горизонт, який має обмежене поширення на схилах вододілу річок Західний Буг-Сян в межах Розточчя, є найменш вразливим до забруднення порівняно з іншими.

**Ключові слова:** підземні води, вразливість, транскордонний водоносний резервуар, основний корисний водоносний горизонт, польсько-українське транскордоння.


**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 19 квітня 2023 р.

Прийнята 20 травня 2023 р.

## Удосконалення опису остракод сімейства TRACHYLEBERIDINAE

**Віталій Синегубка**

начальник лабораторії, Український науково-дослідний інститут природних газів,  
Гімназійна наб., 20, Харків, 61010, Україна,  
e-mail: [vitaliysinegubka@ukr.net](mailto:vitaliysinegubka@ukr.net),  <https://orcid.org/0000-0002-0740-7714>

В середній крейді України серед решток остракод мають широке поширення представники сімейства TRACHYLEBERIDINAE Sylvester-Bradley, 1948, а особливо рід *Cythereis*. Представники даного роду мають складну морфологічну будову, яка має широкий діапазон мінливості. При аналізі літературних джерел та порівнянні морфологічної будови решток остракод було виявлено, що ознаки, притаманні визначенню виду, не є фіксованими, а їх якісна характеристика часто є суб'єктивною авторами. Подібний підхід ускладнює визначення таксономічного рангу «вид», а на фоні широкої морфологічної мінливості створює додаткову синоніміку, що нівелює потенціал роду *Cythereis* для використання в цілях стратиграфії. Робота присвячена уточненню характеристик термінологічного апарату, якісної оцінки морфологічних елементів черепашки та методики опису черепашок остракод сімейства TRACHYLEBERIDINAE Sylvester-Bradley, 1948 з середньої крейди України. На основі обробки численного палеонтологічного матеріалу вдалось описати межі мінливостей морфологічних елементів, формалізувати та запропонувати уточнення характеристик ряду морфологічних елементів черепашки остракод. В роботі вперше запропонована детальна схема опису мезоскульптури черепашок, базуючись на зустрінутому морфологічному різноманітті. Представлені уточнення дозволили більш детально описати онтогенетичні зміни остракод роду *Cythereis*. Порівняння знахідок однакових видів остракод в різних фаціальних умовах дозволило описати кордони внутрішньовидової мінливості досліджуваних видів. Також було визначено особливості впливу зовнішнього середовища на розвиток ювенільних форм та корелювати прояви адаптації між ювенільними і дорослими формами. Загалом, запропоновані уточнення в методі опису дозволяються інтерполювати результати спостережень і на інші роди сімейства TRACHYLEBERIDINAE Sylvester-Bradley, 1948 задля якісного формалізованого опису видів.

**Ключові слова:** остракоди, середня крейда, метод опису, видова мінливість, онтогенез.

**Як цитувати:** Синегубка Віталій. Удосконалення опису остракод сімейства TRACHYLEBERIDINAE / Віталій Синегубка // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 58. – С. 85-96. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-07>

**In cites:** Syniehubka Vitaly (2023). Improvement of the description of ostracods of the family TRACHYLEBERIDINAE. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (58), 85-96. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-07> [in Ukrainian]

**Вступ.** Для виконання завдань стратиграфії, палеоекології та дослідження еволюції основним підґрунтям слугує таке визначення як палеонтологічний вид. Разом з тим, визначення палеонтологічного виду та передумов його виникнення є проблемним питанням у випадку середньокрейдових остракод роду *Cythereis* сімейства TRACHYLEBERIDINAE Sylvester-Bradley, 1948. Основною проблемою визначення палеонтологічного виду та його відокремлення від близьких видів є формалізація термінологічного апарату для методики опису черепашок та опис внутрішньовидової мінливості. Так відсутність чіткої матеріальної характеристики терміну морфологічної одиниці черепашки, породжує використання одного терміну для опису елементів черепашки з відмінною морфологічною будовою. Дана практика поширена в палеонтологічному описі черепашок крейдових остракод і породжує труднощі в розділенні видів. Також вказана практика ускладнює розуміння принципів відмінностей видів за морфологією та значення морфологічних одиниць для таксономії. Недостатня описова база різних черепашок одного виду приводить до того, що крайні випадки внутрішньовидової мінливос-

ті можуть бути описані як новий вид, підвид, морфоформа.

Разом з тим для представників роду *Cythereis* не досліджено питання внутрішньовидової мінливості та чинників, що їх обумовлюють; філогенії зовнішньо візуально схожих видів. Також, знайдено лише точкову інформацію щодо онтогенезу окремих видів остракод. Таким чином використання видів остракод роду *Cythereis* із складною морфологічною будовою неможливе для регіональної кореляції виходячи зі значної відмінності морфології черепашок остракод на різних ділянках крейдового Тетису, що віднесені авторами до одного виду та уривкової інформації щодо їх внутрішньовидової мінливості. Також наразі відсутня вичерпна інформація щодо описання функціоналу морфологічних одиниць черепашок остракод для аналізу змін та впливу на них різноманітних факторів середовища існування.

**Аналіз попередніх публікацій.** Питанням таксономії та систематики викопних остракод займалися численні дослідники [2, 9, 10, 18, 21]. Різні палеонтологічні школи виділяли різні принципи побудови таксономічного дерева. Слід зазначити, що разом з тим в різних школах відрізня-

ються і набори критеріїв для ієрархічних рангів систематичного дерева. Так, в роботі [2] TRACHYLEBERIDINAE Sylvester-Bradley, 1948 віднесений до підсімейства, тоді як в західній літературі таксон має ранг сімейства [18, 21].

Одним з незакритих питань є методика опису морфології остракод та опис мезоскульптури. Так, питання термінології морфологічних елементів черепашки розкрито в роботі [3]. В книзі описано усі морфологічні елементи черепашки, найголовніші виміри систематично важливих елементів, такі як довжина, висота та ширина. Проте автори не приділили достатньої уваги опису дрібних елементів черепашки, таких як мезо- і мікроскульптура. Основною системою опису є опис геометрії мезоскульптури і відносні її характеристики, такі як: ступінь вираженості, сітчастість, поширення.

Питання навігації по черепашці детально пророблено в роботах [3, 6, 7, 8, 15]. Запропонований набір термінів є прийнятним і для остракод середньої крейди. Слід зазначити, що вказані роботи пропонують окрему систему термінології і навігації по черепашкам остракод вибраних крупних таксонів. Також, для різних геологічних епох характерні різні поширені форми черепашок остракод. Таким чином запропоновані класифікаційні елементи та системи виміру у вказаних роботах є валідними тільки для вказаних таксонів.

У роботах [19, 20, 21, 23, 25] при описі морфологічних елементів остракод притримуються такого ж принципу, який запропонований в [2, 9]. В цих роботах також не описується зміна морфології мезоскульптури в різних частинах стулки.

Найбільшою систематичною та описовою роботою з дослідження остракод середньої крейди передньої Азії є [1]. В роботі описано велика кількість нових таксонів та видів, включно з досліджуваними видами *Cythereis ornatissima* (Reuss) та *Cythereis hirsuta* Damotte&Grosdidier. Ю. Андреев у своїй роботі знаходив численних остракод, які були дуже схожі до номінальних видів, проте мали незначні відмінності в морфології. Андреев вийшов з цього наступним чином – виділяв підвиди та морфформи. Таким чином в альбі-сеномані в нього є *Cythereis hirsuta* Damotte&Grosdidier, *nodulosa* Andreev, subsp. n., а в турон-кампані – *Cythereis ornatissima* (Reuss), *paraornatissima* Andreev, subsp. n. Також у вказаній роботі є описи ювенільних форм, але часто ювенілі описуються як окремі види.

Вид *Cythereis ornatissima* (Reuss) у світі відомий з верхнього турону до нижнього маастрихту [1, 5, 14, 19, 20, 21, 22]. Широкому поширенню визначень даного виду також сприяло те, що він є типовим видом для даного роду і описаний Reuss у 1846 році з турону Чехії. Тож дослідники

зустрічаючи цитерісів в крейді часто відносили їх до даного виду, незважаючи на морфологічні відмінності. Спроба вирішити цю проблему було зроблена Покорним, 1963 [16] при проведенні ревізії типового виду *Cythereis ornatissima* (Reuss) з турону Чехії. В результаті було отримано низку нових видів та підвидів, які згодом були описані в туроні Англії та України [4, 19, 20, 21]. Проте дана робота не закрила питання широких відмінностей черепашок, які формально підходять під опис одного виду.

Дослідники із Західної Європи також часто описують вид *Cythereis hirsuta* Damotte&Grosdidier [14, 24, 25]. Проте при порівнянні зображень одного виду з робіт різних авторів, помічаються певні відмінності, які Андреевим та Покорним розглядалися як причини для виділення підвидів.

**Проблематика.** В верхньому сеномані та нижньому туроні України виявлено численні знахідки решток видів *Cythereis hirsuta* Damotte&Grosdidier та *Cythereis ornatissima* (Reuss). Як було зазначено, знахідки цих видів характерні і для інших ізохронних ділянок шельфу північного Тетису, проте вони мають певний набір відмінностей в своїй морфологічній будові (рис. 1, 2). Дослідники, що їх знаходили, в описі вказували, що знайдені рештки віднесені до номінального виду, проте в додатках залишали коментарі щодо набору відмінностей. Інколи такі знахідки залишали в відкритій номенклатурі чи з позначкою «cf.» Широке поширення та мінливість представників роду *Cythereis* при детальному аналізі та якісному описі палеонтологічних решток може слугувати інструментом для детального стратиграфічного розчленування та палеоекологічних інтерпретацій.

Разом з тим, термінологія, що використовувалась для опису черепашок, часто має недоконаний стан і оперує відносним описовими характеристиками. Подібний підхід призводить до того, що відмінності між черепашками різних видів помітні тільки на зображеннях в палеонтологічних таблицях. Недосконала термінологічна база є причиною відсутності детального опису мінливості морфологічних елементів черепашки та опису онтогенезу. Слід зазначити, що проблеми термінологічного апарату також призводять до того, що зміни принципів для таксономії морфологічних елементів описуються однаковими термінами, розмиваючи тим самим розуміння меж між видами.

Отже, для якісного виділення та опису видів остракод необхідно: описати онтогенетичні зміни, статевий диморфізм, внутрішньовидову мінливість організмів в залежності від умов існування. Кореляція літології та зміни морфологічних елементів черепашки надає морфологічно-

ПОШИРЕННЯ ВИДУ *Cythereis hirsuta* Damotte & Grosdidier, 1963  
ПРОТЯГОМ ПІЗНЬОГО АЛЬБУ-СЕНОМАНУ

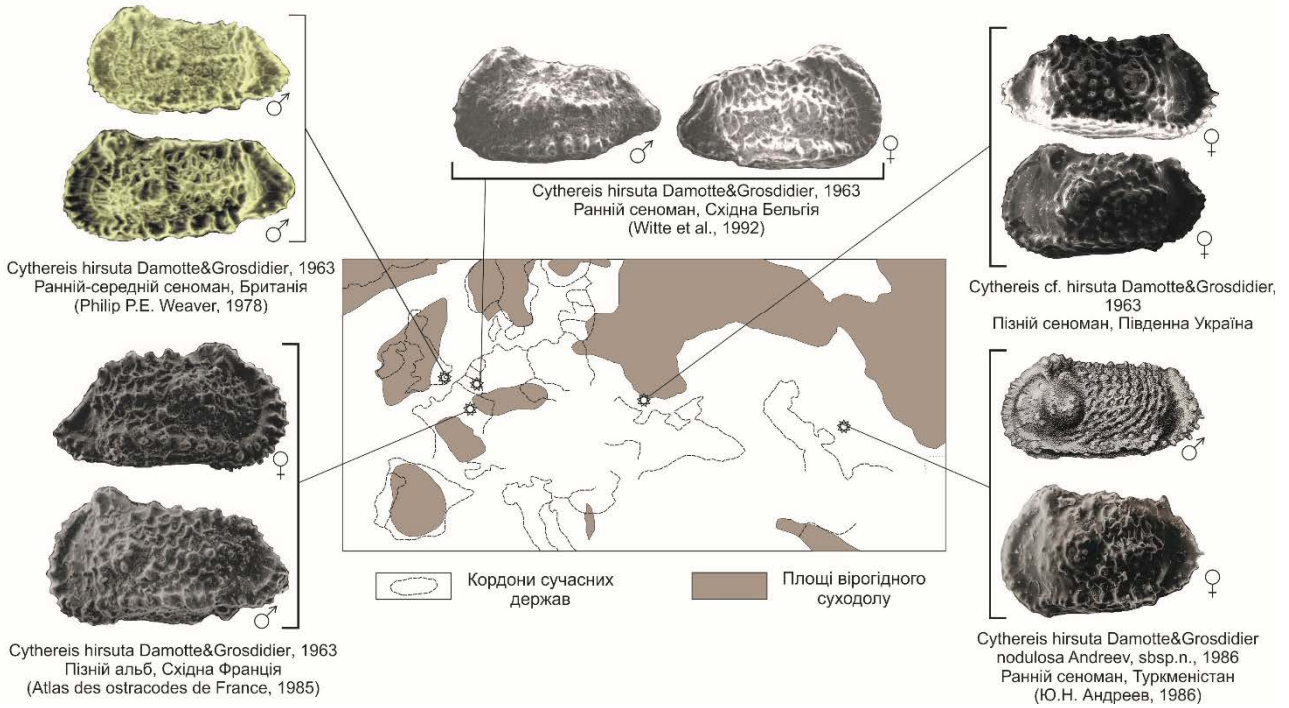


Рис. 1. Поширення виду *Cythereis hirsuta* Damotte&Grosdidier  
Fig. 1. Distribution of the species *Cythereis hirsuta* Damotte&Grosdidier

ПОШИРЕННЯ ЗБІРНОГО ВИДУ *Cythereis ornatissima* (Reuss), 1846  
ПРОТЯГОМ ТУРОНУ-КОНЬЯКУ

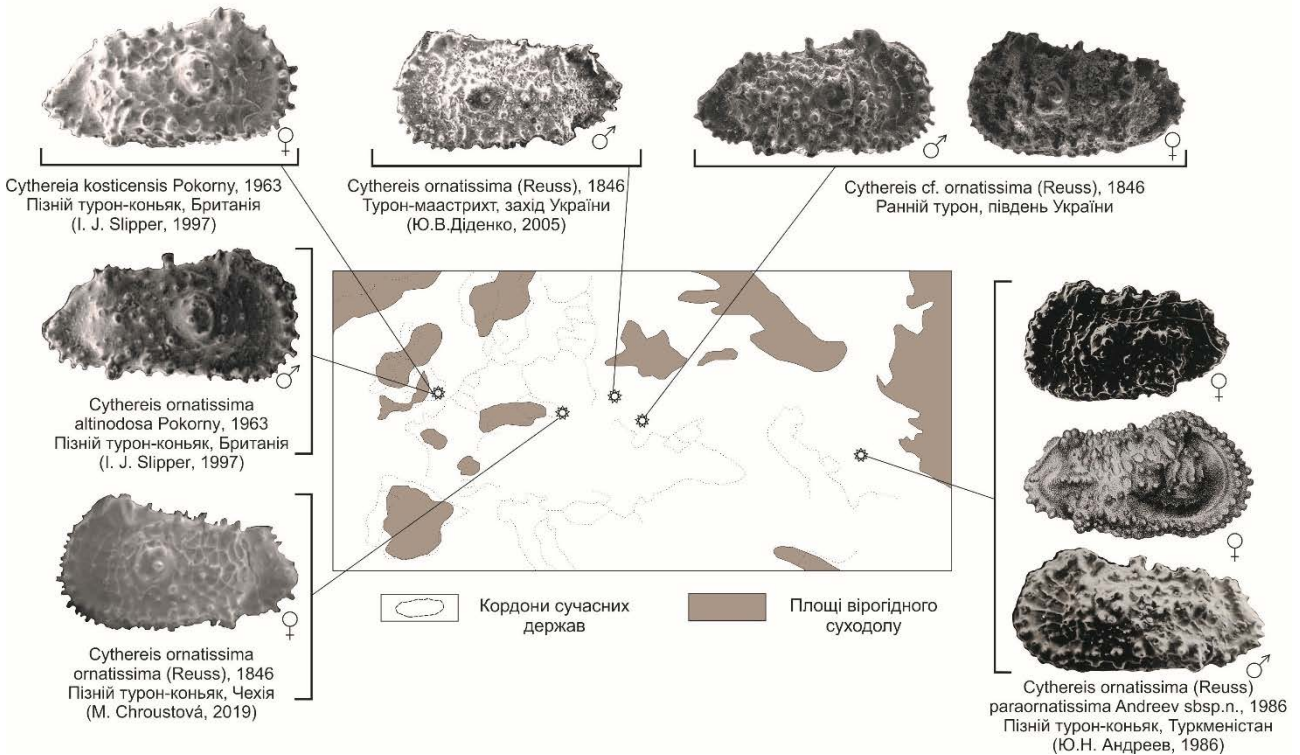


Рис. 2. Поширення виду *Cythereis ornatissima* (Reuss) /  
Fig. 2. Distribution of the species *Cythereis ornatissima* (Reuss)

льну інформацію, що може бути використана для пояснення передумов еволюційних трендів.

**Мета.** Метою даної роботи є: уточнення методу опису та формалізація термінологічного апарату морфології черепашок остракод сімейства TRACHYLEBERIDINAE Sylvester-Bradley, 1948; визначення та опис індивідуальної мінливості двох близьких видів остракод роду *Cythereis*, що знайдені в відкладах верхньої та нижньої субліторалі середньої крейди України; опис онтогенезу зазначених видів; визначення факторів впливу зовнішнього середовища на окремі морфологічні елементи черепашок остракод.

**Матеріали і методи.** Для виконання мети було досліджено відслонення верхнього сеноману в околицях м. Муровані Курилівці, с. Жеребилівка, с. Пороги Хмельницької області та керновий матеріал зі свердловини, пробуреної біля х. Яківці

Миколаївської області. Розріз нижнього турону досліджено в свердловині х. Яківці та в кар'єрах біля м. Здолбунів, с. Підлісці, сіл Жмелинці, Бечаль. За асоціаціями остракод усі досліджені відклади було розділено за фаціальними умовами (Таб. 1) В результаті обробки зразків було вилучено 30 черепашок *Cythereis hirsuta* Damotte & Grosdidier та 45 черепашок *Cythereis ornatissima* (Reuss) різних стадій онтогенезу. Також було детально проаналізовано літологічний склад досліджених розрізів та динаміку популяції остракод, що дозволило визначити оптимальні та пессимальні умови їх існування. Зразки гірських порід та мікрофосилії досліджувались за допомогою бінокулярного мікроскопу МБС-9 у відбитому світлі. Частина остракод була досліджена за допомогою електронного мікроскопу.

Таблиця 1

Фаціальний склад досліджених розрізів / Facies composition of the investigated sections

	Нижня сублітораль	Верхня сублітораль
Пізній сеноман	Яківці (нижня частина розрізу)	Муровані Курилівці Жеребилівка
Ранній турон	Підлісці Жмелинці Бечаль	Яківці (верхня частина розрізу)

### Результати та обговорення.

#### Схема опису морфологічних елементів для рангу «вид».

Всі числові обрахунки щодо термінологічного визначення властивостей морфологічних елементів виконані виключно на дорослих екземплярах. Для ювенільних форм, через їх низьку представленість, подібні прорахунки не робились. Назва морфологічних елементів вказана за словарем, що запропоновано в роботі [9], якісна характеристика морфологічних елементів запропонована за результатами дослідження численних представників видів *Cythereis ornatissima* (Reuss) та *Cythereis hirsuta* Damotte & Grosdidier. Загальна схема опису черепашки представлена на рис. 3.

**Форма черепашки.** Форма черепашки визначається за співвідношеннями кута між спинним та черевним краєм та геометрії передньої частини. Назва складається з двох слів. Округла – якщо форма переднього краю рівномірно округла. Заокруглена – якщо верхня частина переднього краю сплюснена, а округла частина знаходиться від центру до низу переднього краю. Трикутна – кут між спинним та черевним краєм близько 45 градусів. Субтрикутна – кут між спинним та черевним краєм близько 30-45 градусів. Паралельна – якщо менше 30 градусів.

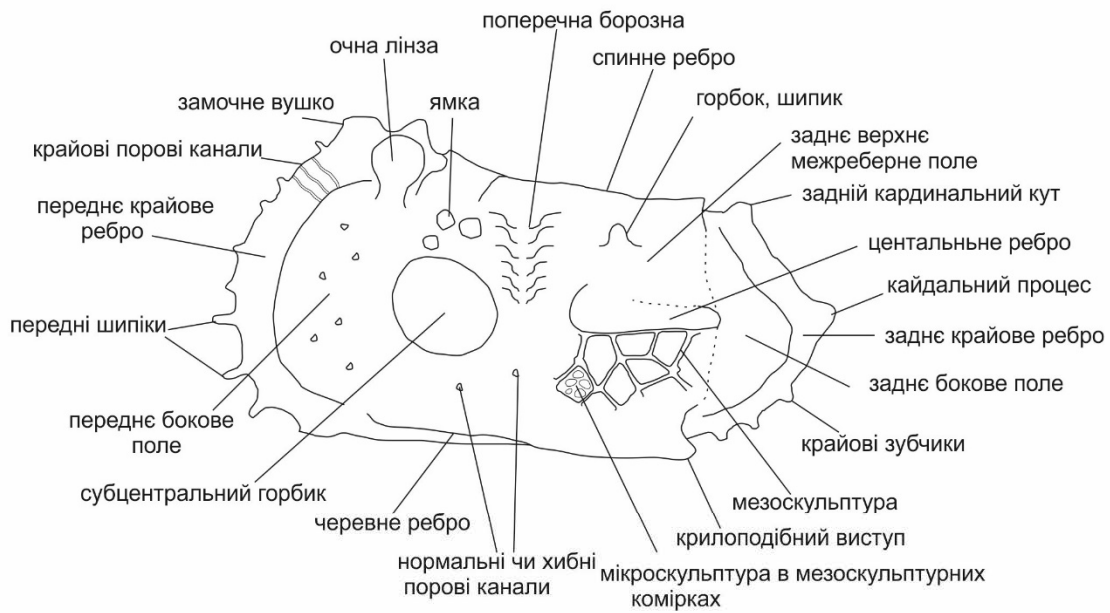
Довжина – визначається як найбільша лінія,

яку можна провести від переднього до заднього краю черепашки. Висота – визначається як найбільша лінія яку можна провести від черевного до спинного краю черепашки. Ширина – найбільша відстань між боковими поверхнями стулок, що перпендикулярні до довжини. За співвідношенням довжини до висоти визначається ступінь подовженості стулки. Для роду *Cythereis* встановлено наступні показники: до коефіцієнту 1,8 – короткі; 1,8-2,1 – помірні; більше 2,1 – видовжені. Слід зазначити, що вказані коефіцієнти відрізняються у самців та самок, де самці більш видовжені, а самки ширші в нижній задній частині черепашки у дорослих онтогенетичних стадіях. Випуклість – положення найбільшої випуклості на боковій проекції стулки. Фіксується саме положення найбільшої випуклості, що є віддзеркаленням положення внутрішнього м'якого тіла рачку.

**Задній край.** Форма заднього краю представників роду *Cythereis* трикутна, відділяється від основної частини черепашки через кордон пониження рельєфу. Край облямовується заднім крайовим ребром. Кут заднього краю може бути тупим (більше 110 градусів), помірним (80-110 градусів), гострим (менше 80 градусів). Положення заднього куту визначається за його відношенням до субцентрального горбику: центральне – на одній прямій з горбику, нижнє – нижче положення



МОРФОЛОГІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ ЗОВНІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ СТУЛКИ



МОРФОЛОГІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ ВНУТРІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ СТУЛКИ

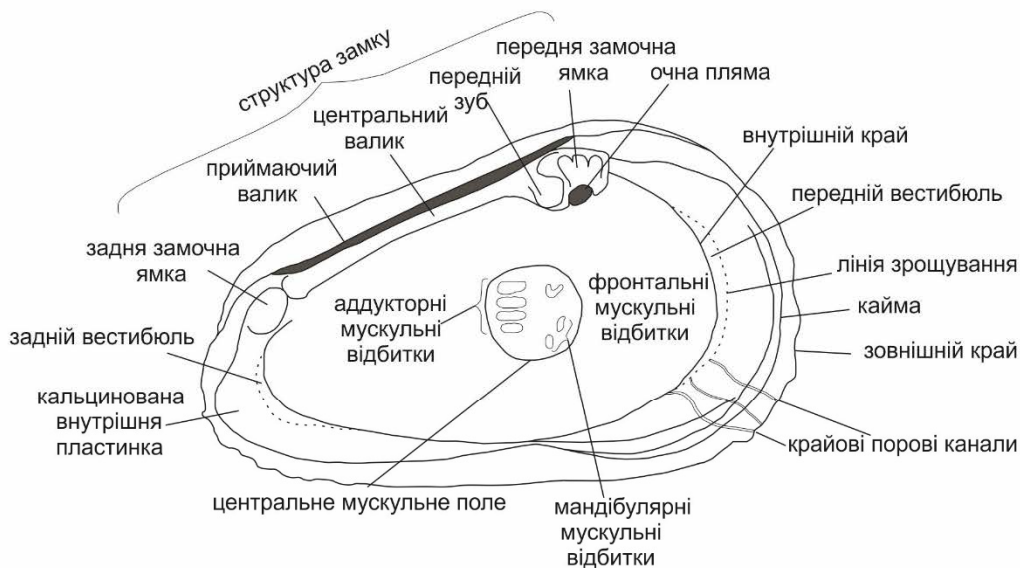


СХЕМА БУДОВИ МЕЗОСКУЛЬПТУРИ

Зовнішній вигляд мезоскульптури з найпоширенішими морфологічними елементами



Типи характерних форм мурій та дна мезоскульптурних комірок

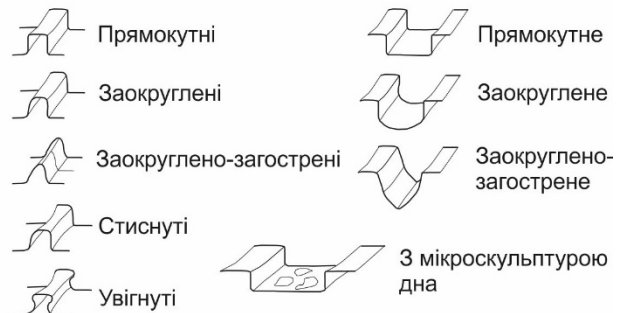


Рис. 3. Схема опису остракод сімейства TRACHYLEBERIDINAE Sylvester-Bradley, 1948 на основі [21] / Fig. 3. Scheme of the description of ostracods of the family TRACHYLEBERIDINAE Sylvester-Bradley, 1948 based on [21]

субцентрального горбику. Форма заднього краю по відношенню до заднього кута ділиться на два сегменти: верхня та нижня частина. Вказані частини за формою поділяються на: прямі, опуклі, випуклі. Інколи кут заднього краю має кайдальний процес, що вирізняється утворенням шипику. В описі фіксується його наявність.

Крайове ребро може мати шипики на боковій поверхні та зубчики крайові. В описі фіксується їх наявність та кількість. Крайове ребро має два типи контакту з заднім боковим полем: різкий та поступовий. При наявності різкого контакту фіксується ширина крайового ребра: широке – більше 40 нанометрів; помірне – 15-40 нанометрів; вузьке – менше 15 нанометрів. У верхній частині заднього краю інколи присутній кардинальний кут. При описі фіксується його наявність та ступінь вираження: виражений – сторона кардинального кута є продовженням спинного краю; помірний – кардинальний кут закруглений; невиражений – кардинальний кут згладжений. Кардинальний кут виражений на лівих стулках. Заднє бокове поле описується в контексті наявності мезоскульптури, її форми та поширення. Задній край може частково перекриватись краями ребер. Перехід до основної частини стулки буває різкий, випуклий, поступовий. Визначається в боковій проекції за формою переходу від високої основної частини черепашки до заднього бокового поля.

*Передній край.* Передній край виділяється на черепащі зверху по закінченню очної лінзи, знизу – по контакту з черевним ребром чи черевним краєм. Край облямований переднім крайовим ребром. Ступінь закруглення визначається за положенням закругленої частини відносно субцентрального горбику: округла – округла форма краю поширена рівномірно від його верху і до низу; заокруглена – закруглення знаходиться нижче лінії субцентрального горбику, або починається на ній. Переднє крайове ребро, аналогічно до заднього крайового ребра, має бокові та крайові шипики – описується їх кількість та положення. Тип контакту з основною частиною стулки різкий чи поступовий. Ширина ребра: широке – більше 50 нанометрів; помірне – 20-50 нанометрів; вузьке – менше 20 нанометрів.

*Спинний край.* Спинний край визначається від кінця очної плями до переходу в задню частину (уступ), яка інколи буває зрощена зі кінцем спинного ребра. Розглядається в двох проекціях: зверху та в бічній. Зверху описується межі та ступінь вираженості мезоскульптури та форма сплюснення. В проекції зверху спинний край буває: сплюснений – коли черепашка широка в верхній частині; кутастий – черепашка неширока в верхній частині. В бічній проекції описуються наявність та положення шипиків: їх кількість, зони

поширення (центральна частина, в наближенні до краю ребра). Спинний край має варіативну морфологію в залежності від форми контакту стулок, може бути прямим, опуклим, випуклим. На спинному краю інколи знаходиться спинне ребро, яке може бути зрощеним із краєм, або окремим зі зрощенням в задній третині стулки.

*Черевний край.* Черевний край визначається як частина черепашки між контактами з переднім та заднім краєм. Черевний край, як і спинний, досліджується в двох проекціях: боковій та знизу. Знизу описується форма черева – плоска, опукла чи випукла. При наявності найбільшої ширини в черевній частині черепашки, інколи утворюється в черевній проекції широка плоска зона, що називається фундіумом – фіксується його наявність. Також оцінюється поширення та проявлення мезоскульптури. В боковій проекції описується форма черевного краю, наявність зрощення з черевним ребром та його контакти з заднім та переднім краєм. Контакти можуть бути поступові зі зрощенням чи без нього. Часто випуклість знаходиться в задній черевній третині та зрощена з ребром, утворюється крилоподібний виріст. Описується його наявність, зрощення з фундіумом, та форма, яка залежить від форми черевного ребра.

*Форма ребер.* Спинне ребро починається з середини відстані між очним горбиком та субцентрального горбиком, інколи ребро починається від замочного вушка. Ребро описується за формою: пряме, випукле, опукле. Також фіксуються шипики та їх положення: центральне, крайове. Описується контакт ребра зі спинною та задньою частиною. Центральне ребро знаходиться в центральній частині стулки, має горизонтальне орієнтування та починається від субцентрального горбика та закінчується на контакт з заднім боковим полем. При дослідженні ребра описується його склад, ступінь вираженості та суцільність прояву. Може утворюватися суцільна смуга, чи скупчення вузлів мезоскульптури. Вираженість буває трьох типів: відсутня, слабовиражена – коли вузли мезоскульптури та мурії пригнічені; виражена – наявність суцільної смуги чи виразних елементів мезоскульптури. Суцільність прояву проявляється за властивістю зникання ребра на лінії його прояву: при описі фіксується кількість проявів, контакти проявів (різкі, поступові). Також фіксується наявність та кількість шипиків на ребрі. Черевне ребро починається від закінченні переднього краю і закінчується крилоподібним виростом чи поступовим переходом до задньої частини. Черевне ребро може бути зрощене з переднім крайовим ребром та, інколи, з заднім крайовим ребром. Описується форма ребра: пряме, випукле, опукле. Фіксується наявність, кількість та межі поширення шипиків. Також, описується взаємодія

з крилоподібним виростом та фундіумом: наявність, зрощення чи окремих контакт.

*Очний горбик та замочне вушко.* Вказані елементи знаходяться на спинній частині черепашки в її передньому краї. Очний горбик складається з очної лінзи – органу зору остракоди. Лінза може бути виражена випукла, чи невіражена в вигляді невеликого горбику. Розмір лінзи визначається за діаметром: дрібна до 40 нанометрів, середня 40-90 нанометрів, крупна – більше 90 нанометрів. На правих стулках лінза розміщена вище контакту передньої та спинної частини; на лівих – по центру вказаних контактів. Між очним горбиком та спинним ребром на спинній частині утворюється трикутник, який, інколи, не має мезоскульптури, що фіксується при описі. Інколи, мезоскульптура присутня на поверхні очного горбику. Замочне вушко знаходиться позаду очного горбику у задньому напрямку. Елемент є віддзеркаленням внутрішньої будови замку. При описі фіксується його наявність.

*Центральна частина.* Центральна частина стулки досліджується у боковій проекції. Обмежена переднім, заднім краями та спинним і черевним ребром. Найголовнішим елементом тут є субцентрально горбок. При його дослідженні описується його положення по вертикальній осі висоти в залежності від положення в третинах: верхнє, центральне, нижнє; та положення по горизонтальній осі відносно довжини стулки – центральне, проміжне, переднє. Переднє положення фіксується за контактом краю горбика з краєм очного горбика по вертикальній лінії; центральне – положення горбика по центру довжини; перехідне – положення між двома вищевказаними варіантами. Також описується його розмір: малий – до 100 нанометрів; середній – 100-130 нанометрів; великий – більше 130 нанометрів. На горбику можуть знаходитись шипики, які рахуються при описі. Важливим морфологічним елементом є поширення пор та утворення порово-каналних зон. Частіше всього, пори перекриті мікритом та закриті до досліджень. Проте інколи трапляються окремі випадки їх прояву, де треба фіксувати їх положення за частинами черепашки: передня, черевна задня третина, передньо-спинна чверть тощо. На мезозойському матеріалі наразі не вдалось визначити тип пор. Інколи в передньо-спинній частині знаходяться ямки, які описуються за межами поширення та їх геометрією: округлі, видовжені, кутасті. Також інколи трапляється поперечна борозна, що знаходиться між субцентрально горбиком та серединним ребром. Описується її наявність та межі прояву: від спинного ребра до спинної третини, тощо.

Мезоскульптура є основним елементом центральної частини стулки після субцентрального

горбику. Традиційно описується за геометрією комірок: прямокутна, ромбоподібна, ямчасто-округла, сітчаста (слабовиражена та дрібна прямокутна чи ромбоподібна). Мезоскульптура складається з мурій, пересічення мурій (вузлів), дна мезоскульптурних комірок, шипиків. Форма мурій може бути: прямокутна, заокруглена, заокруглено-загострена, стиснута, увігнута. Товщина мурій: тонкі – до 15 нанометрів, середні – 15-25 нанометрів, товсті – більше 25.

Форма дна мезоскульптурних комірок буває: прямокутна, заокруглена, заокруглено-загострена, з мікроскульптурою дна. При описі мезоскульптурних комірок фіксуються їх зони поширення, рівномірність будови та контакти з іншими морфологічними елементами стулки. Окремо описуються глибини комірок, які оцінюються за висотою між дном комірки та вершиною мурії: можуть бути помірними – від 10 до 20 нанометрів, неглибокими – до 10 нанометрів; глибокими – більше 20 нанометрів. На самих муріях та їх вузлах поширені різні типи шипиків: конічні, мамілярні, вузлові. Часто, шипики обламани, тоді фіксується суто їх наявність.

Окремо можуть бути поширені крупні шипи, які описуються за місцем прояву та їх кількістю.

*Внутрішня будова.* Внутрішня будова стулки поділяється на будову замка, центральної частини, передньої та задньої.

Замок амфідонтний, складається з задньої та передньої замочної ямки, переднього та заднього зубу (в залежності від лівої чи правої стулки), приймаючого та центрального валику. При описі фіксується наявність елементів та їх аномалії: присутність та кількість рисок на зубі та замочній ямці, наявність та кількість дрібних зубчиків у валиках. В передній та задній частині описується наявність кальцинованої (безструктурної) пластини, вестибюлю, лінія зрощування, кайма, фланж та зовнішній край. Вказані елементи описуються за взаємодією між собою: зрощення, окремість, наявність. В центральній частині описується наявність та форма відбитку м'язів, якщо такі збереглись, та наявність і поширення пор. В черевній частині інколи спостерігається стискання кайми та фланжу, що може утворювати кнопкоподібну форму для більш якісного замикавання черепашки. Явище просто фіксується.

Представлена методика опису остракод роду *Cythereis* дозволяє більш точно та формалізовано проводити межі між близькими видами в одному зразку, описувати внутрішньовидову мінливість та описувати онтогенетичні зміни. Даний інструмент дозволяє знаходити відмінності, які раніше пропускалися через відсутність термінологічного апарату.

*Різниця морфології залежно від фаціальних*

умов. У різних фаціях перш за все змінюється будова мезоскульптури. Для умов верхньої субліторалі характерне збільшення товщини мурій та їх форми до заокруглено-стиснутих (рис. 4). Розмір мезоскульптурних комірок збільшується при збереженні прямокутної та ромбоподібної форми. Дно комірок прямокутне чи заокруглене, глибоке. Разом з тим стає вираженим центральне ребро з збереженням тенденції форми утворюючих мурій. Збільшується ширина основи мезоскульптурних шипиків до утворення вузлових шипів. Також для верхньої субліторалі характерні середні та дрібні за розміром очні плями. Слід зазначити, що в умовах верхньої субліторалі спинне ребро стає суцільним та більш вираженим. В

нижній субліторалі мурії мають слабе вираження: вони тонкі, заокруглено-загострені. Дно комірок заокруглене, неглибоке. Мезоскульптурні комірки менші за площею, більші кількісно та неглибокі. Шипики мамілярні та в меншій мірі конічні. Подібна тенденція зміни будови характерні як для *Cythereis hirsuta* Damotte&Grosdidier так і для *Cythereis ornatissima* (Reuss). Слід зазначити, що подібна закономірність зміни морфології характерна і для сучасних остракод, що описано в роботах [12, 13, 17], які присвячені біономічній диференціації сучасних океанічних остракод. Пороте в роботі причиною є температура та гідродинаміка басейну. Вірогідно, також має значення для зміни морфології і мулистість субстрату.

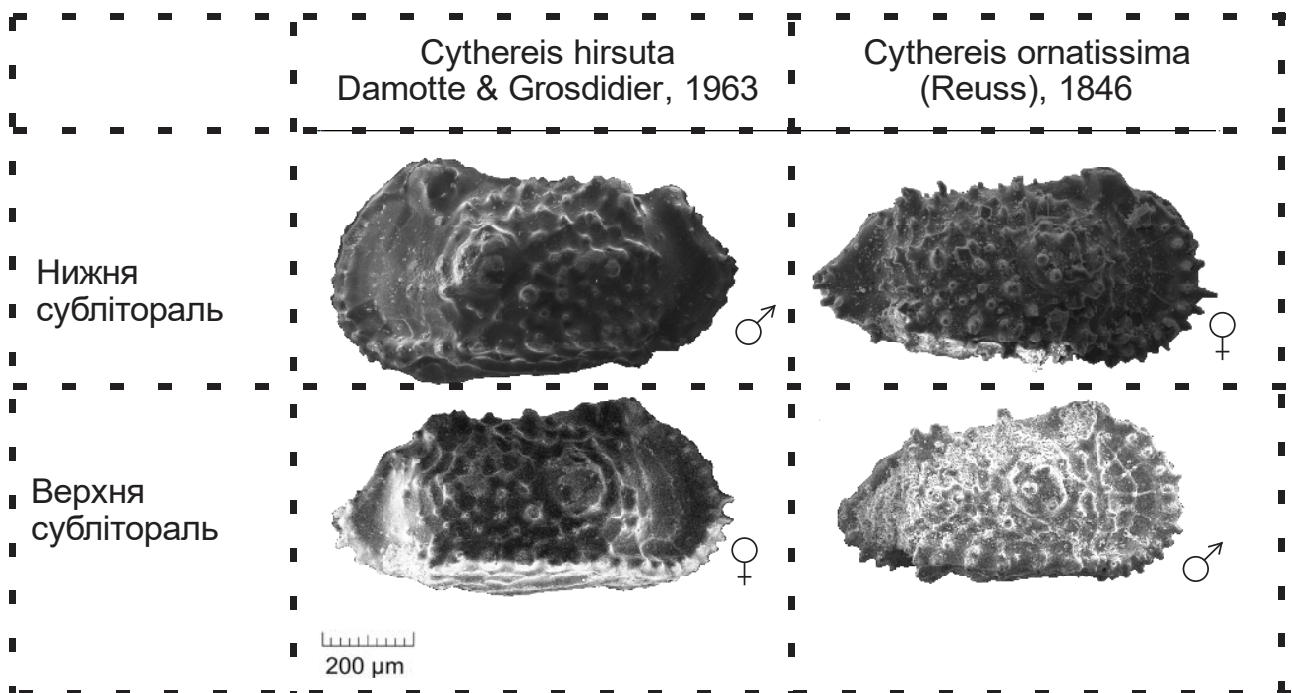


Рис. 4. Порівняння морфології остракод *Cythereis hirsuta* Damotte&Grosdidier та *Cythereis ornatissima* (Reuss) в умовах нижньої та верхньої субліторалі /

Fig. 4. Comparison of the morphology of ostracods *Cythereis hirsuta* Damotte&Grosdidier and *Cythereis ornatissima* (Reuss) in lower and upper sublittoral conditions

**Онтогенез.** Досліджувані види в дорослих стадіях дуже схожі один на одного. Вирізняється лише форма переднього краю, паралельність спинного та черевного ребра та розмірність мезоскульптурних комірок, що ускладнює розділення видів. Ювенільні форми, які зустрінуті разом з дорослими стадіями, навпроти мають ширші відмінності. Ювенільна *Cythereis hirsuta* Damotte&Grosdidier має пологі контакти центральної частини з переднім та заднім краєм, які позбавлені шипиків. Також центральна частина рівномірно випукла з положенням субцентрального горбика вище центральної лінії. Спинний та черевний край ювенільної черепашки опуклі. Відсутнє спинне та центральне ребро; черевне ребро підня-

те над черевним краєм та має зародковий вид із ущільнених мурій та їх шипиків. Паттерн мезоскульптури зберігається до дорослої стадії, проте ширина мурій навіть у ювенілів залежить від гідродинаміки басейну: в верхній субліторалі мурії товсті (рис. 5).

Ювенільний *Cythereis ornatissima* (Reuss) загалом має подібний вид до дорослої форми. Відмінності полягають в відсутності спинного та центрального ребра. Черевне ребро, як і у ювенільного *Cythereis hirsuta* Damotte&Grosdidier, має зародковий вид із ущільнених мурій та їх шипиків. На відміну від ювенільного *Cythereis hirsuta* Damotte&Grosdidier спостерігається різкий уступ та випуклість в задній черевно-центральної час-

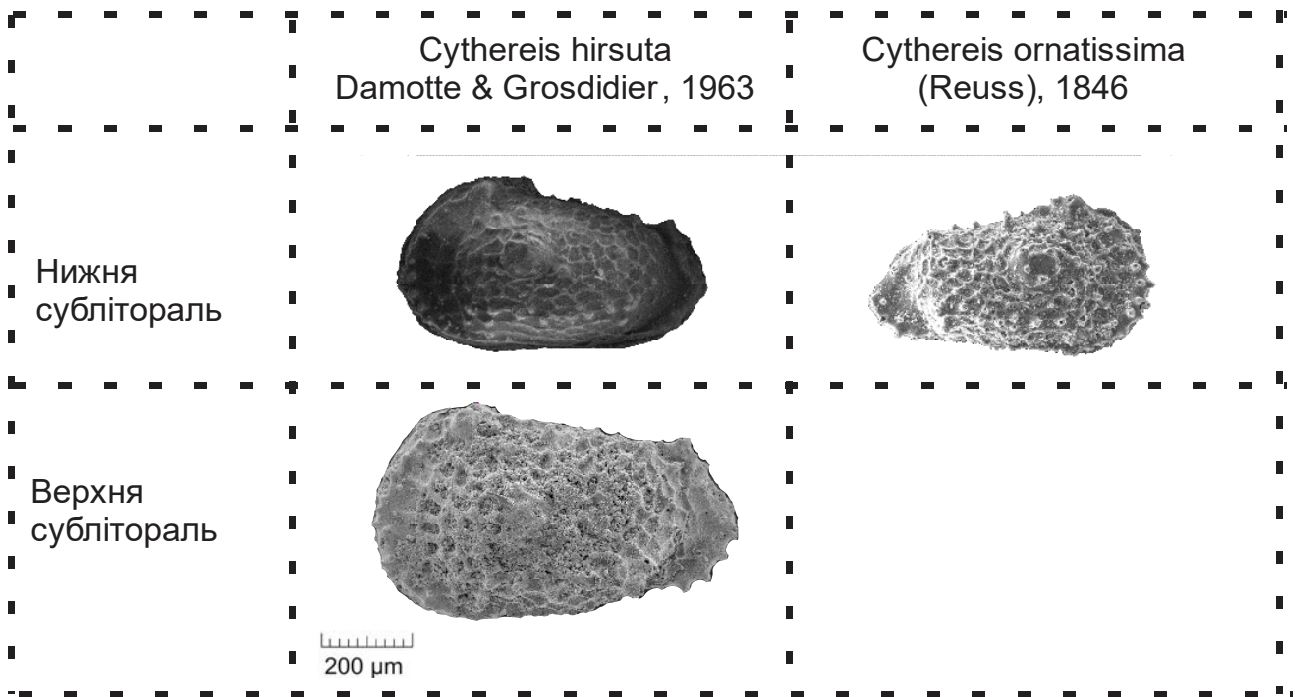


Рис. 5. Порівняння морфології ювенільних *Cythereis ornatissima* (Reuss) та *Cythereis hirsuta* Damotte&Grosdidier з верхньої та нижньої субліторалі /

Fig. 5. Comparison of the morphology of juvenile *Cythereis ornatissima* (Reuss) and *Cythereis hirsuta* Damotte&Grosdidier from the upper and lower sublittoral

тині. Для обох ювенільних форм характерний більший кут між черевним і спинним краєм, стала форма переднього краю та поширення патерну мезоскульптури в передньому краю та на контакті з переднім ребром. Нажаль, ювенільних форм із відкладів верхньої субліторалі виду *Cythereis ornatissima* (Reuss) не було знайдено в зразках, та літературних джерелах.

На основі порівняння дорослих остракод із різних фаціальних умов встановлено, що стійкими є наступні морфологічні елементи, які пов'язані з будовою м'якого тіла, а саме: положення висоти, ширини черепашки, форма переднього краєвого ребра, положення і форма черевного і спинного ребра. Мінливими є елементи прояву мезоскульптури, частота та розмір шипиків, контакти мезоскульптури з передньою та задньою частиною черепашки. Разом з тим, форма та мурій для фіксованих фаціальних умов є сталою. Відмінності помічені в висоті мурій в залежності від краю черепашки. Так, мурії в передній та черевній частині завжди стали та виражені. При цьому задня верхня частина черепашок часто має мурії менш виражені, що проявляється в неглибоких мезоскульптурних комірках та закруглених невисоких муріях. Слід зазначити, що в умовах нижньої субліторалі вказані зміни фіксуються рідше, через загалом меншу вираженість мезоскульптурних елементів.

Окремим питанням стоїть наявність та вираженість каудального процесу та кардинального

кута. В обробленому матеріалі в залежності від фаціальних умов не знайдено закономірності поширення цього морфологічного елемента.

**Географічна мінливість.** При ближчому аналізі остракод досліджуваних видів на різних ділянках крейдового північного Тетису виявляється, що їх морфологія відмінна і більша за ті відмінності, які утворюються у наслідку існування в різних фаціальних умовах. До таких морфологічних елементів віднесені: форма передніх і задніх крайових ребер, положення опуклості та ширини, формі черевного ребра. Особливу увагу слід звернути на положення надування і форму ребер, оскільки вони визначаються внутрішнім тілом. Таким чином неможна стверджувати, що описані види є номінальним одним палеонтологічним видом. Для опису видів треба проводити ревізію колекції, вирішення питання визначення таксономічного значення кожного морфологічного елемента та описати ювенільні форми для кожного виду кожного описаного відслонення із наступним побудуванням філогенетичного дерева. Лише в комплексі виконання цих завдань можливо довести чи спростувати доцільність опису вказаних черепашок як одного виду.

**Висновок.** На основі вивчення та опису численного палеонтологічного матеріалу було запропоновано ряд уточнень до описової характеристики морфологічних елементів стулок остракод представників сімейства TRACHYLEBERIDINAE Sylvester-Bradley, 1948 та роду *Cythereis* особли-

во. Запропоновані уточнення, щодо морфології мезоскульптури, дозволили детально описати онтогенетичні зміни досліджуваних видів та їх відмінності в дорослих стадіях залежно від фаціальних умов існування. Слід зазначити, що детальна схема опису морфології мезоскульптури в літературі запропонована вперше. Палеонтологічний опис численного матеріалу із середньої крейди України дозволив встановити морфологічні елементи, які є першочерговими для розділення

близьких видів в рамках роду. Аналіз цих елементів дозволяє припустити, що частина аналогічних видів із відслонень Європи та Азії є фактично іншими видами. Питання їх філогенетичних зв'язків можливо вирішити за умови дослідження онтогенезу та розширення географії проведення досліджень. Виходячи з цього, валідність назв досліджених видів з території України також є суперечливим до фактичного порівняння з колекцією голотипів.

#### Список використаної літератури

1. Андреев, Ю. Н. Меловые остракоды Средней Азии: автореф. дис. докт. геол.-мин. наук : спец. 04.00.09 [Текст] / Ю. Н. Андреев; [Геологический факультет МГУ им. Ломоносова]. – М., 1988. – 38 с.
2. Андреев, Ю. Н. Практическое руководство по микрофуне. Т. 7. Остракоды мезозоя [Текст] / Ю. Н. Андреев, И. А. Николаева, И. Ю. Неуструева и др. – СПб.: ВСЕГЕИ, 1999. – 235 с.
3. Дикань, Н. І. Систематика четвертинних остракод України [Текст] / Н. І. Дикань. – Київ: ІГН НАН України, 2006. – 430 с.
4. Дикань, Н. Біостратиграфічні критерії реконструкції філогенезу [Текст] / Н. Дикань, К. Дикань. – Київ: Тектоніка і стратиграфія, № 40. – 2013 – С. 82-91.
5. Діденко, Ю. В. Остракоди верхньокрейдових відкладів Волино-Поділля [Текст]: автореф. дис. канд. геол.-мін. наук : 04.00.09 / Ю. В. Діденко; [Ін-т геологічних наук НАН України]. – Київ, 2005. – 14 с.
6. Наумчева, М. А. Новый метод описания гладкостворчатых остракод (на примере остракод перми и триаса Восточной Европы) [Текст] / М. А. Наумчева // Палеонтологический журнал, № 6. – 2019 – С. 59–72
7. Негадаев-Никонов, К. Н. Координатный метод числовых выражений элементов раковин остракод для решения задач морфологии и диагностики [Текст] / К. Н. Негадаев-Никонов, К. Н. Кишинев // Применение математических методов в палеонтологии. – Кишинев: Изд-во АН Молд. ССР. – 1970. – С. 5–10.
8. Негадаев-Никонов, К.Н. О координатном методе измерений морфологических элементов раковин остракод [Текст] / К. Н. Негадаев-Никонов // Палеонтол. журн. – № 3. – 1970 – С. 151–152.
9. Николаева, И. А. Практическое руководство по микрофуне. Т. 3. Остракоды кайнозоя [Текст] / И. А. Николаева, В. И. Павловская, Г. И. Кармишина и др. – Л.: Недра, 1989. – 235 с.
10. Шорников, Е.И. Остракоды *Vuthocysteridae* раннего этапа развития [Текст] / Е. И. Шорников, Е. Д. Михайлова. – М.: Наука, 1990. – 278 с.
11. Benson, R. H. Estimating greater paleodepths with ostracodes, especially in past thermospheric oceans [Текст] / R.H. Benson // Amsterdam: Elsevier Science Publishers. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 48. – 1984. – P. 107-141.
12. Benson, R. H. Form, function, and architecture of ostracode shells [Текст] / R.H Benson // *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 1981. – V. 9. – P. 59–80.
13. Benson, R. H. On the measurement of morphology and its change [Текст] / R. H. Benson, R. E Chapman, A. F. Siegel // *Paleobiology*. V. 8. № 4. –1982. – P. 328–339.
14. Oertli, H.J. Atlas des Ostracodes de France [Текст] / H.J. Oertli. – Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine, Mem. 9. Pao, 1985. – P. 377.
15. Olempska, E. Gradual evolutionary transformations of ontogeny in an Ordovician ostracod lineage [Текст] / E. Olempska // Oslo: *Lethaia*. – Vol. 22. – 1989. – P. 159-168.
16. Pokorný, V. The revision of *Cythereis ornatissima* (Reuss, 1846) (Ostracoda, Crustacea) [Текст] / V. Pokorný // *Rozprawy Československé Akademie Věd, rada matematických a přírodních věd*, 73(6), 1963. – P. 1-59.
17. Puckett, T. Absolute paleobathymetry of Upper Cretaceous chalks based on ostracodes – Evidence from the Demopolis Chalk (Campanian and Maastrichtian) of the northern Gulf Coastal Plain [Текст] / T. Puckett // *Geology*. – V.19. – 1991. – P. 449-452.
18. Scott, H.W. Classification of Ostracoda [Текст] // *Treatise on Invertebrate Paleontology. Pt Q. Arthropoda 3. Crustacea. Ostracoda*. – Lawrence: Univ. Kansas Press. –1961. – P. 74–92.
19. Slipper, I. J. Ostracoda from the Turonian of South-East England Part 2. Cytherocopina [Текст] / I. J. Slipper. – *Monographs of the Palaeontographical Society*, 2021. – 168 p. <https://doi.org/10.1080/02693445.2020.1782044>
20. Slipper, I. J. Turonian (Late Cretaceous) ostracoda from Dover, south-east England [Текст] дис. канд. геол.-мін. наук / I. J. Slipper. – Greenwich, 1997. – 473 p. <https://doi.org/10.1080/02693445.2019.1687983>
21. Slipper, I. J. Ostracoda from the Turonian of South-east England. Part 1 [Текст] / I. J. Slipper. – *Monographs of the Palaeontographical Society*, 2019. – 76 p.
22. Szczechura, J. Cytheracea (Ostracoda) from the Uppermost Cretaceous and Lowermost Tertiary of Poland [Текст] / J. Szczechura // *Acta Palaeontol. Pol.* – 1965. – V. 10, № 4. –P. 451–564.
23. Weaver, P. P. E. Cenomanian Ostracoda from Southern England their Taxonomy, Stratigraphy and Palaeoecology [Текст] дис. канд. геол.-мін. наук / P. P. E. Weaver. – Greenwich, 1978. – 400 p.

24. Whittaker, J.E. *Ostracods in British Stratigraphy* [Текст] / J.E. Whittaker, M.B. Hart (eds). – London: The Micropalaeontological Society, Special Publication. The Geological Society, 2009. – P. 485.
25. Witte, L. *Ostracods from the Albian/Cenomanian boundary in the Achterhoek area (eastern part of The Netherlands)* [Текст] / L. Witte // Leiden: Scripta Geol., 1992. – P.33-84.

## Improvement of the description of ostracods of the family TRACHYLEBERIDINAE

Vitalii Syniehubka,

Head of Laboratory, Ukrainian Scientific Research Institute for Natural Gases,  
20 Gimnaziyna Emb., Kharkiv, 61010, Ukraine

### ABSTRACT

**Introduction.** The definition of criteria for separating closely related species of representatives of the genus *Cythereis* is currently incomplete. Ostracods of this genus have wide intraspecific variability and high adaptability to changing living conditions. These factors make it difficult to use these ostracod species for regional stratigraphic correlation. In addition to the selection of criteria for species separation, there is a problem of the imperfection of the terminological apparatus for describing ostracods, which complicates the description of species and omits potentially important information for the separation of related species.

**Analysis of previous publications.** Numerous works are devoted to the issue of the development of the terminological apparatus for describing ostracods, however, qualitative methods of description are inherent only to certain large taxa, where a separate method of description has been developed for each taxon. Ostracods of the genus *Cythereis* are widespread in the Cretaceous Tethys. Their wide variability is considered by various authors often without taking into account intraspecific variability and adaptation, which leads to the selection of subspecies or ignoring variability.

**Materials and methods.** Numerous ostracods of the species *Cythereis hirsuta* Damotte&Grosdidier from the Late Cenomanian and *Cythereis ornatissima* (Reuss) from the Turonian of Ukraine were used in the work. Ostracods were selected from different deposits according to the conditions of origin.

**Results and discussion.** The paper describes in detail the morphology of ostracods of the genus *Cythereis* with qualitative characteristics of morphological elements. The ontogenetic changes of the two species and the change in morphology depending on the conditions of existence are also described. The change in the morphology of juvenile forms depending on the conditions of existence is described separately.

**Conclusions.** Based on the study and description of numerous paleontological materials, a number of refinements were proposed to the descriptive characteristics of the morphological elements of ostracod valves of members of the family TRACHYLEBERIDINAE Sylvester-Bradley, 1948 and the genus *Cythereis* in particular. The proposed clarifications regarding the morphology of the mesosculpture made it possible to describe in detail the ontogenetic changes of the studied species and their differences in adult stages depending on the facial conditions of existence. It should be noted that a detailed scheme for describing the morphology of mesosculpture is proposed for the first time in the literature. The paleontological description of numerous materials from the Middle Cretaceous of Ukraine allowed to establish the morphological elements that are of primary importance for the separation of related species within the genus. The analysis of these elements suggests that some of the similar species from the outcrops of Europe and Asia are actually other species. The question of their phylogenetic ties can be solved under the condition of studying ontogenesis and expanding the geography of research. Based on this, the validity of the names of the studied species from the territory of Ukraine is also contradictory to the actual comparison with the holotype collection.

**Keywords:** *ostracods, Middle Cretaceous, method of description, species variability, ontogeny.*

### References

1. Andreev Yu. N. (1988). *Cretaceous ostracods of Central Asia*. M., Geologicheskii fakultet MGU im. Lomonosova, 38 [in Russian].
2. Andreev Yu. N. Nikolaeva I. A., Neustrueva I. Yu. (1999). *A practical guide to the microphone. T. 7. Mesozoic Ostracodi*. SPb, VSEGEI, 235 [in Russian].
3. Dykan N. I. (2006). *Systematics of Quaternary Ostracods of Ukraine*. Kyiv, IGS NAS Ukraine, 430 [in Ukrainian].
4. Dykan, N., Dykan, K. (2013). *Biostratigraphic criteria for reconstruction of phylogeny*. Kyiv: Tektonika i stratygrafia, 40, 82-91 [in Ukrainian].
5. Didenko Yu. V. (2005). *Ostracods of the Upper Cretaceous sediments of Volino-Podillia*. Kyiv: IGS NAS Ukraine, 14 [in Ukrainian].
6. Naumcheva M. A. (2019). *A new method of describing smooth-valved ostracods (for example, Permian and Triassic ostracods of Eastern Europe)*. *Paleontologicheskii zhurnal*, 6, 59–72 [in Russian].
7. Negadaev-Nikonov K. N. (1970). *Coordinate Method of Numerical Expressions of Ostracod Shell Elements for Solving Problems of Morphology and Diagnostics*. Kishinev: *Primenenie matematicheskikh metodov v paleontologii*. Izd-vo AN Mold. SSR, 5–10 [in Russian].

8. Negadaev-Nikonov K. N. (1970). *On the coordinate method for measuring the morphological elements of ostracod shells*. *Paleontol. zhurn.* 3, 151–152 [in Russian].
9. Nikolaeva I. A., Pavlovskaya V. I., Karmshina G.I. (1989). *Practical Guide to Microfun. T. 3. Ostracods of the Cenozoic*. L., Nedra, 235 [in Russian].
10. Shornikov E. I., Mihaylova E.D. (1990). *Ostracods of Bythocytheridae of the early stage of development*. M., Nauka, 278 [in Russian].
11. Benson R. H. (1981). *Form, function, and architecture of ostracode shells*. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 9, 59–80.
12. Benson R. H. (1982). *On the measurement of morphology and its change*. *Paleobiology*, 8 (4), 328–339.
13. Benson R. H. (1984). *Estimating greater paleodepths with ostracodes, especially in past thermospheric oceans*. Elsevier Science Publishers. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 48, 107-141.
14. Oertli H. J. (1985). *Atlas des Ostracodes de France*. *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine, Mem.* 9. Puo, 377.
15. Olempska, E. (1989). *Gradual evolutionary transformations of ontogeny in an Ordovician ostracod lineage*. *Lethaia*, 22, 159-168.
16. Pokorny V. (1963). *The revision of Cythereis ornatissima (Reuss, 1846) (Ostracoda, Crustacea)*. *Rozprawy Ceskoslovenska Akademie Ved, rada matematickych a prirodnych ved*, 73 (6), 1-59.
17. Puckett T. (1991). *Absolute paleobathymetry of Upper Cretaceous chalks based on ostracodes – Evidence from the Demopolis Chalk (Campanian and Maastrichtian) of the northern Gulf Coastal Plain*. *Geology*, 19, 449-452.
18. Scott H. W. (1961). *Classification of Ostracoda*. *Treatise on Invertebrate Paleontology. Pt Q. Arthropoda 3. Crustacea. Ostracoda*. Lawrence. Univ. Kansas Press, 74–92.
19. Slipper I. J. (2021). *Ostracoda from the Turonian of South-East England Part 2. Cytherocopina*, *Monographs of the Palaeontographical Society*, 174:657, 47-168, DOI: <https://doi.org/10.1080/02693445.2020.1782044>
20. Slipper I. J. (2019). *Ostracoda from the Turonian of South-east England. Part 1*, *Monographs of the Palaeontographical Society*, 173:655, 1-46, DOI: <https://doi.org/10.1080/02693445.2019.1687983>
21. Slipper I. J. (1997). *Turonian (Late Cretaceous) ostracoda from Dover, south-east England*. Greenwich, 473.
22. Szczechura J. (1965). *Cytheracea (Ostracoda) from the Uppermost Cretaceous and Lowermost Tertiary of Poland*. *Acta Palaeontol. Pol.* 10 (4), 451–564.
23. Weaver P. P. E. (1978). *Cenomanian Ostracoda from Southern England their Taxonomy, Stratigraphy and Palaeoecology*. Greenwich, 400.
24. Whittaker J. E. (2009). *Ostracods in British Stratigraphy*. London. The Micropalaeontological Society, Special Publication. The Geological Society, 485.
25. Witte L. (1992). *Ostracods from the Albian/Cenomanian boundary in the Achterhoek area (eastern part of The Netherlands)*. Leiden: *Scripta Geol.*, 33-84.

Received 6 April 2023  
Accepted 7 May 2023




# Integrating remote sensing and aeromagnetic data for lithological and structural lineaments mapping in Abu Ghaylan - Kiklah - Tighrinna, northwest Libya

Nureddin Saadi <sup>1</sup>

PhD (Geological Engineering), Lecturer, Department of Geological Engineering,

<sup>1</sup>University of Tripoli, University Road, Tripoli, Libya,

e-mail: [n.saadi@uot.edu.ly](mailto:n.saadi@uot.edu.ly),  <https://orcid.org/0000-0003-0593-8578>;

Ousama Elkoul <sup>2</sup>

MSc (Geology), Lecturer, Department of Petroleum Engineering,

<sup>2</sup>College of Engineering Technology, Coastal Road, Janzour, Libya,

e-mail: [algoul2000@gmail.com](mailto:algoul2000@gmail.com),  <https://orcid.org/0009-0007-3921-3045>;

Saleh A. Sadeg <sup>1</sup>

PhD (Geological Engineering), Professor, Department of Geological Engineering,

e-mail: [s.sadeg@uot.edu.ly](mailto:s.sadeg@uot.edu.ly),  <https://orcid.org/0000-0002-3716-3474>

## ABSTRACT

**Problems Statement and Purpose.** Libya is the fourth-largest country in Africa and the seventeenth-largest country in the world with area of 1,759,540 sq. km. Most of Libya is located in the Sahara Desert and known for being the driest and most remote regions with limited accessibility. In the 1970s, the Industrial Research Center in Libya began to create geological maps of all Libyan lands derived from analog (hard-copy) aerial photographs and geological field trips to some accessible places. Recently, remote sensing and data integration techniques using GIS are crucial to geological survey and mapping, which provides a useful tool for studying and investigating the geology of remote regions without having to physically access them. The purpose of this study is mapping lithological units and structural lineaments in the region of Abu Ghaylan - Kiklah - Tighrinna, northwest Libya, using integrated remote sensing data and spatial analysis.

**Data and Methods.** Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), Satellite Pour l'Observation de la Terre (SPOT 5), European Remote-Sensing Satellite-2 (ERS-2) Synthetic Aperture Radar (SAR) C-band, Digital Elevation Model (DEM), geologic maps, and aeromagnetic data were used to map and analyze the lithological and structural lineaments in the study area. Various fused images and IHS transformations were tested for lithological units recognizing. On the basis of spectral characteristics and topographic forms, lithological and structural lineaments were recognized and mapped. The extracted rasters and vectors data were integrated using remote sensing and GIS data integration techniques.

**Ground Truthing.** The purpose of the ground truthing was to validate the DEM-based structural mapping and identify any landslides, streams, or valleys that may appear as edges in the DEM data. Also, determining the locations of the artificial lines, that appears in the processed images as geological lineaments and edges.

**Results and Discussion.** The results indicate that remote sensing data were very useful in distinguishing between various rock units and recognizing geological lineaments in the study area. The generated lithologic map shows fifteen geological formations with apparent and accurate boundaries. The results exposed new geological lineaments in the study area. The direction of the extracted geological lineaments is dominantly NW-SE. The magnetic data reveal the boundary of sedimentary basin in the study area. The basement's depth within the basin varies from 122 meters to 4.5 kilometers. The extracted geological lineaments were analyzed and interpreted to provide more information about the main structural trends affecting the study area. The methods used in this study for remote sensing image analysis and field geological surveys can be used successfully in similar regions of Libya.

**Keywords:** *Libya, Remote Sensing, Digital Elevation, Lineaments, Lithological Mapping, Aeromagnetic, Data Integration.*

**In cites:** Saadi Nureddin, Elkoul Ousama, Sadeg Saleh A. (2023). Integrating remote sensing and aeromagnetic data for lithological and structural lineaments mapping in Abu Ghaylan – Kiklah – Tighrinna, Northwest Libya. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (58), 97-110. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-08>

## 1. Introduction

Integration approach of multi-source data can improve geological interpretation and provide detailed information on unexplored areas [1–3]. The remote sensing satellites (sensors) can detect and map geological surface based on the spectral and spatial resolution [4, 5]. The integration method has been used to combine high spatial resolution panchromatic data with poor spatial resolution multi-spectral data. The Abu Ghaylan – Kiklah – Tighrinna area is characterized within several sedimentary and igneous rocks

occurrences because of varying events during its complex geological history. Numerous old and recent geological studies were conducted on the study area, e.g. [6, 7]. This area is ideal for geological remote sensing study because of its inaccessibility and lack of vegetation. This study emphasizes the importance of fusing and integrating multi-source remote sensing and aeromagnetic data for geological mapping [8–10]. Optical-radar- Digital Elevation Model (DEM) remote sensing data integration was used in this study for: (1) Distinguishing the spatial distribution of

basalt flows, basalt cones and phonolite intrusions by integrating Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) thermal infrared (TIR) data with band-ratio of SPOT 5 visible and near infrared (VNIR) and Synthetic Aperture Radar (ERS-2 SAR) C-band. (2) Fusion of ETM+, SPOT 5 and ERS-2 images has been tested to accurately identify further lithological units. (3) Extracting and mapping geological lineaments using DEM data. The DEM were used to extract and map geological lineaments and obscure artificial lineaments in the study area.

Furthermore, DEM were also used to avoid bias caused by the illumination direction. Shaded relief maps and slope maps were created and analyzed using DEM derivatives. Ground truthing was done for confirming the remote sensing implications and determining the artificial lines, which could eventually generate edges on the remote sensing data.

The geophysical data used to delineate the subsurface structural features and estimate the depth of

the basement [11, 12]. We used aeromagnetic data to gain a broad overview of the subsurface structure in the study area. Horizontal Gradient (HG) filter was used to locate the edges of the subsurface structures [13, 14]. According to a qualitative analysis of the aeromagnetic data, the study area is distinguished by a sizable, northwest-trending positive magnetic anomaly. The analysis of the aeromagnetic data revealed that the depth of the basement ranges from 122 m to 4.5 km.

The new results modified formation boundaries, distinguished between several rock units, and exposed new geological lineaments in the study area. The new geological map was created using modified formation boundaries; fifteen rock units were identified and plotted in the map. New information about the main structural trends of the study area was obtained by analysis and interpretation of the extracted geological lineaments and the age of the geological formations.

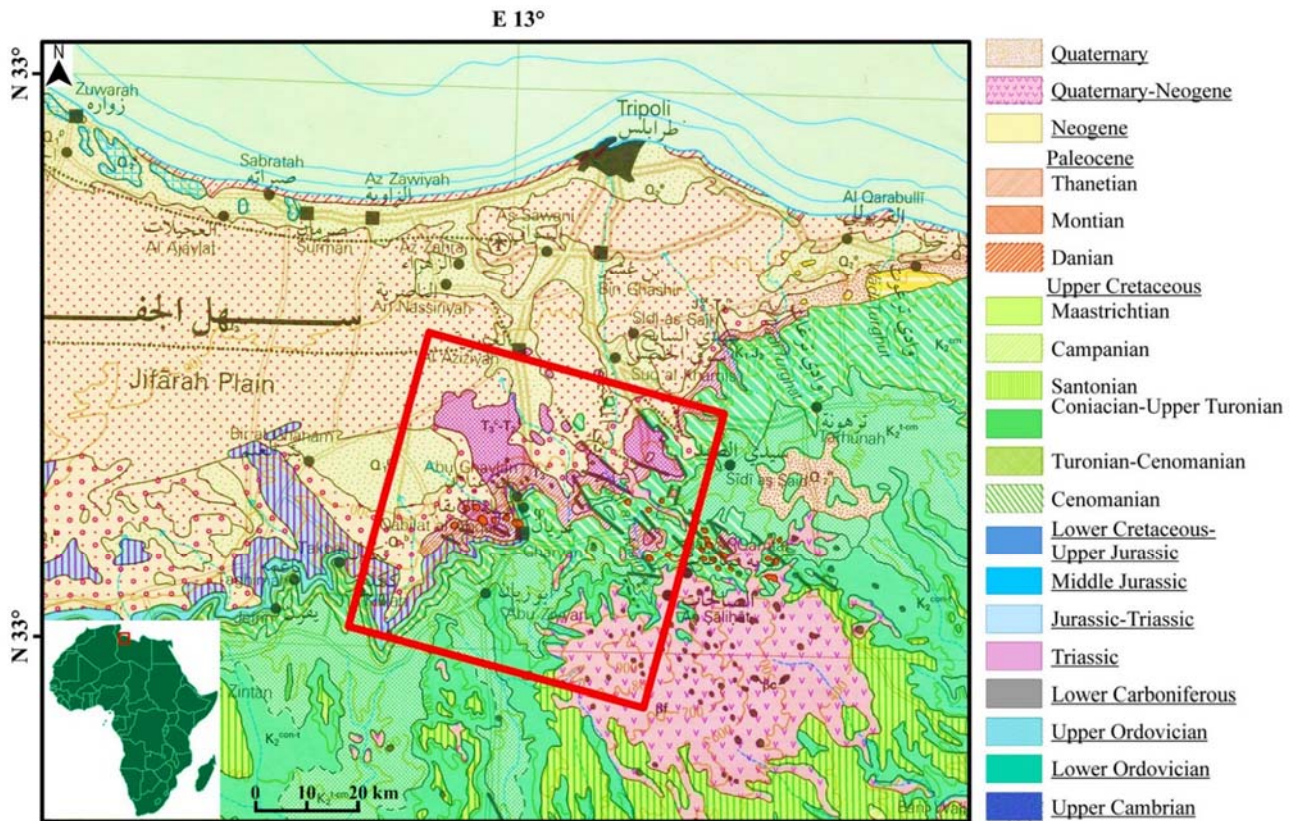


Fig. 1. Geological map of NW Libya [15]. Location of study area shown in red outline

## 2. Geological Setting

The study area lies in the northwestern part of Libya on the Jabal Nafusah, bounded by longitudes 12°45'E to 13°20'E and latitudes 32°00'N to 32°27'N (Fig. 1). It covers a surface area of approximately 3500 km<sup>2</sup>. The Jabal Nafusah extends roughly east-west direction from the Mediterranean Sea and westward till it reaches beyond the Libyan border. It is elevated between 500 and 700 meters above sea level and overlooks the Sahl Jifara. The Jabal Nafusah is

built by Mesozoic rocks, which are made of limestone, sandstone, clay and dolomitic limestone [16]. The origin of the Scarp (Jabal Nafusah) was a subject of two different opinions. The first conclusion was mentioned by [17] who asserted that the Jabal front is an elevated sea cliff that was ravaged on the northern side by waves while the Sahl Jifara was still under water. The second conclusion was described by [18] and [16] who attributed the formation of the scarp to the Al Aziziyah Fault which took place in pre-

Miocene time. The Plateau is a Quaternary primarily composed of Upper Cretaceous dolomitic limestone, which is hard and resistant. Basalt sheets and black hills of phonolite and basalt are spread throughout the southeast region [19]. The basalt sheet's age was determined by [20] as early Eocene to Pliocene, whereas the basalt at Wadi Ghan was interpreted by [21] as early Quaternary. Ages of the sedimentary rocks exposed in the study area range from the Triassic to the Quaternary. Quaternary sediments are particularly observed on the northern part of the study area.

### 3. Remote Sensing Data and Methods

In this study, optical, radar, and DEM remote sensing datasets were used and experimented. The optical data include ETM+ and SPOT 5. The radar data was represented by Synthetic Aperture Radar (ERS-2 SAR) C band. The DEM are extracted from topographic maps (1:50,000). Fused image from ETM+ thermal infrared (TIR) band, SPOT 5 visible and near infrared (VNIR) bands and ERS-2 SAR C-band is used in this work. The spectral characteristics of the ETM+ (TIR), SPOT 5 (VNIR) and ERS-2 C band tested in this study found to be remarkably successful in geological mapping, particularly at differentiating between lava flows with various compositions. Fused images from other bands of ETM+, SPOT 5 and ERS-2 C band have been effectively implemented for further lithological units recognizing. Data from multi-spectral optical and radar sources were combined using the Intensity-Hue-Saturation (IHS)-RGB transformation. Based on the predominant wavelength, hue is used to define the color, saturation determines the purity, while intensity used to define the brightness [22]. Thus, while the radar data are used to define the intensity, the multi-spectral data of the ETM+ and SPOT 5 are used to define the hue and saturation. Data transformations and image ratios help to increase the accuracy of land classification. They can also eliminate redundant data [23].

Generating and analyzing DEM derivatives, such as shaded relief maps and slope maps, were used to identify and map landforms and structural boundaries [24]. These extracted maps were useful in examining how morphology and structures relate to one another.

#### 3.1. Lithology

Three different types of volcanic rocks are exposed on the surface of the study area: basalt flows, basalt cones, and phonolite intrusions. The ETM+ TIR band (distinguishes different volcanic rocks) was integrated with SPOT 5 band-ratio 3/1 (NIR/G) (high spatial resolution) and ERS-2 C band (ability of penetration) for discriminating different volcanic rocks in the study area (Fig. 2). Several fused images from ETM+, SPOT 5 and ERS-2 data were generated to enhance the visual interpretation. These images included: IHS- RGB SPOT 5 (NIR), SPOT 5 (SWIR)

and ERS-2 C band; IHS- RGB- ETM+ (TIR), SPOT 5 (NIR) and SPOT 5 (SWIR); HIS RGB- ETM+ (TIR), SPOT 5 (G) and ERS-2 C band; IHS- RGB- SPOT 5 (NIR/G), ETM+ (5/7) and ERS-2 C band (Fig. 3 and 4).

The electromagnetic spectrum's VNIR portion has the ability of preserving morphological features and exhibiting various lithological units in easily distinguishable colors [25]. Clay minerals have a substantial absorption property in the mid-infrared portion, making it possible to differentiate clay units using this band [25]. Iron oxides have a high reflectance in the near infrared band (NIR), which is useful for mapping iron oxides [26]. The wavelength for the color green (vegetation) is matched by the green band [25]. The moisture content of vegetation and soils, also geological and vegetation mapping were all done using the bands G-NIR-SWIR. These bands are useful for geological mapping in arid regions due to lack of vegetation cover.

#### 3.2. Structure

DEM constructed from topographic contour maps (1:50,000) [27], which scanned, geo-referenced, and digitized. The topographic maps have contour interval of 20 m, in addition to the 10 m intervals as supplementary contours. The generated DEM has a 20 m horizontal resolution and a 5 m vertical resolution. To detect and map geological lineaments in the study area, a number of image processing techniques were applied to the digital elevation data to produce shaded relief maps and slope maps.

In the processing of shaded relief maps, the incoming illumination that is perpendicular to the predominant trend of geological lineaments in the study area was evaluating. The published geology map of the study area shows that the predominant lineaments trend in NW-SE directions [15]. In order to reduce azimuth biasing effects and improve the visual detection of geological lineaments in the dominant trend, low incoming solar radiation from the NE-NNE was experimented. To avoid azimuth-biasing effects, four azimuth angles of simulated sun light (NENNE, NW-NNW, NW-WWN, and N) were examined. For lineament detection in all directions, a low sun elevation angle (20° to 30°) was used (Fig. 5).

Using a quadratic fitted to a 3×3 kernel, a slope map was produced. There is no weighted convolution array used in the 3×3 filter, which is written in C code. This slope filter produces data values in degrees from horizontal. Slope values in the output image range from 0° (flat terrain) to 90° (vertical terrain). White areas represent the sharpest slopes and black areas represent the gentlest slopes in an 8-bit panchromatic image (Fig. 6). Topographic lineaments can be identified by their elevation difference from the adjacent topography. The colors of the slope map

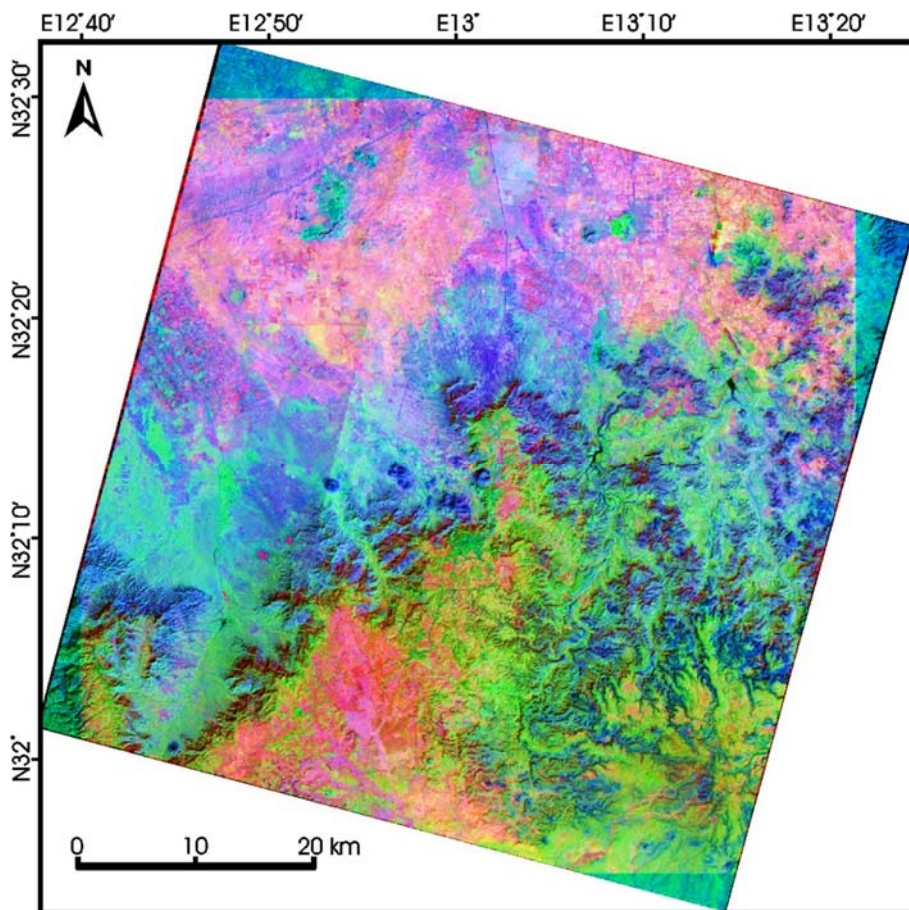


Fig. 2. ETM+ TIR band fused with ERS-2 C band and SPOT 5 NIR/G band-ratio

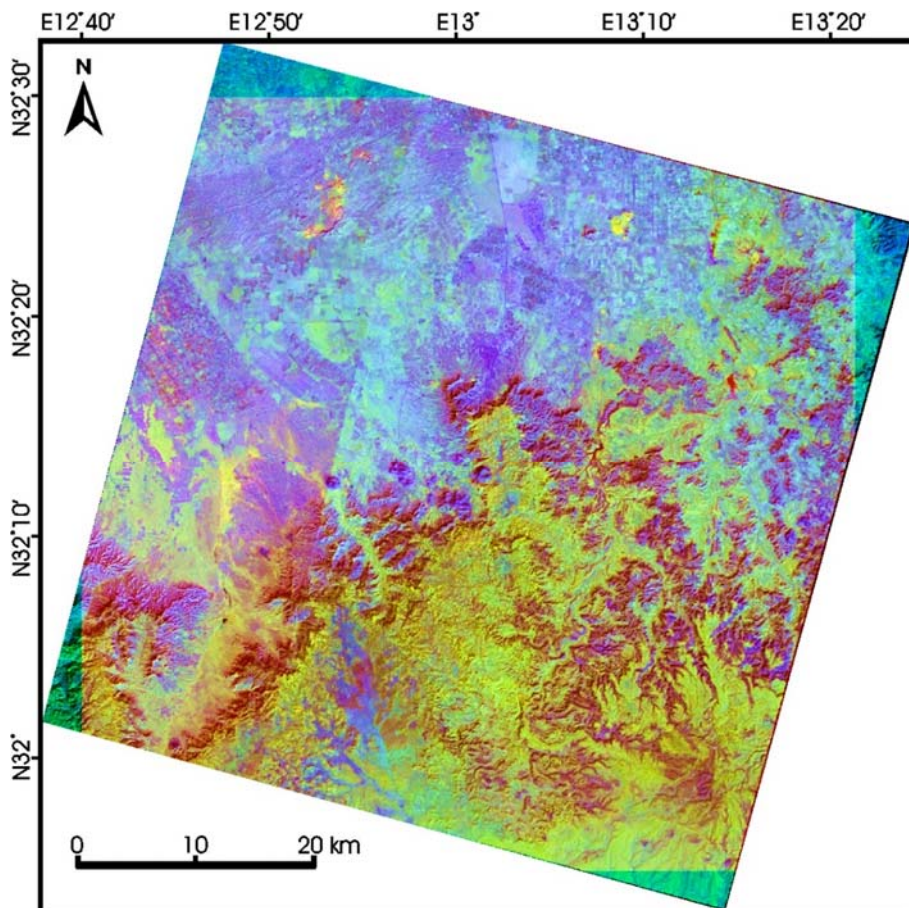


Fig. 3. ETM+ TIR band fused with ERS-2 C band and SPOT 5 G band

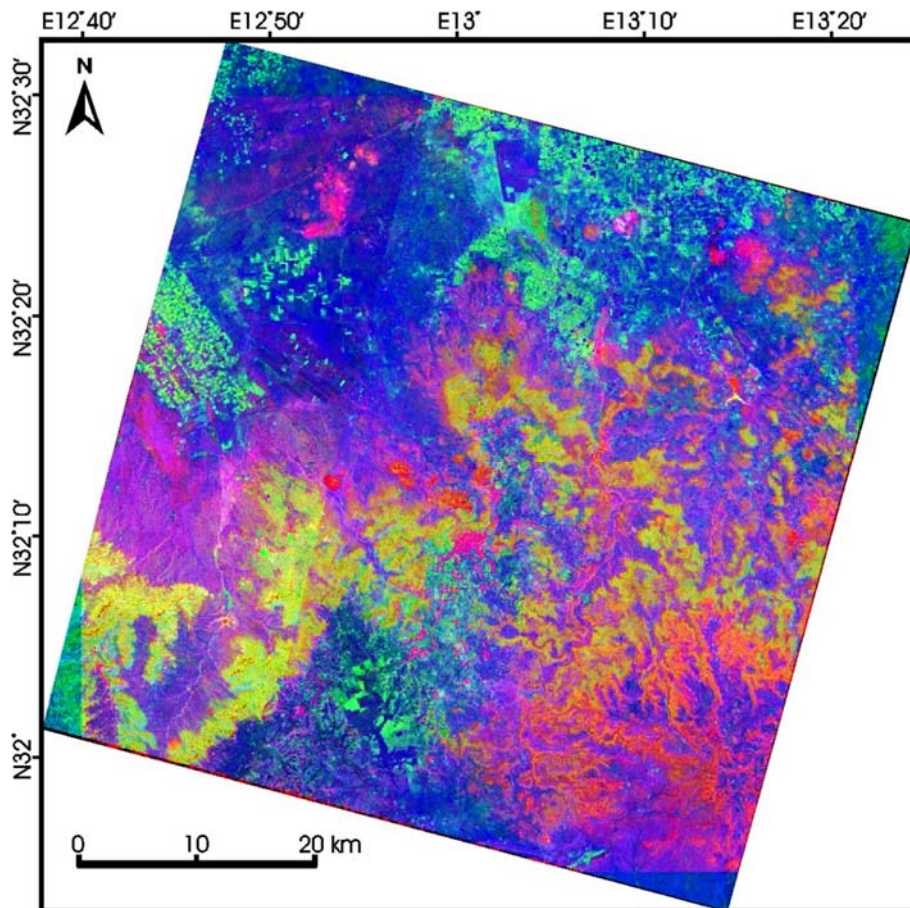


Fig. 4. ETM+ 5/7 band ratio fused with ERS-2 C band and SPOT 5 NIR/G band-ratio

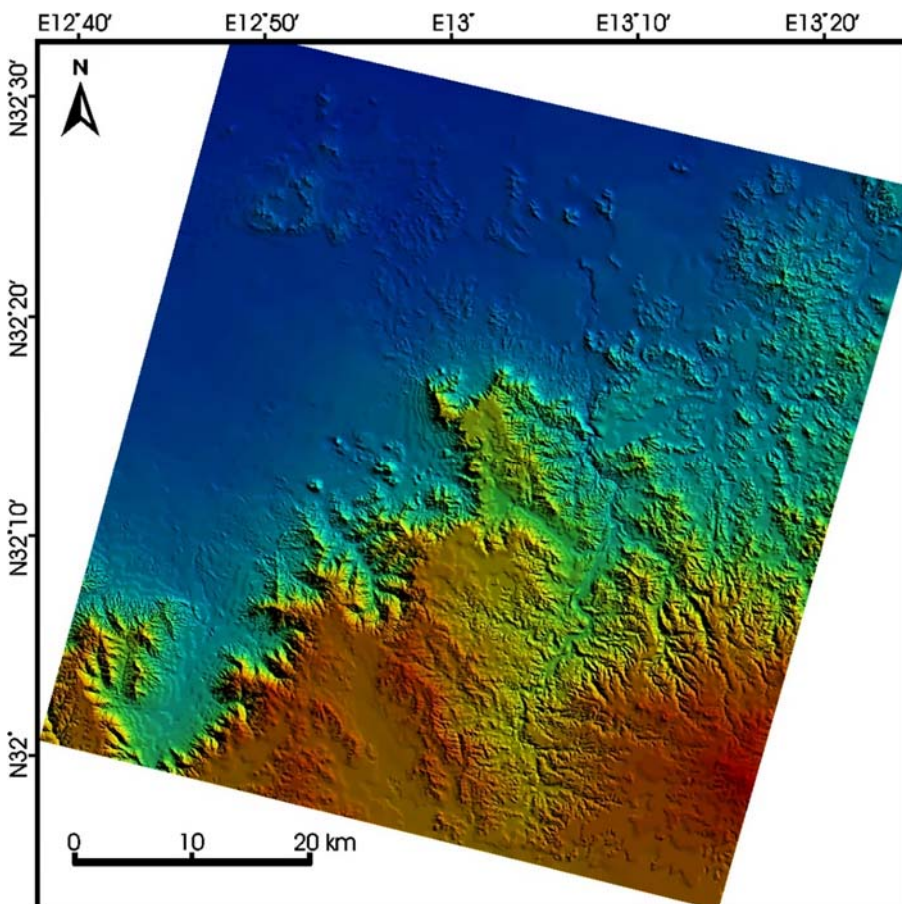


Fig. 5. The shaded relief map, azimuth angle is NE-NNE and sun-elevation is 27°

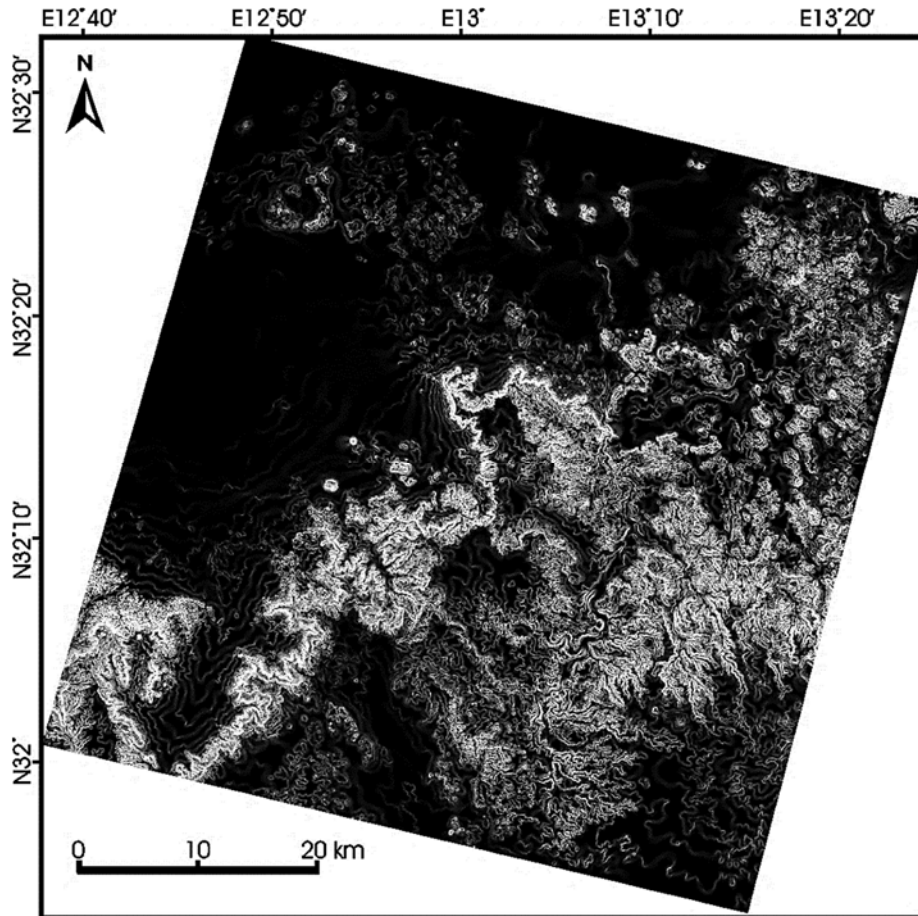


Fig. 6. The slope map. Black areas have the gentlest slopes, whereas white areas have the steepest slopes

can reflect the elevation changes in the study area.

The extracted lineaments were overlaid on a map shows the age of the geological formations in the

study area (Fig. 7). The principle of cross-cutting relationships was used as the foundation for the analysis and interpretation of these lineaments [28, 29].

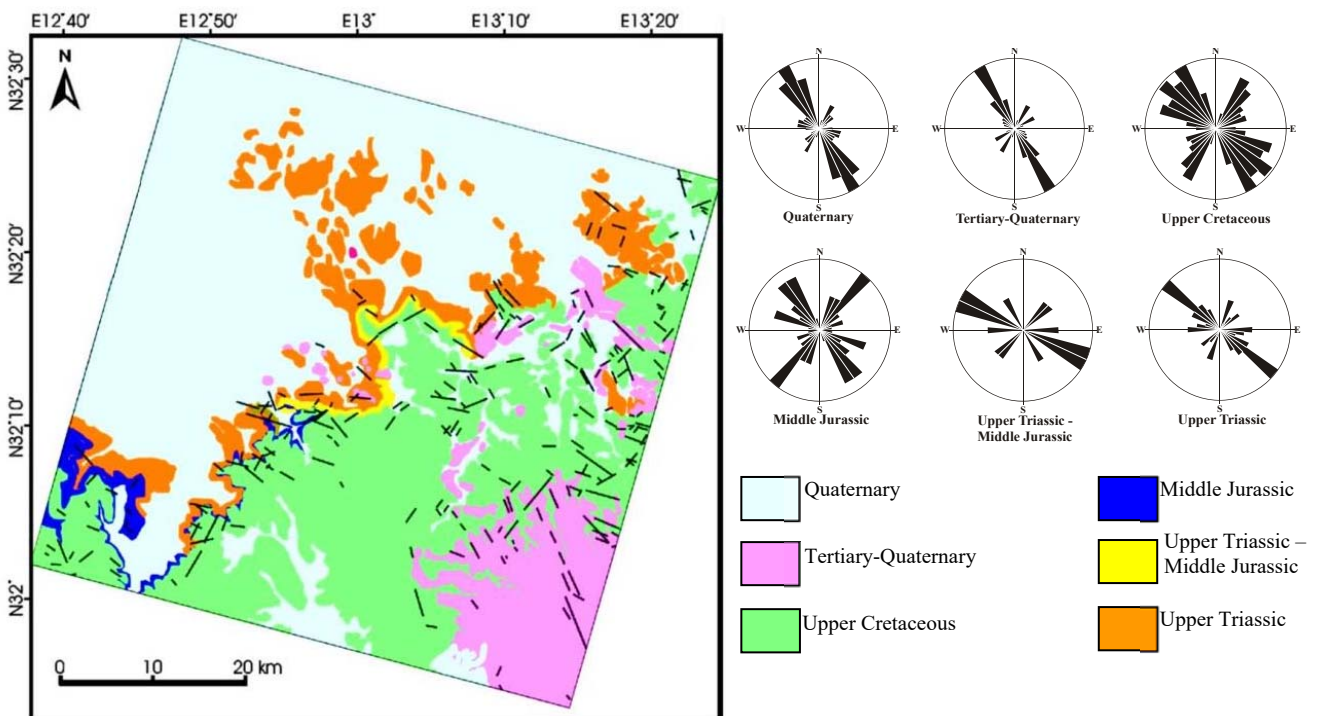


Fig. 7. Lineaments extracted from the DEM overlaid on geological formations map organized by age along with the rose diagram of each age

#### 4. Magnetic Data Analysis

Corrections were made to the aeromagnetic survey data, including the International Geomagnetic Reference Field (IGRF). The Total Magnetic Intensity (TMI) of the investigated area is shown in Figure 8.

According to a qualitative analysis of the magnetic data (Fig. 8), the study area is characterized by a sizable positive anomaly in the central (red-pink color). This anomaly has a maximum value of ~190 nT in the middle and values of ~9 nT on the troughs, and it tends NW-SE.

The anomalies and edges that directly connect to

the structure are enhanced and made more distinct by filtering the magnetic data. The structure's edges were located using the Horizontal Gradient (HG) filter [30]. The key benefit of the HG filter is that it emphasizes the maximum anomaly values at the edges (faults/borders) of the primary structure (Fig. 9). Once the maxima have been identified, other techniques can be used to determine the depths and trends of the borders from the HG map. In order to recognize the subsurface structure and more thoroughly investigate the anomaly, we applied a depth estimate approach to the HG data output. Figure 10 shows the depth maps from HG data.

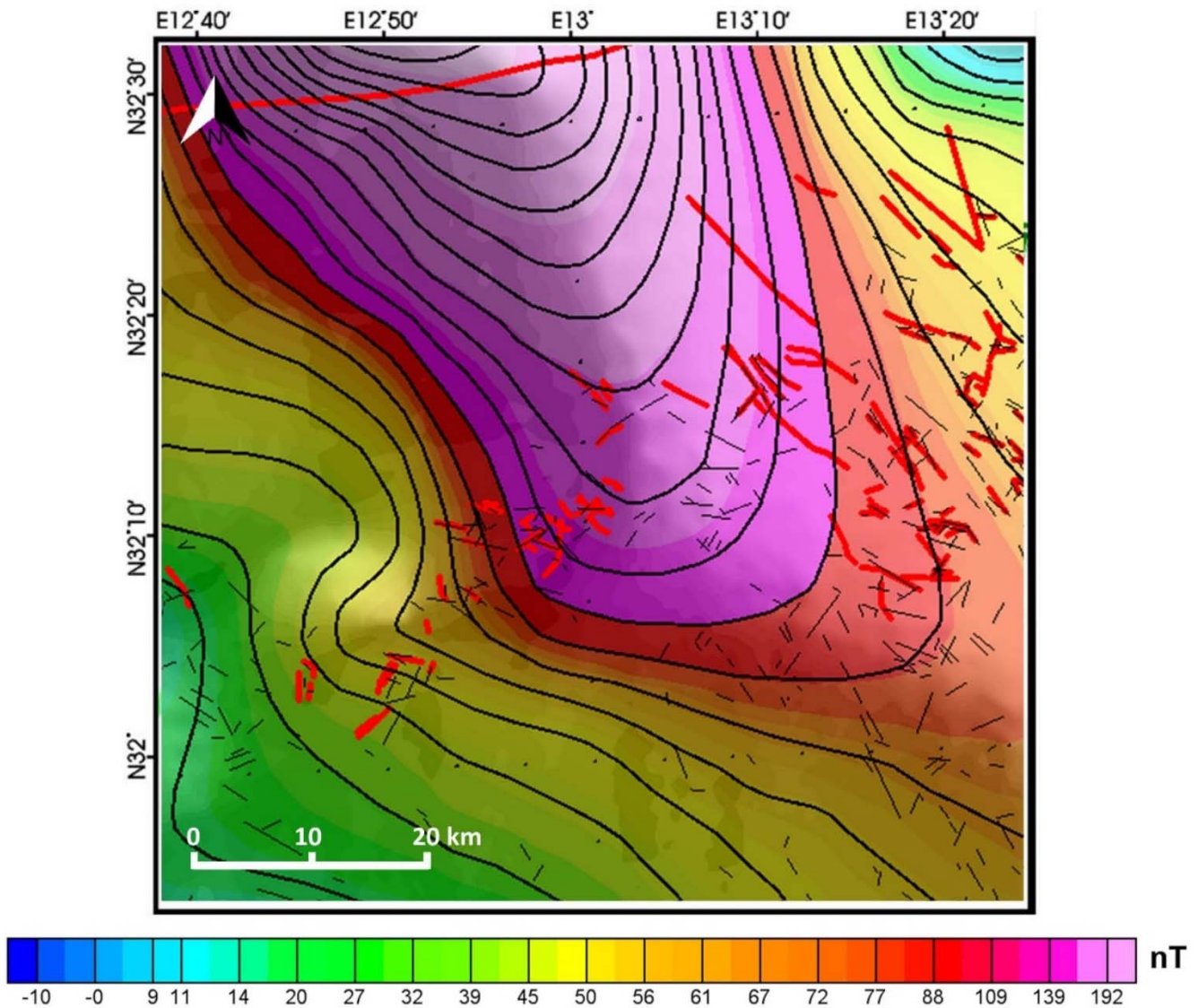


Fig. 8. Total magnetic intensity map. C.I. = 10 nT. Grid cell size equals 500 m. Geologic faults traced from the published geological map are shown as red lines [15]. The geological lineaments extracted from the DEM are shown as fine black lines

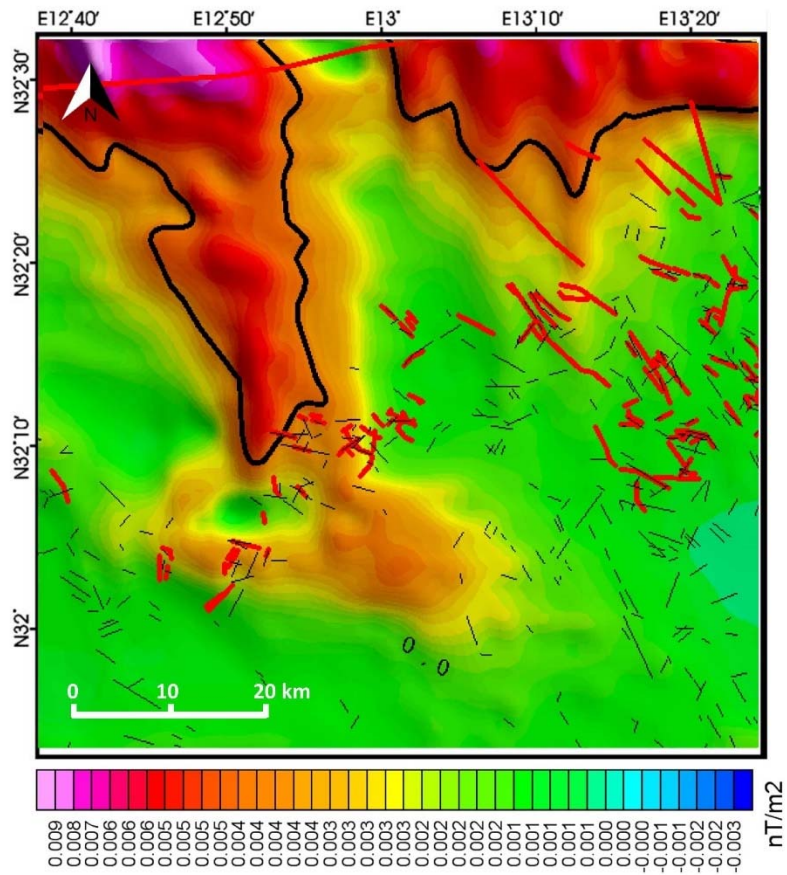


Fig. 9. Horizontal gradient map. Geologic faults traced from the published geological map are shown as red lines [15]. The geological lineaments extracted from the DEM are shown as fine black lines

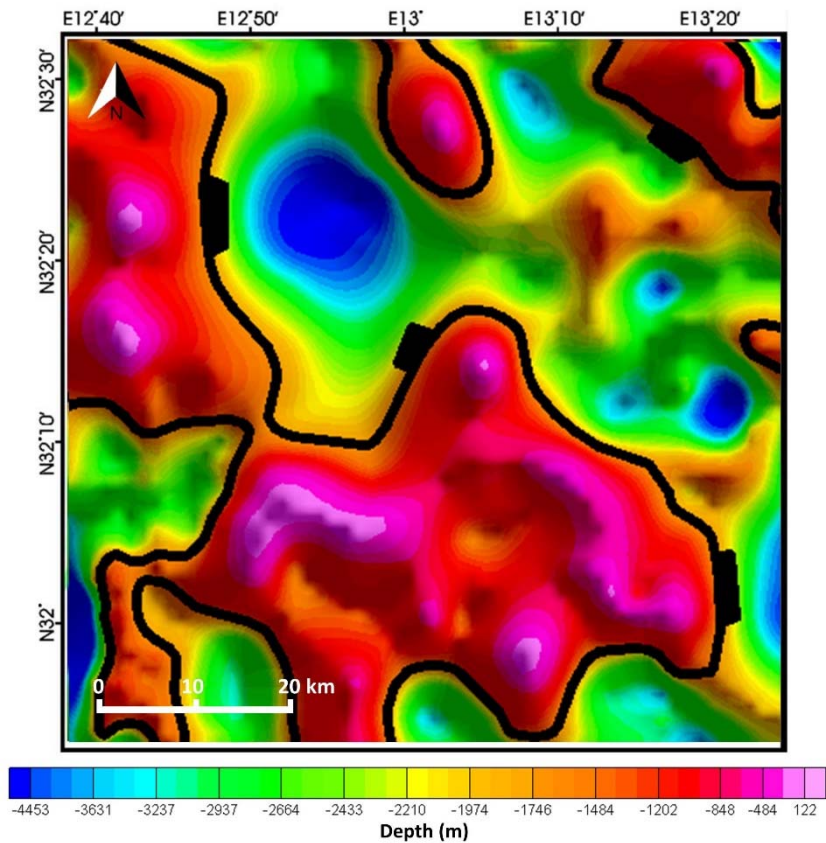


Fig. 10. Depth map from the horizontal gradient. The colors represent depth. The solid black line represents the edges of the subsurface basin



### 5. Ground Truthing

Ground truthing focused on: (i) confirming the DEM-based structural mapping and (ii) determining the landslides, streams and valleys that may potentially cause edges to appear on the DEM data. Ground truthing revealed that the study area is dominantly

covered with Quaternary sediments. The scarp is mostly built by limestone, sandstone and clay. The soft rocks form the slopes, which are often covered by debris and limestone mass. Conspicuous black hills made of phonolite and basalt are frequently observed in the southeast region (Fig. 11, 12, 13 and 14).



Fig. 11. Normal fault in Abu Ghaylan Formation



Fig. 12. Well bedded limestone of the Ain Tobi Member (Sidi as Sid Formation)



Fig. 13. The Plateau (Dahr) in southeast of the study area



Fig. 14. A general view of the study area in which geological formations are shown

## 6. Results and Discussion

The results show that SPOT 5, ETM+ and ERS-2 SAR sensors are capable of differentiating between different rock units and identifying geological lineaments in the study area. The IHS-RGB- ETM+ TIR, SPOT 5 (NIR/G) and ERS-2 C fused image was able to differentiate more lithological units than other fused images. It was possible to distinguish between areas dominated by bedrock covered in thin sand and those that are covered in thick sand using the SPOT 5 and ERS-2 C fused image. On the new lithologic map, the following fifteen rock units were identified (Fig. 15). The published geological map and Ground truthing were used for confirming these results.

- i. Al Aziziyah Formation: The primary material in this unit is bedded limestone, which is distinguished by its dark grey color. Al Aziziyah Formation was mainly recognized by the fused image IHS-RGB- SPOT 5 (NIR), SPOT 5 (SWIR), and ERS-2 C band.
- ii. Abu Shaybah Formation: Sandstone layers alternate with layers of clays and scattered limey bands. The fused image IHS-RGB- ETM+ (TIR), SPOT 5 (NIR/G), and ERS-2 C band was used to recognize this formation.
- iii. Abu Ghaylan Formation: Mostly limestone makes up this formation. Using the fused image IHS-RGB-SPOT 5 (NIR), SPOT 5 (SWIR), and ERS-2 C band was successful in recognizing this formation.
- iv. Bir al Ghanam Formation: Mainly consists of gypsum, anhydrites and dolomites. Fused image HIS-RGB-ETM+ (TIR), SPOT 5 (NIR/G), and ERS-2 C band was utilized to recognize this formation.
- v. Takbal Formation: Mainly limestone with marly and clayey intercalations. Fused image IHS-RGB- ETM+ (TIR), SPOT 5 (NIR) and SPOT 5 (SWIR) was useful for identifying this formation.
- vi. Sidi as Sid Formation: Mostly limestone and marl. This formation was recognized using fused image IHS-RGB- SPOT 5 (NIR/G), ETM+ (5/7) and ERS-2 C band.
- vii. Nalut Formation: It consists of limestone and dolomitic limestone. Nalut Formation was recognized using fused image IHS-RGB SPOT 5 (NIR/G), ETM+ (5/7) and ERS-2 C band.
- viii. Qasr Tigrinnah Formation: This unit consists of a succession of soft marls and white to rosy limestone. The fused image IHS-RGB- ETM+ (TIR), SPOT 5 (G) and ERS-2 C band was used to recognize this formation.
- ix. Volcanic rocks: This formation consists of basalt flows, basalt cones, and phonolite intrusions. We used fused image IHS-RGB- SPOT 5 (NIR), SPOT 5 (SWIR) and ERS-2 C band for distinguishing volcanic rocks.
- x. Quaternary: The Jifara Formation, Qasr Al Haj Formation, eolian deposits, and fluvio-eolian deposits were the only types of Quaternary sediments discriminated in the study area. These sediments were recognized using fused images IHS-RGB-ETM+ (TIR), SPOT 5 (NIR/G), and ERS-2 C band and IHS-RGB- SPOT 5 (NIR/G), ETM+ (5/7) and ERS-2 C band.

Structurally, 233 geological lineaments were identified using the DEM data (Fig. 7). For detecting lineaments, a low illumination angle was ideal. Different trends can be seen in the extracted lineaments, but the dominant trend is NW-SE, which is parallel to the main tectonic of the Jabal Uplift. A secondary trend is the NE-SW lineaments. The rest of the trends have no statistical significance. According to geological formations ages in the study area, the extracted lineaments were divided into six groups (Fig. 7). The dominant trend of lineaments in the Upper Triassic rocks is NW-SE, with subordinate E-W and NE-SW. Rocks from the Upper Triassic and Middle Jurassic shows lineaments trend dominantly NW-SE, with E-W and NE-SW subordinate trends. The NE-SW trend dominates the Middle Jurassic rock lineaments, with the NW-SE is the second dominant trend. The NW-SE is the prevailing trend of lineaments in Upper

Cretaceous rocks, the NE-SW trend being subordinate. Lineaments in Tertiary rocks trend dominantly NW-SE, with a subordinate trend to the NE-SW. Lineaments in Quaternary rocks prevailing trends NW-SE.

The principle of cross-cutting relationships was used as a foundation for the analysis of the extracted lineaments [28]. Possibility of reactivated faulting in the Upper Triassic and Upper Cretaceous rocks, as indicated by the frequency and length of NW-SE faults. The varying lengths of the NW-SE lineaments in the Upper Cretaceous rocks likely imply reactivated faulting. Lithologically, the arrangement of basalt cones and phonolite hills in lines parallel to the prevailing lineaments trends (NW-SE) shows a

relation between the tectonic activity of the Jabal Uplift and the volcanic activity in the study area.

The magnetic data shows an area of anomalously high values in the center of the study area, and two areas of anomalously low values in the northeast and southwest. The magnetic data reveal the edges of the subsurface basin, which trends NW-SE, and its depth varies from 122 m to 4.5 km. The abrupt change in the magnetic anomaly reveals a basement fault. Variations in trend and depth indicate that the studied region was active at several stages. Notably, basalt intrusion (underneath extrusive basalt flow in the study area) does not appear on the magnetic intensity map. This is may be because basaltic rocks are hydrothermally altered.

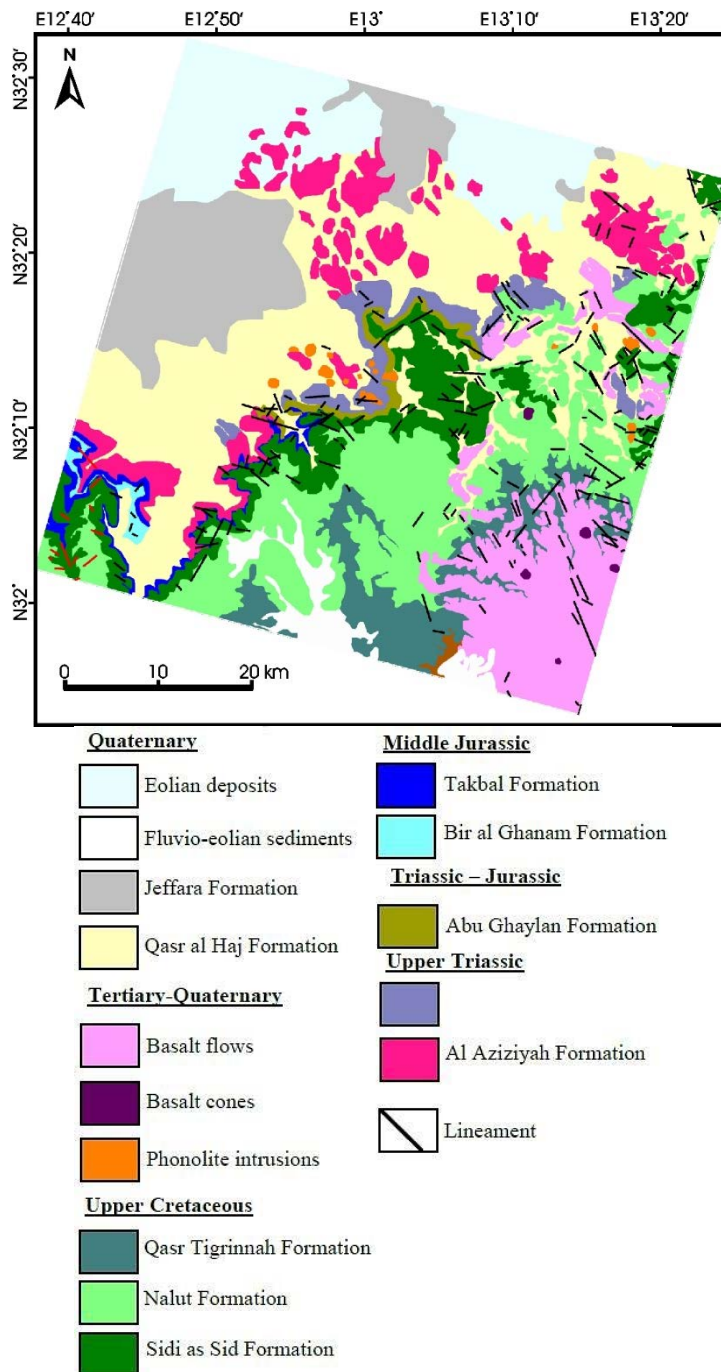


Fig. 15. New lithologic map shows the distribution of fifteen rock units and extracted lineaments in the study area

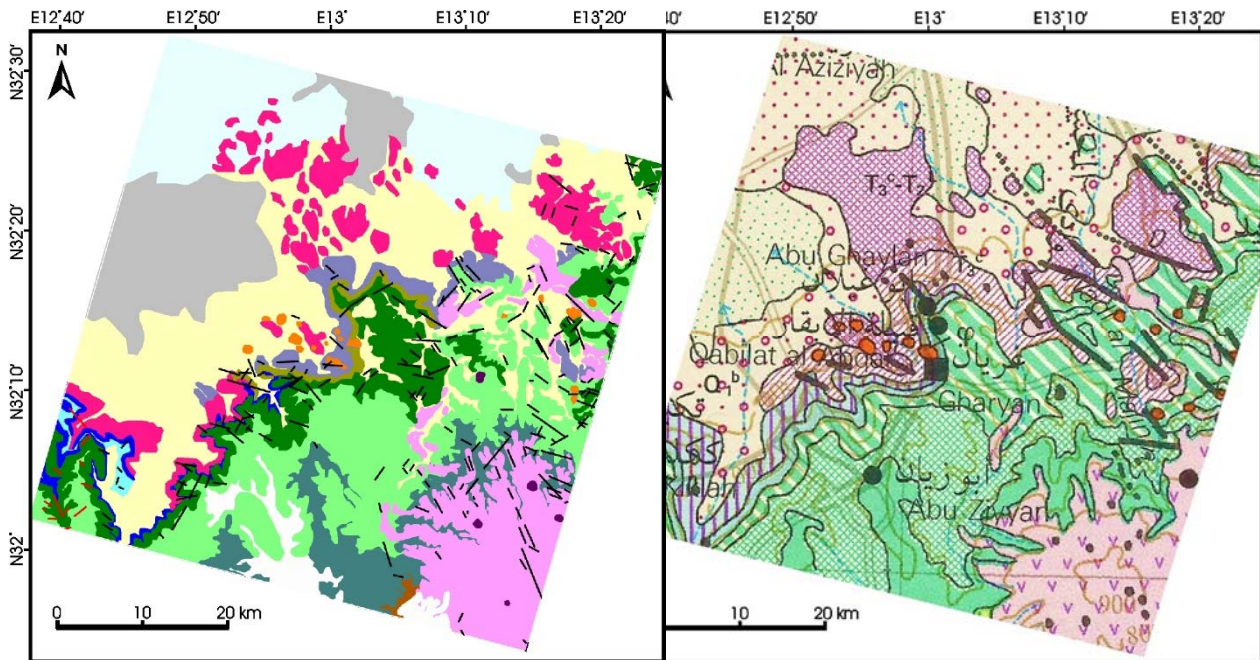


Fig. 16. Generated lithologic map (left) reveals the accurate distribution of the major geological formations of the study area with high-contrast boundaries of rock units in compare to the published geological map (right)

## 7. Conclusions

This study focused on geological mapping and structural analysis using various digital image processing techniques. The integration of SPOT 5, ETM+ and ERS-2 C band revealed the accurate distribution of the major geological formations of the study area with high-contrast boundaries of rock units. The DEM and aeromagnetic data provided insight into the structure of the investigated area. IHS-RGB- ETM+ (TIR), SPOT 5 (NIR/G), and ERS-2 C band and IHSRGB- SPOT 5 (NIR/G), ETM+ (5/7)

and ERS-2 C band fused images successfully identified different lithological units. The shaded relief and slope maps constructed from DEM facilitated the recognition and extraction of geological lineaments. Information on the main structural trends affected the study area was obtained by classifying the extracted lineaments into groups according to the age of geological formations. Such an approach of remote sensing image analysis and field geological surveys can be successfully adopted in other arid regions in Libya.

## References

1. Thiele, S.T., Lorenz, S., Kirsch, M., Cecilia Contreras Acosta, I., Tusa, L., Herrmann, E., Möckel, R., Gloaguen, R. (2021). Multi-Scale, Multi-Sensor Data Integration for Automated 3-D Geological Mapping. *Ore Geology Reviews*, 136, 104252. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104252>
2. Shebl, A., Abdellatif, M., Elkhateeb, S.O., Csámer, Á. (2021). Multisource data analysis for gold potentiality mapping of Atalla area and its environs, Central Eastern Desert, Egypt. *Minerals*, 11(6), 641. DOI: <https://doi.org/10.3390/min11060641>
3. Wróbel, M., Stan-Kleczyk, I., Marciniak, A., Majdański, M., Kowalczyk, S., Nawrot, A., Cader, J. (2022). Integrated Geophysical Imaging and Remote Sensing for Enhancing Geological Interpretation of Landslides with Uncertainty Estimation—A Case Study from Cisiec, Poland. *Remote Sensing*, 15(1), 238. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15010238>
4. Khalifa, A., Bashir, B., Alsalman, A., Ögretmen, N. (2021). Morpho-tectonic Assessment of the Abu-Dabbab Area, Eastern Desert, Egypt: Insights from Remote Sensing and Geospatial Analysis. *International Journal of Geo-Information*, 10(11), 784. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi10110784>
5. Lu, Y., Yang, C., Meng, Z. (2021). Lithology discrimination using sentinel-1 dual-pol data and SRTM data. *Remote Sensing*, 13 (7), 1280. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13071280>
6. Salem, M.J., Oun, K.M., Seddiq, H.M. (2003). *The Geology of Northwest Libya II: Second Symposium on the Sedimentary Basin of Libya*, Tripoli, Libya, 3, 123-134.
7. Moustafa, M.S., Pope, M.C., Mriheel, I.Y. (2019). High resolution sequence stratigraphy of the Middle–Late Triassic Al Aziziyah formation, northwest Libya. *Journal of African Earth Sciences*, 155, 75-89. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.03.009>
8. Kamel, M., Tolba, A., AbuBakr, M.M., Omar, M.M. (2022). Utilization of Landsat-8 data for lithological mapping of neoproterozoic basement rocks in north Qena-Safaga road, North Eastern Desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 186, 104420. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2021.104420>

9. Marzouki, A., Dridri, A. (2023). Lithological discrimination and structural lineaments extraction using Landsat 8 and ASTER data: a case study of Tiwit (Anti-Atlas, Morocco). *Environmental Earth Sciences*, 82(125). DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-023-10831-4>
10. Ghrefat, H., Kahal, A.Y., Abdelrahman, K., Alfaifi, H.J., Qaysi, S. (2021). Utilization of multispectral landsat-8 remote sensing data for lithological mapping of southwestern Saudi Arabia. *Journal of King Saud University - Science*, 33(4), 101414. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101414>
11. Santolaria, P., Ayala, C., Pueyo, E.L., Rubio, F.M., Soto, R., Calvin, P., Luzón, A., Rodríguez-Pintó, A., Oliván, C., Casas-Sainz, A.M. (2020). Structural and geophysical characterization of the western termination of the South Pyrenean triangle zone. *Tectonics*, 39(8). DOI: <https://doi.org/10.1029/2019TC005891>
12. Saibi, H., Amir, G., Mohamed, F.S. (2019). Subsurface structural mapping using gravity data of Al-Ain Region, Abu Dhabi Emirate, United Arab Emirates. *Geophysical Journal International*, 216(2), 1201-1213. DOI: <https://doi.org/10.1093/gji/ggy489>
13. Yuan, Y., Gao, J.Y., Chen, L.N. (2016). Advantages of horizontal directional Theta method to detect the edges of full tensor gravity gradient data. *Journal of Applied Geophysics*, 130, 53-61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2016.04.009>
14. Ibraheem, I.M., Haggag, M., Tezkan, B. (2019). Edge Detectors as Structural Imaging Tools Using Aeromagnetic Data: A Case Study of Sohag Area, Egypt. *Geosciences* 9(5), 211. DOI: <https://doi.org/10.3390/geosciences9050211>
15. IRC (Industrial Research Centre), 1985. *Geological Map of Libya, 1:1,000,000*. Industrial Research Centre, Libya.
16. El Hinnawy, M., Cheshitev, G. (1975). *Geological map of Libya. Explanatory booklet, sheet Tarabulus NI 33-13*. Industrial Research Centre, Tripoli.
17. Zaccagna, D. (1919). *Itinerari geologici della Tripolitania occidental con appendic paleontologic. Mem. Descr. Carta Geol. Ital. XVIII, 126*, Roma.
18. Lipparini, T. (1940). *Tettonica e geomorfologia della Tripolitania. Bulletin of the Geological Society of Italy, Roma* 59, 221-301.
19. Zivanovic, M. (1977). *Geological map of Libya. Explanatory booklet, sheet Bani Walid NH 33-2*. Industrial Research Centre, Tripoli.
20. Piccoli, G. (1971). *Outlines of Volcanism in Northern Tripolitania. Symposium on the Geology of Libya, University of Libya, Tripoli* 232-331.
21. Christie, A.M. (1966). *Geology of Gharyan Area, Tripolitania, Libya. Ministry of Industry, Geological Section Bulletin, No. 5*, Tripoli.
22. Liu, J.G., Philippa, J.M. (2016). *Image Processing and GIS for Remote Sensing: Techniques and Applications*. Oxford: Wiley-Blackwell.
23. Lillesand, T.M., Kiefer, R.W. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation. 7th Edition*, Wiley, New York.
24. Abduh, A.G., Usman, F.C.A., Tampoy, W.M., Manyoe, I.N. (2021). Remote Sensing Analysis of Lineaments using Multidirectional Shaded Relief from Digital Elevation Model (DEM) in Olele Area, Gorontalo. *Journal of Physics: Conference Series*, 1783, 012095. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1783/1/012095>
25. Sabins, F.F., Ellis, J.M. (2020). *Remote Sensing: Principles, Interpretation, and Applications, 4th ed.*; Waveland Press: Long Grove, IL, USA.
26. Abdelsalam, M.G., Stern, R.J., Berhane, W.G. (2000). Mapping gossans in arid regions with Landsat TM and SIR-C images: the Beddaho alteration zone in northern Eritrea. *Journal of African Earth Sciences*, 30 (4), 903-916. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0899-5362\(00\)00059-2](https://doi.org/10.1016/S0899-5362(00)00059-2)
27. S.P.L.A.J. (1979). *Topographic map of Libya, 1:50,000*. Polservice-Geokart, Poland.
28. Luirei, K., Lokho, K., Longkumer, L., Kothyari, G., Rai, R., Rawat, I.S., Nakhro, D. (2021). Morphotectonic evolution of the Quaternary landforms in the Yangui River basin in the Indo-Myanmar Range. *Journal of Asian Earth Sciences*, 218(15). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2021.104877>
29. Wajid, A.A., Anees, M., Gorchani, J.K., Shahzad, K., Israr, A., Shafique, M. (2021). Lineament mapping for a part of the Central Sulaiman Fold-Thrust Belt (SFTB), Pakistan. *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 1438. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07784-y>
30. Salawu, N.B., Olatunji, S., Adebisi, L.S., Olasunkanmi, N.K., Dada, S.S. (2019). Edge detection and magnetic basement depth of Danko area, northwestern Nigeria, from low-latitude aeromagnetic anomaly data. *SN Applied Sciences*, 1, 1056. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1090-3>

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work

## Інтеграція дистанційного зондування та аеромагнітних даних для картографування літологічних і структурних ліній в Абу-Гайлан - Кікла - Тігрінна, північно-західна Лівія

*Нуреддін Сааді<sup>1</sup>,*

доктор філософії (геологічна інженерія), викладач кафедри геологічної інженерії,

<sup>1</sup> Університет Тріполі, Університетська дорога, Тріполі, Лівія;

*Усама Елкул<sup>2</sup>,*

магістр геології, викладач кафедри нафтової інженерії,

<sup>2</sup> Коледж інженерних технологій, Прибережна дорога, Джанзур, Лівія;

*Салех А. Садег<sup>1</sup>,*

доктор філософії (геологічна інженерія),

професор кафедри інженерно-геологічних наук

У 1970-х роках Центр промислових досліджень у Лівії розпочав створювати геологічні карти всіх лівійських земель, отриманих з аналогових (друкованих) аерофотознімків і геологічних польових поїздок у деякі доступні місця. Останнім часом методи дистанційного зондування та інтеграції даних з використанням ГІС мають вирішальне значення для геологічної зйомки та картографування, що є корисним інструментом для вивчення та дослідження геології віддалених регіонів без необхідності фізичного доступу до них. Метою цього дослідження є картографування літологічних утворень і структурних ліній в регіоні Абу-Гайлан – Кікла – Тігрінна, північно-західна Лівія, використовуючи інтегровані дані дистанційного зондування та просторовий аналіз. Для картографування та аналізу літологічних і структурних ліній досліджуваної території були використані Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), Satellite Pour l'Observation de la Terre (SPOT 5), European Remote-Sensing Satellite-2 (ERS-2), радар із синтетичною апертурою (SAR), С-діапазон, цифрова модель рельєфу (DEM), геологічні карти та аеромагнітні дані. Для розпізнавання літологічних одиниць протестовано різні злиті зображення та трансформації IHS. На основі спектральних характеристик і топографічних форм розпізнано та нанесено на карту літологічні та структурні лінеamenti. Витягнуті растри та векторні дані були інтегровані за допомогою методів дистанційного зондування та інтеграції даних ГІС. Мета наземної перевірки полягала в перевірці структурного відображення на основі ЦМР та ідентифікації будь-яких зсувів, потоків або долин, які можуть відображатися як краї в даних ЦМР. Крім того, визначено розташування штучних ліній, які з'являються на оброблених зображеннях у вигляді геологічних ліній і країв. Результати вказують на те, що дані дистанційного зондування були дуже корисними для розрізнення різних гірських порід і розпізнавання геологічних ліній у досліджуваній області. Створена літологічна карта показує п'ятнадцять геологічних утворень з очевидними і точними межами. Результати виявили нові геологічні лінеamenti на території дослідження. Напрямок вилучених геологічних ліній переважно північно-західний–південно-східний. Магнітні дані виявляють межі осадового басейну в районі дослідження. Глибина фундаменту в межах улоговини коливається від 122 метрів до 4,5 кілометрів. Витягнуті геологічні лінії були проаналізовані та інтерпретовані, щоб отримати більше інформації про основні структурні тенденції, що впливають на досліджувану територію. Методи, використані в цьому дослідженні для аналізу зображень дистанційного зондування та польових геологічних досліджень, можуть бути успішно використані в аналогічних регіонах Лівії.

**Ключові слова:** Лівія, дистанційне зондування, цифровий рельєф, лінеamenti, літологічне картування, аеромагнітний, інтеграція даних.

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 12 квітня 2023 р.

Прийнята 13 травня 2023 р.

## Вплив небезпечних геологічних та техногенних процесів при виконанні інженерно-геологічних вишукувань для будівництва на екологічну безпеку в сучасний період

**Віктор Соколов**<sup>1</sup>

к. техн. н., доцент кафедри фундаментальної та прикладної геології

<sup>1</sup> Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна,

пл. Свободи, 4, Харків, 61022, Україна,

e-mail: [v.sokolov@gmail.com](mailto:v.sokolov@gmail.com),  <https://orcid.org/0000-0001-6003-549X>;

**Валерій Сухов**<sup>1</sup>

к. геол. н., зав. кафедри фундаментальної та прикладної геології,

e-mail: [valery.sukhov@karazin.ua](mailto:valery.sukhov@karazin.ua),  <https://orcid.org/0000-0001-5784-5248>

Надійність будівництва, а також захист території від небезпечних геологічних та техногенних процесів, оцінка впливу об'єктів будівництва та реконструкції на навколишнє середовище повинні базуватись на якісних матеріалах інженерних вишукувань. Соціально-економічні зміни, що почалися в Україні більше 30 років тому, зачепили усі сфери суспільно-господарського життя. Сьогодні в Україні умови будівництва та реконструкції значно підвищили вимоги до якості та складу інженерних вишукувань. В той же час існує низка природних і соціальних факторів, які підвищують ступінь геотехнічного та екологічного ризиків під час будівництва, відсутня система, що забезпечує обов'язковість виконання державних норм, що вкрай негативно позначається на якості матеріалів вишукувань. Таким чином, сьогодні в країні існують дві протилежні тенденції. З одного боку, вимоги будівництва потребують підвищення повноти та якості вишукуювальної інформації, з іншого – спостерігається значне зниження технічних й інтелектуальних можливостей вишукуювальних організацій та, через це, значне падіння якості матеріалів вишукувань. Особливу важливість набувають ці питання враховуючи той об'єм роботи, що чекає нас по відбудові нашої країни. У статті наведено аналіз стану із законодавчою базою в Україні відносно інженерних вишукувань, системи, що забезпечує обов'язковість виконання вимог нормативних документів, факторів, що підвищують ризики у будівництві, запропоновані заходи, спрямовані на підвищення якості матеріалів вишукувань, наведені приклади будівництва на ділянках зі складними інженерно-геологічними умовами, а також зміни якісних характеристик підземної гідросфери (хімічний склад та підвищення агресивності підземних вод), що мало вплив на надійність будівництва та екологічну складову на досліджуваній території.

**Ключові слова:** соціальні, геотехнічні та екологічні ризики, законодавча база інженерних вишукувань, інженерно-геологічні вишукування, екологічна безпека, безпека будівництва, небезпечні геологічні та техногенні процеси, підземні води, забруднення води, промислово-міська агломерація.

**Як цитувати:** Соколов Віктор. Вплив небезпечних геологічних та техногенних процесів при виконанні інженерно-геологічних вишукувань для будівництва та екологічну безпеку в сучасний період / Віктор Соколов, Валерій Сухов // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 58. – С. 111-121. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-09>

**In cites:** Sokolov Viktor, Sukhov Valeriy (2023). The influence of dangerous geological and technogenic processes during engineering and geological research and environmental safety for construction in the modern period. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (58), 111-121. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-09> [in Ukrainian]

**Постановка проблеми.** Проектування усіх об'єктів будівництва та реконструкції повинно базуватись на даних інженерно-технічних вишукувань. Це положення законодавчо закріплено в Україні. Тільки повна та достовірна інформація про стан та динаміку природно-техногенного геологічного середовища дозволить забезпечити безпеку і оптимізацію будівництва. Соціально-економічні зміни, які почалися в Україні більше 30 років тому, торкнулись усіх сфер суспільно-господарського життя.

Сьогодні в країні існують дві протилежні тенденції. З одного боку, вимоги будівництва потребують підвищення повноти та якості вишукуювальної інформації, з іншої сторони, спостерігається значне зниження технічних і інтелектуальних можливостей вишукуювальних організацій та, пов'язане з цим, значне падіння якості матеріалів вишу-

кувань.

Аналіз існуючої в Україні законодавчої бази у сфері інженерних вишукувань, ступеня виконання цих вимог в реальній практиці, а також факторів, що системно впливають на безпеку будівництва, дозволить зробити висновки про геологічні, технічні, соціальні та екологічні ризики пов'язані з виконанням інженерно-геологічних робіт, та сформулювати конкретні пропозиції, спрямовані на підвищення безпеки і оптимізації в будівництві та покращення екологічної безпеки територій проведення робіт.

**Історія вивчення проблеми.** Питання підвищення якості матеріалів інженерно-геологічних вишукувань і забезпечення на цій основі безпеки будівництва актуальні вже більше 100 років з моменту формування інженерної геології як науки. За цей період були розроблені і науково обґрунто-

вані різні методи польових і лабораторних досліджень ґрунтів, камеральної обробки матеріалів, сформована нормативна база виконання інженерно-технічних вишукувань. Численні наукові праці були присвячені особливостям інженерно-геологічних вишукувань на територіях міських агломерацій та для вивчення небезпечних інженерно-геологічних процесів, проблемам прогнозування змін природно-техногенних геологічних умов, впливу проєктованої забудови на навколишнє середовище. Подібна робота виконувалась спеціалізованими науково-виробничими інститутами і спеціалістами провідних вишукувальних організацій.

В даний час основними факторами, які впливають на якість матеріалів інженерно-геологічних вишукувань є існуючі соціально-економічні умови. Проблемами стану справ у сфері інженерно-технічних вишукувань для будівництва в Україні були присвячені статті провідних вчених Шестопалова Є. Ф., Яковлева Є. О., Лущика А. В., Бокова В. О., Стрижельчика Г. Г., а також керівників великих вишукувальних організацій Богданова В. І., Полевецького В. І., Вариводи П. М., Соколова В. А. тощо [2-4, 10-18, 20].

Зміни законодавства, умов ліцензування, експертизи та атестації спеціалістів весь час вносять нові аспекти в цю проблему.

**Мета статті** – ще раз звернути увагу на проблеми у сфері інженерно-геологічних вишукувань для будівництва, від яких багато в чому залежить безпека і комфортність нашого проживання, сформулювати пропозиції щодо покращення стану справ очікуючи масштабне відновлення нашої країни та можливість потрапляння до нормативного поля ЄС.

**Виклад основного матеріалу.** Безпека будівництва і експлуатації споруд, оцінка рівня екологічної безпеки, прийняття оптимальних проєктних рішень повинні ґрунтуватись на достовірній інформації про стан і динаміку природно-техногенного геологічного середовища. Отримання подібної інформації є задачею інженерно-геологічних вишукувань для будівництва. Не випадково діючий ДБН А.2.1-1-2008 [6] визначає інженерно-геологічні вишукування як вид науково-технічної діяльності. Це обумовлено тим, що провідні вчені, у тому числі зарубіжні, вважають, що більшість аварій і деформацій будівель та споруд (80 - 90 %) відбувається із-за процесів у системі «основа – фундамент». Вони також відмічають, що серед усіх областей техніки цивільне будівництво, і особливо геотехніка, пов'язані з найбільш високим рівнем професійного ризику. Не дивлячись на детальні дослідження ґрунтів, складні обчислення, моніторинг майданчиків будівництва, аварії все одно відбуваються – вони неминучі,

оскільки природа ґрунту та підземних вод дуже складна [17, 18, 20-28].

Сьогодні в Україні у сфері інженерно-геологічних вишукувань створились умови, які системно підвищують ступінь ризику при будівництві та експлуатації будівель і споруд, екологічних ризиків, пов'язаних з небезпечними геологічними процесами, підтопленням, забрудненням навколишнього середовища та ін.

Оцінити стан інженерно-геологічних вишукувань в Україні у даний час пропонується по наступним напрямкам:

- законодавча база (наявність усіх необхідних нормативних документів);
- забезпечення державою виконання вимог цих норм;
- аналіз природних і соціальних факторів, які системно впливають на якість інженерно-геологічних досліджень і пов'язану з цим безпеку будівництва.

**Законодавча база.** Хотілося б одразу відмітити, що стан законодавчої бази в Україні, що стосується виконання інженерно-технічних вишукувань для будівництва, більш ніж задовільний. Є чітко вибудована вертикаль державних норм, на чолі якої знаходиться два закони: Закон України «Про будівельні норми» і Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності» [7, 8]. Для нас головне, що в цих законах чітко декларуються вимоги з безпеки будівництва, а також законодавчо встановлено, що всі роботи в будівництві виконуються згідно вимог державних будівельних норм, які є підзаконними актами й обов'язковими до виконання.

Наступним рівнем законодавчої піраміди є державні будівельні норми (ДБН). Для фахівців з інженерно-геологічних вишукувань особливе значення мають дві з них. В ДБН А.2.2-3-2014 «Склад та зміст проєктної документації на будівництво» [5] в першому пункті «Загальних положень» вказується, що розробка проєктної документації не допускається без виконання інженерних вишукувань, які повинні бути виконані згідно ДБН А.2.1-1-2008 «Інженерні вишукування для будівництва» [6]. Останній документ і регламентує вимоги до виконання інженерно-технічних вишукувань (в тому числі й інженерно-геологічних).

Слід відзначити, що в Українському державному головному науково-дослідному і виробничому інституті інженерно-технічних вишукувань (УкрНДПНТВ, м. Харків) був розроблений проєкт нової редакції цього документа. Нова редакція ДБН «Інженерні вишукування для будівництва» пройшла всі необхідні погодження й була затверджена Технічною Радою Міністерства України. Новий ДБН повинен був вступити в силу ще в 2014



році. У новій редакції відносно інженерно-геологічних вишукувань були зроблені наступні доповнення:

- приведена методика оцінки ризику виникнення і розвитку небезпечних інженерно-геологічних процесів на майданчиках будівництва;
- значно розширений та перероблений розділ «інженерно-гідрогеологічні вишукування»;
- вперше приведена довідкова таблиця фізико-механічних властивостей ґрунтів, що розповсюджені на території України.

На жаль, через міжвідомчі конфлікти новий ДБН до сих пір не діє, а співтовариство фахівців з цього важливого питання на сьогодні багато в чому втратило можливість лобювати введення його в дію.

Повертаючись до піраміди нормативних документів, відмічаємо наступний рівень – Державні стандарти України (ДСТУ). Ці документи регламентують конкретні види вишукувальних робіт: польові та лабораторні дослідження ґрунтів, статичне та динамічне зондування, камеральна обробка матеріалів, аж до умовних позначень при складанні графічного матеріалу.

Завершують піраміду відомчі і територіальні методики та інструкції. Ці норми не повинні суперечити діючим ДБН і ДСТУ, їх задача конкретизувати вимоги до інженерно-геологічних вишукувань на майданчиках найбільш відповідальних споруд (атомні і теплові електростанції, об'єкти гідротехнічного будівництва тощо), а також враховувати інженерно-геологічні умови окремих регіонів України (райони розвитку потужних товщ просідних ґрунтів, Донбас, гірські області та ін.). Подібні документи існують і застосовуються на практиці.

Слід відмітити, що в Україні прийнятий Єврокод 7 (частина друга, геотехнічне проектування). Це дуже важливо і є всі передумови розмовляти з нашими європейськими колегами на одній технічній мові.

Ще раз оцінюючи стан законодавчої бази в Україні, яка стосується інженерно-технічних вишукувань для будівництва, можна зробити висновок, що вона задовільна і може слугувати фундаментом для розвитку.

**Забезпечення державою виконання законодавчих норм.** В цьому питанні все значно гірше. Ліцензування вишукувальної діяльності немає. Близько десяти років тому була зроблена спроба повернути ліцензування на проектування та вишукування для об'єктів будівництва IV і V категорії відповідальності. Передбачалося, що ліцензійні умови дозволять виконувати подібні роботи організаціям, які мають власний штат спеціалістів, технічне та наукове забезпечення. Тобто не зазіхаючи на масове будівництво (I-III категорії

відповідальності), привласнити історично сформованим проектно-вишукувальним інститутам свого роду «знак якості». Передбачалося, що в більшості випадків інвестор, маючи повну можливість звертатись в неліцензовані організації, все ж буде звертати увагу на інститути, які в стані забезпечити якісне виконання проектно-вишукувальних робіт. Документ мав стати доповненням до Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності». Він був прийнятий Верховною Радою України та переданий на затвердження президенту України (Януковичу В.Ф.). З адміністрації президента він повернувся непідписаним з пояснювальною запискою, що ліцензування буде погіршувати інвестиційний клімат в країні.

На думку авторів, до цієї ідеї ще будуть повертатись. На жаль, приводом для цього може слугувати серйозна аварія на об'єкті будівництва.

Також не існує й експертизи матеріалів інженерно-геологічних вишукувань. Згідно ДСТУ – НБА. 2.2-10-2012 «Настанова з організації і проведення експертизи проектної документації на будівництво» обов'язковій експертизі підлягають об'єкти будівництва, які споруджуються на територіях зі складними інженерно-геологічними й техногенними умовами у зв'язку з міцністю, надійністю і довговічністю об'єктів будівництва, їх експлуатаційною безпекою та інженерним забезпеченням. Ситуація складається парадоксальна – перевіряються проектні рішення, а матеріали, завдяки яким вони приймалися, ні. На нашу думку, допущення помилки у математичних розрахунках (при тому, що розрахункові формули жорстко регламентуються нормативними документами) є маловірогідним. А припуститися помилки у визначенні змінних величин (показників стислості і міцності ґрунтів, їх особливих властивостей) є більш ніж вірогідним.

Отже, сьогодні в Україні уся повнота відповідальності за якість вишукувальних робіт і виконання вимог нормативних документів лягає на плечі атестованих спеціалістів. Серед багатьох спеціалізацій інженерів-проектувальників є спеціалізація «інженер-проектувальник по вишукуванням». З самого початку передбачалось, що цей спеціаліст не виконує інженерних-вишукувань, а використовує їх при складанні окремих розділів проекту (інженерна підготовка території, захист території та об'єктів від небезпечних процесів тощо). Це положення узаконено наказом Мінрегіону України № 26 від 27.01.2014 р. Таким чином, атестація виконавців інженерно-технічних вишукувань для будівництва офіційно не передбачена. Але життя проводить певне саморегулювання і сьогодні наявність сертифіката «інженера-проектувальника по вишукуванням» розглядається як право на виконання вишукувань. Подібне само-

регулювання вирішило питання, в кращому випадку, на половину. Інженерно-технічні вишукування є різностороннім видом діяльності та об'єднують знання цілого ряду наукових напрямків і учбових дисциплін. Умовно можна виділити три основних напрямки діяльності, які потребують атестованих спеціалістів, кожен по своєму профілю:

- інженерно-геодезичні вишукування;
- інженерно-геологічні вишукування;
- вишукування для раціонального використання навколишнього середовища (екологічні вишукування).

Сьогодні цього немає і спеціаліст в області геодезії має право підписувати матеріали інженерно-геологічних вишукувань, а також навпаки. Доводиться зробити висновок, що в сфері інженерно-технічних вишукувань для будівництва не діє державна система, яка забезпечує обов'язковість виконання законодавчих норм. В цьому аспекті ми маємо розходження з правовим полем країн ЄС.

**Аналіз факторів, які системно впливають на якість інженерно-геологічних вишукувань і безпеку будівництва.** Про перший фактор ми вже згадували – провідні спеціалісти вважають, що більшість аварій і деформації будівель та споруд пов'язано з процесами в системі «основа – фундамент». Пов'язано це, перш за все, з недостатньою вивченістю і оцінюванням особливих властивостей ґрунтів і, як наслідок, розвитком небезпечних інженерно-геологічних процесів.

Другим фактором необхідно вважати ту обставину, що близько 80% території України характеризується складними інженерно-геологічними умовами, з проявами практично усіх небезпечних геологічних процесів: сейсмічність, карст, зсуви, переробка берегів, просадки, набухання ґрунтів та інше [19]. До них необхідно додати процеси, викликані, перш за все, техногенним впливом: підтопленням та затопленням територій, осадками над гірськими виробками, техногенним карстом, забрудненням ґрунтів і підземних вод тощо. В даний час в Україні налічується 350 міст, які мають необхідність у захисті від тих чи інших небезпечних геологічних процесів. Наслідком прояву цих процесів є деформації й аварії будівель та споруд житлово-побутового та промислового призначення (фото 1, 2). З найбільш резонансних слід відмітити аварію багатоповерхового житлового будинку в мікрорайоні «Тополь» у м. Дніпро, руйнування ряду житлових будівель в містах Куп'янськ, Краматорськ, Кам'янське та ін. Природні катастрофи останніх років у Південно-Західній Азії, Китаї, Гаїті, Японії свідчать про необхідність врахування в містобудівній діяльності і факторів планетарного характеру.

У нинішній час в нашій країні немає повної інформації про деформації та аварії об'єктів будівництва. Це пов'язано, насамперед з тим, що більшість з них знаходиться у приватній власності і власник вирішує свої проблеми самостійно, без залучення громадськості. Правда, слід зазначити, що й системи накопичення і аналізу такого роду інформації немає.

Третім фактором треба вважати значне підвищення питомої ваги будівництва в умовах щільної міської забудови і реконструкції існуючих будівель в загальному обсязі будівництва.

Основною особливістю інженерно-геологічних вишукувань в умовах щільної забудови та для реконструкції існуючих споруд необхідно вважати те, що вони виконуються на майданчиках, які у більшій або меншій мірі піддавалися техногенному впливу.

Наслідком техногенного впливу на ґрунти основи може бути утворення декількох інженерно-геологічних елементів (ІГЕ), які мають різні фізико-механічні властивості, в межах однієї літологічної різності. Зокрема це може відбутись в результаті статичних і динамічних навантажень на ґрунти в основі фундаментів, замочуванні ґрунтів водою або хімічними розчинами тощо. Характерним прикладом значної зміни фізико-механічних властивостей ґрунтів в результаті техногенного впливу може слугувати ділянка цеху підготовки ливарних матеріалів чавуноливарного заводу «Центроліт» в м. Суми [9]. Потреба в реконструкції цієї будівлі виникла через аварійний стан технологічного обладнання, пов'язаного з набуханням ґрунтів основи і, як наслідок, підняттям підлоги до 800 мм. Як з'ясувалось у ході вишукувань, основою фундаменту виробничих приміщень і технологічного обладнання були лесові суглинки, які на окремих ділянках замочувались водою та проявляли схильність до просідання. Крім цього, на інших ділянках ґрунти основи на протязі тривалого часу знаходились під впливом витoku рідкого каустика (50 % розчину NaOH), який використовують тут при варінні рідкого скла. У результаті цього впливу відбулося набухання лесових ґрунтів. Таким чином, в межах одного природного ІГЕ сформувалось як мінімум три ІГЕ, що значно відрізняються за своїми фізико-механічними властивостями: ґрунти, що зберегли природний стан, замочені водою та ґрунти, що опинилися під дією рідкого каустика. Якщо брати до уваги час та інтенсивність подібних впливів, то можна виділити і більшу кількість ІГЕ. Слід зазначити, що ураження ґрунтів розчином ірідкого натру викликало зміну не тільки деформаційних, але й міцнісних та фільтраційних властивостей ґрунту. В результаті деформацій ґрунтів основи з протилежним знаком «просадка – набухання»

частина технологічного обладнання змінила свій нахил в сторону протилежну початковій та вийшла з ладу. Заходи по усуненню причин дефор-

мації були достатньо дорогі, зокрема, вони включали заміну уражених ґрунтів піщано-щебеними матеріалами.



Фото 1. Руйнування нового житлового будинку на зсувному схилі. Фото Дроздова А. В. /  
Photo 1. Destruction of new residential building on a landslide. Photo by Drozdov A. V.



Фото 2. Незавершене будівництво, пов'язане з неврахуванням розвитку небезпечних геологічних процесів. Фото Головкова А. Е. /  
Photo 2. Unfinished construction, due to the failure to take into account the development of dangerous geological processes. Photo by Golovkov A. E.

Прикладом ділянки нового будівництва, яке зазнало значного техногенного впливу, може слугувати майданчик комплексу виробництва суперпластифікатора на ТОВ «Рубіжанський Барвник» у м. Рубіжне Луганської області [1]. У геоморфо-

логічному відношенні ділянка проектного будівництва приурочена до заплави річки Сіверський Донець. Безпосередньо на території будівництва знаходилось заболочене озеро, яке було місцем скидання промислових стоків. Результатом

такого впливу стало значне забруднення і підвищення агресивності підземних вод. За мінералізацією підземні води класифікують як високомінералізовані, із вмістом сухого залишку до 50 г/дм<sup>3</sup>, сульфатів до 30 г/дм<sup>3</sup>. Підземні води стали володіти сильною сульфатною агресивністю до особливо щільних бетонів на будь-якому портландцементі, що зробило проблематичним влаштування пальових фундаментів (найбільш оптимальних в конкретних інженерно-геологічних умовах). Для забезпечення надійності експлуатації підземних конструкцій та скорочення витрат було запропоновано перед початком будівельних робіт провести потужний водозабір з алювіального водоносного горизонту з метою його промивки. Це дозволить підвищити антикорозійну надійність забивних палей, а також виконати дренажний колектор з менш дорогих та дефіцитних матеріалів.

Другою важливою особливістю виконання інженерно-геологічних вишукувань в умовах щільної забудови є необхідність отримати інформацію про фізико-механічні властивості ґрунтів основи, глибину закладання, конструкції та стані фундаментів реконструйованої споруди, а також споруд, що знаходяться в безпосередній близькості від ділянок нового будівництва. Ці обставини роблять вишукування більш дорогими та значно підвищують вимоги до їх повноти та якості.

Четвертий фактор – соціально-економічні умови.

Соціально-економічні зміни, які почалися більше 30 років тому в нашій країні, торкнулися усіх сфер суспільно-господарського життя. У сфері будівництва це насамперед зміна інвестора. Сьогодні з бюджету фінансується близько 10 % загального об'єму будівництва, все інше буде приватний капітал. Як очевидний наслідок, бажання забудовників максимально мінімізувати витрати. Багато інвесторів фінансують будівництво два рази в житті – перший і останній, будуючи для власного використання котедж, склад, крамницю тощо. Очікувати від них розуміння про необхідність якісного виконання проектно-вишукувальних робіт не доводиться. Сумуючий результат обставин, що склалися – замовлення на вишукування отримує організація, яка запропонувала мінімальну вартість, ризикнувши не виконати ряд необхідних досліджень, тобто найбільше відійти від вимог нормативних документів. На жаль, подібне спостерігається і при тендерах на замовленнях від державних підприємств. Практично у всіх тендерних умовах відсутні вимоги щодо можливості забезпечення якісного виконання вишукувальних робіт. Єдиним критерієм, виключно офіційно, є мінімальна вартість робіт.

Сьогодні у сфері інженерно-геологічних вишукувань можна спостерігати різке розходження векторів потреб у повноті й достовірності матеріалів вишукувань та їх реальної якості (рис. 1).

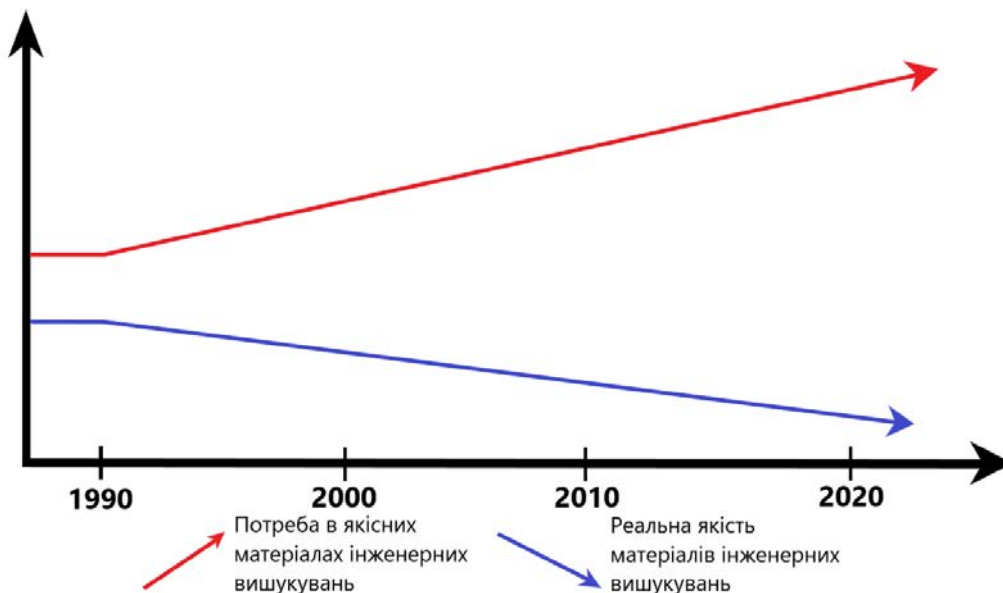


Рис. 1. Вектори потреб і реальної якості матеріалів інженерних вишукувань /  
Fig. 1. Vectors of needs and real quality of engineering research materials

Зростання вимог до якості та складу матеріалів вишукувань обумовлений, перш за все, змінами умов та об'єктів будівництва. Активно будуються будь-які, навіть незначні за площею ділянки в центральних частинах міст. На цих ділянках з максимальним використанням підземного

простору зводяться висотні житлові будівлі, торгові, офісні та спортивно-оздоровчі центри, тобто дуже відповідальні споруди, для яких характерний притік великої кількості людей. Частіше за все при попередній забудові ці ділянки пропущені не випадково – це низькі заплавні місця з високим

рівнем підземних вод, засипані яри, ділянки в межах схилів, підроблені території, місця над трамами метрополітенів і колекторів глибокого закладення, тобто зі складними інженерно-геологічними умовами та несприятливими для проведення будівельних робіт. Найбільш характерними прикладами можуть слугувати будівництво на дніпровських схилах в м. Києві, багатоповерхова житлова забудова ділянки засипаного яру в центральній частині м. Харкова, будівництво стадіону «Донбас-Арена» на підробленій території в м. Донецьку та багато іншого.

Як вже зазначалось, в цілому значно підвищилась валова вага нового будівництва в умовах щільної міської забудови і реконструкції існуючих будівель, інженерно-геологічні вишукування для яких мають значні специфічні особливості. Закінчуючи обґрунтування тезису про напрямок вектору вимог до інженерних вишукувань (вгору), слід зазначити все більше значення даних про екологічні та соціальні умови, необхідність розробки і видачі нормативних прогнозів, тобто переходи до керівних рішень.

На жаль, обґрунтувати напрямок вектора якості матеріалів інженерно-геологічних вишукувань (вниз) набагато простіше. Дві, що йшли буквально одна за однією, економічні кризи нанесли значну шкоду технічним та інтелектуальним можливостям вишукувальних організацій. Це, перш за все, звільнення кваліфікованих спеціалістів і незатребуваність молодих спеціалістів, втрата та знос вишукувального обладнання, неможливість його відновлення або придбання нового сучасного і, пов'язана з цим, неможливість виконання окремих видів польових дослідних і лабораторних робіт. На сьогодні технічний рівень інженерно-геологічних вишукувань в країні відповідає початку 70-х років минулого століття, тобто відкинута на 50 років тому, і цей процес продовжується. При збереженні існуючих тенденцій легко спрогнозувати, що вишукування в найближчому майбутньому будуть виконуватись малокваліфікованими спеціалістами із застосуванням, в найкращому випадку, тільки буріння та лабораторних досліджень. При обмеженій інформації для прийняття рішень великого значення набувають знання та досвід провідних спеціалістів вишукувальних організацій. Такий підхід, деяким чином, можливий у великих вишукувальних організаціях, що мають технічний архів, багатий досвід роботи на своїй території діяльності, можливість прийняття колегіальних рішень і т.п. В малих організаціях, навіть маючи в своєму штаті 1-2 дослідчених спеціалістів, ступінь ризику помилки при інженерних вишукуваннях значно підвищується. Прикладів подібних помилок можна привести дуже багато. В кращому випадку вони виявля-

ються та усуваються на початку будівельних робіт: вирив котловану, забивання палей та ін. На жаль, наслідки деяких помилок можуть проявити себе вже при експлуатації споруд.

До соціально-економічних факторів можна віднести і припинення територіальної діяльності провідними вишукувальними організаціями. Під територіальною діяльністю ми розуміємо моніторинг небезпечних інженерно-геологічних процесів, а також збір і систематизацію матеріалів вишукувань в територіальних фондах. Значення цієї роботи очевидно. Тільки наявність весь час оновлюваної та доповнюваної інформації про стан літо- і гідросфери дозволить вишукувальним організаціям реально приймати участь в програмах моніторингу небезпечних інженерно-геологічних та екологічних процесів на забудованих територіях, виконувати інженерно-геологічне районування, накопичувати інформацію про фізико-механічні властивості ґрунтів, прив'язуючись до геоморфологічних рівнів і ділянкам щільної забудови. Але у цієї роботи є ще один дуже важливий позитивний момент. Сам факт того, що твої матеріали будуть прочитані компетентними спеціалістами з територіальної організації підвищить рівень самоконтролю и не дозволить з'явитись очевидній для усіх халтури. Однак, сьогодні, перш за все, за вимогами Антимонопольного Комітету України ця робота вже близько 30 років не виконується.

Якщо коротко охарактеризувати систему забезпечення якості вишукувальних матеріалів, то можна заявити, що сьогодні вона знаходиться у найбільш несприятливому проміжному положенні. Система забезпечення і контролю якості радянського періоду повністю ліквідована, а економічні важелі, які діють в провідних країнах Європи, ще не працюють. Європейські ринкові механізми забезпечення і контролю якості вишукувальних і проектних матеріалів визначаються наступними основними положеннями:

- необхідністю страхування усіх об'єктів будівництва на весь строк їх експлуатації;
- бажанням інвестора на основі якісних матеріалів вишукувань і проектування мінімізувати постійно діючий страховий збір по позиції «безпека», що робить нераціональним разову економію коштів під час виконання проектно-вишукувальних робіт;
- експертизою проектів та матеріалів вишукувань, яка виконується громадськими професійними об'єднаннями на замовлення страхових компаній;
- аудитом виконання технічного завдання на проведення вишукувань тощо.

Поки подібне проміжне положення буде зберігатись все більше коштів буде витрататись на

ліквідацію наслідків аварій й деформацій будівель та споруд, а з іншої сторони, на невиправдані витрати при облаштуванні фундаментів, що повинно компенсувати низьку достовірність вихідних матеріалів.

Мета статті – звернути увагу на проблеми у галузі інженерно-геологічних вишукувань для будівництва, від яких багато в чому залежить безпека і комфортність нашого проживання, а також екологічна безпека територій. Спеціалістів, які глибоко розбираються в питаннях взаємодії споруд і природно-техногенного геологічного середовища, стає все менше і менше. Дуже хотілось, щоб інженерними вишукуваннями в нашій країні займалися не іноземці, а вітчизняні спеціалісти, щоб у них було майбутнє – від цього виграють усі.

Ми пишаємося, що в Харківському національному університеті імені В.Н. Каразіна працює програма для магістрів поступивши на яку можна отримати фахову вищу освіту в спеціальності «Науки про Землю» із предметної спеціалізації «Інженерна геологія». В недалекому майбутньому потреба галузі в цих фахівцях буде величезною.

#### Висновки.

1. Стан законодавчої бази в Україні, яка стосується інженерно-технічних вишукувань для будівництва, можна вважати задовільним.

2. Нажаль на сьогодні у сфері інженерно-технічних вишукувань не діє державна система, що забезпечує обов'язковість виконання законодавчих норм.

3. На сьогодні в Україні існує комплексний ряд негативних факторів, які системно впливають

на якість інженерно-геологічних вишукувань та пов'язану з цим безпеку й оптимізацію будівництва, а також екологічну безпеку територій, де проводяться ці роботи.

4. В даний час якість інженерно-геологічних вишукувань не відповідає вимогам державних норм. Технічний рівень більшості вишуквальних організацій відповідає початку 70-х років минулого століття, тобто відкинута на 50 років тому і цей процес продовжується.

5. Шляхи виходу із наявного положення у довгостроковій перспективі – перехід на європейські умови забезпечення якості проектно-вишукальної продукції, що базується на обов'язковому страхуванні всіх об'єктів будівництва за категорією «безпека».

У короткостроковій перспективі вважаємо за необхідне:

- переглянути умови державної атестації вишукувачів, виділити окремі спеціалізації (геодезія, геологія, екологія);

- проводити експертизу матеріалів інженерно-технічних вишукувань і відповідності ним проектно-документації для об'єктів IV, V категорії відповідальності та тих, що будуються в складних інженерно-геологічних умовах;

- відновити територіальну діяльність вишуквальних організацій, насамперед, збір та систематизацію матеріалів вишукувань і на цій основі – моніторинг небезпечних інженерно-геологічних процесів, зокрема підтоплень, забруднень підземних вод та ін. задля підвищення екологічної безпеки територій.

#### Список використаної літератури

1. Абрамов И. Б. Технический отчёт об инженерно-геологических изысканиях на участке строительства комплекса опытно-промышленного производства суперпластификатора на ПО «Краситель» в г. Рубежное, Луганской области / И. Б. Абрамов, Г. В. Карагодина, В. А. Соколов. – Х.: Укрвосток ГИИНТИЗ, 1985. – 156 с. – (Препринт / Укр. вост. гос. ин-т инженерно-техн. изыск.; №20063)
2. Боданов В. І. Відносно ролі інженерних вишукувань у сучасному капітальному будівництві в Україні. / В. І. Боданов, Д. Д. Овчинникова // Світ геотехніки. – К. : НДІБК, – 2013. – № 3 – С. 37-38.
3. Боков В. А. Основы экологической безопасности / В. А. Боков, А. В. Луцкич. – Симферополь : СОНАТ, 1998. – 224 с.
4. Варивода П. Н. О техническом регулировании инженерных изысканий для строительства / П. Н. Варивода // Світ геотехніки. – К.: НДІБК, – 2013. – № 3 – С. 38-40.
5. ДБН А.2.2-3-2014. Склад та зміст проектно-документації на будівництво. – Київ: Укрархбудінформ, 2014. – 60 с.
6. ДБН А.2.1-1-2008. Інженерні вишукування для будівництва. – Київ: Укрархбудінформ, 2008. – 76 с.
7. Закон України. Про будівельні норми. Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2010. – № 5, ст. 41.
8. Закон України. Про регулювання містобудівної діяльності. Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2011. – № 34, ст. 343.
9. Крамаренко О. А. Технический отче об инженерно-геологических изысканиях на участке цеха подготовки литейных материалов чугунолитейного завода «Центролит» в г. Сумы / О. А. Крамаренко, М. В. Бабаев. – Х.: Укрвосток ГИИНТИЗ, 1979. – 140 с. (Препринт / Укр. вост. гос. ин-т инженерно-техн. изыск.; № 16074).
10. Полевецький В. І. Про актуальність нормування інженерних вишукувань та проектування для цивільно-промислового будівництва на скельних ґрунтах / В. І. Полевецький, В. В. Полевецький // Світ геотехніки. – К.: НДІБК, – 2013. – № 3 – С. 16-18.
11. Рязанова Н. І. Геотехнічні питання інженерно-геологічних досліджень об'єктів реконструкції та культурної спадщини / Н. І. Рязанова // Світ геотехніки. – К. : НДІБК. – 2013. – № 3. – С. 19-22.

12. Соколов В. А. Настоящее и будущее инженерных изысканий / В. А. Соколов, Г. Г. Стрижельчик // Будівництво України. – 2011. – № 5. – С. 19-22.
13. Соколов В. А. О разработке новых норм на инженерные изыскания / В. А. Соколов, Г. Г. Стрижельчик // Світ геотехніки. – К. : НДІБК, – 2005. – № 2. – С. 14-15.
14. Соколов В. А. Современные проблемы инженерно-геологических и геотехнических изысканий для строительства в Украине / В. А. Соколов, Г. Г. Стрижельчик // Світ геотехніки. – К. : НДІБК, – 2013. – № 3. – С. 4-7.
15. Соколов В. А. Достоверная информация о природно-техногенной геологической среде, как фактор снижения экологических рисков / В. А. Соколов, И. В. Удалов // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія "Геологія. Географія. Екологія", 2017. – № 47. – С. 206-210. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2017-47-27>
16. Соколов В. А. Инженерные изыскания в Украине / В. А. Соколов, Г. Г. Стрижельчик // Инженерная геология. – М: ПНИИС, – 2008 – С. 32-33.
17. Стрижельчик Г. Г. Проблемы инженерной геологии городов и возможные пути их решения / Г. Г. Стрижельчик // Инженерная геология – М. : – 1987 – № 2. – С. 3-12.
18. Стрижельчик Г. Г. Особенности инженерно-геологических и гидрогеологических условий урбанизированных территорий Левобережной Украины / Г. Г. Стрижельчик // Проблемы инженерной геологии, гидрогеологии и геокриологии районов интенсивной инженерной нагрузки и охраны геологической среды : сб. науч. тр. – Киев : Наукова думка, 1988. – 42. – С. 149-151.
19. Шестопалов Е. Ф. Экологическая экология Украины / Е. Ф. Шестопалов, Е. А. Яковлев и др.: Справочное пособие. Ин-т геологических наук НАН Украины. – К. : Наукова думка, 1993. – 407 с.
20. Яковлев С. О. Регіональні зміни екологічного стану геологічного середовища міст та селищ, як фактори сучасного розвитку інженерних вишукувань для будівництва в Україні / С. О. Яковлев // Світ геотехніки. – К.: НДІБК, – 2013. – № 3 – С. 8-12.
21. Brandl, H. Challenges of environmental geotechnics / Роль геотехніки в обществe. – 2006. – №10. – 17 с. – Режим доступа: <http://www.georec.spb.ru>.
22. Brandl, H. The civil and geotechnical engineer in society – ethical and philosophical thoughts; challenges and recommendations / Роль геотехніки в обществe. – 2006. – №10. – 17 с. – Режим доступа: <http://www.georec.spb.ru>.
23. Clayton, C. R. I. Managing geotechnical risk: (Thomas Telford Publishing, London). – 2001. – Режим доступа: <http://www.georec.spb.ru>.
24. Dunicliff, I. Ratings War // Ground Engineering. – 2000. – Vol. 33. – №3. – Режим доступа: <http://www.georec.spb.ru>.
25. Levoniuk S. M. Development of measures to increase the ecological safety of drinking water supply for population of Eastern Ukraine due to the use of buchak-kaniv aquifer groundwater / S. M. Levoniuk, I. V. Udalov // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. – 2022. – № 4 (99). – С. 80–84. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.99.11>
26. Levoniuk S. M. Ecological and hydrogeological factors of qualitative composition destabilization of drinking groundwater within the central part of DDAB / S. M. Levoniuk, V. V. Samoilov, I. V. Udalov, V. O. Petik // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Геологія. Географія. Екологія», 2019. – Вип. 51. – С. 207–220. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-15>
27. Martino S. From seismic hazards to resilient cities: the contribution of engineering geology / S. Martino, C. Varone // Italian journal of Engineering Geology, 2020. – December. – Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/348327489>
28. Nichols, R. W. Risk / The Sciences. – May / June 2000. – Режим доступа: <http://www.georec.spb.ru>.

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

## The influence of dangerous geological and technogenic processes during engineering and geological research and environmental safety for construction in the modern period

Victor Sokolov <sup>1</sup>,

PhD (Technics), Associate Professor of the Department of Fundamental and Applied Geology,  
<sup>1</sup> V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine;

Valeriy Sukhov <sup>1</sup>,

PhD (Geology), Head of the Department of Fundamental and Applied Geology

### ABSTRACT

**Problems Statement and Purpose.** Reliability of construction, protection of the territory from dangerous geological and technogenic processes, assessment of impact of construction and reconstruction objects on the environmental safety of the territory should be based on high-quality materials of engineering investigations. Today in Ukraine, the conditions of construction and reconstruction have significantly increased the requirements for the quality and composition of engineering research. At the same time, there are a number of natural and social factors that increase the degree of geotechnical and environmental risks during construction, there is no system that ensures the mandatory implementation of state regulations, which has an extremely negative effect on the quality of research materials. These questions are of particular importance given the volume of work that awaits us in the reconstruction of our country.

**The purpose of article** is to once again draw attention to the problems in the field of engineering and geological investigations for construction, which largely depend on the safety and comfort of our living, to formulate proposals for improving the state of affairs in anticipation of the large-scale recovery of our country and the possibility of entering the regulatory field of the EU.

**Data & Methods.** The legislative framework of Ukraine in the field of engineering and geological investigations for construction has been analyzed.

**Results.** The article provides an analysis of the state with the legislative base in Ukraine regarding engineering surveys, the system that ensures mandatory compliance with the requirements of regulatory documents, factors that increase man-made and environmental risks in construction, proposed measures aimed at improving the quality of survey materials. 4 factors have been established that systematically affect the quality of engineering and geological investigations and the safety of construction: 1) most accidents and deformations of buildings and structures are associated with processes in the "base - foundation" system; 2) about 80% of the territory of Ukraine is characterized by complex engineering and geological conditions, with manifestations of almost all dangerous geological processes: seismicity, karst, landslides, reworking of banks, subsidence, soil swelling, etc.; 3) a significant increase in the specific weight of construction in conditions of dense urban construction and reconstruction of existing buildings in the total volume of construction; 4) social and economic conditions. An example of a change in the qualitative characteristics of underground hydrosphere (chemical composition and increase in the aggressiveness of groundwater), which had an impact on the reliability of construction and the ecological component at the studied area, has been considered.

**Keywords:** social, geotechnical and environmental risks, legislative base of engineering investigations, engineering and geological investigations, environmental safety, construction safety, dangerous geological and man-made processes, groundwater, water pollution, industrial-urban agglomeration.

### References

1. Abramov, I. B. Karagodin, G. V., Sokolov, V. A. (1985). *Technical report on engineering and geological surveys at the construction site of the complex for the pilot production of superplasticizer at the Krasitel Production Association in Rubizhne, Lugansk region. Kharkiv, Ukrvostok GIINTIZ, 156. [in Russian]*
2. Bohdanov, V. I., Ovchynnykova, D. D. (2013). *Regarding the role of engineering investigations in modern capital construction in Ukraine. The world of geotechnics (3), 37-38. [in Ukrainian]*
3. Bokov, V. A., Lushchik, A. V. (1998). *Fundamentals of environmental safety. Simferopol, SONAT, 224. [in Russian]*
4. Varivoda, P. N. (2013). *On the technical regulation of engineering surveys for construction. The world of geotechnics (3), 38-40. [in Russian]*
5. DBN A.2.2-3-2014. (2014). *Composition and content of project documentation for construction. Kyiv, Ukrarkhbudinform, 60. [in Ukrainian]*
6. DBN A.2.1-1-2008. (2008). *Engineering searches for construction. Kyiv, Ukrarkhbudinform, 76. [in Ukrainian]*
7. Law of Ukraine. (2010). *About construction regulations. Information of Verkhovna Rada of Ukraine (VRU) (5), 41. [in Ukrainian]*
8. Law of Ukraine. (2011). *On the regulation of urban planning activities. Information of Verkhovna Rada of Ukraine (VRU) (34), 343. [in Ukrainian]*
9. Kramarenko, O. A., Babayev, M. V. (1979). *Technical report on engineering and geological surveys at the site of the workshop for the preparation of foundry materials of the Tsentrolit iron foundry in Sumy. Kharkiv, Ukrvostok GIINTIZ, 140. [in Ukrainian]*



10. Polevets'kyi, V. I., Polevets'kyi, V. V. (2013). *On the relevance of standardizing engineering research and design for civil and industrial construction on rocky soils. The world of geotechnics* (3), 16-18. [in Ukrainian]
11. Ryazanova, N. I. (2013). *Geotechnical issues of engineering and geological studies of objects of reconstruction and cultural heritage. The world of geotechnics* (3), 19-22. [in Ukrainian]
12. Sokolov, V. A., Strizhel'chik, G. G. (2011). *The present and future of engineering surveys. Construction of Ukraine* (5), 19-22. [in Russian]
13. Sokolov, V. A., Strizhel'chik, G. G. (2005). *On the development of new standards for engineering surveys. The world of geotechnics* (2), 14-15. [in Russian]
14. Sokolov, V. A., Strizhel'chik, G. G. (2013). *Modern problems of engineering-geological and geotechnical surveys for construction in Ukraine. The world of geotechnics* (3), 4-7. [in Russian]
15. Sokolov, V. A., Udalov, I. V. (2017). *Reliable information about the natural and man-made geological environment as a factor in reducing environmental risks. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"* (47), 206-210. [in Russian] <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2017-47-27>
16. Sokolov, V. A., Strizhel'chik, G. G. (2008). *Engineering surveys in Ukraine. Engineering geology*, 32-33. [in Russian]
17. Strizhel'chik, G. G. (1987). *Problems of engineering geology of cities and possible solutions. Engineering geology* (2), 3-12. [in Russian]
18. Strizhel'chik, G. G. (1988). *Features of engineering-geological and hydrogeological conditions of urbanized territories of the Left-bank Ukraine. Problems of engineering geology, hydrogeology and geocryology of areas of intensive engineering load and protection of the geological environment*. 42, 149-151. [in Russian]
19. Shestopalov, Ye. F., Yakovlev, Ye. A. (1993). *Ecological ecology of Ukraine: Help Guide. Kyiv, Naukova dumka*, 407. [in Russian]
20. Yakovlev, Ye. O. (2013). *Regional changes in the ecological state of the geological environment of cities and towns as factors in the modern development of engineering research for construction in Ukraine. The world of geotechnics* (3), 8-12. [in Ukrainian]
21. Brandl, H. (2006). *Challenges of environmental geotechnics. The role of geotechnics in society* (10), 17. Available at: <http://www.georec.spb.ru>
22. Brandl, H. (2006). *The civil and geotechnical engineer in society – ethical and philosophical thoughts; challenges and recommendations. The role of geotechnics in society* (10), 17. Available at: <http://www.georec.spb.ru>
23. Clayton, C. R. I. (2001). *Managing geotechnical risk: (Thomas Telford Publishing, London)*. Available at: <http://www.georec.spb.ru>
24. Dunicliff, I. (2000). *Ratings War. Ground Engineering*, 33, 3. Available at: <http://www.georec.spb.ru>
25. Levoniuk, S. M., Udalov, I. V. (2022). *Development of measures to increase the ecological safety of drinking water supply for population of Eastern Ukraine due to the use of buchak-kaniv aquifer groundwater. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 4 (99), 80–84. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.99.11>
26. Levoniuk, S. M., Samoilo, V. V., Udalov, I. V., Petik, V. O. (2019). *Ecological and hydrogeological factors of qualitative composition destabilization of drinking groundwater within the central part of DDAB. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"* (51), 207–220. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-15>
27. Martino, S., Varone, C. (2020). *From seismic hazards to resilient cities: the contribution of engineering geology. Italian journal of Engineering Geology*. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/348327489>
28. Nichols, R. W. (2000). *Risk. The Sciences*. May / June 2000. Available at: <http://www.georec.spb.ru>


**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work

Received 28 September 2022

Accepted 17 November 2022

## Пізньюкрейдовий морський басейн платформної України (морфометрія, етапність розвитку, літологія та стратиграфія осадових утворень)

Леонід Якушин

д. геол. н., доцент, т.в.о. зав. відділу стратиграфії і палеонтології мезозойських відкладів,  
Інститут геологічних наук НАН України, вул. О. Гончара 55-б, Київ, 01601, Україна,  
e-mail: [yakushin@ukr.net](mailto:yakushin@ukr.net),  <http://orcid.org/0000-0002-0963-2026>

З метою реконструкції пізньюкрейдового морського басейну території платформної України проаналізовано матеріали картувального, структурно-пошукового, розвідувального і параметричного буріння за останні 50 років, враховано власні дослідження відкритих розрізів верхньої крейди, а також опрацьовано значний фондовий матеріал з геологічної будови досліджуваної території. В якості опорних свердловин відібрано такі, що мали найбільш інформативні розрізи. Їх кількість коливалась від 1179 одиниць для відкладів раннього-середнього сеноману до 1103 для відкладів турону. Максимальну щільність досліджених розрізів опорних свердловин зафіксовано для території Волино-Поділля та окремих брил Українського щита (УЩ), яка становить 23,1 свердловини на 1000 км<sup>2</sup>, мінімальну – на акваторіях української частини Чорного та Азовського морів – близько восьми на 1000 км<sup>2</sup>. Встановлено відсутність верхньокрейдових відкладів на значній території платформної України. Найбільшу площу розповсюдження мають ранньо-середньосеноманські та туронські відклади, а найменшу – маастрихтські. Зафіксоване у розрізах свердловин просторово-часове розповсюдження верхньокрейдових відкладів добре узгоджується з трансгресивно-регресивними циклами морського басейну пізньюкрейдової епохи. Виявлено ділянки з континентальними умовами існування в окремі віки чи протягом всієї пізньюкрейдової епохи. Це дало змогу за допомогою програмного забезпечення, з певною часткою похибки (до 10%), підрахувати площі ділянок суходолу та територій вкритих морем, а також площі, що втратили верхньокрейдіві відклади. В історичному розвитку досліджуваного басейну виділено два етапи: ранньо-середньосеноманський та пізньюсеномансько-маастрихтський, які суттєво відрізнялися між собою за гідрологічним, гідрохімічним, температурним режимами та характером осадконакопичення. Наведено літологічну характеристику відкладів за сучасним стратиграфічним поділом верхньокрейдового породного комплексу.

**Ключові слова:** пізньюкрейдова епоха, верхньокрейдіві відклади, морський басейн, платформна Україна.

**Як цитувати:** Якушин Леонід. Пізньюкрейдовий морський басейн платформної України (морфометрія, етапність розвитку, літологія та стратиграфія осадових утворень) / Леонід Якушин // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 58. – С. 122-133. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-10>

**In cites:** Yakushyn Leonid (2023). The late Cretaceous marine basin of platform Ukraine (morphometry, stages of development, lithology and stratigraphy of sedimentary formations). Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (58), 122-133. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-10> [in Ukrainian]

**Вступ.** Пізньюкрейдова епоха у геологічній історії Землі тривала близько 35 млн. років та ознаменувалася найпотужнішою трансгресією моря, «планктонним вибухом» та накопиченням потужної товщі писальної крейди, зміною палеофіти (опановують суходіл покритотонасінні рослини), появою метеликів та мурашок, сучасних птахів, сумчастих та плацентарних ссавців. У цей час мешкали гігантські рептилії. Різко зростає розмаїття організмів. А наприкінці крейдового періоду відбувається екологічна катастрофа під час якої вимирає близько 45% родів морських, прісноводних, суходільних тварин і морського фітопланктону. Однією з особливостей пізньюкрейдової епохи є значні за площею епіконтинентальні морські басейни океану Тетіс, що займали територію від заходу Європи до сходу Євразії.

Один з таких басейнів розташовувався в межах південного заходу Східноєвропейської платформи (СЄП) на території України.

З'ясуванню фізико-географічних умов морського басейну, що існували на цій території протягом пізньюкрейдового періоду присвячена дово-

лі чисельна наукова, довідкова, науково-популярна та інша література [1-12 та ін.], проте дослідження давньої географічної оболонки Землі як в цілому, так і окремих її складових не припиняються, тим самим підтверджується науковий інтерес до одного з найцікавіших та загадкових періодів в історії Землі.

Виконані нами дослідження з просторово-часового розповсюдження верхньокрейдових відкладів, їх складу, стратиграфічного положення та параметрів пізньюкрейдового морського басейну дозволяють доповнити геоісторичний літопис пізнью крейди південного заходу СЄП.

**Постановка проблеми.** Актуальність досліджень пов'язана з формуванням цілісного уявлення про пізньюкрейдовий морський басейн території дослідження: його межі, площу, існування ймовірних ділянок суходолу, умов осадконакопичення та історичний розвиток.

**Мета публікації** – за результатами пошукового, структурно-пошукового та параметричного буріння, проведеного під час Державної геологічної зйомки масштабів 1:50 000, 1:100 000 та

1:200 000 та власних польових досліджень доповнити відомості про геоісторичний літопис пізньої крейди південного заходу СЄП.

**Задачею** дослідження є з'ясування особливостей просторово-часового розповсюдження верхньокрейдових відкладів території дослідження, їх складу, стратиграфічного положення, а також параметрів пізньокрейдового морського басейну.

**Об'єкт дослідження** – верхньокрейдові відклади платформної України.

**Предмет дослідження** – палеогеографія пізньокрейдового морського басейну території дослідження.

**Фактичний матеріал та методи досліджень.** Матеріалом для написання статті слугували результати буріння більш ніж 10 000 свердловин пошукового, структурно-пошукового та параметричного буріння, проведеного під час Державної геологічної зйомки масштабів 1:50 000, 1:100 000 та 1:200 000, що зберігаються у Державному інформаційному геологічному фонді України.

Також враховано результати власних польових досліджень 47 найбільш повних відкритих розрізів верхньої крейди платформної України (рис. 1) та опрацьовано значний літературний ма-

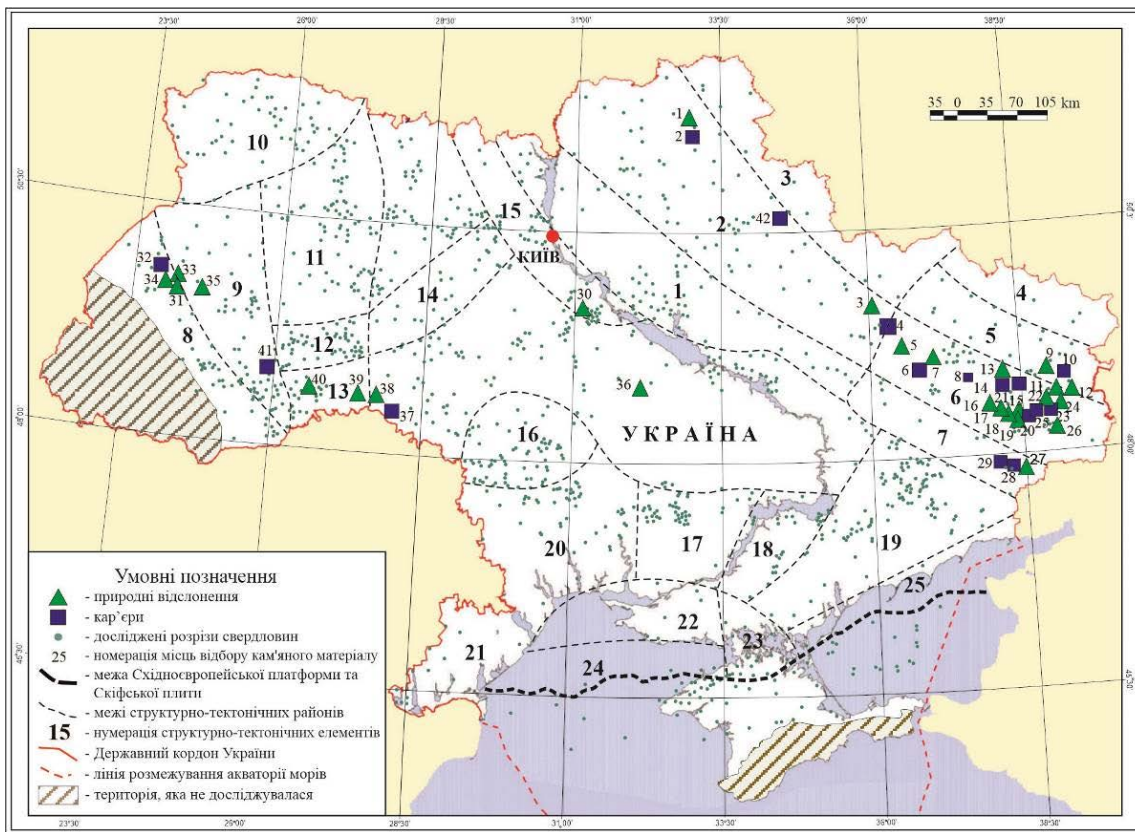


Рис. 1. Карта-схема фактичного матеріалу. Місця відбору кам'яного матеріалу: 1 – с. Пушкарі, 2 – м. Новгород-Сіверський, 3 – гора Кременець (м. Ізюм), 4,5 – с. Маяки, 6 – с.м.т. Райгородок, 7 – с. Закотне, 8 – с. Секменівка, 9 – с. Весела Гора, 10 – м. Луганськ (кар'єр вапнякового цеху), 11 – м. Луганськ (Кам'яний брід), 12 – м. Луганськ (Бабичів яр), 13 – с. Кримське («Донецькі Горки»), 14 – с. Кримське (півд.-сх. окр.), 15 – с. Причепилівка, 16 – с. Глафірівка, 17 – с. Зимогір'є, 18 – с. Юр'ївка, 19 – с. Біле, 20 – с. Білоріченське, 21 – с. Тарасівка, 22 – м. Фрунзе, 23 – с. Георгіївка, 24 – с. Грушки, 25 – с.м.т. Лутугіно, 26 – с. Новосвітловка, 27 – с. Осиково, 28 – с. Успенка, 29 – с. Білоярівка, 30 – м. Канів, 31 – м. Львів, 32 – с. Потелич, 33 – с. Мацошин, 34 – с. Брюховичи, 35 – с. Куровичі, 36 – с. Бовтишка, 37 – м. Могилів-Подільський, 38 – с. Козлів, 39 – м. Новодністровськ, 40 – м. Бучач, 41 – с. Китайгород, 42 – с. Барилівка.

Структурно-тектонічне районування [16]: ДДЗ, 1 – Північно-західний район, 2 – Центральний район; Південний схил Воронезької антеклізи, 3 – Південно-східний підрайон; Північна окраїна Донбасу, 4 – Північний підрайон, 5 – Західний, північно-західний район, 6 – Центральний підрайон (північна зона дрібної складчатості); Південна окраїна Донбасу, 7 – Сланчиксько-Вовчанський район; 8 – Зовнішня зона Прикарпатського прогину; 9 – Львівсько-Люблінський прогин; Волино-Подільська плита, 10 – Волинський район, 11 – Тернопільський район, 12 – Хмельницький район, 13 – Могилів-Подільський район; УЩ, 14 – Житомирський район, 15 – Придніпровський район; Південний схил УЩ, 16 – Побузьке підняття, 17 – Придніпровський район, 18 – Білозерська структура, 19 – Приазовський масив; 20 – південно-західна частина УЩ; 21 – Передобрудзький прогин; Причорноморська западина, 22 – Прикаркінітсько-Причорноморський район, 23 – Присивашія; 24 – Північно-західний шельф Чорного моря; 25 – Північно-Азовський прогин /

Fig. 1. Map-scheme of the actual material. Places of selection of stone material: 1 – wil. Pushkari, 2 – c. Novhorod-Sivers'kyi, 3 – mountain Kremenets' (c. Izyum), 4,5 – wil. Mayaki, 6 – u. w. Raygorodok, 7 – wil. Zakotne, 8 – wil. Sekmenivka, 9 – wil. Vesela Hora, 10 – c. Luhans'k (the quarry of the limestone shop), 11 – c. Luhans'k (Kam'yanyy brid), 12 – c. Luhans'k (Babychiv yar), 13 – wil. Krims'ke («Donets'ki Horky»), 14 – wil. Krims'ke (south-east region), 15 – wil. Prychepylyvka, 16 – wil. Hlafyryvka, 17 – wil. Zymohir'ya, 18 – wil. Yur'yvka, 19 – wil. Bile, 20 – wil. Bilorichens'ke, 21 – wil. Tarasivka, 22 – c. Frunze, 23 – wil. Heorchiyivka, 24 – wil. Grushki, 25 – u. w. Lutuhino, 26 – wil. Novosvitlovka, 27 – wil. Osikovo, 28 – wil. Uspenka, 29 – wil. Biloyarivka, 30 – c. Kanev, 31 – c. Lviv, 32 – wil. Potelich, 33 – wil. Macošin, 34 – wil. Bryukhovychi, 35 – wil. Kurovychi, 36 – wil. Bovtichka, 37 – c. Mohyliv-Podil's'kyi, 38 – wil. Kozliv, 39 – c. Novodnistrovs'k, 40 – c. Buchach, 41 – wil. Kitayhorod, 42 – wil. Barylivka.

Structural and tectonic zoning [16]: the Dnipo-Donets depression, 1 – North-western district, 2 – Central district; *The southern slope of the Voronezh antecline*, 3 – Southeastern subdistrict; *Northern outskirts of Donbass*, 4 – Northern subdistrict, 5 – Western, northwestern district, 6 – Central subdistrict (northern zone of shallow folding); *Southern outskirts of Donbass*, 7 – Yelanchyks'ko-Vovchans'kyi district; 8 – *The outer zone of the Carpathian depression*; 9 – *Lviv-Lyublynsky depression*; *Volyn-Podilsky plate*, 10 – Volyn district, 11 – Ternopil'skyi district, 12 – Kchmelnitskyi district, 13 – Mohyliv-Podil's'kyi district; *Ukrainian shield*, 14 – Zhytomyr district, 15 – Prydniprovskyi district; *South slope Ukrainian shield*, 16 – Pobuz'ke lifting, 17 – Prydniprovskyi district, 18 – Bilozers'ka structure, 19 – Pryazovs'kyi massif; 20 – *south-western part Ukrainian shield*; 21 – *Pre-Dobrudzky depression*; *Prychornomors'ka concavity*, 22 – Prykarkinit's'ko-Prychornomors'kyi district, 23 – Prisivashshya; 24 – *North-western shelf of the Black Sea*; 25 – *North Azov depression*.

теріал з геологічної будови досліджуваної території [2, 3, 9, 10, 13, 14 та ін.].

Методи дослідження: фаціальний і формаційний аналіз, літологічний, петрографічний, палеонтологічний, літо-біостратиграфічний, геофізичний та ін.

При побудові карти потужностей верхньокрейдових відкладів платформної України на ключовому етапі застосовувалась методика моніторингу осадових басейнів та моделювання формаційних одиниць за допомогою вітчизняного програмного комплексу «Геомарпінг» із подальшою конвертацією в grid-формат ArcView.

Цьому передувало збір та занесення до атрибутивної таблиці у форматі Excel інформації про літологію, палеонтологію, стратиграфію, латеральне розповсюдження верхньокрейдових відкладів з розрізів свердловин та їх географічна прив'язка, отриманих зі звітів про результати пошукового, структурно-пошукового та параметричного буріння, проведеного під час Державної геологічної зйомки масштабів 1:50 000, 1:100 000 та 1:200 000 на всій території платформної України, а також результати власних польових досліджень.

### Обговорення.

*Морфометрія пізньокрейдового морського басейну.* Для з'ясування просторово-часового розповсюдження верхньокрейдових відкладів території дослідження, їх складу, стратиграфічного положення та параметрів пізньокрейдового морського басейну нами проаналізовано матеріали картувального, структурно-пошукового, розвідувального і параметричного буріння за останні 50 років, враховано власні дослідження відкритих розрізів верхньої крейди, а також опрацьовано значний фондовий та літературний матеріал з геологічної будови досліджуваної території.

Із загальної кількості свердловин, що були використані при палеогеографічних реконструкціях, відібрано найбільш інформативні, які в подальшому використовувались в якості опорних свердловин (табл. 1). Кількість таких свердловин коливалась від 1179 од. для відкладів раннього-середнього сеноману до 1103 од. для відкладів турону. При дослідженнях щільність опорних свердловин становила в середньому 16,8 на 1000 км<sup>2</sup>. Максимальна щільність відмічається для території Волино-Поділля та окремих брил УЩ і становить 23,1 свердловини на 1000 км<sup>2</sup>, мінімальна – на акваторіях української частини Чорного та Азовського морів – близько 8 свердловини на 1000 км<sup>2</sup>.

Аналіз розрізів опорних свердловин за результатами буріння виявив відсутність верхньокрейдових відкладів на значній території платформної України (рис. 2, табл. 2). З'ясувалося, що найбільшу площу поширення мають ранньо-середньосеноманські та туронські відклади, а найменшу – маастрихтські.

Зафіксоване у розрізах просторово-часове розповсюдження верхньокрейдових відкладів добре узгоджується з трансгресивно-регресивними циклами морського басейну пізньокрейдової епохи. Найсуттєвіші, з зафіксованих, перериви в осадконакопиченні в межах території платформної України в пізньокрейдову епоху мали місце на межі середнього та пізнього сеноману, пізнього сеноману та турону, маастрихту-палеоцену. Майже безперервними є розрізи альбу-раннього сеноману та турону-коньяку.

Встановлено, що максимальні товщини верхньокрейдових відкладів має Каркінітсько-Північнокримський прогин до 2900 м (св. Оленівська-б – 2856 м). Інші регіони мають наступні максима-

Результати дослідження верхньокрейдових відкладів території платформної України за даними опорних свердловин /  
The results of the study of the Upper Cretaceous sediments of the platform territory of Ukraine based on the data of reference wells

	Віки пізньокрейдової епохи						
	Sm		T	Cn	St	Cp	M
	Sm <sub>1-2</sub>	Sm <sub>3</sub>					
Загальна кількість опорних свердловин (од.)	1179	1120	1103	1123	1116	1108	1111
Кількість свердловин, що розкрили дані відклади (од.)	370	288	312	188	197	240	169
Територія дослідження, що вкрита відповідними відкладами (%)	31	26	28	16	18	22	15

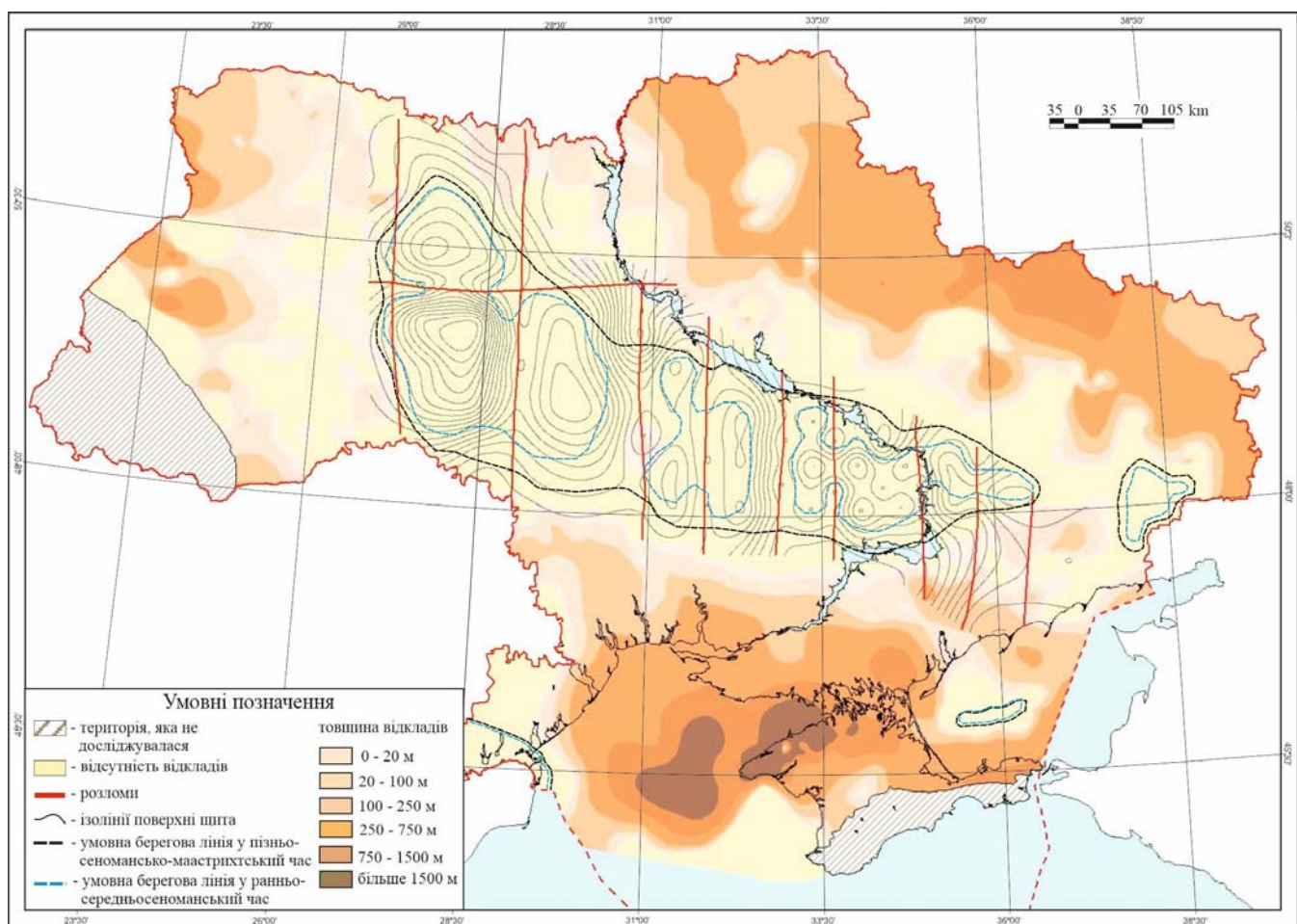


Рис. 2. Площа розповсюдження та товщин верхньокрейдових відкладів території дослідження /  
Fig. 2. Area and thickness of the Upper Cretaceous deposits of the study area

льні товщини: в Прикарпатському прогині до 900 м (св. Вербіж-1 – 897 м), у Львівському палеозойському прогині до 300 м (св. Сокальська-1 – 297 м), на Волино-Поділлі до 200 м (св. 3554 Рівненська область – 201 м), у ДДЗ до 800 м (св. Більська – 775 м), на окраїнах Донбасу до 500 м (св. 26772, північні окраїни Донбасу – 503 м), в Причорномор’ї до 500 м (св. Одеська-1 – 478 м), у Присивашші до 750 м (св. Генічеська-10 –

724 м), на Приазов’ї до 300 м (св. біля с. Тимошівка – 295 м).

Відсутність верхньокрейдових відкладів на значній частині території дослідження пояснюється їх розмивом у пізньокрейдову епоху чи подальші часи або не відкладанням під час континентальних умов розвитку території.

Проведені дослідження з використанням сучасного програмного забезпечення дозволили ви-

явити на досліджуваній території ділянки, що на наш погляд, характеризувалися континентальними умовами існування в окремі віки чи протягом всієї пізньокрейдової епохи.

Їх існування підтверджено комплексом прямих геологічних методів (літологічним, палеонто-

логічним та ін.). Це дало змогу за допомогою програмного забезпечення, з певною часткою похибки (до 10%), підрахувати площі ймовірних ділянок суходолу та територій вкритих морем, а також площі, що втратили верхньокрейдіві відклади (табл. 2).

Таблиця 2 / Table 2

Співвідношення «море-суходіл» протягом пізньокрейдової епохи для території платформної України /  
The «sea-land» ratio in the Late Cretaceous for the territories of platform Ukraine

		Віки пізньокрейдової епохи													
		Sm				T		Cn		St		Cp		M	
		Sm <sub>1-2</sub>		Sm <sub>3</sub>		T		Cn		St		Cp		M	
		море	суходіл	море	суходіл	море	суходіл	море	суходіл	море	суходіл	море	суходіл	море	суходіл
Площа	(тис.км <sup>2</sup> )	510	123	501	132	438	195	449	184	451	182	469	164	455	178
	(%)	80,5	19,5	79,2	20,8	69,2	30,8	70,9	29,1	71,3	28,9	74,1	25,9	71,8	28,2
Площа втрати відкладів до площі платформної України (%)		49		53		41		54		54		52		55	

Спроби встановити абсолютні відмітки рівня пізньокрейдового морського басейну були проведені багатьма дослідниками. Так за даними Д.П. Найдіна [16] з кінця мезозою рівень Світового океану знизився не більш, ніж на 100-200 м. Згідно П. Вейлу [17] рівень океану у пізньокрейдову епоху був на 300-350 м вище за сучасний. О.К. Леонтьєв зі співавторами [18] стверджував, що коливання рівня Світового океану були значнішими - з кінця мезозою рівень знизився на 575 м; за Ханкоком [19] рівень на початку альбського віку був приблизно рівний сучасному, а в кінці пізньої крейди підвищився на 650 м.

Щодо загального характеру коливань рівня моря, погляди більшості дослідників досить близькі, а саме з кінця ранньої крейди рівень підвищувався до максимуму в пізньокрейдову епоху (положення максимуму визначається різними авторами по-різному), потім відбувалося загальне зниження до сучасного нуля метрів.

Результати буріння та опис відслонень території дослідження дозволили нам встановити абсолютні відмітки знаходження верхньокрейдових відкладів по відношенню до сучасного рівня моря, що разом з розповсюдженням верхньокрейдових відкладів дало можливість провести умовну (!) берегову лінію морського басейну, встановити її сучасний гіпсометричний рівень та окреслити ділянки ймовірного суходолу.

Великі ділянки суходолу, на нашу думку, утворювали острови. Їх розміри та положення протягом пізньокрейдової епохи варіювали в залежності від рівня моря, тектонічної активності території, процесів руйнації берегової лінії тощо

[20-25].

Острови відповідали підвищеному рельєфу суходолу, який формувався за континентальних умов існування і контролювався окремими брилами УЩ, Азовським валом, складчастими спорудами Донбасу та Нижньопрутським виступом (див. рис. 2).

Результатом проведених досліджень стало припущення про те, що у пізньокрейдову епоху абсолютна відмітка рівня морського басейну території платформної України становила приблизно 200 м по відношенню до сучасного рівня моря.

*Етапність розвитку.* Аналіз літературних матеріалів та обробка геолого-геофізичної інформації дозволили встановити два етапи в історичному розвитку пізньокрейдового морського басейну платформної України: ранньо-середньосеноманський та пізньосеномансько-маастрихтський, які відрізнялися за гідрологічним режимом, глибиною, температурним режимом, хімічним складом води та характером осадконакопичення [2, 3, 5, 12, 14, 20-29 та ін.] (рис. 3).

Ранньо-середньосеноманський етап становив регресивну фазу апт-сеноманського трансгресивно-регресивного циклу розвитку морського басейну досліджуваної території та характеризувався мілководністю (глибини не перевищували 50 м), підвищеними температурами морської води (від 20,8 до 26°C), незначним температурним градієнтом між поверхневими та придонними водами, збільшеним вмістом у воді розчиненого кремнезему, що призвело до розвитку організмів з кремнієвим скелетом: діатомових водоростей, губок, моховаток та радіолярій.

Віки	Площа відкладів до площі України (%)	Переважаючий гідродинамічний режим	Переважаюча глибина (м)	Температура води (°C)	Хімічний склад води		Солоність	Характер осадко-накопичення	Домішка теригенного матеріалу (%)	Підетап / етап	
					Переважає	SiO <sub>2</sub>				CO <sub>3</sub> , CO <sub>2</sub>	CO <sub>3</sub> , CO <sub>2</sub>
Маастрихт	72	Нестабільний	10-30	20,8-21,2			Нормальна	Карбонатний, теригено-глинистий	10-35	Cr <sub>3</sub> -M	Sm <sub>3</sub> -M
Кампан	74	Стабільний	20-40	13,8-21,2			Нормальна	Карбонатний	5-15		
Сантон	71	Стабільний	10-30	14,4-22,6			Нормальна	Карбонатний	< 3		
Коньяк	71	Стабільний	10-30	12,2-20,0			Нормальна	Карбонатний	< 1		
Турон	69	Стабільний	10-30	12,8-20,8			Нормальна	Карбонатний	< 1		
Сеноман	79	Стабільний	20-40	16,2-23,2			Нормальна	Карбонатний	< 5		
	81	Нестабільний	0-10	20,8-26,0			Підвищена	Теригено-глинистий	> 50	Sm <sub>1</sub> -Sm <sub>2</sub>	

Рис. 3. Характеристика параметрів пізньокрейдового морського басейну території платформної України /

Fig. 3. Characterization of the parameters of the Late Cretaceous sea basin of the territory of platform Ukraine

Протягом першого етапу переважало утворення теригенних порід, представлених пісками кварц-глауконітовими, галечниками та пісковиками з накопиченням піщанисто-гравійно-галечних, піщанисто-черепашково-детритових осадків та ракушняків.

На осадконакопичення істотно впливав вулканізм, характерний для Південного регіону. Окрім підвищеного вмісту SiO<sub>2</sub> і CO<sub>2</sub> в морській воді, пов'язаного з його діяльністю, в осад випадали тверді продукти вулканізму: попеловий матеріал, лави, уламкові мінерали вулканогенного походження – піроксени, амфіболи, вулканічне скло, плагіоклази.

Пізньюсеномансько-маастрихтський етап характеризувався відносно стабільним розвитком морського басейну з глибинами не більше 100 м, помірно-теплыми температурами морської води (від 13,4 до 23,2°C), помітним температурним градієнтом між поверхневими та придонними водами, збільшеним вмістом у воді розчинених CO та CO<sub>2</sub>, що зумовило розвиток організмів з карбонатним скелетом, головним чином мікрофауни – коколітів, пітонел та форамініфер.

У басейні домінує утворення карбонатних порід: крейди, вапняків, мергелів та їх літотипів з невеликою домішкою теригенних утворень: пісків, пісковиків, глин, аргілітів тощо. У цей час переважає накопичення піщанисто-вапнистих, піщанисто-мергельних, кременисто-піщанисто-карбонатних відкладів та моховатково-форамініферових і форамініферово-пітонелово-коколітових мулів.

Пізньюсеномансько-маастрихтський етап можливо поділити на два підетапи: пізньюсеномансько-середньокампанський та пізньюкампанський-пізньюмаастрихтський. Головними відмінами яких були гідродинамічний режим басейну та зміна складу осадів. Для пізньюсеномансько-середньокампанського підетапу притаманний стабільний гідродинамічний режим басейну з домішкою

теригенного матеріалу не більше 5%, а другий підетап характеризувався нестабільним гідродинамічним режимом моря з відсотковим значенням домішки теригенного матеріалу у осаді в межах 15-35%.

Етапність морського басейну чітко відобразилась на особливостях розвитку її біоти протягом пізньокрейдової епохи, палеоекологічні особливості якої планується висвітлити у наступних публікаціях.

*Літологія та стратиграфія осадкових утворень.* Становлення і розвиток своєрідних палеогеографічних умов, існування специфічних басейнів седиментації, закономірності формування потужностей відкладів на території платформної України відбувалося на фоні коливальних рухів різнорангових структурно-тектонічних елементів та неодноразових трансгресій і регресій моря протягом пізньокрейдової епохи.

Розглянемо особливості літологічного складу порід та їх стратиграфічне розповсюдження по регіонах України: східному, західному та південному.

До східної платформної України відносяться Дніпровсько-Донецька западина та Донецька складчаста споруда.

В Дніпровсько-Донецькій западині верхньокрейдові відклади широко розвинуті. Сеноманський, туронський, коньякський, сантонський, кампанський і маастрихтський яруси представлені тут тільки морськими карбонатними осадками – крейдою і крейдopodobними мергелями, рідко пісками і вапнистими пісковиками. Верхньокрейдові відклади залягають на великих глибинах на нижньокрейдових утвореннях і перекриваються з ерозійним розмивом палеогеновими. Потужність і повнота розрізу верхньої крейди в межах території неоднакові. Найповніші розрізи і максимальна потужність відкладів спостерігається в центральній частині западини (650-700 м), поступово зменшуючись до її бортових частин.

Природні відслонення відомі тільки на південному заході западини (район Канівських дислокацій) де відслонюються породи сеноману і на північному сході. Тут на правобережжі річок Десни, Судості, Псла і Сейму по ярах і балках, виходять на поверхню породи сантону, кампану і маастрихту.

За літологічним складом порід, їх розповсюдженням, потужностями та палеонтологічною характеристикою в межах ДДЗ виділяється три структурно-фаціальних райони: Північно-Західний, Центральний та Південно-Східний [15].

Спільними для районів є наявність відкладів усіх шести ярусів верхньої крейди, теригенний розріз нижнього сеноману, що представлений пісками та пісковиками вапнистими з фосфоритами та карбонатний (середній сеноман-маастрихт), представлений крейдою писальною та мергелями крейдоподібними. Відзначається збільшення піскуватості сантон-кампанських відкладів на солянокупольних структурах та антиклінальних підняттях та у напрямку зі сходу на захід [15].

Верхньокрейдові відклади також широко розвинуті на території Донецької складчастої споруди і представлені усіма шістьма ярусами: сеноманським, туронським, коньякським, сантонським, кампанським і маастрихтським. Товща верхньої крейди складена переважно карбонатними морськими утвореннями: писальною крейдою, мергелями та іншими породами. В нижній частині розрізу переважають теригенні породи: детритово-гравелісті піски і пісковики, глини. Верхня частина розрізу представлена різноманітними мергелями, рідше – глауконітовими пісками і детритовими вапняками. По всьому розрізу зустрічаються кременисті породи, рідше – прошарки желваків фосфоритів. [30-31].

Повнота розрізів і потужності верхньокрейдових відкладів залежать від структурного положення району, у межах якого вони розвинуті, а також від характеру докрейдового рельєфу. Максимальної потужності (до 650 м) верхньокрейдові відклади досягають на північно-західній окраїні Донбасу в зоні Північно-Донецького насуву.

Відклади верхнього відділу крейдової системи незгідно залягають на більш давніх дислокованих породах від карбону до нижньої крейди і перекриваються осадами палеогену.

На підставі особливостей тектонічного розвитку регіону, фаціальних і фауністичних відмінностей верхньокрейдової товщі, Донецький басейн поділяється на Північну та Південну окраїни.

У складі Північної окраїни Донбасу виділяються три структурно-фаціальних райони: Західний та Північно-західний, Північний (південний схил Воронезької антиклізи) та Центральний (північна зона дрібної складчатості).

На Південній окраїні Донбасу виділяється один структурно-фаціальний район – Сланчиксько-Вовчанський [15].

Відклади верхньої крейди західної платформної України значно поширені. Вони представлені сеноманським, туронським, коньякським, сантонським, кампанським і маастрихтським ярусами. На більшій частині цієї території розкриваються бурінням, а відслонюються переважно у Львівській мульді, на Волинській монокліналі, схилах УЩ та у середньому Придністров'ї.

За особливостями тектонічної будови регіону, літолого-фаціальними відмінностями, повнотою розрізів і потужностями верхньокрейдових відкладів західна частина платформної України включає: Зовнішню зону Передкарпатського прогину, Львівсько-Люблінський прогин, Волинську монокліналь і Ковельський виступ, Західний і Східний схили УЩ та його Центральну частину [15].

Найбільш повні розрізи представлені у Львівсько-Люблінському прогині, східних ділянках Передкарпатського прогину і західній частині Волинської монокліналі з потужністю від 500 до 1200 м. У східному і західному напрямках потужність верхньокрейдових відкладів зменшується до 200 м, а на західному схилі Українського кристалічного масиву до 65-140 м.

У Зовнішній зоні Передкарпатського прогину випадають з розрізу відклади середнього сеноману і маастрихту. Товща характеризується пісками у нижній частині розрізу (нижній сеноман), вапняками – у середній (верхній сеноман-коньяк) і пісковиками – у верхній (кампан).

В районі Волинської монокліналі і Ковельського виступу спостерігається майже повний розріз відкладів верхньої крейди, які представлені пісками та пісковиками у нижньому сеномані, вапняками іноцерамовими у верхньому сеномані, глинистими у кампані і маастрихті і крейдою у туроні, коньяці і сантоні. З розрізу випадають відклади середнього сеноману.

У Львівсько-Люблінському прогині спостерігається найбільша повнота розрізів і їх потужність. Відклади верхньої крейди характеризуються усіма ярусами і представлені кременистими утвореннями у нижній частині розрізу (нижній сеноман) та вапняками від крейдоподібних до кременистих, крейдою писальною і мергелями у середній та верхній (верхній сеноман-маастрихт).

На Західному схилі Українського щита нижня частина верхньокрейдового розрізу складена: пісками, пісковиками, опоками, спонголітами (нижній сеноман), а верхня – вапняками (середній сеноман-турон). Зауважимо, що відклади середнього сеноману зустрінуті тільки у Могилів-По-



дільському районі.

Повнота розрізів значно коливається в різних районах УЩ – у західній і східній частинах випадають з розрізу верхньосеноманські, частково, туронські і коньякські і повністю сантонські, кампанські і маастрихтські відклади. У південно-східній частині – коньякські, сантонські, кампанські і маастрихтські утворення.

Літологічний склад верхньокрейдових відкладів Східного схилу УЩ з теригенною складовою нижньої частини розрізу (нижній сеноман) та карбонатною верхньої (середній сеноман-нижній сантон), подібний до такого його Західного схилу. У розрізі відсутні відклади кампану та маастрихту та частково коньяку і сантону.

У центральній частині Українського щита верхньокрейдові відклади складені пісками та пісковиками сеноман-туронського віку.

До складу південної платформної України відносяться Південний схил УЩ (південно-західна, східна частини УЩ, Приазовський масив), Переддобрудзький прогин, Причорноморська западина, північно-західний шельф Чорного моря та акваторія української частини Азовського моря [15].

Відклади верхньої крейди південної платформної України значно розповсюджені, але розкриваються тільки бурінням і представлені карбонатними і теригенними породами.

Верхньокрейдові відклади Південного схилу УЩ характеризуються подібним літологічним складом порід (вапняки, крейда) турон-кампанського віку; у нижній частині розрізу представлені пісками та пісковиками сеноману, але суттєво різняться за повнотою розрізів.

Найбільш повні розрізи з максимальними товщинами (до 340 м) спостерігаються у приміжових з Побужжям районах південно-західної частини Південного схилу УЩ, де випадають з розрізу тільки відклади маастрихту.

Верхньокрейдові відклади залягають на утвореннях палеозою чи нижньої крейди та перебиваються палеогеновими.

У складі південно-західної частини УЩ структурно-фаціальні райони не виділяються.

У складі східної частини УЩ виділяються Побузьке підняття, Придніпровський район та Білозерська структура.

В межах Приазовського масиву відклади верхнього відділу крейдової системи характеризують Західний схил Приазовського масиву, Молочанський грабен, Токмацьке підняття, Консько-Ялинську западину та східний схил Приазовського масиву [15].

Відклади верхнього відділу крейдової системи Переддобрудзького прогину розповсюджені по всій його території крім Нижньопрутського виступу. Вони представлені писальною крейдою,

крейдоподібними мергелями, вапняками та глинами, з підпорядкованим значенням пісковиків та алевролітів сеноманського, туронського, коньякського, сантонського та кампанського ярусів.

Залягають на утвореннях нижньої крейди та перебиваються відкладами палеогену чи неогену.

Розкрита товщина верхньокрейдових відкладів до 220 м [32].

В межах Причорноморської западини утворення верхньокрейдового відділу крейдової системи значно поширені. Вони виділяються у складі сеноманського, туронського, коньякського, сантонського, кампанського та маастрихтського ярусів і представлені вапняками, мергелями, писальною крейдою з підпорядкованим значенням глин, аргілітів, пісків, алевролітів та пісковиків.

Максимальні потужності відкладів до 1300 м на території південного Придніпров'я та у Сиваському прогині.

Верхньокрейдові відклади залягають на утвореннях нижньої крейди та з переривом перебиваються відкладами палеоцену чи еоцену.

На території Причорноморської западини верхньокрейдові відклади поширені в двох структурно-фаціальних районах: Прикаркінітсько-Причорноморському та Присивашшя.

Верхньокрейдові відклади північно-західного шельфу Чорного моря значно поширені. Вони характеризують відклади сеноманського, туронського, коньякського, сантонського, кампанського та маастрихтського ярусів [12, 14, 15, 33-35 та ін.].

Утворення верхньої крейди відрізняються неповнотою розрізів на окремих структурах та літологічним складом порід. Представлені переважно вапняками з підпорядкованим значенням мергелів та писальної крейди, рідше глинами, пісковиками і вулканогенними утвореннями. Потужність відкладів від сотень до 2500 м.

Залягають відклади верхньої крейди на утвореннях нижньої крейди чи більш давніх порід, а перебиваються палеогеновими.

За структурно-фаціальними особливостями в межах північно-західного шельфу Чорного моря виділяється чотири райони: Олімпійський, Крайового прогину, Каркінітський та Каламітський [15].

В межах акваторії української частини Азовського моря до Східноєвропейської платформи відноситься територія Північноазовського прогину.

Верхньокрейдовий розріз Північноазовського прогину характеризується утвореннями сеноманського та кампанського ярусів. Відклади представлені теригенними та карбонатними породами. Серед теригенних порід переважають аргіліти та пісковики (сеноман), а серед карбонатних – вапняки (кампан) [15, 36-38].

Відклади верхнього відділу крейдової систе-

ми залягають на утвореннях нижньої крейди чи докембрію та перекриваються з переривом палеогеновими.

Максимальні потужності відкладів до 950 м.

За структурно-фаціальними особливостями в межах Північноазовського прогину виділяється два райони: Північно-Азовський та Центрально-Азовський.

Робота виконувалася в рамках держбюджетної тематики ІГН НАН України «Біостратиграфія мезо-кайнозойських відкладів нафтогазоносних регіонів України як фундаментальна базова основа системного забезпечення геологічних робіт» (№ держреєстрації 0122U001604).

#### Висновки.

1. Становлення і розвиток своєрідних палеогеографічних умов, виникнення і поширення специфічних басейнів седиментації, закономірності формування потужностей відкладів верхньої крейди контролювалися геоцентричним положенням УЩ та успадкованим й інверсійним розвитком різнорангових структурно-тектонічних елементів платформної України на фоні неодноразових трансгресій і регресій моря;

2. Найбільшу площу розповсюдження мають ранньо-середньосеноманські та туронські відклади, а найменшу – маастрихтські. Зафіксоване у розрізах просторово-часове розповсюдження верхньокрейдових відкладів добре узгоджується з трансгресивно-регресивними циклами

морського басейну пізньокрейдової епохи.

3. Виявлено ділянки з континентальними умовами існування в окремі віки чи протягом усієї пізньокрейдової епохи. Це дало змогу за допомогою програмного забезпечення, з певною часткою похибки (до 10%), підрахувати площі ділянок суходолу та територій вкритих морем, а також площі, що втратили верхньокрейдові відклади;

4. Басейн був відносно мілководним (до 100 м), а протягом більшої частини пізньокрейдової епохи глибини коливалися в межах фіталі (до 50 м); характеризувався підвищеною солоністю у ранньо-середньосеноманський час та нормальною і дещо пониженою у турон-маастрихтський віки; теплими та помірно-теплыми водами з максимальними температурами (до 26<sup>0</sup>С) у ранньо-середньосеноманський час і помірно-теплыми (від 13 до 21<sup>0</sup>С) з пізнього сеноману по маастрихт включно;

5. В історичному розвитку пізньокрейдового морського басейну території платформної України виділено два етапи: ранньо-середньосеноманський та пізньосеномансько-маастрихтський, які суттєво різнилися між собою за гідрологічним, гідрохімічним, температурним режимами та характером осадконакопичення.

6. Наведено літологічну характеристику відкладів за сучасним стратиграфічним поділом верхньокрейдового породного комплексу.

#### Список використаної літератури

1. Собецкий В. А. Донные сообщества и биогеография позднемиловых платформенных морей юго-запада СССР [Текст] / В. А. Собецкий. – М. : Наука, 1978. – 86 с.
2. Савчинская О. В. Условия существования позднемиловой фауны Донецкого бассейна [Текст] / О. В. Савчинская. – М. : Наука, 1982, – 132 с.
3. Пастернак С. І. Волино-Поділля у крейдовому періоді [Текст] / С. І. Пастернак, Ю. М. Сеньковський, В. І. Гаврилишин. – К. : Наук. думка, 1987. – 258 с.
4. Діденко Ю. В. Палеогеографічні умови та розвиток остракод у пізній крейді [Текст] / Ю. В. Діденко // Теоретичні та прикладні аспекти сучасної біостратиграфії фанерозою України : зб. наук. праць ІГН НАН України / Нац. акад. наук України, Ін-т геологічних наук. – К., 2003. – С. 68-71.
5. Сеньковський Ю. М., Григорчук К. Г., Гнідець В. П., Колтун Ю. В. Геологічна палеоокеанографія океану Тетіс (Карпато-Чорноморський сегмент) [Текст] / Ю. М. Сеньковський, К. Г. Григорчук, В. П. Гнідець, Ю. В. Колтун. – К. : Наук. думка, 2004. – 171 с.
6. Плотнікова Л. Ф. До питання про палеогеографічні умови формування осадових комплексів північно-західного шельфу Чорного моря у пізньокрейдовий час [Текст] / Л. Ф. Плотнікова, Л. М. Якушин, І. І. Іщенко // Вісн. Львів. нац. ун-ту ім. Івана Франка. – 2006. – Серія геолог., вип. 20. – С. 43-54.
7. Якушин Л. М. Палеогеографічні умови формування верхньокрейдової товщі окраїн Донбасу [Текст] / Л. М. Якушин // Палеонтологічні дослідження в Україні: історія, сучасний стан та перспективи / : зб. наук. праць ІГН НАН України / Нац. акад. наук України, Ін-т геологічних наук. – К., 2007. – С. 177-181.
8. Бакаєва Софія. Розвиток черевонігих молюсків у крейдяному періоді (Волино-Подільський сегмент Мезотетису). Геологія і геохімія горючих копалин. 2010. № 3-4 (152-153). – С. 45-56.
9. Меловой период. Палеогеография и палеоокеанология [Текст] / Д. П. Найдін, В. П. Похилайнен, Ю. И. Кац, В. А. Красилов. – М. : Наука, 1986. – С. 11-18.
10. Іванников А. В. Геологическая история Украины в меловое время [Текст] / А. В. Іванников. – К. ІГН НАН України, 2005. – 46 с.
11. Курепа Я. С. Стратиграфія і двостулкові молюски верхньокрейдових відкладів північно-східної частини Волино-Поділля / Автореф. дис. ... канд. геол. наук. – Київ, 2018. – 24 с.
12. Ischenko I. I., Yakushyn L. M., Shevchuk O. A. (2022). Historical development of the territory of southern Ukraine in the Early and Middle Mesozoic. *MinGeoIntegration XXI*, 37-41

13. Бушинский Г. И. Литология меловых отложений Днепровско-Донецкой впадины [Текст] / Г. И. Бушинский // Труды ин-та геологии АН СССР. – 1954. – Вып. 156. – 307 с.
14. Іщенко І. І. Стратиграфія та умови накопичення крейдових відкладів українського сектора зони зчленування Східноєвропейської платформи та Скіфської плити у зв'язку з нафтогазоносністю / Дис. ... докт. геол. наук. Київ, 2017. – 364 с.
15. Стратиграфія верхнього протерозою та фанерозою України. Т. 1. Стратиграфія верхнього протерозою, палеозою та мезозою України [Текст] / Гол. ред. П. Ф. Гожик, ІГН НАН України. Київ : Логос, 2013. – 637 с.
16. Найдин Д. П. О колебаниях уровня Мирового океана в мезозое и кайнозое [Текст] / Д. П. Найдин // Комплексные исследования природы океана. – М. : Наука, 1972. – Вып. 2. – С. 85–102.
17. Vail P. R. Seismic stratigraphy and global changes of sea level. 4. Global cycles of relative changes of sea level / P. R. Vail, J. R. M. Mitchum, S. Thompson // Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem. – 1977. – N 26. – P. 83–97.
18. О предполагаемых масштабах вертикальных движений дна океана и изменениях объема океанских впадин в кайнозое [Текст] / О. К. Леонтьев, С. А. Лукьянова, Л. И. Калинина // Проблемы палеогидрологии / Отв. ред. Н. В. Разумихин. – М.: Наука, 1976. – С. 69–80.
19. Hancock J. M. The great transgressions of the Late Cretaceous / J. M. Hancock, E. G. Kauffman // J. Geol. Soc. – 1979. – Vol. 136, N 2. – P. 175–186.
20. Іщенко І. І. Палеогеографія території платформної України у сеноманський час / І. І. Іщенко, Л. М. Якушин // Геол. журн., 2008. – №1. – С. 38–47.
21. Іщенко І. І. Палеогеографія території платформної України у туронський час / І. І. Іщенко, Л. М. Якушин // Геол. журн., 2008. – №2. – С. 62–68.
22. Іщенко І. І. Палеогеографія території платформної України у коньякський час / І. І. Іщенко, Л. М. Якушин // Геол. журн., 2008. – №3. – С. 113–118.
23. Якушин Л. М. Палеогеографія території платформної України у сантонський вік / Л. М. Якушин, І. І. Іщенко // Геол. журн., 2009. – №1. – С. 36–41.
24. Якушин Л. М. Палеогеографія території платформної України у кампанський вік / Л. М. Якушин, І. І. Іщенко // Геол. журн., 2009. – №2. – С. 18–23.
25. Якушин Л. М. Палеогеографія території платформної України у маастрихтський вік / Л. М. Якушин, І. І. Іщенко // Геол. журн., 2009. – №3. – С. 23–27.
26. Тейс Р. В., Найдин Д. П. Палеотермометрия и изотопный состав органических карбонатов [Текст] / Р. В. Тейс, Д. П. Найдин. – М. : Наука, 1973. – 255 с.
27. Сеньковский Ю. Н. Литогенез кремнистых толиц юго-запада СССР [Текст] / Ю. Н. Сеньковский. – К. : Наук. думка, 1977. – 128 с.
28. Пуятин М. М. Биогеохимические особенности раковин брахиопод мела Северного Донбасса и их значение для систематики, фациального анализа и палеогеографических реконструкций / Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Київ, 1990. – 24 с.
29. Васильев О. М. Хімічний склад черепашок устриць з верхньої крейди північної окраїни Донбасу / О. М. Васильев, Л. І. Смилова, М. С. Ковальчук, Л. М. Якушин // Геол. журн. – 1998, № 3-4 – С. 75-80.
30. Бланк М. Я. Стратиграфия верхнемеловых отложений Северного Донбасса [Текст] / М. Я. Бланк // Атлас верхнемеловой фауны Донбасса. – М. : Недра, 1974. – С. 9–19.
31. Кац Ю. И. О поверхностях перерыва в туронских отложениях Русской платформы [Текст] / Ю. И. Кац, С. И. Шуменко, Ан Вон Фан // Вестник ХНУ имени В. Н. Каразина, серия: «Геология», 1975. – Вып. 20. – С. 12–25.
32. Іщенко І. І. Стратиграфія мелових відкладів українського междуреч'я Прут-Дністр [Текст] / І. І. Іщенко, Г. А. Байрамова // Ученые записки НИИ «Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия». – Баку, 2015. – Т. 16. – С. 15–38.
33. Якушин Л., Іщенко І. Стратиграфія мезозойських відкладів Одеського шельфа Чорного моря / Л. Якушин, І. Іщенко // Геология и углеводородный потенциал Балкано-Черноморского региона: материалы IV Межд. науч.-техн. конф. (11-15 сентября 2013 г.). – Варна : Болгария, 2013. – С. 57–63.
34. Стратиграфія мезокайнозойських відкладів північно-західного шельфу Чорного моря [Текст] / П. Ф. Гожик, Н. В. Маслун, Л. Ф. Плотнікова, М. М. Іванік, Л. М. Якушин, І. І. Іщенко / ІГН НАН України. – Київ : Логос, 2006. – 171 с.
35. Геология шельфа УССР. Стратиграфия (шельф и побережья Чёрного моря) [Текст] / За ред. Ю. В. Тесленка. – Київ : Наук. думка, 1984. – 184 с.
36. Іщенко І. І., Плотнікова Л. Ф., Якушин Л. М. Нові дані зі стратиграфії верхньокрейдів української частини акваторії Азовського моря / І. І. Іщенко, Л. Ф. Плотнікова, Л. М. Якушин // Проблеми стратиграфії і кореляції фанерозойських відкладів України : матеріали XXXII сесії Палеонтолог. товариства НАН України. – Київ : ІГН НАН України, 2011. – С. 40–41.
37. Іщенко І. І. Якушин Л. М. Стратиграфічна схема крейдових відкладів українського сектора акваторій Чорного та Азовського морів, як основа подальших геологорозвідувальних робіт на нафту та газ [Текст] / І. І. Іщенко, Л. М. Якушин // Нафтогазова галузь України. – 2014. – № 4. – С. 35–41.
38. Іщенко І. І. Якушин Л. М. Місцеві стратиграфічні підрозділи крейдових відкладів українського сектора акваторії Азовського моря [Текст] / І. І. Іщенко, Л. М. Якушин // Проблеми нафтогазової промисловості. – 2015. – Вып. 11–12. – С. 99–108.

## The Late Cretaceous marine basin of platform Ukraine (morphometry, stages of development, lithology and stratigraphy of sedimentary formations)

**Leonid Yakushyn,**

DSc (Geology), Associate Professor, Senior Researcher  
of the Department of Stratigraphy and Paleontology of Mesozoic sediments,  
Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine,  
55-b O. Honchara St., Kyiv, 01601, Ukraine

### ABSTRACT

**Formulation of the problem.** The relevance of the research is related to the formation of a holistic view of the Late Cretaceous Sea basin of the study area: its boundaries, area, the existence of probable land areas, conditions of sediment accumulation and historical development.

**The purpose of the article.** Based on the results of exploratory, structural-exploratory and parametric drilling conducted during the State Geological Survey on scales of 1:50,000, 1:100,000 and 1:200,000 and own field research, we supplemented the information on the geohistorical chronicle of the Late Cretaceous of the southwestern part of the SEE.

**Methods.** The material for writing the article was the results of drilling more than 10,000 exploration, structural and parametric drilling wells conducted during the State Geological Survey at scales of 1:50,000, 1:100,000 and 1:200,000, which are stored in the State Information Geological Fund of Ukraine.

Also, the results of own field research of 47 most complete open sections of the Upper Cretaceous of Platform Ukraine were taken into account and a significant literature on the geological structure of the studied area was processed.

Research methods: facies and formation analysis, lithological, petrographic, paleontological, litho-biostratigraphic, geophysical, etc.

At the final stage of the mapping of the Upper Cretaceous sediments of Platform Ukraine, the methodology of sedimentary basin monitoring and modeling of formation units was used with the help of the domestic software package "Geomapping" with further conversion to the ArcView grid format.

**Results.** To find out the spatio-temporal distribution of the Upper Cretaceous deposits of the study area, their composition, stratigraphic position and parameters of the Late Cretaceous sea basin, we analyzed the materials of mapping, structural search, exploratory and parametric drilling over the past 50 years were analyzed, our own studies of open sections of the Upper Cretaceous were taken into account, and significant stock material on the geological structure of the studied area was also processed. The most informative wells were selected as reference wells. Their number varied from 1179 for Early-Middle Cenomanian deposits to 1103 for Turonian deposits. The maximum density of the studied sections of support wells was recorded for the territory of Volyn-Podillia and individual blocks of the Ukrainian Shield (USH) and is 23.1 wells per 1000 km<sup>2</sup>, the minimum - in the water areas of the Ukrainian part of the Black and Azov Seas - about eight per 1000 km<sup>2</sup>. The absence of Upper Cretaceous deposits on a significant territory of platform Ukraine was established. Early-Middle Cenomanian and Turonian deposits have the largest distribution area, and Maastrichtian deposits have the smallest. In our opinion, areas with continental conditions of existence in certain ages or during the entire Late Cretaceous period have been identified. This made it possible to calculate the areas of land areas and areas covered by the sea with the help of software, with a certain percentage of error (up to 10%). The area of the sea basin was up to 80% of the territory of platform Ukraine. In the historical development of the Late Cretaceous Sea basin of the study area, two stages are distinguished: early-Middle Cenomanian and late Cenomanian-Maastrichtian, which differed significantly from each other in terms of hydrological, hydrochemical, temperature regimes and the nature of sedimentation. The lithological characteristics of the deposits according to the modern stratigraphic division of the Upper Cretaceous rock complex are given.

**Keywords:** Late Cretaceous period, Upper Cretaceous deposits, sea basin, platform Ukraine.

### References

1. Sobetsky V. A. (1978). *Benthic communities and biogeography of Late Cretaceous platform seas of the southwestern USSR*. Moscow, Nauka, 86. [in Russian]
2. Savchinskaya O. V. (1982). *Conditions for the existence of the Late Cretaceous fauna of the Donets Basin*. Moscow, Nauka, 1982, 132. [in Russian]
3. Pasternak S. I., Sen'kovs'ky Y. M., Havrylychyn V. I. (1987). *Volyn-Podillia in the Cretaceous period*. Kyiv, Naukova dumka, 258. [in Ukrainian]
4. Didenko Y. V. (2003). *Paleogeographical understanding of the development of ostracods in the living creid. In collection Science. works of IGN NAS of Ukraine : Theoretical and applied aspects of modern biostratigraphy of the Phanerozoic of Ukraine*. Kiyv, 68–71. [in Ukrainian]
5. Sen'kovs'ky Y. M., Grigorchuk K. G., Hnidec V. P., Koltun Yu. V. (2004). *Geological paleoceanography of the Tethys Ocean (Carpatho-Black Sea segment)*. Kyiv, Naukova dumka, 171. [in Ukrainian]
6. Plotnikova L. F., Yakuschin L. M., Ishchenko I. I. (2006). *To the question of the paleogeographic conditions of the formation of sedimentary complexes of the northwestern shelf of the Black Sea in the Late Cretaceous*. *Visnyk Lviv. un-tu. Ser. geol.*, 20, 43–54. [in Ukrainian]
7. Yakuschin L. M. (2007). *Paleogeographical understanding of the formation of the Upper Creid tovschi outskirts of the Donbass*. In collection *Science. works of IGN NAS of Ukraine : Paleontological research in Ukraine: history, current state and prospects*. Kyiv, 177–181. [in Ukrainian]
8. Bakaeva S. (2010). *The development of gastropod molluscs in the Cretaceous period (Volyn-Podilskyi segment of the Mesotethys)*. *Geology and geochemistry of combustible minerals*, 3–4 (152–153), 45–56. [in Ukrainian]
9. Naidyn D. P., Pokhyalainen V. P., Kats Yu. I., Krasyllov V. A. (1986). *Cretaceous period. Paleogeography and paleoceanology*. Moscow, Nauka, 11–18. [in Russian]

10. Ivannikov A. V. (2005). *Geological history of Ukraine in the Cretaceous*. NAS of Ukraine, Institute of Geological Sciences. Kyiv, 46. [in Russian]
11. Kurepa Y. S. (2018). *Stratigraphy and bipedal molluscs of vahnokraidovyh clades in the peninsular-shidny part of Volino-Podillya*. Diss. ... Cand. geol. sciences. Kyiv, 347. [in Ukrainian]
12. Ischenko I. I., Yakushyn L. M., Shevchuk O. A. (2022). *Historical development of the territory of southern Ukraine in the Early and Middle Mesozoic*. *MinGeoIntegration XXI*, 37–41.
13. Bushinsky G. I. (1954). *Lithology of Cretaceous sediments of the Dnieper-Donets Basin*. AS of USSR, Institute of Geological Sciences. 156, 307. [in Russian]
14. Ishchenko I. I. (2017). *Stratigraphy and conditions of accumulation of chalk deposits of the Ukrainian sector of the junction zone of the East European platform and the Scythian plate in connection with oil and gas potential*. Dis. doctor of geol. of science, specialty 04.00.09. Kyiv, IGN of the National Academy of Sciences of Ukraine, 364. [in Ukrainian]
15. *Stratigraphy of the Upper Proterozoic and Phanerozoic of Ukraine in two volumes. T.1. Stratigraphy of the Upper Proterozoic, Paleozoic and Mesozoic of Ukraine*. (2013). Goal. Ed. Gozhik, P. F. Nat. acad. Sciences of Ukraine, Institute of Geological Sciences. Kyiv, Logos, 637. [in Ukrainian]
16. Naydyn D. P. (1972). *About fluctuations in the level of the World Ocean in the Mesozoic and Cenozoic*. In: *Complex studies of the nature of the ocean*. Moscow, Nauka, 2, 85–102. [in Russian]
17. Vail P. R., Mitchum J. R. M., Thompson S. (1977). *Seismic stratigraphy and global changes of sea level. 4. Global cycles of relative changes of sea level*. *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem.* 26. 83-97.
18. Leontiev O. K., Lukyanova S. A., Kalinina L. I. (1976). *About the estimated scales of vertical movements of the ocean floor and changes in the volume of ocean depressions in the Cenozoic*. *Problems of paleohydrology*. Moscow, Nauka, 69–80. [in Russian]
19. Hancock J. M. (1979). *The great transgressions of the Late Cretaceous*. *J. Geol. Soc.* 136 (2), 175–186. [in Ukrainian]
20. Ishchenko I. I., Yakuschin L. M. (2008). *Paleogeography of the platform territory of Ukraine in Cenomanian*. *Geologichnij zhurnal*, 1, 38–47. [in Ukrainian]
21. Ishchenko I. I., Yakuschin L. M. (2008). *Paleogeography of the platform territory of Ukraine in Turonian*. *Geologichnij zhurnal*, 2, 62–68. [in Ukrainian]
22. Ishchenko I. I., Yakuschin L. M. (2008). *Paleogeography of the platform territory of Ukraine in Coniacian*. *Geologichnij zhurnal*, 3, 113–118. [in Ukrainian]
23. Yakuschin L. M., Ishchenko I. I. (2009). *Paleogeography of the platform territory of Ukraine in Santonian*. *Geologichnij zhurnal*, 1, 36–41. [in Ukrainian]
24. Yakuschin L. M., Ishchenko I. I. (2009). *Paleogeography of the platform territory of Ukraine in Campanian*. *Geologichnij zhurnal*, 2, 18–23. [in Ukrainian]
25. Yakuschin L. M., Ishchenko I. I. (2009). *Paleogeography of the platform territory of Ukraine in Maastrichtian*. *Geologichnij zhurnal*, 3, 23–27. [in Ukrainian]
26. Theis R. V., Naidyn D. P. (1973). *Paleothermometry and isotopic composition of organogenic carbonates*. Moscow, Nauka, 255. [in Russian]
27. Sen'kovs'ky Y. M. (1977). *Lithogenesis of siliceous strata of the southwestern USSR*. Kyiv, Naukova dumka, 128. [in Russian]
28. Putyatin M. M. (1990). *Biogeochemical Features of Cretaceous Brachiopod Shells of the Northern Donbass and Their Significance for Systematics, Facies Analysis, and Paleogeographic Reconstructions*. Diss. ... Cand. geol.-mineral sciences. Kyiv, 221. [in Russian]
29. Vasiliev O. M., Smislova L. I., Kovalchuk M. S., Yakushin L. M. (1998). *Chemical warehouse of oyster turtles from the upper cradle of the pivnichnoy outskirts of Donbas*. *Geologichnij zhurnal*, 3–4, 75–80. [in Ukrainian]
30. Blank M. Y. (1974). *Stratigraphy of the Upper Cretaceous deposits of the Northern Donbass*. In: *Atlas of the Upper Cretaceous fauna of Donbass* Moscow, Nedra, 9–19. [in Russian]
31. Kats Y. I., Schumenko S. I., Фан А. В. (1975). *On the surfaces of the hiatus in the Turonian sediments of the Russian platform*. *Visnyk Kharkiv. un-tu*, 20, 12–25. [in Russian]
32. Ishchenko I. I., Bayramova G. A. (2015). *Stratigraphy of Cretaceous deposits of the Ukrainian Prut-Dniester inter-fluve*. *Scientific notes of the Scientific Research Institute «Geotechnological problems of oil, gas and chemistry»*. Baku, 16, 15–38. [in Russian]
33. Yakushin L., Ishchenko I. (2013). *Stratigraphy of Mesozoic sediments of the Odessa shelf of the Black Sea*. *Proceedings of the IV international scientific and technical conference «Geology and hydrocarbon potential of the Balkan-Black Sea region»*. Varna, Bulgaria, 57–64. [in Russian]
34. Gozhik P. F., Maslun N. V., Plotnikova L. F., Ivanik M. M., Yakushin L. M., Ishchenko I. I. (2006). *Stratigraphy of the Meso-Cenozoic sediments of the northwestern shelf of the Black Sea*. *Nat. acad. Sciences of Ukraine, Institute of Geological Sciences*. Kyiv, Logos, 171. [in Ukrainian]
35. Teslenko Yu. V. (Ed.). (1984). *Geology of the UkrSSR shelf. Stratigraphy (shelf and shores of the Black Sea)*. Kyiv, Naukova dumka, 184. [in Russian]
36. Ishchenko I. I., Plotnikova L. F., Yakuschin L. M. (2011). *New data on the stratigraphy of the upper crede deposits in the Ukrainian part of the Sea of Azov*. In : *Problems of stratigraphy and correlation of Phanerozoic deposits in Ukraine: materials of the XXXII session of the Paleontological Association of the National Academy of Sciences of Ukraine*, Kyiv, 40–41. [in Ukrainian]
37. Ishchenko I. I., Yakuschyn L. M. (2014). *Stratigraphic scheme of chalk deposits of the Ukrainian sector of the Black and Azov seas, as a basis for further exploration for oil and gas*. *Oil and gas industry of Ukraine*, 4, 35–41. [in Ukrainian]
38. Ishchenko I. I., Yakuschin L. M. (2015). *Local stratigraphic subdivisions of chalk deposits of the Ukrainian sector of the Sea of Azov water area*. *Problems of the oil and gas industry*. Kyiv, 11-12, 99–108. [in Ukrainian]

# ГЕОГРАФІЯ

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-11>  
УДК 911.3.333 (477.51)+551.583.2

Надійшла 26 січня 2023 р.  
Прийнята 15 березня 2023 р.

## Територіальні трансформації в сільському господарстві Чернігівської області в умовах кліматичних змін: кейс кукурудзи та соняшнику

*Микола Барановський*<sup>1</sup>

д. геогр. н., професор кафедри географії, туризму та спорту  
<sup>1</sup> Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя,  
вул. Графська, 2, м. Ніжин, 16602, Україна,  
e-mail: [brnm@ukr.net](mailto:brnm@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-0771-1126>;

*Денис Глушко*<sup>1</sup>

аспірант кафедри географії, туризму та спорту,  
e-mail: [denyshlushko0642@ukr.net](mailto:denyshlushko0642@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0001-9805-4928>

У статті проаналізовано трансформаційні процеси в аграрному виробництві Чернігівської області, які сталися упродовж 2001-2020 років під впливом кліматичних змін, а також проведено оцінку впливу кліматичного чинника на продуктивність окремих сільськогосподарських культур. Зміна кліматичних показників, насамперед температури повітря та режиму зволоження, розглядаються у статті як визначальні причини, які зумовили «міграцію» на територію області низки типових теплолюбних сільськогосподарських культур, зростання їхньої продуктивності та трансформацію традиційної для регіонів Полісся спеціалізації сільського господарства. На прикладі маркерних сільськогосподарських культур – кукурудзи та соняшнику, валові збори яких зросли в регіоні упродовж 2000-2020 років у 36 та 27 разів відповідно, підтверджено зміщення на північ традиційних зон їхнього вирощування на 125-150 км. Встановлено, що через зміну термічного режиму частка польських районів у виробництві раніше нетипових для цих територій кукурудзи та соняшнику зросла до 25-30 %, а регіон у 2020 році посів перше місце в Україні за валовими зборами зернових культур. Підтверджено, що кліматичні зміни двох останніх десятиліть посилили природні конкурентні переваги Чернігівської області на ринку виробників аграрної продукції. За допомогою системи формул і трендового моделювання визначено вплив кліматичного чинника на продуктивність маркерних сільськогосподарських культур. Встановлено, що його внесок в урожайність кукурудзи змінився від 74 % у 2001-2010 до 52,8 % у 2011-2020 роках, соняшнику – з 56,3 до 53,3 %. Підтверджено вагому роль у зростанні продуктивності кукурудзи та соняшнику в Чернігівській області в останнє десятиріччя агротехнічних заходів, зокрема внесення мінеральних добрив. Вказано на необхідність врахування кліматичних трендів у перспективних програмах розвитку аграрного виробництва Чернігівської області шляхом розроблення ефективних адаптаційних заходів.

**Ключові слова:** кліматичні зміни, трансформація аграрного виробництва, кукурудза, соняшник, індекс територіальної концентрації, трендове моделювання, Чернігівська область.

**Як цитувати:** Барановський Микола. Територіальні трансформації в сільському господарстві Чернігівської області в умовах кліматичних змін: кейс кукурудзи та соняшнику / Микола Барановський, Денис Глушко // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 58. – С. 134-142. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-11>

**In cites:** Baranovskyi Mykola, Hlushko Denys (2023). Territorial transformations in agriculture of Chernihiv region in the context of climate change: the case of corn and sunflower. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (58), 134-142. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-11> [in Ukrainian]

**Постановка проблеми.** В останні роки помітно зріс інтерес науковців до аналізу змін в аграрному виробництві, які відбуваються під впливом кліматичних процесів.

Через інтенсивне потепління, особливо в останнє десятиліття (1,7°C за 2010-2019 роки) [1, с. 14], в Україні змінюється географія вирощування різних сільськогосподарських культур. Якщо в 1990 році частка зони степу у валових зборах кукурудзи становила 44 %, то у 2013-2017 роках – лише 19 % [2, с. 16]. Аналогічні процеси спостерігаються і в урожайності зернових культур.

За останні 30 років у зоні степу вона скоротилася на 10 %, тоді як на поліссі та в лісостепу зросла на 43 %.

Результати кліматичного моделювання температурних параметрів вказують на те, що в найближчі 30 років в Україні буде спостерігатися перехід від помірно вологих до посушливих умов, що зумовить подальшу трансформацію аграрного виробництва [3]. Наведені факти підтверджують вагомий вплив кліматичних чинників на сільськогосподарське виробництво. Цей вплив має чітко виражений регіональний характер і потребує при-

скіпливого наукового аналізу.

Досі актуальним лишається питання оцінки внеску кліматичних чинників в урожайність і валові збори окремих сільськогосподарських культур. Наявні дослідження, проведені на прикладі окремих культур на загальнодержавному рівні, не вирізняються великою точністю. Так, за даними Українського гідрометеорологічного центру внесок метеорологічних чинників у коливання врожайності озимих зернових культур становить 20-50 %, для ярих зернових – 37-75 % [4, с. 197]. Дискусійним є також питання вибору методики й переліку показників, які доцільно використовувати для оцінки впливу кліматичних чинників на виробництво та продуктивність окремих сільськогосподарських культур.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Дослідженню впливу кліматичних чинників на розвиток аграрного виробництва присвячена велика кількість публікацій, узагальнений огляд яких добре представлений в роботі Н. Майданович [5].

Наразі в переважній більшості вітчизняних і закордонних досліджень основний акцент робиться на оцінці впливу кліматичних змін на ріст, розвиток і продуктивність окремих сільськогосподарських культур, зокрема пшениці [6], кукурудзи [7,8], соняшнику [9]. Полігонами для виявлення наявних залежностей обираються різні території – від адміністративного району до території країни. Результати, отримані науковцями в зазначених та інших працях, підтверджують наявність значних регіональних відмінностей впливу кліматичних чинників на продуктивність сільськогосподарських культур. Прикметно, що навіть подібні тенденції кліматичних показників можуть зумовлювати неоднакові наслідки для різних територій і агрокультур. Так, дослідники динаміки урожайності кукурудзи та сорго в Центральних рівнинах США в різні часові періоди (1968-2013 та 1981-2020 роки) встановили, що: 1) кліматичні зміни загалом позитивно вплинули на продуктивність цих культур [10, 11]; 2) підвищення температури має більш вагоме значення для урожайності, ніж кількість опадів [10, 12]. Водночас сучасні кліматичні тренди можуть також негативно впливати на урожайність окремих сільськогосподарських культур.

Німецькі науковці на основі ґрунтового аналізу довели, що визначальний вплив на урожайність пшениці в зоні мішаних лісів України мають термічні умови, а в лісостепу та степу – кількість опадів [13, с. 17]. Щодо урожайності кукурудзи в розрізі агрокліматичних зон України, то підвищення температури в останнє десятиліття негативно позначилося на продуктивності цієї культури, окрім західних областей лісостепової зони [7, с.

104; 14].

Окремої уваги заслуговує огляд методів, які використовуються науковцями та практиками для оцінки впливу кліматичних чинників на продуктивність сільськогосподарських культур. Наразі застосовуються як традиційні методи, зокрема трендове моделювання, класична лінійна регресія [11], так і спеціальні, як-то: динамічна модель продуктивності посівів [14] та регресія з географічним часовим зважуванням [10].

Схарактеризовані в наукових дослідженнях особливості впливу кліматичних чинників на продуктивність агрокультур є важливими для розуміння тих територіальних трансформацій, які відбуваються в сільськогосподарському виробництві різних регіонів України. Однак ці аспекти зазначеної проблематики не набули належного наукового аналізу. Щодо Чернігівської області, то окремі напрямки територіальних трансформацій сільськогосподарського виробництва цього регіону відображені в кількох дослідженнях М. Барановського [15, 16] та А. Марущинця [17, 18].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** При наявності різнотипних підходів до вивчення трансформацій в аграрній сфері [19], територіальним аспектам цього процесу, особливо на регіональному рівні, не приділяється належна увага. Досі відсутні наукові публікації, в яких були б комплексно розкриті територіальні трансформації посівних площ, обсягів виробництва та продуктивності сільськогосподарських культур в окремих регіонах України в умовах кліматичних змін.

**Матеріали і методи дослідження.** Маркерними агрокультурами для виявлення територіальних трансформацій в аграрному виробництві області під впливом кліматичних змін були обрані кукурудза та соняшник. Статистичні дані про посівні площі, валові збори та урожайність цих культур упродовж 2001-2020 років формувалися у розрізі «старих» адміністративних районів області [20]. Такий підхід дозволив провести належний порівняльний аналіз, оскільки інформація у розрізі «нових» районів є надто загальною для виявлення територіальних відмінностей у розвитку аграрного виробництва.

Особливості розміщення маркерних агрокультур у різні часові періоди аналізувалися з допомогою індексу територіальної концентрації. Він є відносним показником, який визначається за формулою:  $I_i^n = \frac{K_i^n}{S_i} : \frac{K^n}{S}$ , де  $K_i^n$  – значення показника  $n$  у районі  $i$ ;  $S_i$  – площа району  $i$ ;  $K^n$  – значення показника  $n$  для області;  $S$  – площа області. Фактично він відображає рівень концентрації виробництва певного виду сільськогосподарських культур конкретного району порівняно із пересічним

для області значенням. Візуалізація індексів територіальної концентрації маркерних культур у Чернігівській області здійснювалася за допомогою програми Surfer 6.0.

Для характеристики умов тепло-і вологозабезпеченості використовувалися дані Чернігівського обласного центру з гідрометеорології та департаменту агропромислового розвитку Чернігівської ОДА про пересічні показники температури повітря та кількості опадів упродовж шести місяців (квітень-вересень) за період із 2001 по 2020 роки.

Оцінка внеску кліматичних показників в урожайність сільськогосподарських культур базувалася на підході, розробленому фахівцями з агрометеорології наприкінці ХХ ст. Він передбачає визначення двох видів дисперсії та різниці між ними за формулами [21, с. 7]:  $\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}$ ;  $\sigma_a^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{n-1}$  та  $\sigma_m^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 - \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{n-1}$ , де  $\sigma^2$  – загальна дисперсія,  $\sigma_a^2$  – агротехнічний складник дисперсії,  $\sigma_m^2$  – внесок кліматичного складника в дисперсію урожайності,  $y_i$  – урожайність конкретного року;  $\bar{y}$  – усереднена багаторічна урожайність;  $\hat{y}_i$  – трендова урожайність. Зазначений підхід передбачає виконання кількох ітерацій: 1) визначення загальної дисперсії як суми різниці між урожайністю конкретного року та пересічною багаторічною урожайністю; 2) визначення трендової урожайності за різні часові періоди; 3) обчислення агротехнічного складника дисперсії як суми різниці між трендовою та багаторічною пересічною урожайністю. Лінія трендів

вибудовувалася за методом найменших квадратів в програмі Excel. Вибір виду тренду здійснювався на основі величини коефіцієнта детермінації ( $R^2$ ). Внесок кліматичного чинника у величину дисперсії врожайності обчислювався як різниця загальної дисперсії та її агротехнічного складника, а частка – шляхом ділення кліматичного та агротехнічного складників на загальну дисперсію.

**Мета статті.** Головним завданням дослідження є виявлення на прикладі маркерних сільськогосподарських культур територіальних трансформацій в аграрному виробництві Чернігівської області в умовах кліматичних змін та оцінка впливу кліматичного чинника на урожайність кукурудзи та соняшнику упродовж 2001-2020 років.

**Виклад основного матеріалу.** Чернігівська область, яка розміщується відразу у двох природних зонах – полісся та лісостепу, є оптимальним полігоном для оцінки трансформаційних процесів в аграрному виробництві під впливом кліматичних змін на регіональному та локальному рівнях.

Аналіз термічного режиму та режиму зволоження в регіоні за останні 20 років свідчить про стале зростання температури повітря та незначне скорочення кількості опадів. Особливо швидкі темпи зростання пересічної температури повітря характерні для останнього десятиліття. Упродовж 2010-2020 років температура повітря в Чернігівській області у травні зросла на 1,8°C, у червні – на 1,5°C (табл. 1) у порівнянні з багаторічними пересічними показниками.

Це зумовило збільшення суми ефективних температур (майже на 220°C) і тривалості вегета-

Таблиця 1 / Table 1

Динаміка температури та кількості опадів у період вегетації в Чернігівській області /  
Dynamics of temperature and amount of precipitation during the growing season in Chernihiv region

Місяці	1944-2019 роки		2001-2010 роки		2011-2020 роки	
	Пересічна температура, °C	Кількість опадів, мм	Пересічна температура, °C	Кількість опадів, мм	Пересічна температура, °C	Кількість опадів, мм
Квітень	8,1	41,0	8,6	36,3	9,7	34,2
Травень	14,6	53,0	14,5	57,4	16,4	61,0
Червень	18,1	71,0	18,0	63,8	19,6	59,4
Липень	19,5	80,0	21,2	67,8	20,8	75,1
Серпень	18,4	62,0	19,7	62,4	20,0	44,7
Вересень	13,0	50,0	13,6	55,4	14,3	43,0

Складено автором за дж. [22, 23]

ційного періоду до того рівня, який дозволяє вирощувати в межах всієї Чернігівській області низку теплолюбних сільськогосподарських культур. Кількість опадів за вказаний період скоротилася на 11 %, однак це суттєво менше, ніж у південних регіонах України. Загалом можна констатувати,

що зміна термічного режиму та режиму зволоження в останні роки посилили природні конкурентні переваги Чернігівської області в аграрному секторі, що вже знайшло своє відображення в рейтингах цього регіону в Україні за виробництвом окремих сільськогосподарських культур, зок-



рема кукурудзи та соняшнику.

Кукурудза є досить теплолюбною культурою, для 100 % дозрівання якої сума ефективних температур має становити не менше 1100°C, а тривалість вегетаційного періоду – 90-160 днів. До середини 80-х років минулого століття на значній частині території Чернігівщини сума ефективних температур була недостатньою для повноцінної вегетації кукурудзи на зерно. Ситуація кардинально змінилася вже в перші роки XXI ст. й наразі в області, як і в Україні загалом, немає територій з недостатніми термічними умовами для вирощування кукурудзи. Саме ця обставина, поряд із кількома іншими чинниками, стала стимулом для активної «міграції» кукурудзи з південніших регіонів України в Чернігівську область.

У 2000 р. Чернігівщина посідала 14 місце з-поміж регіонів України за валовими зборами кукурудзи, а її частка у загальнодержавному показнику становила лише 2,8 % (табл. 2). Стрімке

зростання посівних площ і валових зборів кукурудзи в регіоні розпочалося від середини 2000-х років. За 2010-2015 роки обсяги виробництва кукурудзи зросли утричі, за 2015-2020 роки – ще майже удвічі. Загалом за 2000-2020 роки посівні площі під кукурудзою зросли у 15 разів, валові збори – у 39,4 раза, урожайність – майже удвічі. Завдяки цьому у 2020 році вперше у своїй історії Чернігівська область стала найбільшим виробником кукурудзи в Україні. Її частка склала майже 14,2 %. Кукурудза витісняє інші зернові культури, які посідали вагоме місце у структурі виробництва зернових у регіоні. Якщо у 2005 р. на неї припадало 33,4 % валових зборів усіх зернових культур Чернігівської області, то у 2020 році – майже 80 %. Швидкими темпами зростає також урожайність кукурудзи, причому не лише в південних, а і в північних районах. У 2020 році вона перевищувала пересічні для країни значення на 37,2 %.

Внутрішньообласні відмінності у виробниц-

Таблиця 2 / Table 2

Частка Чернігівської області в загальнодержавному виробництві окремих сільськогосподарських культур, % /

The share of Chernihiv region in the national production of certain agricultural crops, %

Сільськогосподарські культури	2000	2005	2010	2015	2018	2020
Частка у виробництві:						
Зернових культур	3,4	4,2	3,9	5,8	7,0	8,3
Рейтинг з-поміж регіонів України	16	12	12	7-8	3	1
Кукурудзи	2,8	7,4	6,8	10,5	10,7	14,2
Рейтинг з-поміж регіонів України	14	6	6	2	2	1
Соняшнику	0,2	0,3	0,9	3,7	4,0	5,3
Рейтинг з-поміж регіонів України	16	16	15	14	11	8
Частка у виробництві продукції рослинництва, %	6,8	3,6	3,5	4,6	5,1	6,0
Рейтинг з-поміж регіонів України	13	14	14	13	10	5

Складено автором за даними Державної служби статистики України

тві кукурудзи оцінювалися шляхом обчислення коефіцієнтів територіальної концентрації. Аналіз їх динаміки свідчить про: по-перше, посилення поляризації виробництва цієї культури між південними і північними частинами регіону; по-друге, поступову просторову експансію виробництва кукурудзи із традиційних лісостепових до нетипових поліських районів Чернігівщини. У 2020 році найвищими показниками територіальної концентрації виробництва кукурудзи вирізнялися: Срібнянський (2,7 од.), Бобровицький (2,45), Прилуцький (2,06) і Талалаївський (1,9 од.) «старі» адміністративні райони Чернігівської області. В північних поліських районах області показники територіальної концентрації виробництва кукурудзи набагато менші (0,18-0,85), однак сам факт її вирощування на цих територіях став можливим завдяки змінам агрокліматичних показників. Посівні площі під кукурудзою в деяких

поліських районах Чернігівщини зросли майже удвічі.

Соняшник також є теплолюбною культурою. Для його дозрівання сума ефективних температур має становити 2300-2700°C. Наразі практично на всій території Чернігівщини сума ефективних температур достатня для вирощування в регіоні майже всіх гібридів соняшнику. Додатковою перевагою регіону, порівняно з південними частинами України, є досить значна кількість опадів.

Іntenсивне зростання посівних площ і валових зборів соняшнику в Чернігівській області триває від 2010 року. Загалом за 2010-2020 роки посівні площі під цією культурою зросли у шість разів, а валові збори – в 11,3 рази. Зазначені тенденції зумовили посилення значущості Чернігівської області в загальнодержавному виробництві соняшнику. Якщо у 2000 році в регіоні продукувалося лише 0,2 % насіння соняшнику країни, то

у 2020 році – 5,3 % (табл. 2). Відповідно змінився і рейтинг області за виробництвом соняшнику: вона перемістилася з 16 на 8 позицію. Окремо варто відзначити високу врожайність соняшнику в регіоні. У 2021 році вона перевищувала пересічне для країни значення на 43 %, а показники врожайності Миколаївської та Запорізької областей – майже удвічі.

Через зміну агрокліматичних показників вирощування соняшнику стало нормою навіть для районів північної частини Чернігівської області. Якщо у 2000 році соняшник взагалі не вирощувався в дев'яти «старих» районах регіону, то зараз у них зосереджено майже 24 % посівних площ цієї

культури та 25 % її валових зборів. Лідерами як за посівними площами, так і за валовими зборами соняшнику, є Чернігівський, Бахмацький і Ніжинський райони. На них припадає майже 28 % загальнообласного виробництва насіння соняшнику.

Найвищі значення індексу територіальної концентрації виробництва соняшнику мають лісостепові райони області – Варвинський (2,24 од.), Бахмацький (2,18) і Ніжинський (1,8). Водночас і в поліських – Коропському, Менському, Сновському та Чернігівському районах індекс територіальної концентрації також перевищує пересічні для регіону значення (рис. 1).

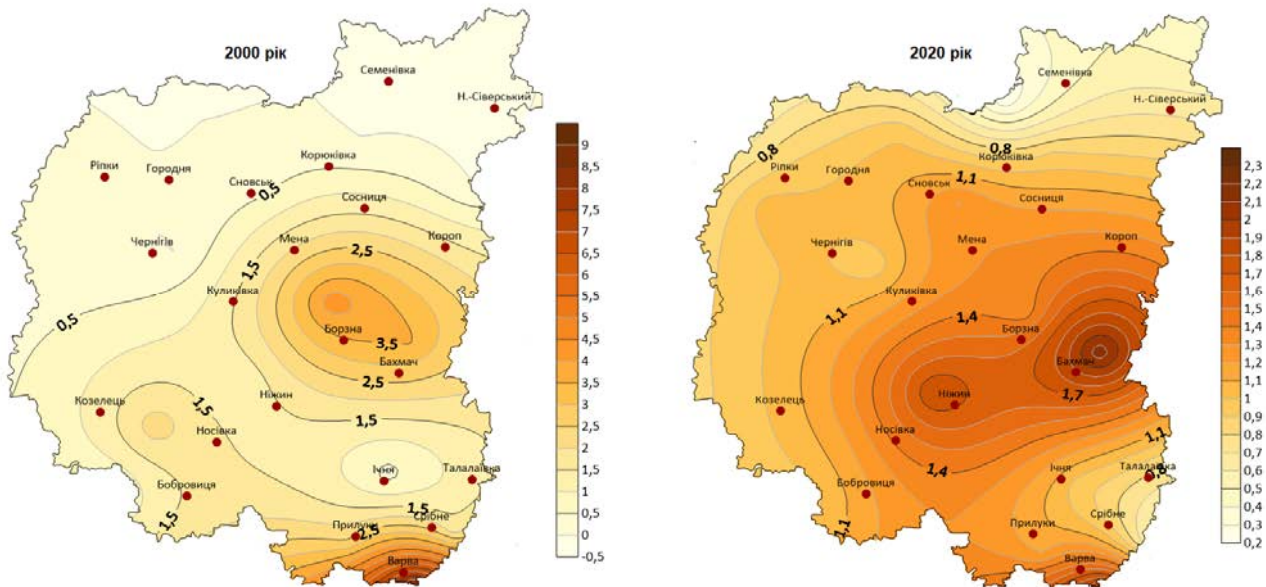


Рис. 1. Індекси концентрації виробництва соняшнику в Чернігівській області, од. / Fig. 1. Indices of concentration of sunflower production in Chernihiv region, un.

Аналогічна ситуація простежується і за показником урожайності соняшнику. Поліські райони звичайно поступаються лісостеповим за рівнем урожайності, однак темпи її зростання упродовж останнього десятиліття є помітно вищими саме в районах центральної та частково північної частин області.

Просторова експансія на територію Чернігівщини кукурудзи, соняшнику, сої та ріпаку зумовила помітне скорочення посівних площ та обсягів виробництва традиційних для регіону культур – льону-довгунцю, жита, картоплі. Наслідком цього стала зміна типової для регіонів Полісся спеціалізації сільського господарства.

Зрозуміло, що схарактеризовані на прикладі кукурудзи та соняшнику трансформації в аграрному виробництві сталися не лише під впливом кліматичних змін. Важливе значення мають також агротехнічні та економічні чинники, зокрема якість насіння, кількість внесених мінеральних добрив, дотримання оптимальних термінів посівної

кампанії, рентабельність виробництва різних сільськогосподарських культур тощо.

Для визначення впливу кліматичних чинників на продуктивність (урожайність) маркерних сільськогосподарських культур було проведено обчислення пересічних показників урожайності кукурудзи та соняшнику, а також визначено трендову урожайність цих культур за два часові періоди – 2001-2010 та 2011-2020 роки. Ступінь впливу агротехнічних заходів на урожайність попередньо оцінювалася за величиною коефіцієнта детермінації ( $R^2$ ) для рівнянь лінії трендів. Зростання цього показника вказує на наближення урожайності до трендової, а значить на послаблення залежності від кліматичних умов. Трендова урожайність для кукурудзи в обох часових періодах визначалася на основі поліномів четвертого ступеня (рис. 2).

Проведені обчислення та величина коефіцієнтів детермінації свідчать про те, що, по-перше, кліматичний чинник мав визначальний вплив на

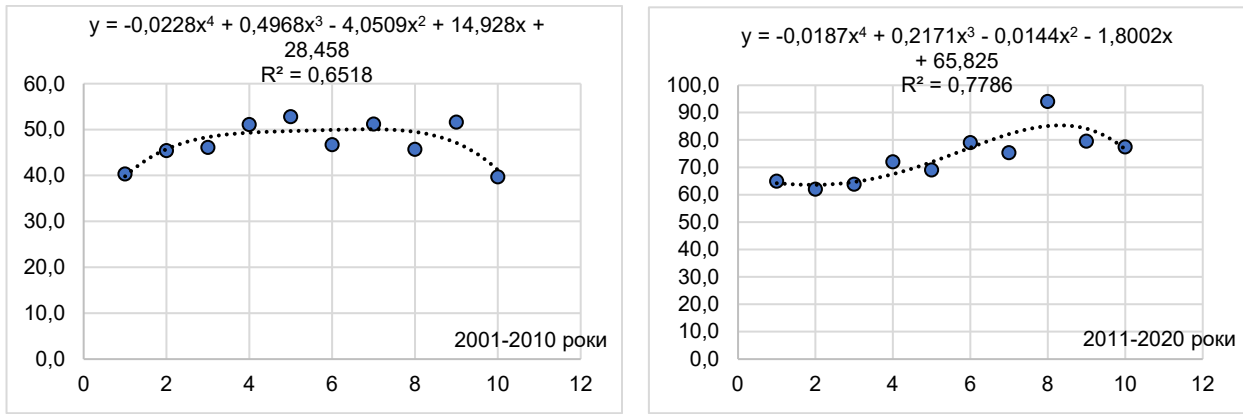


Рис. 2. Урожайність кукурудзи в Чернігівській області (статистичні дані та тренд) у 2001-2010 та 2011-2020 роках, ц/га /

Fig. 2. Corn yield in Chernihiv region (statistical data and trend) in 2001-2010 and 2011-2020, cent./ha

урожайність кукурудзи упродовж 2001-2010 років (74 %), по-друге, його значущість у другому часовому періоді стала значно меншою і практично зрівнялася з агротехнічним складником (56,3 та 43,7 % відповідно) (табл. 3). Ці висновки підтверджуються результатами кореляційного аналізу. У 2001-2010 роках кореляційна залежність між урожайністю кукурудзи та кількістю внесених мінеральних добрив становила лише 0,029, у 2011-2020 роках – 0,757.

Аналогічні обчислення, проведені для урожайності соняшника, також підтвердили вагомість впливу кліматичного чинника на продуктивність цієї культури. Однак слід зазначити, що його перевага над агротехнічним складником не є такою значною, як для кукурудзи у 2001-2010 роках. Загалом частка кліматичного чинника в загальній дисперсії урожайності соняшнику впродовж 2001-2020 років варіювала в межах 53,3-56,3 % (табл. 3).

Таблиця 3 / Table 3

Показники природної та трендової урожайності кукурудзи й соняшнику в Чернігівській області / Indicators of natural and trend yield of corn and sunflower in Chernihiv region

Роки	Кукурудза		Соняшник		Роки	Кукурудза		Соняшник	
	П	Т	П	Т		П	Т	П	Т
2001	40,3	39,8	6,7	6,9	2011	64,9	64,2	18,3	18,1
2002	45,4	45,7	8,3	8,1	2012	62,0	63,6	20,3	20,5
2003	46,1	48,4	9,2	8,7	2013	63,8	64,6	21,7	21,9
2004	51,1	49,3	8,2	9,3	2014	72,0	67,5	22,6	22,8
2005	52,8	49,7	11,2	10,5	2015	69,0	71,9	24,7	23,8
2006	46,7	50,0	11,4	12,1	2016	79,0	77,2	25,9	25,0
2007	51,2	50,1	15,0	14,1	2017	75,3	82,1	24,2	26,3
2008	45,7	49,6	16,3	15,8	2018	94,0	85,1	28,4	27,7
2009	51,6	47,3	15,8	16,4	2019	79,5	84,0	29,9	28,7
2010	39,7	41,4	15,7	14,9	2020	77,4	76,5	28,9	28,8
$\frac{\sigma^2}{\sigma^2 + \sigma_a^2} \cdot 100\%$	74,1	25,9	52,8	47,2		56,3	43,7	53,3	46,7

П – природна урожайність; Т – трендова урожайність

Наведені результати підтверджують вагомість впливу кліматичного чинника на продуктивність маркерних сільськогосподарських культур, посівні площі під якими в Чернігівській області зросли найбільше. Зрозуміло, ще цей вплив не є абсолютним, однак кліматичний чинник був тією першопричиною, яка зробила можливою «міграцію» низки сільськогосподарських культур із пів-

денних у північні регіони України.

Кліматичні зміни й надалі будуть впливати на структуру сільського господарства регіону, а через нього – на переробні виробництва й зайнятість населення. Важливо, щоб зазначені аспекти знайшли належне відображення в перспективних програмах розвитку аграрного сектору Чернігівської області шляхом розроблення ефективних ада-

птаційних заходів.

**Висновки.** Основними трендами кліматичних змін на Чернігівщині упродовж 2001-2020 років є зростання температури повітря (на 1°C проти пересічного показника за 1944-2019 роки), тривалості вегетаційного періоду, суми ефективних температур і незначне скорочення кількості опадів (на 11 %). Завдяки цьому в регіоні сформувалися сприятливі агрокліматичні умови для вирощування низки нетипових для цієї області сільськогосподарських культур, що загалом зумовило територіальні трансформації в її аграрному виробництві. Головною рисою цих трансформацій є просторова експансія в регіон теплолюбних сільськогосподарських культур, зокрема кукурудзи та соняшнику. Посівні площі та валові збори цих культур зросли в Чернігівській області в десятки разів, а локальні агрокліматичні зони їхнього вирощування перемістилися на північ на 125-150 км. Наразі в північних (поліських) районах області продукується від 25 до 30 % кукурудзи та насіння соняшнику регіону. Кліматичні зміни, поряд з агротехнічними заходами, зумовили значне зростання продуктивності кукурудзи та соняшнику, а також рентабельності їхнього виробництва. Уро-

жайність цих маркерних культур суттєво перевищує пересічні для України значення, що посилює привабливість Чернігівської області для потенційних виробників низки сільськогосподарських культур, основними регіонами вирощування яких були степові простори країни.

Використання спеціальної методики дозволило виявити низку залежностей та вперше оцінити внесок кліматичного чинника в урожайність кукурудзи та соняшнику в Чернігівській області. Встановлено, що агрокліматичні показники мали більший вплив на урожайність кукурудзи, ніж соняшнику, особливо упродовж 2001-2010 років.

Запропонована в роботі модель дослідження трансформаційних процесів в аграрному виробництві Чернігівської області під впливом кліматичних змін можна застосувати до інших регіонів країни, що дасть можливість перевірити її надійність та ефективність. Перспективними можуть бути дослідження впливу кліматичних чинників на продуктивність сільськогосподарського виробництва, які базуються на використанні більшого переліку агрокліматичних показників і сучасних економетричних методів аналізу.

#### Список використаної літератури

1. Зміна клімату та сільське господарство в Україні: що варто знати фермерам. – Київ, 2019. – 34 с.
2. Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації: аналітична доповідь / за ред. С.П. Іванюти. – К.: НІСД, 2020. – 110 с.
3. Семенова І.Г. Прогностичний розподіл посух теплої сезону по території України в 2021-2050 рр. / І.Г. Семенова, А.М. Польовий // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія: «Геологія. Географія. Екологія». – 2020. Вип. 53. – С. 169-179. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-13>.
4. П'яте національне повідомлення України з питань зміни клімату. – Київ, 2009. – 282 с.
5. Майданович Н. Про вплив кліматичних змін на агросферу України: огляд / Н. Майданович // Новітні технології в АПК: дослідження та управління. – 2020. – Вип. 27 (41). – С. 162-175.
6. Балабух В.О. Вплив зміни клімату на продуктивність озимої пшениці в Україні у період вегетаційного циклу / В.О. Балабух, Л.П. Одноток, О.О. Кривошеїн // Гідрологія, гідрохімія та гідроекологія. – 2017. – №3 (46). – С. 72-85.
7. Балабух В.О. Вплив зміни клімату на формування урожайності кукурудзи в агрокліматичних зонах України / В.О. Балабух // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2019. – №3 (54). – С. 103-104.
8. Thompson L. M. Effects of Changes in Climate and Weather Variability on the Yields of Corn and Soybeans // Journal of production agriculture. – 1988. – Vol. 1. – No. 1. – P. 20-27.
9. Польовий А.М. Агрокліматичні аспекти продуктивності соняшника Одещини в умовах потепління клімату / А.М. Польовий, Л.Ю. Божко, О.А. Барсукова // Екологічні науки. – 2022. – №5 (44). – С. 249-254. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.38>.
10. Yang B. Effects of Climate Change on Corn Yields: Spatiotemporal Evidence from Geographically and Temporally Weighted Regression Model / B. Yang, S. Wu & Z. Yan // International journal of Geo-information. – 2022. – No 11 (8), 433. <https://doi.org/10.3390/ijgi11080433>
11. Kukal Meetpal S. Climate-Driven Crop Yield and Yield Variability and Climate Change Impacts on the U.S. Great Plains Agricultural Production / Meetpal S. Kukal, Suat Irmak // Biological Systems Engineering: Papers and Publications. – 2018. – 524 p. <https://digitalcommons.unl.edu/biosysengfacpub/524>
12. Lobell David B. Climate Trends and Global Crop Production Since 1980 / David B. Lobell, W. Schlenker, J. Costa-Robert // Science. – 2011. – Vol. 333. – No.6042. – P. 616-620. DOI: [10.1126/science.1204531](https://doi.org/10.1126/science.1204531)
13. Muller D. Impact of climate change of wheat production in Ukraine / D. Muller, F. Jungandreas, F. Koch & F. Schierhorn // APD/APR/02/2016. 41 p. Retrieved from: [https://www.researchgate.net/publication/307569914\\_Impact\\_of\\_climate\\_change\\_on\\_wheat\\_production\\_in\\_Ukraine](https://www.researchgate.net/publication/307569914_Impact_of_climate_change_on_wheat_production_in_Ukraine)
14. Польовий А.М. Вплив кліматичних змін на формування продуктивності кукурудзи в західному Лісостепу України / А.М. Польовий, Т.К. Костюкевич, А.В. Толмачова, О.Л. Жигайло // Вісник аграрної науки Причорномор'я. – 2021. – Вип. 1. – С. 29-36. DOI: [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-1\(109\)-4](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-1(109)-4)

15. Барановський М.О. Територіальні зрушення в аграрному виробництві регіонів Українського Полісся в умовах кліматичних змін / М.О. Барановський // Суспільно-географічні чинники розвитку регіонів. Матер. VI міжнар. наук.-практ. конф. / за ред. Ю.М. Барського (м. Луцьк, 11-12 листопада 2022 р.). – Луцьк: ПП Іванюк В.П., 2022. – С. 19-21.
16. Барановський М.О. Трансформаційні процеси у сільськогосподарському виробництві Чернігівської області / М.О. Барановський // Економічна та соціальна географія. – 2012. – Вип. 65. – С. 89-97.
17. Марущинець А.В. Галузево-територіальна трансформація аграрної сфери Київського Придніпров'я / А.В. Марущинець // Український географічний журнал. – 2015. – №1. – С. 42-49.
18. Марущинець А.В. Територіальні трансформації в аграрному секторі Столичного району / А.В. Марущинець, М.О. Барановський // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: географія. – 2012. – №1. – С. 91-97.
19. Niemets L. Transformation of the agrarian sphere of Ukraine: approaches to study / L. Niemets, M. Lohvynova, Y. Kandyba, L. Klyuchko & O. Kravnyukov // Human geography journal. – 2018. – Vol. 24. – P. 31-38. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2018-24-03>.
20. Сільське господарство Чернігівщини за 2000-2020 роки. Статистичний збірник. Чернігів, 2021. 89 С.
21. Ромащенко М.І. Вплив сучасних кліматичних змін на водні ресурси та сільськогосподарське виробництво / М.І. Ромащенко, Ю.В. Гусев, А.П. Шатковський, Р.В. Сайдак, М.В. Яцюк, А.М. Шевчук, Т.В. Матяш // Меліорація і водне господарство. – 2020. – №1. – С. 5-22. <https://doi.org/10.31073/mivg202001-235>.
22. Агрокліматичний довідник по території України (середні обласні показники) / за ред. Т.І. Адаменко, М.І. Кульбиди, А.Л. Прокопенко. – К.-Подільський: ПП Галагодза Р.С., 2011. 108 с.
23. Департамент агропромислового розвитку Чернігівської обласної державної адміністрації / <https://apk.cg.gov.ua/index.php?id=384735&tp=0>

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

## Territorial transformations in agriculture of Chernihiv region in the context of climate change: the case of corn and sunflower

*Mykola Baranovskyi*<sup>1</sup>,

DSc (Geography), Professor of Department of Geography, Tourism and Sports,  
<sup>1</sup> Mykola Gogol Nizhyn State University, 2 Graftska St., Nizhyn, 16602, Ukraine;

*Denys Hlushko*<sup>1</sup>,

PhD Student of Department of Geography, Tourism and Sports

### ABSTRACT

**Introduction.** Different crops and regions of Ukraine are characterized by unequal dependencies on climate change. This situation creates a demand for scientific research to analyse «climate-agricultural production» dependence at the regional level. Chernihiv region, whose territory is located in two environmental zones, is an ideal testing ground for assessing territorial transformations in agricultural production under the influence of climate change.

**The purpose of article.** The purpose of the study was to identify territorial transformations in agricultural production of Chernihiv region that were formed under the influence of climate change during 2001-2020, using corn and sunflower as an example. Additionally, the impact of climate factors on the yield of the selected crops in the region was assessed.

**Research methods.** The study was based on data on gross harvest and yields of the selected crops, corn and sunflower, in Chernihiv region during 2001-2020. Climate trends were represented by average air temperature and precipitation during the growing season for the same period. Spatial transformations of the region's agricultural production were determined using the territorial concentration index. A number of calculations were carried out to assess the contribution of climatic factors to the dynamics of yields of the selected crops. They included the determination of 1) trend yields; 2) total and agrotechnical variance; 3) the share of the climatic factor in the total variance.

**Main findings.** In 2001-2020, Chernihiv region observed a significant increase in heat supply, the length of the growing season, and the sum of effective temperatures. The climate trends of this period created suitable conditions for expanding of a number of heat-tolerant crops, including corn and sunflower, into the region. The study used them as selected crops to assess territorial transformations in agricultural production of this northern region of Ukraine. The analysis of statistical data showed that the sown area and gross harvest of corn and sunflower increased tenfold in Chernihiv region, and the local agroclimatic zones of their cultivation moved 125-150 km north.

The main producers of corn and sunflower are still the forest-steppe areas of the region. At the same time, its Polissya part currently produces 25 to 30% of the gross harvest of these crops. Due to climate change in the region, the yield of the selected crops has increased significantly, exceeding the national average values by 37-43%. The «migration» of heat-tolerant crops to the region has considerably changed the specialization of agricultural production in this Polissya region. Based on the calculations, it was found that the contribution of the climatic factor to corn yields was maximum in 2001-2010 - 74%. The contribution of climatic trends to sunflower yield of the region was significantly lower - 53-56 % in different periods. Taking into account the results obtained, the study points out the need to develop effective measures for adapting agricultural production in Chernihiv region to climate change.

### Scientific novelty and practical value.

The article describes for the first time the characteristics of territorial transformations in agricultural production of Chernihiv region in the context of climate change and assesses the contribution of the climatic factor to the dynamics of productivity of the selected crops in the region. The practical value of the study is the possibility of using its algorithm to conduct similar studies in other regions of Ukraine. The results of the study are important in the context of substantiating regional measures to adapt agricultural production to climate change.

**Keywords:** climate change, transformation of agricultural production, corn, sunflower, territorial concentration index, trend modelling, Chernihiv region.

### References

1. *Climate change and agriculture in Ukraine: what farmers should know* (2019). Kyiv, 34 [In Ukrainian].
2. *Climate change: consequences and measures of adaptation: analytical report / ed. by S.P. Ivanyut* (2020). K., NISS, 110 [In Ukrainian].
3. Semenova, I. & Polevoy, A. (2020). *Project ed distribution of the warm season droughts over the territory of Ukraine in 2021-2050*. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv national university, series «Geology. Geography. Ecology»*, 53, 169-179 [In Ukrainian] <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-13>.
4. *Fifth National Communication of Ukraine on Climate Change* (2009). Kyiv, 282 [In Ukrainian].
5. Maidanovych, N. (2020). *How climate change can influence the agriculture in Ukraine. The latest technologies in the agroindustrial complex: research and managemen*, 27(41), 162-175 [In Ukrainian].
6. Balabuh, V. O., Odnoletok, L. P. & Kryvoshein O. O. (2017). *Climate change impacts on the winter wheat productivity in Ukraine during vegetation cycle*. *Hidrolohiia, hidrokhimii i hidroekolohiia*, 3 (46), 72-85 [In Ukrainian].
7. Balabukh, V. O. (2019). *The impact of climate change on the formation of corn productivity in the agro-climatic zones of Ukraine*. *Hidrolohiia, hidrokhimii i hidroekolohiia*, 3 (54), 103-104 [In Ukrainian].
8. Thompson, L. M. (1988). *Effects of Changes in Climate and Weather Variability on the Yields of Corn and Soybeans*. *Journal of production agriculture*, 1/1, 20-27.
9. Polevoy, A., Bozhko, L. & Barsukova, E. (2022). *Agroclimatic aspects of sunflower productivity in Odesa region in conditions of climate warming*. *Ecological sciences*, 5(44), 249-254 [In Ukrainian].
10. Yang, B., Wu, S. & Yan, Z. (2022). *Effects of Climate Change on Corn Yields: Spatiotemporal Evidence from Geographically and Temporally Weighted Regression Model*. *International journal of Geo-information*, 11 (8), 433. <https://doi.org/10.3390/ijgi11080433>
11. Kukal, Meetpal S. & Irmak, S. (2018). *Climate-Driven Crop Yield and Yield Variability and Climate Change Impacts on the U.S. Great Plains Agricultural Production*. *Biological Systems Engineering: Papers and Publications*, 524. <https://digitalcommons.unl.edu/biosysengfacpub/524>
12. Lobell, David B., Schlenker, W. & Costa-Robert, J. (2011). *Climate Trends and Global Crop Production Since 1980*. *Science*, 333 (6042), 616-620. <https://doi.org/10.1126/science.1204531>
13. Muller, D., Jungandreas, F., Koch, F. & Schierhorn, F. (2016). *Impact of climate change of wheat production in Ukraine / APD/APR/02/2016*. 41 p. Retrieved from: [https://www.researchgate.net/publication/307569914\\_Impact\\_of\\_climate\\_change\\_on\\_wheat\\_production\\_in\\_Ukraine](https://www.researchgate.net/publication/307569914_Impact_of_climate_change_on_wheat_production_in_Ukraine).
14. Polevoy, A., T. Kostiukievych, T., Tolmachova, A. & Zhygailo, O. (2021). *The impact of climatic changes on forming the corn productivity in the western forest-steppe of Ukraine*. *Ukrainian Black Sea region agrarian science*, 1, 29-36. [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-1\(109\)-4](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-1(109)-4) [In Ukrainian].
15. Baranovsky, M. O. (2022). *Territorial shifts in agricultural production in the regions of Ukrainian Polissia in the conditions of climatic changes. Socio-geographical factors of regional development / Ed. by Yu.M. Barsky*. Lutsk, 19-21 [In Ukrainian].
16. Baranovsky, M. O. *Transformational processes in agrarian production of Chernigiv region* (2012). *Ekonomichna ta sotsialna geografiya*, 65, 89-97.
17. Marushchinets, A. (2015). *Sectorial and territorial transformation of the Kyiv region Dnieper river basin agrarian culture*. *Ukrainian geographical journal*, 42-49 [In Ukrainian].
18. Maruschynets, A. V. & Baranovsky, M.O. (2012). *Territorial transformations in agrarian sector of capital district. The scientific issues of Ternopil Volodymyr Hnatiuk national pedagogical university. Series: Geography*, 1, 91-97 [In Ukrainian].
19. Niemets, L., Lohvynova, M., Kandyba, Y., Klyuchko, L., & Kraynukov, O. (2018). *Transformation of the agrarian sphere of Ukraine: approaches to study*. *Human geography journal*, 24, 31-38. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2018-24-03>.
20. *Agriculture of Chernihiv region for 2000-2020. Statistical publication* (2021). Chernihiv, 89 [In Ukrainian].
21. Romashenko, M. I., Husyev, Yu. V., Shatkovskiy, A. P., Saidak, R. V., Yatsyuk, M. V., Shevchenko, A. M. & Matiash, T. V. (2020). *Impact of climate change on water resources and agricultural production. Land reclamation and water management*, 1, 5-22 [In Ukrainian]. <https://doi.org/10.31073/mivg202001-235>
22. *Agroclimatic guide for the territory of Ukraine (average regional indicators)* (2011). Ed. Adamenko T., Kulbida M. & Prokopenko A. K.-Podilskyi, 108 [In Ukrainian].
23. *Department of Agro-Industrial Development of the Chernihiv Regional State Administration*. <https://apk.cg.gov.ua/index.php?id=384735&tp=0>

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work

Received 26 January 2023

Accepted 15 March 2023

## Періодизація формування садово-паркових ландшафтів Центральної Європи

Григорій Денисик<sup>1</sup>

д. геогр. н., професор, завідувач кафедри географії

<sup>1</sup> Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського,  
вул. Острозького, 32, Вінниця, 21000, Україна,  
e-mail: [grygden@ukr.net](mailto:grygden@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-0941-9217>;

Ірина Кравцова<sup>2</sup>

к. геогр. н., доцент кафедри географії та методики її навчання

<sup>2</sup> Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини,  
вул. Садова, 2, Умань, Черкаська обл., 20300, Україна,  
e-mail: [irinakravzova@gmail.com](mailto:irinakravzova@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-3431-473X>

Розглянута та обґрунтована періодизація формування та функціонування садово-паркових ландшафтів Центральної Європи; зазначено, що садово-паркові ландшафти – це «розумна» група антропогенних ландшафтів, в якій конструктивно поєднуються природні компоненти із компонентами, утвореними в процесі господарської, мистецької діяльності людини. Мета: розробити та обґрунтувати періодизацію формування садово-паркових ландшафтів Центральної Європи для їх детального пізнання та раціональної розбудови. Виконана періодизація ґрунтується на двох основних принципах дослідження: історичному та на принципі природно-антропогенного сумісництва. Були використані загальнонаукові та конкретнонаукові методи наукового пошуку. В історії формування та функціонування садово-паркових ландшафтів Центральної Європи виокремлено та обґрунтовано такі періоди: сакральний; регулярний, в структурі якого є такі напрями: селитебний, сакральнорегулярний та власне регулярний; пейзажний із романтичним і реалістичним напрямками; конструктивістський та еkleктичний. Кожний із цих періодів характеризується домінуванням в структурі садово-паркового ландшафту натурального чи антропогенного компонента, регулярного чи пейзажного стилів організації садово-паркового ландшафту, має неоднаковий ступінь трансформації натуральної основи, певне функціональне навантаження. Ландшафтну структуру формують відповідні типи і підтипи садово-паркових ландшафтів, які змінюються відповідно до виокремлених періодів. Показана зміна генетичної структури садово-паркових ландшафтів у кожному з обґрунтованих періодів у залежності від напрямів формування та розвитку. Садово-паркові ландшафти Центральної Європи розбудовували в межах річищного, заплавного, надзаплавно-терасового, схилового та вододільного типів місцевостей, ландшафтну структуру яких формували відповідні типи і підтипи антропогенних ландшафтних комплексів і споруд, представлених парковими насадженнями, регулярними садами, ставками, каналами, доріжжками, сходами, палацом, господарськими спорудами, скульптурою, садовими меблями тощо. Показано, що садово-паркові ландшафти виконували різні функції, а саме: господарську, естетичну, сакральну, меморіальну, лікувальну, є місцями короткотривалого відпочинку та матеріальним виявом влади і духовності господарів.

**Ключові слова:** антропогенний ландшафт; садово-парковий ландшафт; формування; періоди; ландшафтна структура; функції; раціональне природокористування.

**Як цитувати:** Денисик Григорій. Періодизація формування садово-паркових ландшафтів Центральної Європи / Григорій Денисик, Ірина Кравцова // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 58. – С. 143-158. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-12>

**In cites:** Denysyk Hrygorii, Kravtsova Iryna (2023). Periodization of the formation of garden and park landscapes of the Central Europe. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (58), 143-158. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-12> [in Ukrainian]

**Постановка проблеми.** Упродовж своєї діяльності людина прагнула гармонізувати територію, що її оточувала. Навколишнє середовище мало виконувати не лише утилітарні функції, але й естетичні, задовольняти потреби людини у спогляданні «прекрасного». Це прагнення призвело до формування та розвитку особливої групи антропогенних ландшафтів – садово-паркових. Для їхньої організації обирали найкрасивіші місця, збирали багаті колекції плодкових, декоративних, красивоквітучих, лікарських рослин. Це були сакральні місця, місця для відпочинку, демонстрації могутності та величчя засновників або місця-символи із закодованою інформацією, оригінальним смисловим навантаженням. Виконання цих функцій,

які мали і мають садово-паркові ландшафти, забезпечується через конструктивне поєднання природних компонентів і елементів та відповідних типів антропогенних ландшафтів і ландшафтно-технічних систем. Садово-паркові ландшафти – це приклад конструктивної організації антропогенного середовища, правильного використання природних умов і ресурсів. Тому дослідження ландшафтної структури садово-паркових ландшафтів, історії формування та функціонування як відповідної групи антропогенних ландшафтів є актуальною науковою проблемою.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Садово-паркові ландшафти Центральної Європи є об'єктами детального вивчення вітчизняних і

зарубіжних вчених, які працюють за такими науковими напрямками: ботаніка, ландшафтна архітектура, історія, культурологія, садово-паркове мистецтво, туризм тощо. У їх працях звернено увагу на розробку питань щодо видового складу рослинності садів і парків (Косенко, 2001, 2003; Patrick Bove, Nicolas Sapieha 1991; Hans-Dieter Warda, 2018), досвіду інтродукції та акліматизації рослин у відповідних умовах, історію заснування та розвитку садів і парків (Білоус, 2001; Жирнов, 2002; Кучерявий, 2005), історичні персоналії, семантику історичних садів і парків (Галкін, Гурковська, Чернецький, 2007; Косенко, 2003) тощо.

Сьогодні українські географи приділяють особливу увагу питанням ландшафтного планування територій різного функціонального призначення (Максименко, 2016), рекреаційної придатності зелених насаджень (Арїон, Купач, Дем'яненко, 2016), проблематиці управління природокористуванням (Сонько, Максименко, Пересадько, Суханова, Василенко, Нікітіна, 2018), оцінці ролі та значення доступності зелених зон як основи формування комфортного міського та заміського середовища (Шищенко, Гавриленко, Циганок, 2021; Гродзинський, Корогода, Гродзинська, Свідзінська, 2023), ландшафтно-екологічним дослідженням та картографічним забезпеченням національних природних парків та інших об'єктів природно-заповідного фонду України (Гостюк, Мельник, 2018; Опара, Бузіна, Хайнус, 2019; Гудзевич, Нікітченко, Матвійчук, Коробкова, 2021).

З погляду антропогенного ландшафтознавства, садово-паркові ландшафти є цікавими та перспективними об'єктами наукового дослідження і власне розуміння конструктивної організації сучасної антропосфери. Їх обґрунтовано як відповідний тип антропогенних ландшафтів в структурі селитебного класу антропогенних ландшафтів. Зокрема, у нарисах з антропогенного ландшафтознавства зазначено, що це унікальні історико-географічні об'єкти ландшафтно-архітектури із урізноманітненим рослинним світом, видовими ділянками, природними водними системами як антропогенного, так і натурального походження [7].

М.Д. Гродзинський, О.В. Савицька розглядають ландшафт як об'єкт естетичного сприйняття, акцентуючи увагу на фізіономічних, перцепційно-когнітивних якостях ландшафту, формуванні образу території, ландшафтних смаках та їх змінах у часі. В сучасному ландшафтознавстві розвинений такий науковий напрям як естетика ландшафту. Краса в ландшафті досягається досконалим виразом різних ознак, а саме: симетрією для ландшафтів класичних французьких садів і асиметрією англійських ландшафтних парків; величністю гірських просторів, простотою і невимішеністю натуральних ландшафтів й складніс-

тю урбанізованих. У зв'язку з цим розрізняють такі типи краси ландшафту: природну, антропогенну, техногенного походження та штучну (Гродзинський, Савицька, 2005). Садово-паркові ландшафти демонструють саме антропогенну, або мистецьку красу – вторинну, створену людиною, яка формує новий або копіює інший ландшафт, керуючись естетичними смаками, уявленнями про прекрасне митця чи власника. В.М. Петлін розкриває ідею формування культурних ландшафтів, до яких відносить природні парки, власне парки, сади, різні об'єкти озеленення. Ці географічні об'єкти є прикладами різних функціональних груп садово-паркових ландшафтів (Петлін, 2021).

У наукових працях зарубіжних географів садово-паркові ландшафти розглядаються як об'єкти культурної спадщини, що формують просторову конфігурацію сучасного міського ландшафту (Kononowicz, W., Gryniwicz-Balinska, K., 2016). Порушуються питання їхнього збереження, формування конструктивного урбанізованого середовища; піднімається проблематика можливостей співіснування старовинних садів і парків та сучасних міст для досягнення їхнього сталого розвитку, розробляються індикатори морфології ландшафтів (Chen, G., Shi, JY., Xia, YP., Furuya, K., 2020). З точки зору культурної географії сади і парки досліджуються як символічні заяви, що виражають соціальні цінності критичних періодів в історії розвитку європейських міст, коли власність і соціальні відносини перебували на етапі переходу від пізнього феодального до раннього капіталістичного режиму. Площі та прилеглі до них житлові квартали були певними проявами прагнення до класової сегрегації, домашньої ізоляції та приватизованого відкритого простору, що згодом сформувало основу життя в передмістях. Вони також стали основною ареною для розігрування напруги між класами щодо доступу до відкритого простору та вплинули на розвиток ранніх громадських парків (Lawtence, HW., 1993).

На сьогодні залишається невирішеною проблема періодизації формування та функціонування садово-паркових ландшафтів Центральної Європи як об'єктів наукового пошуку сучасного антропогенного ландшафтознавства; встановлення просторово-часових закономірностей розвитку цих антропогенних ландшафтів; визначення фонових ознак.

**Мета статті:** розробити та обґрунтувати періодизацію формування садово-паркових ландшафтів Центральної Європи для їх детального пізнання та раціональної розбудови.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані такі дослідницькі завдання: обґрунту-



вати та виокремити періоди формування та функціонування садово-паркових ландшафтів Центральної Європи; встановити основні риси ландшафтно-генетичної структури садово-паркових ландшафтів відповідних часових періодів; дослідити, на основі яких натуральних типів місцевостей вони були організовані; простежити функціонально-часові трансформації.

#### Виклад основного матеріалу дослідження.

З точки зору сучасного антропогенного ландшафтознавства Центральна Європа є своєрідним природно-етнокультурним утворенням. Особливості природних умов цієї території, історія заселення та антропогенного перетворення – все це відбивається у фізіономічності різних класів антропогенних ландшафтів території дослідження. З погляду фізичної географії Центральна Європа як природно-географічний регіон обґрунтовується за ознаками геолого-геоморфологічної будови. Охоплює центральні території Європи між високогір'ям Західної та Південної Європи, середньогір'ям Північної і низькогір'ям Східної Європи, обмежуючись «лесовою формацією». Центральну Європу формують Середньоевропейська рівнина, Карпати, Дунайські рівнини і прилеглі до Середньоевропейської рівнини острови Північного та Балтійського морів (Фрізькі, Датські, Борнхольм, Рюген, Моондзунські тощо). Центральна Європа відмежовується від Фенноскандії такими прото-

ками Балтійського моря, а саме: Скагеррак, Каттегат, Ересунн, Хамрарне; Фінською затокою, долинами річок Нева та Свір; від Британських островів – Північним морем. На півдні межею території дослідження є східні передгір'я Альп, долини річок Морава, Сава, Дунай та акваторії Чорного й Азовського морів. Східну межу фізико-географи проводять по західних відрогах таких височин, а саме: Вепсовська, Тихвинська, Валдайська, Середньоруська, Смоленсько-Московська, Донське пасмо та річці Дон (Гудзевич, 2005).

Садово-паркові ландшафти – це антропогенні ландшафти, які утворені в результаті діяльності людини, спрямованої на задоволення матеріальних та духовних потреб. Це гармонійна, конструктивно-суплетивна ландшафтна система, в якій поєднуються природні компоненти та малі архітектурні форми. Ці ландшафтні комплекси насичені різноманітними культурними артефактами, мають суттєвий асоціативний, історичний аспекти і є *так званими ландшафтно-культурними ідентифікаторами відповідних регіонів*. Вони несуть в собі інформацію про «звичайні» та «унікальні» особливості природних умов регіону. У результаті аналізу історії формування та функціонування, ландшафтно-структури, прийомів організації садово-паркових ландшафтів виокремлено та обґрунтовано п'ять періодів їхнього формування та розвитку (рис. 1).



Рис. 1. Періоди формування садово-паркових ландшафтів Центральної Європи (побудовано авторами) /

Fig. 1. Periods of formation of garden and park landscapes of Central Europe (constructed by the authors)

**Сакральний період** формування садово-паркових ландшафтів охоплює значний проміжок часу. Відлік зародження та початкового розвитку садово-паркових ландшафтів варто починати від появи людини розумної на території сучасної Центральної Європи і до IX століття нашої ери. Характерними ознаками цього етапу є (табл. 1): відсутність чітко визначеної дати заснування перших садово-паркових ландшафтів; обрядовий характер їхнього функціонування; переважання у ландшафтній структурі природних компонентів та елементів, які поєднувалися із відповідними типами антропогенних ландшафтів, що мали рекреаційно-дигресійний генезис; натуральність;

аборигенний склад рослинного та тваринного компонентів. Ландшафтну структуру садово-паркових ландшафтів цього періоду формують натуральні фації, урочища, місцевості відповідних видів натуральних ландшафтів Центральної Європи. Як зазначає Н.О. Нехуженко, витоками сучасних історико-культурних ландшафтів загалом, і садово-паркових зокрема, було поклоніння певним об'єктам природи – джерелам, озерам, березовим гаєм та дібровам тощо. Навколо них виникали особливі місця, призначені для ритуальних дій та відправлення культових свят. Такі святилища разом із прилеглими до них територіями були найціннішим досвідом створення цілеспря-

мовано спланованого, підпорядкованого певній ідеї та художньо організованого ландшафту (Нехуженко, 2004). Зважаючи на високий ступінь антропогенної трансформації ландшафтно-структури Центральної Європи, прикладів садово-паркових ландшафтів сакрального періоду на сучасному етапі дослідження цієї групи антропогенних

ландшафтів, не виявлено. Припускаємо, що перші монастирські сади Центральної Європи були організовані на місці сакральних ландшафтів. Виконані дослідження дозволяють прослідкувати тенденцію формування та подальшого розвитку садово-паркових ландшафтів, коли останні виникали із класів сакральних і тафальних ландшафтів.

Таблиця 1 / Table 1

Ознаки садово-паркових ландшафтів Центральної Європи сакрального періоду  
(побудовано авторами) /

Signs of garden and park landscapes of Central Europe of the sacred period (constructed by the authors)

Хронологічні межі	Натуральні типи місцевостей	Генетична група ландшафтів	Функції садово-паркових ландшафтів
від появи людини розумної до IX ст. н.е.	річищний	рекреаційно-дигресійні ландшафти	обрядова
	заплавний		естетична
	надзаплавно-терасовий		духовна
	вододільний		

**Регулярний період** розвитку садово-паркових ландшафтів Центральної Європи охоплює часовий проміжок з IX століття н.е. до середини XVIII століття (табл. 2). За особливостями формування цей період складний. Садово-паркові ландшафти змінюють своє функціональне навантаження: воно розширюється. Тепер садово-паркові ландшафти не лише обрядові місця і формують елементи антропогенної ландшафтно-будови сакрального класу антропогенних ландшафтів. Це антропогенні ландшафтні системи селитебних, белігеративних, сільськогосподарських, водних антропогенних і тафальних класів антропогенних ландшафтів. У генетичному відношенні у структурі садово-паркових ландшафтів поєднуються орні, підсічні, пасквально-дигресійні, рекреаційно-дигресійні, пірогенні та техногенні ландшафти. Формування генетичної групи техногенних ландшафтів у структурі садово-паркових ландшафтів вказує на кардинальну зміну ландшафтно-структури вихідної території, формування власне антропогенних ландшафтів і ландшафтно-

технічних систем. Садово-парковий ландшафт цього періоду має правильну геометричну форму, вирівняну фізичну поверхню; ландшафтну структуру формують відповідні типи антропогенних ландшафтів (малоповерховий палацовий, малоповерховий господарський, парковий та партерний типи садово-паркового ландшафту); будуються водні антропогенні ландшафти (канали, фонтани, водоспади), прокладається система дорожніх ландшафтів (дороги, доріжки, сходи). Абсолютна висота поверхневих форм садово-паркового ландшафту може залишатися натуральною або змінюватися за рахунок формування ландшафтно-технічних систем, наприклад формування садово-паркового ландшафту по типу висячих садів Семіраміди, «верхових садів» або садів типу зіккурат. Садово-паркові ландшафти цього періоду формування закладаються або на натуральних ландшафтах, або нашаровуються на антропогенну ландшафтну структуру сакральних антропогенних ландшафтів.

У структурі регулярного періоду формування

Таблиця 2 / Table 2

Ознаки садово-паркових ландшафтів Центральної Європи регулярного періоду  
(побудовано авторами) /

Signs of garden and park landscapes of Central Europe of the regular period (constructed by the authors)

Хронологічні межі	Натуральні типи місцевостей	Генетична група ландшафтів	Функції	
IX ст. – друга половина XVIII ст.	річищний	орні	естетична	
	заплавний	підсічні	духовна	
	надзаплавно-терасовий	пірогенні	обрядова	
	схиловий	пасквально-дигресійні	утилітарна	
	вододільний	рекреаційно-дигресійні	техногенні	фортифікаційна
				символічна

садово-паркових ландшафтів Центральної Європи варто розрізняти такі напрями:

- *селитебний*. Пов'язаний із часовим проміжком, коли садово-парковий ландшафт формувався як відповідний тип ландшафту в ландшафтній структурі селитебного класу антропогенних ландшафтів (міського і сільського підкласів). Характерні ознаки: правильна геометрична форма; вирівняна поверхня; полігенетичність; основне

призначення утилітарне із естетичними елементами; садово-парковий тип антропогенних ландшафтів в ландшафтній структурі селитебного класу антропогенних ландшафтів. Зразками селитебного напрямку формування садово-паркових ландшафтів у межах Центральної Європи є замкові сади, Краківська оболонь, палацово-садовий комплекс у Підгірцях (1635–1640 рр., Україна), Єзуїтський сад (парк ім. І. Франка, Львів, Україна);



Рис. 2. Підгорецький замок (Україна). Вид на замок та парк у XVII ст. [22] /  
Fig. 2. Pidhoretsky Castle (Ukraine). View of the castle and park in the 17th century [22]

- *сакрально-регулярний*. Формування садово-паркових ландшафтів пов'язаний із роллю монастирів у розвитку середньовічного садівництва і, як наслідок, організацією садово-паркових ландшафтів типу монастирських садів. Характерні ознаки садово-паркових ландшафтів цього періоду: правильна геометрична форма (чотирикутник), садово-парковий ландшафт – тип антропогенних ландшафтів у ландшафтній структурі сакральнотафальних ландшафтів Центральної Європи, дорожні ландшафти проходять по периметру садово-паркового ландшафту і перетинаються по діагоналі, аборигенний та інтродукований рослинний компонент садово-паркового ландшафту; аборигенний, збіднений діяльністю людини, тваринний компонент. Варто зазначити, що ключовим композиційним акцентом садово-паркових ландшафтів сакральнорегулярного напрямку був колодязь, фонтан, красиве дерево чи квітучий кущ. До таких відносяться садово-паркові ландшафти, а саме: монастирські сади східної Галичини, сади при монастирях у Києві, Чернігові, Новгороді Сіверському, Путивлі;

- *власне регулярний*. Охоплює хронологічні межі XV–XVIII століття. Характерні ознаки садово-паркових ландшафтів цього напрямку: правильні геометричні форми, великі площі, регулярна горизонтальна і складна вертикальна струк-

тура садово-паркових ландшафтів, їхня ярусність; поєднання різних генетичних груп антропогенних ландшафтів: орних, підсічних, рекреаційно-дигресійних і техногенних; ландшафтну структуру формують відповідні типи антропогенних ландшафтів (малоповерховий палацовий, малоповерховий господарський; парковий, партерний типи садово-паркового ландшафту). Власне регулярний напрям чітко прослідковується в таких парках: палац Браницьких (Підляський Версаль) (м. Білосток, Підляське воєводство, Польща), сад у Висоцьку (1674–1696 рр., Польща), сад у Вілахові (резиденція короля Яна Собеського, 1677–1694 рр., Польща), сад Малої Весі (1783–1786 рр., Польща), сад в Пулаві (Польща), палацово-садовий комплекс в Бялистоку (Польський Версаль) гетьмана Яна Браніцького (1728–1758 рр., Польща), сад резиденції Міхала Естергази (Угорський Версаль) (Фертода (Естергаза), 1764–1766 рр., Угорщина), палацово-садовий комплекс у Кристинополі (1756–1760 рр., Червоноград, Україна), садово-парковий ландшафт в Мурованому (родина Мнішків, Україна), палацово-парковий комплекс у Жовкві (Львівщина, Україна), сад Грассалковичів (м. Братислава, Словаччина).

Призначення цих садово-паркових ландшафтів було художньо-естетичним; їх використовували для маскарадів, театральних вистав, дипло-



Рис. 3. Садово-парковий ландшафт палацу Браницьких у м. Білосток (Польща) [14] / Fig. 3. Garden and park landscape of the Branicki Palace in Białystok (Poland) [14]



Рис. 4. План Печерського парку 1862 р. [21] / Fig. 4. Plan of the Pechersk Park in 1862 [21]

матичних зустрічей, прийомів; вони були музеями скульптури, рідкісних рослин. Більшість науковців зазначають, що до середини XVII століття власниками садів і парків були короновані особи, члени королівських / царських родин, вищі державні діячі. Садово-паркові ландшафти власне регулярного напрямку регулярного періоду їхнього формування та функціонування символізували владу, багатство, впливовість та політичну «вагу» (Білоус, 2001; Жирнов, 2002).

**Пейзажний період** розбудови садово-паркових ландшафтів охоплює кінець XVIII – початок

XX століття. Характерні ознаки (табл. 3): пейзажний стиль організації території, максимальне використання природних умов території, у межах якої організовували садово-паркові ландшафти; поліфункціональність; поєднання різних генетичних груп антропогенних ландшафтів: орних, підсічних, пірогенних, пасквально-дигресійних, рекреаційно-дигресійних та техногенних; ландшафтну структуру утворюють природні ландшафтні елементи та власне антропогенні ландшафти й ландшафтно-технічні системи; вторинність у організації; антропогенну ландшафтну структуру

формують малоповерховий палацовий, малоповерховий господарський, парковий типи садово-паркового ландшафту тощо; насиченість скульптурою, садовими меблями, смислове навантаження; аборигенний та інтродукований рослинний і тваринний компоненти садово-паркового ландшафту. У структурі цього періоду варто виокремити такі напрями:

- *романтичний*. Формування садово-паркових ландшафтів має такі хронологічні межі: кінець XVIII – початок XIX століття. Садово-паркові ландшафти організовують при палацах, у міських і замських панських маєтках. Характерні ознаки: відмова від регулярного стилю планування території та утвердження пейзажного; звернення до античної епохи; зміцнення ідеї «повернення до природи», до простоти; відмова від ненатуральності, надмірної помпезності, складності. Основна ідея пейзажних парків – наслідування природи: вигнуті алеї, зелені галявини, густі масиви лісів, мальовничі групи дерев та кущів, зберігаються пагорби та долини, стрімчаки та ущелини. Садово-паркові ландшафти романтичного напрямку мали зливатися з прилеглими ландшафтами, їхні межі стираються, стають непомітними, майже зникає огорожа, яку замінив рів, вал (садовий прийом «ах-ах»). Садово-парковий ландшафт був наповнений античними спорудами, героїко-романтичною скульптурою, яка пов'язана з міфами, легендами та місцевими переказами. Палац – абсолютна домінанта садово-паркового ландшафту, що втілювала ідею раціональності, порядку та освіти. До нього примикали флігеля. Продовженням палацу був регулярний сад, за яким розміщувався пейзажний парк.

Найхарактернішою ознакою садово-паркових ландшафтів Центральної Європи цього періоду є багатозначність, використання пейзажних, скульптурних, архітектурних символів, їхня романтична спрямованість. Особливими засобами садово-паркового мистецтва романтичні пейзажі «розповідали» про богів і героїв давнини, «зображали» природу далеких екзотичних країн, акцентували увагу на вагомих історичних подіях, прагнули вразити драматичністю. Садово-парковий ландшафт сприймався в контексті загальнокультурних інтересів часу, в змістовому наповненні літературних і художніх асоціацій. Він мав «свою філософію», був своєрідним інструментом вираження індивідуального світогляду та світосприйняття. Наприклад, в ландшафтній структурі садово-паркового ландшафту «Софіївки» (м. Умань Черкаська область) є такі смислові об'єкти: «античні» – грот Венери, грот Діани, грот Сцілли, грот Циклопа Поліфеми, павільйон Флори, підземна річка Ахеронт, підземна річка Флегенон, Тарпейська скеля, статуя Еврипіда, тераса Муз тощо;

«географічні» – Амстердамський шлюз, Венеціанський міст, Єлисейські поля, Кавказька гірка, Китайська альтанка тощо; ландшафтно-екзотичні – Великий водоспад, галявина Дубинка, Мертве озеро (Ахеронтійське озеро), Левовий, або Громовий грот; історичні – грот Локетек, камінь Смерті, могила Гертруди Комаровської, усічена колона, каскад «Три сльози», Чортів місток та інші (Білоус, 2001; Косенко, 2001; Косенко, 2003). У ландшафтній структурі садово-паркового ландшафту «Аркадія» (с. Аркадія (*Arcadia*) гміна Неборув Ловицький повіт Лодзінське воєводство) – це Акведук, амфітеатр, будинок Муграбі, готичний дім, грот Сібілли, кам'яна арка, храм Діани та цирк (Lichanski Jakub Z., 2009; Curl James Stevens, 1995). Гроти, індійські курені, каскади, китайські альтанки, містки, пасіка на острові, штучні руїни, хати, саркофаг Ж.Ж. Руссо – це асоціативні елементи ландшафтної структури садово-паркового ландшафту у Мокотові (Польща). Садово-паркового ландшафту Лазенкі Королівські (Польща) – білий будинок (*Biały Domek*), водозбір, Мишлевицький палац (*Pałac Myślewicki*), оранжереї, палац на воді, або Лазенковський палац, римський театр.

До садово-паркових ландшафтів Центральної Європи романтичного напрямку пейзажного періоду належать такі об'єкти: садово-парковий ландшафт «Хороше» («Ларошель», «Лароше», «Ля рош») (м. Тульчин, Вінницька обл., Україна) (1793 р., архітектор Пьер Ленро), садово-парковий ландшафт «Олександрія» (м. Біла Церква, Київська обл., Україна) (архітектор Мюффо); садово-парковий ландшафт «Софіївка» (м. Умань, Черкаська обл., Україна) (1796 р., архітектор Людвіг Метцель); в Польщі – «Аркадія» (с. Аркадія (*Arcadia*) гміна Неборув Ловицький повіт Лодзінське воєводство), садово-парковий ландшафт у Мокотові (Мокотов, власниця Ізабелла Любомирська, 1774 р.), Лазенкі Королівські (*Park Łazienkowski* або *Łazienki Królewskie*) (м. Варшава, Польща);

- *реалістичний напрям* формування садово-паркових ландшафтів має такі хронологічні межі: середина XIX століття – початок XX століття. Характерні ознаки: садово-паркові ландшафти були організовані як дендрарії, на перший план виступала майстерність вирощування різноманітних рослин; об'єкти організовували відповідно до природних особливостей місцевості, були схожі на дійсно наявні ландшафти, типові для цього регіону, максимальна простота та натуральність, їхня художня виразність була представлена в рослинних угрупованнях, у пропорціях відкритих і закритих просторів; фрагментарність і певна здрибненість садово-паркового ландшафту; захоплення рослинами, введення екзотів, поєднання значної кількості рідкісних видів рослин, захоп-



Рис. 5. План садово-паркового ландшафту Лазенки Королівські (м. Варшава, Польща) [34, 36] / Fig. 5. Garden and park landscape plan by Lazienki Koroliwski (Warsaw, Poland) [34, 36]

лення формою крони, листка, квітки. У 60-80-х роках XIX століття у Центральній Європі більш помітною стала тенденція до заміни декоративних парків при маєтках так званими економічними садами, які виконували утилітарні функції, однак були насичені й декоративними елементами. В Україні це означало повернення до давньоруської традиції поєднувати утилітарні функції саду-городу з естетичними. Основну площу такого садово-паркового ландшафту займали різноманітні плодові насадження. Кілька прогулян-

кових алей перетинали ділянку під прямим кутом. Вони були сформовані з таких декоративних порід – липи, дубу, модрина, сосни тощо. Часто за нею йшла прогулянкові доріжка, на підвищенні була альтанка (Нехуженко, 2004). Серед характерних для цього напрямку такі парки: Стрийський парк (м. Львів, Україна), Личаківський парк (м. Львів, Україна), ботанічний сад у Харкові (Україна), Асканія Нова (Україна), ботанічний сад ім. Анастасії Фату (м. Ясси, Румунія), ботанічний сад Познані (Польща), парк Кінського (м. Прага, Чехія).

Таблиця 3 / Table 3

Ознаки садово-паркових ландшафтів Центральної Європи пейзажного періоду (побудовано авторами) / Signs of garden and park landscapes of Central Europe of the landscape period (constructed by the authors)

Хронологічні межі	Натуральні типи місцевостей	Генетична група ландшафтів	Функції
Кінець XVIII ст. – початок XX ст.	річищний	орні	естетична
	заплавний	підсічні	духовна
	надзаплавно-терасовий	пірогенні	обрядова
	схилловий	пасквально-дигресійні	утилітарна
	вододільний	рекреаційно-дигресійні	символічна
		техногенні	асоціативна

**Конструктивіський період** формування садово-паркових ландшафтів має такі хронологічні межі: 20-30-ті роки XX століття – 90-ті роки XX століття. У XX столітті в зв'язку з індустріалізацією виробництва та загальною тенденцією розростання міст і збільшення кількості міського населення був поширений погляд на садово-паркові ландшафти як на озеленені суспільні території, призначені для щоденного та короткотривалого відпочинку населення, як на ефективну рекреаційну систему. Л.С. Залеська зазначає, що паркове мистецтво втратило свого замовника в особі

дворянства і королівського двору. Воно стає дрібнішим і часто перетворюється у аматорське садівництво, що розвивалося за рахунок досягнень рослинництва, інтродукції та акліматизації рослин [12]. Століття капіталізму позбулося всього зайвого. Кривизна доріжки стала більш плавною, група дерев – більш щільною. З'являються «ділові дороги», які використовуються для того, щоб перетинати парк або сад найкоротшим шляхом, або «поясні дороги», які дозволяють його обійти по периметру. Вводяться лише найнеобхідніші споруди. Паркові композиції стають більш суво-

рими, практичними. У цей період у ландшафтній архітектурі з'являються різні типи і види озеленення, які представляють садово-паркові ландшафти ХХ століття. Це різноманітні парки (парки культури та відпочинку, спортивні парки, дитячі парки, парки-виставки), науково-просвітницькі парки (етнографічні парки, сади скульптури, сади монокультур, ботанічні сади, зоологічні парки), меморіальні парки, сквери, бульвари, лугопарки, набережні тощо (Білоус, 2001; Кучерявий, 2005). Характерною особливістю садово-паркових ландшафтів Центральної Європи у ХХ столітті є розвиток нових типів парків: культури та відпочинку, дитячих, спортивних, історичних, парків-виставок, зелених зон відпочинку, лісопарків тощо. Створюється багато об'єктів, які мають природоохоронну мету: заповідники, національні природні парки тощо. Для цього періоду визначальними є такі принципи: парк кожному селу, місту;

комплексність – збільшення паркових просторів як активних елементів архітектурно-планувальної структури міста; чіткий функціональний поділ території на зони; збереження та використання пам'яток садово-паркового мистецтва; застосування кращих прийомів, напрацьованих попередніми поколіннями паркобудівників. Основними тенденціями розвитку садово-паркових ландшафтів цього періоду є зростання їхньої ролі як активного містобудівельного елемента, який виконує екологічні, виховні, естетичні та інші функції (табл. 4); зусилля ландшафтних архітекторів все більше були спрямовані на створення цілісних систем зелених зон міста; при будівництві враховувалися характерні особливості вихідного ландшафту, сучасні досягнення науки і техніки, розглядалися можливі режими експлуатації (Жирнов, 2002).

До садово-паркових ландшафтів цього пері-

Таблиця 4 / Table 4

Ознаки садово-паркових ландшафтів Центральної Європи конструктивістського періоду  
(побудовано авторами) /  
Signs of garden and park landscapes of Central Europe of the constructivist period  
(constructed by the authors)

Хронологічні межі	Натуральні типи місцевостей	Генетична група ландшафтів	Функції
20-30-ті роки ХХ ст. – 90-ті роки ХХ ст.	річищний	орні	рекреаційна
	заплавний	підсічні	екологічна
	надзаплавно-терасовий	пірогенні	озеленення населених територій
	схилловий	пасквально-дигресійні	виховна
	вододільний	рекреаційно-дигресійні техногенні	природоохоронна

оду належать: Дівока Шарка (м. Прага, Чехія), національний парк «Рила» (Болгарія), Сині Каміні (Болгарія), національний парк «Центральний Балкан» (Болгарія), парк Сагулай під Бухарестом (Румунія), Латвійський етнографічний музей під відкритим небом (*Latvijas Brīvdabas Muzejs*) (м. Рига, Латвія), музей народної архітектури та побуту в Кисві (Україна), музей народної архітектури та побуту Середньої Наддніпрянщини (м. Переяслав, Україна), музей народної архітектури та побуту у Львові (Україна), національний парк «Хортобада» (Угорщина), національний парк «Мала Куманія», або «Кишкуншаг» (Угорщина), Бюккський національний парк (Угорщина), Крконошський національний парк (Чехія), національний парк Шумава (Чехія).

**Еклектичний період** формування садово-паркових ландшафтів Центральної Європи – це проміжок часу на зламі століть (кінець ХХ ст. – початок ХХІ ст.). Якісні та кількісні зміни на політичній карті Центральної Європи у 90-х роках ХХ століття, соціальна стратифікація суспільства

у ХХІ столітті – все це призвело до формування такого поняття як «особистий ландшафт». Цей феномен має значний вплив на організацію садово-паркових ландшафтів саме цього періоду і визначає фізіономічність об'єктів дослідження.

Колективна культура знаходить своє вираження у індивідуальній культурі, яка узгоджується із прийнятими у соціумі правилами та нормами. Упорядкування території, що перебуває у власності конкретної особи, є своєрідним матеріальним вираженням індивідуального світосприйняття та світогляду. М.Д. Гродзинський наводить яскравий приклад формування садово-паркових ландшафтів у сучасних умовах. Ця думка є дуже вдалим і інформативним розумінням антропогенно-географічних особливостей організації сучасних садово-паркових ландшафтів. Учений зауважує, що котеджна забудова навколо великих міст України є сучасним українським феноменом, адже вона виконується заможними людьми. Характерними ознаками є максимальна індивідуальність та неузгодженість, відсутність загального



Рис. 6. План музею архітектури та побуту Середньої Наддніпрянщини (м. Переяслав, Україна) [19] / Fig. 6. Plan of the Museum of Architecture and Life of the Central Dnipro region (Pereyaslav, Ukraine) [19]

Таблиця 5 / Table 5

Ознаки садово-паркових ландшафтів Центральної Європи еkleктичного періоду (побудовано авторами) /

Signs of garden and park landscapes of Central Europe of the eclectic period (constructed by the authors)

Хронологічні межі	Натуральні типи місцевостей	Генетична група ландшафтів	Функції
Кінець XX ст. – початок XXI ст.	річищний	орні	естетична
	заплавний	підсічні	екологічна
	надзаплавно-терасовий	пірогенні	утилітарна
	схиловий	пасквально-дигресійні	природоохоронна
	вододільний	рекреаційно-дигресійні	просвітницька
		техногенні	

планування такої території (планування є лише всередині приватного комплексу), прагнення продемонструвати своє багатство, еkleктичність у поєднанні ландшафтних стилів: японський сад, англійський парк, сади у стилі бароко, футуристичні ландшафти, китайські пагоди та псевдоготичні замки і все це за високим парканом... «Власник кожної ділянки має свою культуру, мало не кожен хоче її «показати» найяскравіше і виразніше, не рахуючись із тим, що демонструє поруч його сусіда. В результаті маємо якесь абсурдне нагромадження різних архітектурних і ландшафтних стилів, нав'язливу демонстрацію свого розу-

міння (точніше було б нерозуміння) культури ландшафту» (Гродзинський, 2005, с. 89).

Окрім цієї тенденції також варто констатувати факт розширення державної політики, спрямованої на створення нових садово-паркових ландшафтів, що мають на меті збереження ландшафтного та біологічного різноманіття території. Ці сучасні садово-паркові ландшафти виконують просвітницьку, наукову функцію. Несуть ідею конструктивного використання природних умов і ресурсів регіонів, розширення площ, які будуть зайняті зеленими насадженнями. Спрямовані на реалізацію Цілей та стратегій Сталого розвитку.



Садово-паркові ландшафти сучасного етапу розвитку Центральної Європи є полігенетичними утвореннями (табл. 5). Окрім того, що вони є не лише «особистим ландшафтом», маємо тенденцію суспільного розуміння необхідності збільшення площ озелених територій шляхом створення відповідних об'єктів, а саме: національних природних парків, регіональних ландшафтних парків тощо. Їхню ландшафтну структуру

формують шість груп антропогенних ландшафтів за генезою. Вони мають складну історію формування та розвитку. Одні створювали на основі відпрацьованих кар'єрів, трансформованих промислових зон і є прикладами рекультивациі територій. Інші мають на меті збереження натуральних ландшафтів регіону (*Puszcza Zielonka Landscape Park, Poland, 1993 p.*).



Рис. 7. Сучасний ландшафт Конча-Заспа, Київ, Україна [15] /  
Fig. 7. Modern landscape of Koncha-Zaspa, Kyiv, Ukraine [15]



Рис. 8. Нова Софіївка (м. Умань, Черкаська обл., Україна) [23] /  
Fig. 8. Nova Sofiiivka (Uman, Cherkasy Oblast, Ukraine) [23]



Рис. 9. Образи садово-паркових ландшафтів Центральної Європи у різні періоди формування та функціонування (побудовано авторами) /

Fig. 9. Images of garden and park landscapes of Central Europe in different periods of formation and functioning (constructed by the authors)

**Висновки.** Таким чином, виконавши періодизацію формування та функціонування садово-паркових ландшафтів Центральної Європи, можна сформулювати такі висновки. Центральна Європа – це своєрідне природно-етнокультурне утворення, зумовлене унікальним поєднанням природних умов, особливостями історії заселення та антропогенного перетворення. Садово-паркові ландшафти – це сучасні ландшафтні комплекси, насичені різноманітними культурними артефактами, що мають суттєвий асоціативний, історичний аспекти, і є так званими ландшафтно-культурними ідентифікаторами відповідних регіонів. В історії формування та функціонування садово-паркових ландшафтів Центральної Європи виокремлено та обґрунтовано такі періоди: сакральний; регулярний (селитебний, сакральньо-регуляр-

ний та власне регулярний напрями); пейзажний (романтичний і реалістичний напрями); конструктивіський; еклектичний. Кожний із цих періодів має своєрідний стиль організації садово-паркового ландшафту, різний рівень перебудови натуральної основи, певне функціональне навантаження, особливу антропогенну ландшафтну структуру та антропогенну генетичну складову. Їхнє детальне подальше пізнання дасть можливість не лише краще знати історію формування садово-паркових ландшафтів Центральної Європи, але й реальніше враховувати минулий досвід у сучасному процесі реконструкції наявних та формування нових. Садово-паркові ландшафти – це «передвісники» майбутнього культурного ландшафту Центральної Європи, їх необхідно розбудовувати постійно й обґрунтовано.

#### Список використаної літератури

1. Аріон О.В. Рекреаційна придатність зелених насаджень міста Києва / О.В. Аріон, Т.Г. Купач, С.О. Дем'яненко // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2016. – 45. – С. 113–122. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2016-45-14>
2. Білоус В.І. Садово-паркове мистецтво : коротка історія розвитку та методи створення художніх садів / В.І. Білоус. – К. : Науковий світ, 2001 – 299 с.
3. Галкін С.І. Структура та символіка старовинного парку «Олександрія» в білоцерківській резиденції графів Браницьких / С.І. Галкін, О.Л. Гурковська, С.А. Чернецький. – Біла Церква : Видавець О.В. Пишонківський, 2007. – 96 с.

4. Гостюк З.В. Особливості ландшафтної диференціації лісопатологічних процесів в Шешорському природоохоронному науково-дослідному відділенні Національного природного парку «Гуцульщина» / З.В. Гостюк, А.В. Мельник // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2018. – 49. – С. 178–189. – Режим доступу: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-14>.
5. Гродзинський М.Д. Естетика ландшафту : навчальний посібник / М.Д. Гродзинський, О.В. Савицька. – К. : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2005. – 183 с.
6. Гродзинський М.Д. Пізнання ландшафту: місце і простір : монографія / М.Д. Гродзинський. – К. : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2005. – Т. 2. – 503 с.
7. Гродзинський М. Д. Чинники сприйняття та оцінка проблем зелених зон Києва його мешканцями. / М.Д. Гродзинський, Н.П. Корогода, О.Ю. Гродзинська, Д.В. Свідзінська // Укр. геогр. журн. – 2023. – № 1. – С. 15–22. – Режим доступу: DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2023.01.015>
8. Гудзевич А.В. Картографічне забезпечення реалій збереження біологічного та ландшафтного різноманіття національних природних парків / А.В. Гудзевич, Л.С. Гудзевич, Л.О. Нікітченко, А.В. Матвійчук, Г.В. Коробкова // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2021. – 54. – С. 164–179. – Режим доступу: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-54-13>
9. Гудзевич А.В. Регіональна фізична географія (Європа та Азія) : навчальний посібник / А.В. Гудзевич. – Вінниця: «Віндрук», 2005. – 588 с.
10. Денисик Г.І. Антропогенне ландшафтознавство : навчальний посібник (Частина І. Глобальне антропогенне ландшафтознавство) / Г.І. Денисик. – Вінниця : ПП «ГД «Едельвейс і К», 2012. – 336 с.
11. Денисик Г.І. Нариси з антропогенного ландшафтознавства : навчальний посібник / Г.І. Денисик, В.М. Воловик. – Вінниця : ГПАНІС, 2001. – 170 с.
12. Денисик Г.І. Садово-паркові ландшафти Правобережного Лісостепу України / Г.І. Денисик, І.В. Кравцова. – Вінниця : ПП «Едельвейс і К», 2012. – 211 с.
13. Журнов А.Д. Ландшафтна архітектура: в 2 ч. / А.Д. Журнов – К. : ДАКККіМ, 2002. – Частина 1. Генеза та розвій форм садово-паркового мистецтва. – 122 с.
14. Історія Браницького палацу у Білостоці [Електронний ресурс] // OSTARBEITER. – Режим доступу: <http://ostarbeiter.vn.ua/palac-branickich-bial-istor.html> (дата звернення: 22.01.2023).
15. Конча-Заспа. Київ [Електронний ресурс] // Достопримечательности Украины. – Режим доступу: <https://travels.in.ua/ru-RU/object/5030> (дата звернення: 23.01.2023).
16. Косенко І.С. Дендрологічний парк «Софіївка» : монографія / І.С. Косенко. – Умань : ПРОНІКС, 2003. – 230 с.
17. Кучерявий В.П. Озеленення населених місць / В.П. Кучерявий. – Львів : Світ, 2005. – 454 с.
18. Максименко Н.В. Ландшафтно-екологічне планування, як підґрунтя управлінських рішень про надання екосистемних послуг / Н.В. Максименко // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2016. – 45. – С. 153–158. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2016-45-20>
19. Музей народної архітектури та побуту Середньої Наддніпряниці [Електронний ресурс] // Переяславиціна. – Режим доступу: <http://perejaslav.org.ua/places/muzey-narodnoy-arhitekturi-ta-pobutu-serednoy-naddnipyrianshyni.html> (дата звернення: 23.01.2023).
20. Петлін В.М. Прикладне ландшафтознавство : підручник / В.М. Петлін, О.В. Міщенко. – Луцьк : Вежа-Дрік, 2021. – 328 с.
21. Печера. Парк імення Потоцьких [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://sergekot.com/pechora-chast-2/> (дата звернення: 23.01.2023).
22. Портал: Сади і парки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki> (дата звернення: 22.01.2023).
23. Софіївка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sofievka.org/nova-sofiivka/> (дата звернення: 22.01.2023).
24. Шищенко П.Г. Доступність зелених зон в умовах компактного міста (на прикладі Києва) / П.Г. Шищенко, О.П. Гавриленко, Є.Ю. Циганок // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2021. – 55. – С. 245–256. – Режим доступу: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-18>
25. Arkadia (powiat łowicki) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://pl.wikipedia.org/wiki/Arkadia\\_\(powiat\\_%C5%82owicki\)](https://pl.wikipedia.org/wiki/Arkadia_(powiat_%C5%82owicki)) (дата звернення: 30.01.2023).
26. Bove, P., Sapieha, N. Gardens in Central Europe / P. Bove, N. Sapieha. – Antique Collectors Club Ltd., 1991. – 216 p.
27. Chen G. The Sustainable Development of Urban Cultural Heritage Gardens Based on Tourists' Perception: A Case Study of Tokyo's Cultural Heritage Gardens / G. Chen, JY. Shi, YP. Xia, K. Furuya // Sustainability. – 2020. – Vol. 12. – № 16.
28. Curl James Stevens. Arkadia, Poland: garden of allusions / Curl James Stevens // Garden History. – Vol. 23. – № 1. – Pp. 91–112.
29. Hans-Dieter Warda. Das Große Buch der Garten- und Landschaftsgehölze / Warda Hans-Dieter. – Bad Zwischenahn: BRUNS, 2018. – 935 s.
30. Kononowicz W. Historical allotment gardens in Wrocław – the need to protection / W. Kononowicz, K. Gryniewicz-Balinska // Civil and environmental engineering reports. – 2016. – Vol. 21. – № 2. – Pp. 43–52.

31. Kosenko I.S. Materializacja obrazo'w «Odyssey» Homera w kompozycjach parkowych «Zofio'wki» jako szczyt geniuszu L. Metzlla / I.S. Kosenko // *Ogrody Czartoryskich*. – 2001. – Vol.1. – № 10 (16). – Pp. 49–64.
32. Kuleczka M. Puszcza Zielonka Landscape Park / M. Kuleczka. – Poznan : Bogucki Wydawnictwo Naukowe, 2009. – 132 p.
33. Lawrence, H.W. *The greening of the squares of London – transformation of urban landscapes and ideals* / H.W. Lawrence // *Annals of the association of American geographers*. – 1993. – Vol. 83. – № 1. – Pp. 90–118.
34. *Lazienki-krolewskie* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.lazienki-krolewskie.pl/pl> (дата звернення: 21.01.2023).
35. Lichanski Jakub Z. *Arkadia, Poland: a homage to Romanticism (Arkadia kolo Nieborowa: Homagium dla romantyzmu)* / Jakub Z. Lichanski // *Rocznik Historii Sztuki*. – 2009. – Vol. 34. – Pp. 81–93.
36. *Muzeum Łazienki Królewskie* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.lazienki-krolewskie.pl/pl/historia> (дата звернення: 22.01.2023).
37. *Muzeum palacu Króla Jana III w Wilanowie* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.wilanow-palac.pl/palac\\_i\\_park](https://www.wilanow-palac.pl/palac_i_park) (дата звернення: 22.01.2023).
38. *Muzeum w Nieborowie i Arcadii* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nieborow.art.pl/> (дата звернення: 18.01.2023).
39. *Ogród Arkadia i Pałac w Nieborowie – miejsca idealne dla wszystkich zakochanych* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://skomplikowane.pl/na-trasie/arkadia-park/> (дата звернення: 18.01.2023).
40. Orara V.M. *Landscape-ecological investigations mapping of V. V. Dokuchayiv KHNAU arboretum's territory* / V.M. Orara, I.M. Vuzina, D.D. Khainus // *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*, 2020. – 50. – С. 197–209. – Режим доступу: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-50-15>
41. *Park romantyczny w Arkadii: historia, zwiedzanie, zabytki* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.podrozepoeuropie.pl/park-romantyczny-arkadia/> (дата звернення: 19.01.2023).
42. *Park romantyczny w Arkadii* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.kultura.lodz.pl/pl/poi/2535> (дата звернення: 19.01.2023).
43. Sonko S.P. *Concept of environmentally protective farming for the Forest-Steppe zone* / S.P. Sonko, N.V. Maksymenko, V.A. Peresadko, I.P. Sukhanova, O.V. Vasylenko, O.V. Nikitina // *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*, 2018. – 48. – С. 161–172. – Режим доступу: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-48-14>
44. *The catalogue of geotourist sites in nature reserves and monuments* / edited by Tadeusz Słomka. – Krakow : AGN University of Science and Technology, 2013. – 719 p.
45. *The ethnographic open-air museum of Latvia* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://brivdabas-muzejs.lv/en/> (дата звернення: 24.01.2023).

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

## Periodization of the formation of garden and park landscapes of the Central Europe

**Hryhoriy Denysyk**<sup>1</sup>,

DSc (Geography), Professor, Head of the Department of Geography,  
<sup>1</sup> Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University,  
32 Ostrozkyi St., Vinnytsia, 21000, Ukraine;

**Iryna Kravtsova**<sup>2</sup>,

PhD (Geography), Associated Professor,  
Department of Geography and Methodology of its Teaching,  
<sup>2</sup> Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University,  
5 Sadova St., Uman, Cherkasy Region, 20300, Ukraine

### ABSTRACT

**Formulation of the problem.** During of his activities, man sought to harmonize the territory that surrounded him. The environment had to perform not only utilitarian functions, but also aesthetic ones, to satisfy the needs of man in the contemplation of the «beautiful». This aspiration led to the formation and development of a special group of man-made landscapes – garden and park landscapes. Garden and park landscapes are the «smart» group of man-made landscapes, which constructively combines natural components with components formed as a result of economic, art human activity.

**The aim of the work.** To develop and substantiate the periodization of the formation of garden and park landscapes of Central Europe for their detailed knowledge and rational development.

**The research methods.** The performed periodization is based on two main research principles: historical and on the principle of natural-anthropogenic coexistence. General scientific and specific scientific research methods have been used.

**Presentation of the main research material.** In the history of formation and functioning of garden and park landscapes of Central Europe it is necessary to distinguish the following periods: sacral; regular, in the structure of which the following directions are singled out and justified: residential, sacral-regular, and proper regular; landscape with romantic and realistic directions; constructive and eclectic. Each of these periods is characterized by the dominance in the structure of the landscape of natural or anthropogenic component, regular or landscape style of organization of the landscape, has a different level of transformation of the natural basis, a certain functional load, different owners. The landscape structure is formed by the corresponding types and subtypes of garden and park landscapes, which change according to the selected periods. The article shows the change in the genetic structure of garden and park landscapes in accordance with reasonable periods and directions of formation and development. Garden and park landscapes of Central Europe were organized within the channel, floodplain, floodplain-terrace, slope and watershed types of areas, the landscape structure of which was formed by the corresponding types and subtypes of man-made landscapes, represented by park plantings, regular gardens, ponds, canals, paths, stairs, palace, outbuildings, sculpture, garden furniture, etc. It is established that garden and park landscapes performed various functions, namely: economic, aesthetic, sacred, memorial, medical, are places of short-term rest and material manifestation of power and spirituality of owners.

**Keywords:** *anthropogenic landscape; garden and park landscape; formation; periods; landscape structure; functions; rational nature management.*

### References

1. Arion, O.V., Kupach, T.G., Demyanenko, S.O. (2016). *Recreational suitability of green areas of the city of Kyiv. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology», 45, 113–122. [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2016-45-14>*
2. Bilous, V.I. (2001). *Garden and park art: a brief history of development and methods of creating art gardens. K., Naukovyi svit [in Ukrainian].*
3. Halkin, S., Hurkovska, O., Chernetskyi, Ye. (2007). *Struktura ta symbolika starovynnoho parku «Oleksandriia» v bilotserkivskii rezydentsii hrativ Branytskykh. Bila Tserkva: Vydavets O.V. Pshonkivskiyi. [in Ukrainian]*
4. Gostiuk, Z.V., Melnyk, A.V. (2018). *Features of landscape and forest pathology processes differentiation in the Sheshory natural scientific research department («Hutsulshchynyna» national park). Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology», 49, 178–189. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-14>.*
5. Grodzynskiy, M.D., Savitskaya, O.V. (2005). *Landscape aesthetics: a textbook. K.: Publishing and Printing Center «Kyiv University» [in Ukrainian].*
6. Grodzynskiy, M. D. (2005). *Cognition of the landscape: place and space: monograph (Vol.2). K., Publishing and Printing Center «Kyiv University» [in Ukrainian].*
7. Grodzynskiy, M., Korohoda, N., Grodzynska, O., & Svidzinska, D. (2023). *Factors of Perception and Assessment of Problems of Green Areas in Kyiv by Its Residents. Ukrainian Geographical Journal, 1, 15–22. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2023.01.015> [in Ukrainian].*
8. Hudzevich, A.V., Hudzevich, L.S., Nikitchenko, L.O., Matviichuk, A.V., Korobkova, G.V. (2021). *Cartographic support of the realities of conservation of biotic and landscape diversity of national natural parks. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology», 54, 164–179. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-54-13> [in Ukrainian].*
9. Hudzevich, A.V. (2005). *Regional Physical Geography (Europe and Asia). Vinnytsia: «Windruk» [in Ukrainian].*
10. Denysyk, G.I. (2012). *Anthropogenic landscape science: a textbook (Part I. Global anthropogenic landscape science). Vinnytsia: PP «Edelweiss and K» [in Ukrainian].*
11. Denysyk, G.I., Volovik, V.M. (2001). *Essays on anthropogenic landscape science: a textbook. Vinnytsia: HIPANIS [in Ukrainian].*
12. Denysyk, G.I., Kravtsova, I.V. (2012). *Garden and parks landscapes of the Right-bank Forest-Steppe of Ukraine. Vinnytsia. PP «Edelweiss & K» [in Ukrainian].*
13. Zhyrnov, A.D. (2002). *Landscape architecture (Part 1. Genesis and development of landscape art forms). K.: DAKKKiM [in Ukrainian].*
14. *History of the Branytskyi Palace in Bialystok. Ostarbeiter. URL: <http://ostarbeiter.vn.ua/palac-branickich-bial-istor.html> [in Ukrainian].*
15. *Koncha-Zaspa. Kyiv. Sights of Ukraine. URL: <https://travels.in.ua/ru-RU/object/5030> [In Russian].*
16. Kosenko, I.S. (2003). *Dendrological Park «Sofiyivka»: monograph. Uman: Pronix [in Ukrainian].*
17. Kucheriavyyi, V.P. (2005). *Landscape of settlements. Lviv: World [in Ukrainian].*
18. Maksymenko, N.V. (2016). *Landscape and ecological planning as a basis for management decisions on the provision of ecosystem services. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology», 45, 153–158. [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2016-45-20>*
19. *Museum of Folk Architecture and Life of the Central Dnieper region. Pereyaslavshchyna. URL: <http://perejaslav.org.ua/places/muzej-narodnoy-arhitekturi-ta-pobutu-serednoy-naddnipryanshyni.html>. [in Ukrainian].*
20. Petlin, V.M., Mishchenko, O.V. (2021). *Applied landscape science: a textbook. Lutsk: Vezha-Drik [in Ukrainian].*

21. Pechera. Park of the Pototsky estate. URL: <http://sergekot.com/pechora-chast-2/> [in Ukrainian].
22. Portal: Gardens and parks. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki> [in Ukrainian].
23. Sofiivka. URL: <https://www.sofievka.org/nova-sofiivka/> [in Ukrainian].
24. Shyshchenko, P.G., Havrylenko, O.P., Tsyganok, E.Yu. (2021) Accessibility of green spaces in the conditions of a compact city: case study of Kyiv. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology»*, 55, 245–256. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-18> [in Ukrainian].
25. Arkadia (powiat lowicki). URL: [https://pl.wikipedia.org/wiki/Arkadia\\_\(powiat\\_%C5%82owicki\)](https://pl.wikipedia.org/wiki/Arkadia_(powiat_%C5%82owicki))
26. Bowe, P., Sapiha, N. (1991). *Gardens in Central Europe*. Antique Collectors Club Ltd.
27. Chen, G., Shi, JY., Xia, YP., Furuya, K. (2020). The Sustainable Development of Urban Cultural Heritage Gardens Based on Tourists' Perception: A Case Study of Tokyo's Cultural Heritage Gardens. *Sustainability*, Vol. 12, № 16.
28. Curl James Stevens. *Arkadia, Poland: garden of allusions*. *Garden History*, Vol. 23, № 1, 91–112.
29. Hans-Dieter Warda (2018). *Das Große Buch der Garten- und Landschaftsgehölze*. Bad Zwischenahn: BRUNS.
30. Kononowicz, W., Gryniwicz-Balinska, K. (2016). Historical allotment gardens in wroclaw – the need to protection. *Civil and environmental engineering reports*, 21 (2), 43–52.
31. Kosenko, I.S. (2001). Materializacja obrazo'w «Odysei» Homera w kompozycjach parkowych «Zofio'wki» jako szczyt geniuszu L. Metzlla. *Ogrody Czartoryskich*, 1, 10 (16), 49–64.
32. Kuleczka, M. (2009). *Puszcza Zielonka Landscape Park*. Poznan. Bogucki Wydawnictwo Naukowe.
33. Lawrence, HW. (1993). The greening of the squares of London – transformation of urban landscapes and ideals. *Annals of the association of American geographers*, 83, 1, 90–118.
34. *Lazienki-krolewskie*. URL: <https://www.lazienki-krolewskie.pl/pl>
35. Lichanski, Jakub Z. (2009). *Arkadia, Poland: a homage to Romanticism (Arkadia kolo Nieborowa: Homagium dla romantyzmu)*. *Rocznik Historii Sztuki*, 34, 81–93.
36. *Muzeum Łazienki Królewskie*. URL: <https://www.lazienki-krolewskie.pl/pl/historia>
37. *Muzeum palacu Króla Jana III w Wilanowie*. URL: [https://www.wilanow-palac.pl/palac\\_i\\_park](https://www.wilanow-palac.pl/palac_i_park).
38. *Muzeum w Nieborowie i Arcadii*. URL: <http://www.nieborow.art.pl/>
39. *Ogród Arkadia i Pałac w Nieborowie – miejsca idealne dla wszystkich zakochanych*. URL: <https://skomplikowane.pl/na-trasie/arkadia-park/>
40. Opara, V.M., Buzina, I.M., Khainus, D.D. (2019). Landscape-ecological investigations mapping of V. V. Dokuchayiv KHNAU arboretum's territory. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology»*, 50, 197–209. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-50-15>.
41. *Park romantyczny w Arkadii: historia, zwiedzanie, zabytki*. URL: <https://www.podrozepoeuropie.pl/park-romantyczny-arkadia/>
42. *Park romantyczny w Arkadii*. URL: <http://www.kultura.lodz.pl/pl/poi/2535>
43. Sonko, S.P., Maksymenko, N.V., Peresadko, V.A., Sukhanova, I.P., Vasylenko, O.V., Nikitina, O.V. (2018). Concept of environmentally protective farming for the Forest-Steppe zone. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology»*, 48, 161–172. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-48-14>.
44. *The catalogue of geotourist sites in nature reserves and monuments (2013) / edited by Tadeusz Słomka*. Krakow, AGN University of Science and Technology.
45. *The ethnographic open-air museum of Latvia*. URL: <http://brivdabasmuzejs.lv/en/>

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work

Received 31 January 2023  
Accepted 15 March 2023

## Оцінка обсягів надання культурних екосистемних послуг зеленими зонами міста Києва

Наталія Корогода<sup>1</sup>

к. геогр. н., доцент, кафедра фізичної географії та геоекології,

<sup>1</sup> Київський національний університет імені Тараса Шевченка,

пр. Академіка Глушкова, 2а, Київ, 03127, Україна,

e-mail: [nkorogoda@knu.ua](mailto:nkorogoda@knu.ua),  <https://orcid.org/0000-0003-1518-2997>;

Тетяна Купач<sup>1</sup>

к. геогр. н., доцент, кафедра географії України,

e-mail: [tkupach@knu.ua](mailto:tkupach@knu.ua),  <https://orcid.org/0000-0001-8710-7107>

З культурних екосистемних послуг (КЕП) у містах найчастіше використовуються рекреаційні, естетичні та послуги соціальних відносин. Проте, стан питання їх оцінки наразі лишається проблемним. Відповідно, метою роботи стала розробка положень методики оцінки обсягів найбільш затребуваних КЕП та визначення цінності зелених зон у наданні КЕП з урахуванням попиту на них. Методично робота полягала у послідовному втіленні наступних кроків: А) виявлення індикаторів та визначення відповідних розрахункових показників ефективності надання КЕП, що відбивають сторону пропозиції КЕП. Такими показниками стали: типи зелених зон, що обиралися як бажані для відвідування; кількість типів їх рекреаційного використання; рекреаційна цінність та придатність зелених зон; кількість проблем в зелених зонах міста тощо. Б) Нормування розрахункових показників на основі єдиної шкали, для визначення загального обсягу КЕП. Для цього у роботі було застосовано функцію бажаності Харрінгтона. В) Розробка методики загального розрахунку пропозиції КЕП. Розрахунок відбувався через послідовне визначення: потенціалу зеленої зони у наданні КЕП (CES(potential)), як усередненої величини з показників сприйняття, використання та рекреаційної цінності території; загальної пропозиції КЕП (CES(Offer)) – кількості КЕП, що здатна надавати зелена зона з урахуванням показника обмежень КЕП. В результаті, за таким алгоритмом, було проведено оцінку обсягів КЕП в обраних 14 зелених зонах міста Києва та вирішено наукове завдання об'єктивного врахування в оцінці КЕП всіх аспектів, що визначають пропозицію КЕП. Задля визначення споживчої цінності зелених зон у наданні КЕП було використано показник альтернативної доступності зеленої зони, що відбиває співвідношення пропозиції КЕП та попиту на них. Представлена методика може використовуватись у практиці міського планування, як інструмент підвищення якості міських зелених зон, їх сталого розвитку та забезпечення містям максимальними обсягами КЕП.

**Ключові слова:** міські зелені зони, культурні екосистемні послуги, оцінка.

**Як цитувати:** Корогода Наталія. Оцінка обсягів надання культурних екосистемних послуг зеленими зонами міста Києва / Наталія Корогода, Тетяна Купач // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 58. – С. 159-170. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-13>

**In cites:** Korohoda Nataliia, Kupach Tetiana (2023). Assessment of the volume of provision of cultural ecosystem services by Kyiv green zones. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (58), 159-170. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-13> [in Ukrainian]

**Постановка проблеми.** Зелені простори урбанізованих територій є найголовнішим джерелом постачання екосистемних послуг (ЕП) для міст. Серед груп екосистемних послуг в містах найбільш затребуваними є культурні екосистемні послуги (КЕП). Вони є тими нематеріальними вигодами, які підвищують якість життя мешканців. Зокрема КЕП вносять свій вклад в добробут населення підтримуючи його фізичний та морально-психологічний стан [8], що погіршується внаслідок урбанізаційних процесів, стресу та психологічного дискомфорту через відірваність від природи [15]. Група КЕП полягає у фізичній, духовній та інтелектуальній взаємодії людини з геосистемами [6] та включає в себе досить широкий набір послуг [7, 13] від задоволення естетичних, духовних та релігійних потреб до рекреаційних та екотуристських.

З групи КЕП найчастіше у житлових районах мешканцями використовуються рекреаційні, ес-

тетичні та послуги соціальних відносин. Рекреаційні послуги відносяться до різних заходів, включаючи фізичні вправи, прогулянки, вигул собак, догляд за дітьми тощо. Естетичні послуги являють собою отримане задоволення через перебування в естетично-привабливому ландшафті. Послуги соціальних відносин надають мешканцям можливість знімати емоційну напругу при спілкуванні з іншими людьми [19].

Максимальний обсяг КЕП зелена зона надає, якщо вона відповідає двом групам параметрів: а) є доступною для відвідування, б) позитивно сприймається через власні якісні та кількісні характеристики [19, 26, 27]. Серед таких характеристик мають на увазі як природні властивості зони (біорізноманіття, видовий склад насаджень тощо), так і характер управління нею (чистота, наявність інфраструктури) [7, 19, 25, 20]. Останнє зокрема здатне посилювати або послаблювати позитивне сприйняття природних характеристик та,

відповідно, збільшувати, або навпаки обмежувати бажання відвідувати зону. Стосовно доступності наразі єдиної думки немає, тому різні вчені зазначають, що така відстань має коливатись у межах 5-10 хвилинної пішої доступності [23, 24].

Оцінка за цими двома групами параметрів безпосередньо відбиває реальні обсяги надання КЕП. А прийняті на її основі планувальні рішення є інструментом, який дозволяє підвищити обсяг наданих КЕП та покращити здоров'я містян за рахунок збільшення частоти відвідувань зелених зон.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

На сьогодні існує досить багато публікацій, що стосуються *сприйняття мешканцями зелених зон міста* [2, 9, 11]. Наприклад, у роботі [11] вивчалися сприйняттєві аспекти при взаємодії шведів із міськими зеленими зонами і виявлено ряд ключових факторів, таких як: зв'язок з природою, сприйняття функцій зелених зон тощо. У дослідженні [9] при аналізі чинників відвідування міських парків було виявлено «проєкологічне» їх сприйняття. Ми провели дослідження щодо сприйняття зелених зон мешканцями Києва [2] та визначили, що править за чинники покращення чи погіршення даного сприйняття.

Щодо *загальної оцінки ЕП в містах* слід згадати роботу [5, 20], у якій автори інтегрували культурні та регулювальні послуги як параметри єдиної оцінки та, на їх основі, запропонували метод для виміру реальної плати за ЕП на території міста.

В роботах [12, 16, 17, 19, 22, 28] проводилась *кількісна оцінка КЕП* міських парків, лісів, водноболотних угідь та інших зелених насаджень. Оцінка базувалась на вивченні рівня задоволеності мешканців та факторів, що впливають на функціонування зелених просторів.

Цікавими також є роботи, в яких було продемонстровано, що густина населення корелює із цінністю зелених насаджень [5, 24]. Крім того було виявлено, що сприйняття КЕП у розрахунок на ділянку землі поблизу центру вище, ніж на околиці міста, оскільки частота використання зелених насаджень позитивно корелює з їхньою доступністю [10].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Попри значний обсяг робіт присвячених даному питанню оцінка ЕП загалом, як і раніше, залишається складним завданням. Особливо проблемним є питання оцінки КЕП, оскільки їх нематеріальні характеристики важко піддаються кількісному вираженню [19].

Як показав аналіз досліджень з даного питання у [23], по-перше, дослідження КЕП проводились для конкретних типів зелених зон (парки, водойми, сади тощо), в той час як дослідження,

які б стосувались КЕП, що надає вся блакитно-зелена інфраструктура відсутні. По-друге дослідження, як правило, зосереджені на відпочинку та екотуризмі. По-третє, дослідники використовують різні, часто неспівставні, параметри в оцінці тощо.

Крім того, проведений наразі аналіз публікацій, засвідчує, що загальною тенденцією є збільшення КЕП при підвищенні рівня сприйняття. Втім, досить часто, автори зосереджуються на фіксації власне сприйняття не приводячи ці параметри до обсягів КЕП. В той же час є потреба у визначенні ефективності надання КЕП, зважаючи й на обсяги їх втрати / недоотримання. Другим аспектом, що робить оцінку КЕП «недостатньо об'єктивною», на нашу думку, на сьогодні є те, що вона базується суто на суб'єктивному сприйнятті мешканцями. В той час, як при оцінці слід враховувати також і «об'єктивні» параметри – наявність властивостей зони, що впливають на її спроможність надавати КЕП. По-третє, серед невирішених раніше проблем, слід вказати, що «повна картина» в оцінці не отримується, через врахування лише властивостей самої зони - сторони пропозиції КЕП, але не враховується при цьому попит на КЕП. В той час, як при обґрунтуванні першочерговості управлінських рішень, стосовно підвищення якостей зелених зон, доцільно було б спиратися й на даний аспект. Адже зона, яка не має альтернативи у використанні і забезпечує КЕП для великої кількості містян, є «більш цінним» надавачем КЕП.

**Формулювання мети статті.** Зважаючи на вищезазначені невирішені раніше питання в оцінці КЕП, за мету було поставлено розробку методу оцінки обсягів найбільш затребуваних КЕП та визначення цінності зелених зон у наданні КЕП з урахуванням попиту на них.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

- 1) виявити індикатори та визначити відповідні розрахункові показники ефективності надання КЕП, що мають вирішальне значення при виборі містянами зелених зон для відвідування - *сторона пропозиції КЕП*;
- 2) провести параметризацію розрахункових показників на основі єдиної шкали, що дозволило б визначити загальний обсяг пропозиції КЕП за декількома параметрами;
- 3) розробити методику загального розрахунку пропозиції КЕП;
- 4) відпрацювати методику на ключових ділянках;
- 5) визначити індикатори та відповідні розрахункові показники, що відбивали б *сторону попиту КЕП*, для обґрунтування першочерговості управлінських рішень.



**Виклад основного матеріалу дослідження.**

Задля виконання *першого завдання* - виявлення ключових індикаторів та розрахункових показників, що обумовлюють пропозицію КЕП, потрібно спиратися не лише на суб'єктивність сприйняття, а й об'єктивні методи, що використовуються в практиці рекреаційної оцінки зелених зон. Зважаючи на це, зелена зона: а. має сприйматися як позитивна та використовуватися в щоденній рекреації; б. мати відповідний рекреаційний потенціал; в. не повинна мати властивостей, що слугують за обмеження у відвідуванні.

Вихідними матеріалами в роботі послугували дані опитування щодо сприйняття зелених зон, яке було проведене в рамках проекту «Транснаціональне партнерство для академічної інтеграції в Європі: Міська блакитно-зелена інфраструктура на Сході та Заході Європи (LINC)». Всього в опитуванні, яке проводилось шляхом анкетування, взяли участь 200 респондентів – мешканців міста Києва [2].

Питання анкети зважаючи на мету дослідже-

ння було поділено на блоки. Перший блок питань направлено на визначення чинників, які покращують сприйняття респондентами зелених зон. Питання даного блоку пов'язувались з типом зелених зон, що вважаються найбільш привабливими; типом рекреаційного використання зелених зон тощо. Відповіді дозволили встановити яким характеристикам має відповідати зелена зона, щоб вона сприймалася киянами як найбільш комфортна, а отже, і мала потенційно найвищий обсяг КЕП, які є найбільш затребуваними. Як результат визначено, що мешканці Києва обирають для себе серед всього різноманіття зелених зон найчастіше парки, а найрідше заболочені місцини (табл.1), Кількість відповідей (%) і правитиме за та розрахункові показники в нашій оцінці.

Також під час опитування було визначено, які КЕП найчастіше споживаються киянами у формі рекреаційних занять (тип використання) (табл. 2).

Подібно до табл.1, кількість відповідей (%) доцільно використовувати у якості розрахункового показника за даним індикатором.

Таблиця 1 / Table 1

Типи зелених зон, що обиралися респондентами, як бажані для відвідування  
[розроблено авторами за результатами власних досліджень, 2] /  
Types of green areas chosen by respondents as desirable to visit  
[arranged by the authors according to the results of their research, 2]

Тип зеленої зони	Кількість відповідей(%)
Парки	91,5
Озера	70,5
...	
Природоохоронні території	43
Власний сад/город	18
...	
Церковні сквери/Цвинтарі	10
Заболочені ділянки	8

Таблиця 2 / Table 2

Типи рекреаційного використання зелених просторів  
[розроблено авторами за результатами власних досліджень, 2] /  
Types of recreational use of green spaces [arranged by the authors according to the results of their research, 2]

Тип рекреаційного використання (споживані КЕП)	Кількість відповідей (%)
Піші прогулянки	87
Насолодження природою	68,5
Спілкування з іншими людьми	64
...	
Фотографування	48
Спостереження за дикими тваринами або рослинами	25
Біг/або їзда на велосипеді	23,5

Для зменшення суб'єктивності у визначенні пропозиції КЕП застосовувались індикатори рекреаційної придатності та цінності міських зелених зон [1, 3]. Це, на нашу думку, дозволяє більш об'єктивно врахувати всі властивості зеленої

зони, що обумовлюють її потенціал у наданні КЕП. Адже рекреаційне використання екосистем зелених зон міста посилюється при наявності мальовничих ландшафтів, біорізноманіття, водойм та джерел, пам'яток історії та природи тощо, а

також впливом низки соціо-економічних та медико-біологічних чинників.

Таким чином, потенційні обсяги КЕП в містах можна більш чітко оцінити зважаючи на 3 групи параметрів рекреаційного потенціалу, зокрема через цінність та придатність екосистем зелених зон міста виконувати рекреаційні та оздоровчі функції. Це параметри медико-біологічної сприйнятливості (рекреаційної корисності), естетичності та облаштованості.

Група параметрів медико-біологічної сприйнятливості зелених зон включає показники фітонцидності, газо-/пилостійкості та іонізації повітря. Показники обумовлюються дендрологічним складом насаджень і оцінюються за шкалою від 1 (рослини, що мають найгірші характеристики) до 5 балів (рослини з найкращими характеристиками) [3].

Група параметрів оцінки естетичності зелених зон включає показники оглядовості (пейзажності), унікальності (типовості), різноманіття дендрологічного складу насаджень зеленої зони тощо, як такі, що обумовлюють ландшафтно-естетичні та художньо-композиційні властивості екосистем зелених зон. Для оцінювання естетичності застосовується 5 бальна шкала: від 0 (при відсутності ознак естетичності) до 4 балів [3].

Група параметрів оцінки організаційно-функціональної облаштованості зелених зон міста включає показники розвиненості: включення у

організаційну структуру елементів благоустрою й об'єктів, що покращують рекреаційну функціональність; наявність зонінгу; історико-культурні/архітектурні/природні пам'ятки; водні об'єкти; точки пейзажного розкриття тощо. При оцінці облаштованості зеленої зони звертається увага не лише на наявність та насиченість рекреаційного простору елементами благоустрою, а й враховуються зворотні характеристики (відсутність вище перелічених ознак), що знижують комфортність перебування та погіршують привабливість зеленої зони в цілому. Для оцінювання зелених зон також застосовується 5 бальна шкала: від 0, як мінімального значення облаштованості, до 4, як максимального [3].

Оскільки, групи індикаторів оцінки є рівнозначними при визначенні рекреаційної придатності екосистем, то загальна їхня рекреаційна цінність визначатиметься як сума балів за окремими показниками, де найнижчий бал оцінки може дорівнювати 3 і відповідатиме мінімальній придатності зеленої зони виконувати рекреаційні функції, а високоцінні зелені зони матимуть 35-43 балів (табл. 3), що й буде включено у якості розрахункового показника в загальну оцінку КЕП.

Також, як зазначалося, для об'єктивності оцінки слід враховувати й індикатори, що визначають обмеження у використанні зелених зон та знижують потенціал у наданні КЕП (табл. 4).

Таблиця 3 / Table 3

Рекреаційна цінність та придатність зелених зон  
[розроблено авторами за результатами власних досліджень, 3] /  
Recreational value and suitability of green areas  
[arranged by the authors according to the results of their research, 3]

Сумарний бал рекреаційної оцінки	Рекреаційна цінність та придатність зелених зон
35-43	високоцінні
27-34	цінні
19-26	придатні
11-18	мало придатні
3-10	мінімально придатні

Таблиця 4 / Table 4

Індикатори, що визначають обмеження у використанні зелених зон  
[розроблено авторами за результатами власних досліджень, 2] /  
Indicators determining limitations in the use of green areas  
[arranged by the authors according to the results of their research, 2]

Індикатори, що визначають обмеження	Кількість відповідей(%)
Сміття	83,5
Вандалізм	45
Графіті	26,5
...	
Галасливі діти	16
Бандитизм	14,5
Неприємний запах	13

Визначені таким чином індикатори оцінки КЕП задля загального обрахунку потребували нормування та переведення у єдину систему розрахункових показників. Тож, на виконання *другого завдання* роботи була проведена параметризація обраних розрахункових показників на основі єдиної шкали. Нормування відбувалось за шкалою бажаності Харрінгтона [14]. Такий вибір методу обумовлено тим, що узагальнена функція бажаності Е. Харрінгтона завдяки безперервності, монотонності і гладкості є одним з найвідоміших методів нормування всіх параметрів в безрозмірні показники якості (функції бажаності). У роботі застосовано однобічну зростаючу функцію (якість зростає під час зростання показника), де 0 відображає найгіршу якість, а найвищу - відображає 1. Такий метод зокрема було застосовано в

оцінці стану екосистем міських зелених зон, як потенційних можливостей надання ними екосистемних послуг [18]. При нормуванні показників весь діапазон значень на шкалі бажаності розподіляється на 5 піддіапазонів (табл. 5).

Відповідно до такої шкали було переведено значення розрахункових показників (табл.1-3) в унормовані для визначення потенційних обсягів КЕП (табл. 6-8).

У таблиці 7 було подано 18 рекреаційних занять (найзатребуваніших КЕП), які називали більш як 10% опитаних. Відповідно, чим більшу кількість КЕП надає зелена зона, тим вона ефективніша.

За тим же принципом пропонується визначати потенційні обсяги надання КЕП за рекреаційною цінністю та придатністю зелених зон (табл. 8).

Таблиця 5 / Table 5

Ранжування показників за шкалою бажаності Харрінгтона [розроблено за, 18] /  
Ranking of indicators according to Harrington's desirability scale [ordered by source, 18]

Діапазони значень показників за шкалою бажаності Харрінгтона	Якісна характеристика індикатора
0,81 -1	максимальна
0,631-0,8	вище середньої
0,371-0,63	середня
0,21-0,37	нижче середньої
0-0,2	мінімальна

Таблиця 6 / Table 6

Унормовані значення потенційних обсягів КЕП за типами зелених зон, що обиралися респондентами, як бажані для відвідування, на основі [розроблено авторами за результатами власних досліджень, 2, 14] /  
Normalized values of potential volumes of CES by types of green areas chosen by respondents as desirable for visiting [arranged by the authors according to the results of their research 2, 14]

Тип зеленої зони	Унормоване значення за шкалою бажаності Харрінгтона
Парки	1
Озера	0,77
Природоохоронні території	0,47
Власний сад/город	0,203
Церковні сквери/Цвинтарі	0,11
Заболочені ділянки	0,09

Таблиця 7 / Table 7

Унормовані значення потенційних обсягів КЕП за типами використання зелених просторів [розроблено авторами за результатами власних досліджень, 2, 14] /  
Normalized values of potential volumes of CES by types of use of green spaces [arranged by authors according to the results of their research, 2, 14]

Кількість типів використання (приведено до цілочисельних значень одиниць кількості)	Унормоване значення за шкалою бажаності Харрінгтона
15-18	0,81 -1
12-14	0,631-0,8
7-11	0,371-0,63
4-6	0,21-0,37
0-3	0-0,2

Таблиця 8 / Table 8

Унормовані значення потенційних обсягів надання КЕП за рекреаційною цінністю та придатністю зелених зон [розроблено авторами за результатами власних досліджень, 3, 14] / Normalized values of the potential volumes of CES provision according to the recreational value and suitability of green areas [arranged by the authors according to the results of their research, 3, 14]

Сумарний бал рекреаційної оцінки екосистем зелених зон міста	Унормоване значення за шкалою бажаності Харрінгтона
35-43	0,81 -1
27-34	0,631-0,8
19-26	0,371-0,63
11-18	0,21-0,37
3-10	0-0,2

Для нормування показника «проблем-обмежень», подібно до підходу (табл. 7) було обрано 10 факторів, що є обмежувальними при виборі зеленої зони для більш як 10% опитаних. Отже, чим більша кількість таких факторів наявна у зеленій

зоні, тим більшими будуть обсяги потенційних втрат КЕП (табл. 9). Цей показник дозволить відкоригувати значення обсягів КЕП від «потенційних» до «реальних».

На виконання **третього завдання**, за унор-

Таблиця 9 / Table 9

Унормовані значення показників, що визначають обмеження у використанні зелених зон [розроблено авторами за результатами власних досліджень, 2, 14] / Normalized values of indicators that determine restrictions in the use of green areas [arranged by authors according to the results of their research, 2, 14]

Кількість обмежень, виявлених у зеленій зоні (приведено до цілочисельних значень одиниць кількості)	Унормоване значення за шкалою бажаності Харрінгтона
9 - 10	0,81-1
7 - 8	0,631-0,8
5 - 6	0,371-0,63
3 - 4	0,21-0,37
0 - 2	0-0,2

мованими значеннями показників запропоновано проводити загальний розрахунок КЕП за наступним алгоритмом:

1) оцінити потенційні можливості у наданні КЕП (1), як усереднену величину з показників сприйняття, використання та рекреаційної цінності території (табл. 6-8):

$$(P_{\text{perception}} + P_{\text{using}} + P_{\text{precreation}}) / 3 = CES(\text{potential}) \quad (1)$$

де:  $CES(\text{potential})$  – потенціал зеленої зони у наданні КЕП,  $P_{\text{perception}}$  – унормоване значення показника, за сприйняттям мешканців;  $P_{\text{using}}$  – унормоване значення показника за типами використання зелених просторів;  $P_{\text{precreation}}$  – унормоване значення показника рекреаційної придатності та цінності зеленої зони

2) оцінити кількість КЕП, що здатна надавати зелена зона з урахуванням показника обмежень (табл.9). Даний показник слід використовувати як коригувальний коефіцієнт зменшення (часткової втрати) КЕП, що здатен знівелювати потенційні можливості зони у наданні КЕП (2):

$$CES(\text{potential}) * K_{\text{derogation}} = CES(\text{Offer}) \quad (2),$$

де:  $CES(\text{Offer})$  – загальна пропозиція КЕП,  $CES(\text{potential})$  – потенціал зеленої зони у наданні КЕП,  $K_{\text{derogation}}$  – коефіцієнт зменшення (часткової втрати) КЕП.

Отриманий таким чином показник, відобразить реальний обсяг пропозиції КЕП у кожній зеленій зоні, що і є вирішенням 3 завдання даної роботи.

На виконання **четвертого завдання** роботи, запропоновану методику було апробовано на 14 ключових ділянках (рис. 1). Результати обрахунків наведено у таблиці 10.

Втім, як зазначалося у вступі, для ефективного провадження планувальних та управлінських рішень слід враховувати не лише сторону пропозиції КЕП, а й сторону попиту. Відповідно, на виконання **п'ятого завдання** – проводилось визначення «цінності» кожної зеленої зони за співвідношенням «пропозиція- попит» для обґрунтування першочерговості управлінських рішень.

За індикатори, зважаючи на відповіді респондентів-киян, більшість з яких зазначала, що для

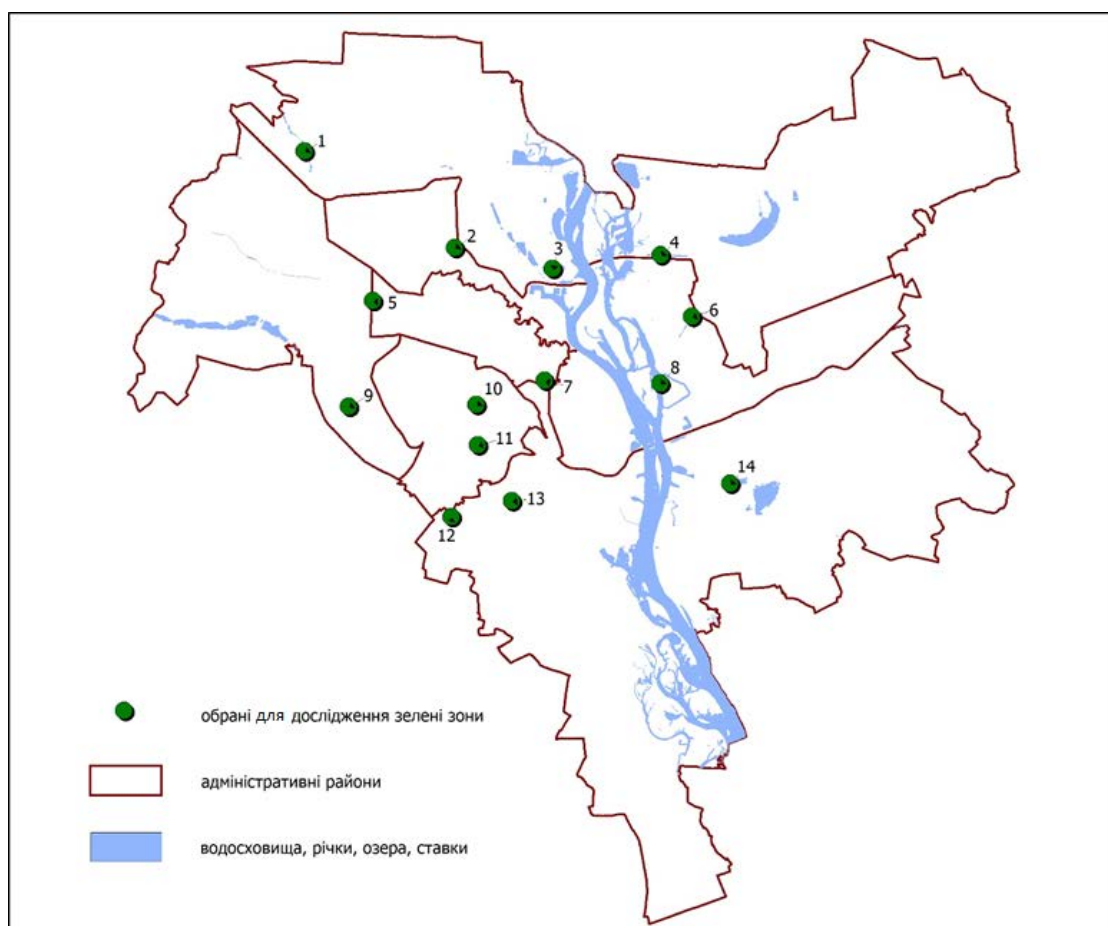


Рис. 1. Обрані для дослідження зелені зони міста [укладено за результатами власних досліджень] /  
 Fig. 1. Urban green areas selected for research [arranged according to the results of their research]

Таблиця 10 / Table 10

Обсяги пропозиції КЕП досліджуваних зелених зон  
 [розроблено авторами за результатами власних досліджень] /  
 Volumes of the CES offer of the studied green zones  
 [compiled by the authors based on the results of their research]

№	Назва	P perception	P using	P recreation	CES (potential)	K derogation	CES (Offer)	Обсяг КЕП
1	Пуща-Водиця	0,77	0,89	0,57	<b>0,74</b>	0,9	<b>0,67</b>	вище середнього
2	Парк «Березовий Гай»	1	0,72	0,40	<b>0,71</b>	0,8	<b>0,57</b>	середній
3	Озеро Вербне	0,77	0,78	0,43	<b>0,66</b>	0,37	<b>0,27</b>	нижче середнього
4	Парк (проспект Романа Шухевича)	1	0,72	0,49	<b>0,74</b>	0,8	<b>0,59</b>	середній
5	Парк «Веселка»	1	0,56	0,37	<b>0,64</b>	0,63	<b>0,40</b>	середній
6	Парк «Перемога»	1	0,67	0,43	<b>0,70</b>	0,8	<b>0,56</b>	середній
7	Парк Шевченка	1	0,56	0,62	<b>0,73</b>	0,9	<b>0,66</b>	вище середнього
8	Парк Прибережний	1	0,89	0,62	<b>0,84</b>	0,8	<b>0,67</b>	вище середнього
9	Парк «Інтернаціональний»	1	0,56	0,40	<b>0,65</b>	0,72	<b>0,47</b>	середній
10	Парк ім. Зерова	1	0,5	0,43	<b>0,64</b>	0,63	<b>0,40</b>	середній
11	Совська балка	0,77	0,78	0,36	<b>0,64</b>	0,29	<b>0,19</b>	мінімальний
12	Сквер «Героїв Маріуполя»	0,68	0,61	0,49	<b>0,59</b>	0,72	<b>0,43</b>	середній
13	Голосіївський парк імені Максима Рильського	1	0,83	0,62	<b>0,82</b>	0,72	<b>0,59</b>	середній
14	Парк «Позняки»	1	0,67	0,38	<b>0,68</b>	0,63	<b>0,43</b>	середній

них не є проблемою витратити більше ніж 5-10 хвилин щоб дістатися до зеленої зони а також на значну нерівномірність у розподілі зелених зон та споживачів КЕП, вбачалося за доцільне, не просто використовувати відстань до зеленої зони, а декілька індикаторів попиту: кількість споживачів КЕП, близькість розташування, наявність

«альтернативних» зон для відвідування у найближчій доступності тощо.

А за розрахунковий, використовувати бальний показник альтернативної доступності зеленої зони, що поєднує в собі всі зазначені індикатори, та відбиває таким чином співвідношення пропозиції КЕП та попиту на них (табл. 11).

Таблиця 11 / Table 11

Показник альтернативної доступності зеленої зони

[розроблено авторами за результатами власних досліджень, 2, 14] /

Indicator of alternative availability of the green zone [arranged by authors according to research results, 2, 14]

Попит (кількість мешканців) / бал	Пропозиція (кількість альтернативних зон) / бал		
	Висока / 3	Середня / 2	Низька / 1
Низький / 1	0,33	0,5	1
Середній / 2	0,66	1	2
Високий / 3	1	1,5	3

Інформацію про просторовий розподіл споживачів КЕП було отримано з даних реєстру виборців, що подано на сайті Центральної виборчої комісії України [4], про просторовий розподіл зелених зон – з бази даних OpenStreetMap [20]. Відповідно до цих даних, зелена зона, розташована

на території з найбільшою кількістю мешканців та найменшою кількістю альтернативних зелених зон має найвищий показник (в балах) потенційних можливостей щодо забезпечення попиту на КЕП, а отже потребує найбільшої уваги в управлінні (рис. 2).

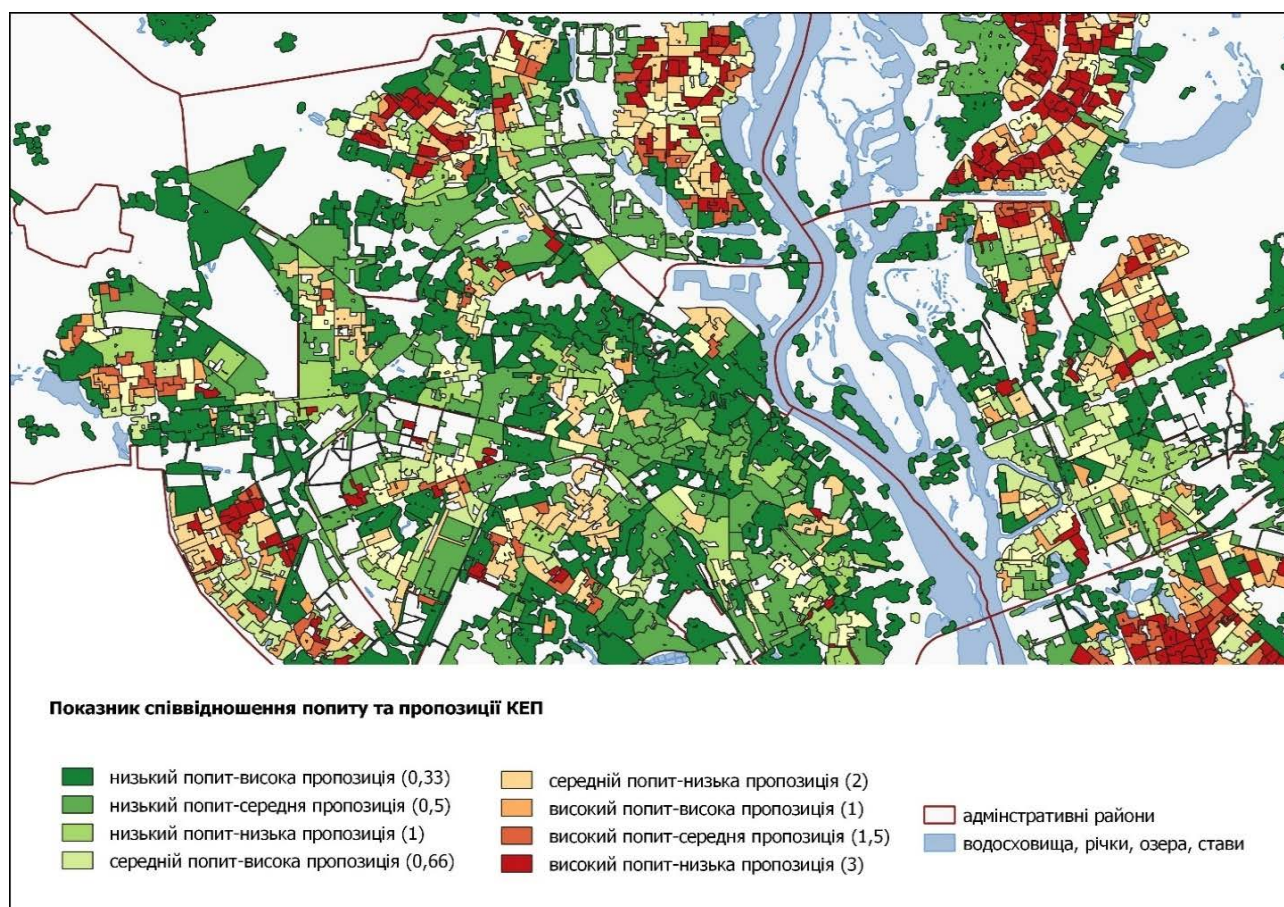


Рис.2. Співвідношення «попит-пропозиція КЕП» в зелених зонах Києва

[розроблено авторами за результатами власних досліджень, 2, 14] /

Fig. 2. The ratio «demand-offer of CES» in the Kyiv green zones

[compiled by the authors based on the results of their research 2, 14]

Так, наприклад, серед досліджуваних у роботі зелених зон міста Києва, було виокремлено 2 зелені зони, що потребують першочергової уваги. Зокрема, № 4, 14, що розташовані в «спальних» мікрорайонах міста, які характеризуються значною кількістю населення й щільністю забудови разом із низьким відсотком озеленених територій.

**Висновки.** В роботі було розроблено методичку оцінки КЕП, що їх надають міські зелені зони та визначено загальну цінність зелених зон у наданні КЕП з урахуванням попиту на них.

Задля включення в оцінку всіх аспектів, що обумовлюють пропозицію КЕП, було обґрунтовано набір індикаторів що враховують сприйняття мешканцями зелених зон; характер їх використання; цінність та придатність виконувати рекреаційні та оздоровчі функції а також індикатори, що визначають обмеження у використанні зелених зон. За обраними індикаторами було розроблено систему розрахункових показників для оцінки пропозиції КЕП.

Для оцінки, визначені в роботі розрахункові показники були переведені в унормовані безрозмірні показники якості на основі єдиної шкали бажаності Харрінгтона. Таке нормування дозволило провести загальний розрахунок пропозиції КЕП. Оцінка базувалась на послідовному визначенні: потенціалу зеленої зони у наданні КЕП (*CES (potential)*), загальної пропозиції КЕП (*CES (Offer)*). Отриманий розрахунковий показник, відбиває обсяги КЕП, що їх здатна надавати кожна зелена зона.

За такою методикою було обраховано обсяги КЕП у обраних 14 зелених зонах міста Києва. Розрахунок показав, що жодна з обраних зелених зон не надає максимальні обсяги КЕП, лише 3 з

них – обсяги вищі від середніх, 9 – середні та по 1 зеленій зоні – мінімальні та нижчі від середніх. В той же час, потенціал досліджених зелених зон щодо надання КЕП: максимальний у 2 зонах і в абсолютній більшості - 11 вищий від середнього. Відповідно, майже у всіх зелених зонах відбувається недоотримання (втрата) суттєвих обсягів КЕП головно через наявність проблем, що призводять до погіршення сприйняття зелених зон мешканцями. Такі втрати можуть сягати навіть двох третин потенціалу, як це видно з розрахунків щодо зеленої зони №11.

Представлений у роботі показник альтернативної доступності зеленої зони, що враховує наступні індикатори: кількість споживачів КЕП, близькість розташування зелених зон та наявність «альтернативних» зон для відвідування у найближчій доступності, дозволив ідентифікувати зелені зони, що через низьку пропозицію (наявність альтернативних зелених зон) у районах з високим попитом на КЕП, потребують першочергової уваги при прийнятті першочергових управлінських рішень. Так, серед досліджених у роботі, було виявлено 2 такі зелені зони.

Таким чином, представлена методика не лише розв'язує наукову проблему об'єктивної оцінки КЕП, а й може використовуватись у практиці міського планування, як інструмент підвищення якості міських зелених зон, їх сталого розвитку та забезпечення містян максимальними обсягами КЕП.

**Подяка.** Робота виконувалась за рахунок зовнішнього інструменту допомоги Європейського Союзу для виконання зобов'язань України у Рамковій програмі Європейського Союзу з наукових досліджень та інновацій “Горизонт 2020”.

#### Список використаної літератури

1. Аріон О. В. Рекреаційна придатність зелених насаджень міста Києва [Текст] / О. В. Аріон, Т. Г. Купач, С. О. Дем'яненко // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія "Геологія. Географія. Екологія". – 2016. – № 45. – С. 113–122. – Режим доступу: <https://periodicals.karazin.ua/geoeco/article/view/8186>
2. Гродзинський М. Д. Чинники сприйняття та оцінка проблем зелених зон м. Києва його мешканцями [Текст] / М. Д. Гродзинський, Н.П. Корогода, О.Ю. Гродзинська, Д.В. Свідзінська // Український географічний журнал. – 2023. – №1. – С. 15–22. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2023.01.015>
3. Купач Т. Г. Показники рекреаційної цінності та придатності міських зелених зон для оцінки культурних екосистемних послуг [Текст] / Т. Г. Купач, Н.П. Корогода // Географія та туризм. – 2022. – № 70. – С. 71–80 – DOI: <https://doi.org/10.17721/2308-135X.2022.70.71-80>
4. Центральна виборча комісія, 2021. [Electronic resource]. Mode of access: [www.https://cvk.gov.ua](http://www.cvk.gov.ua)
5. Chang J. Assessing the ecosystem services provided by urban green spaces along urban center–edge gradients [Text] / J. Chang, Z. Qu, R. Xu, K. Pan, B. Xu, Y. Min, Y. Ren, G. Yang & Y. Ge // Scientific Reports. – 2017. – 7, 11226. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11559-5>
6. Cultural Ecosystem Services. [Biosphere Reserves for Climate Adaptation in Ukraine](https://www.eba-ukraine.net/kul-turni-poslugi.html). – 2022. [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.eba-ukraine.net/kul-turni-poslugi.html>
7. Bertram C. Preferences for cultural urban ecosystem services: comparing attitudes, perception, and use [Text] / C. Bertram, K. Rehdanz // Ecosystem Services. – 2015. – 12 (23). – p. 187–99. Mode of access: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.12.011>

8. Daniel T. C. Contributions of cultural services to the ecosystem services agenda [Text] / T. C. Daniel, A. Muhar, A. Arnberger, A. Dunk // *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2012. – 109 (23). – P. 8812–8819. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1114773109>.
9. Dinda S. Perceived benefits, aesthetic preferences and willingness to pay for visiting urban parks: A case study in Kolkata, India [Text] / S. Dinda, S. Ghosh // *International Journal of Geoheritage and Parks*, 2021. – 9 (1). – P. 36–50. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2020.12.007>
10. Ekkel E. D. Nearby green space and human health: Evaluating accessibility metrics [Text] / E. D. Ekkel & S. de Vries // *Landscape Urban Plan*, 2017. – 157. – P. 214–220. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.06.008>
11. Elbakidze M. Multiple factors shape the interaction of people with urban greenspace: Sweden as a case study [Text] / M. Elbakidze, L. Dawson, P. Milberg, G. Mikusiński, M. Hedblom, I. Kruhlov, T. Yamelynets, C. Schaffer, K-E. Johansson, M. Grodzynski // *Urban Forestry & Urban Greening*, 2022. – 74. – P. 127672. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127672>.
12. Fischer L.K. Recreational ecosystem services in European cities: sociocultural and geographical contexts matter for park use [Text] / L.K. Fischer, A. Botzat, J. Honold, R. Cvejić, D. Brinkmeyer, T. Delshammar, et al. // *Ecosystem Services*, 2018. – 31. – P. 455–467. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.01.015>
13. Gómez-Baggethun E. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning [Text] / E. Gómez-Baggethun, D.N. Barton // *Ecological Economics*, 2013. – 86. – P. 235–45. Mode of access: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.019>
14. Harrington E. The desirable function [Text] // *Industrial Quality Control*, 1965. – 21 (10). – P. 124–131.
15. Harting T. Living in cities, naturally [Text] / T. Harting, P. Kahn // *Science*, 2016. – № 352. – P. 938–940. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aaf3759>
16. Hutcheson W. Valuing environmental education as a cultural ecosystem service at Hudson River Park [Text] / W. Hutcheson, P. Hoagland, D. Jin // *Ecosystem Services*, 2018. – 31. – P. 387–394. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.03.005>
17. Ko H. Perceptions of cultural ecosystem services in urban green spaces: a case study in Gwacheon, Republic of Korea [Text] / H. Ko, Y. Son // *Ecological Indicators*, 2018. – 91. – P. 299–306. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.006>
18. Korohoda N. The use of GIS and remote sensing data in determining the condition of green areas in Kyiv [Text] / N. Korohoda, O. Halahan, O. Kovtoniuk // *XVI International Scientific Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, [Kyiv, Ukraine], November, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580056>
19. Mao Q. Evaluating Cultural Ecosystem Services of Urban Residential Green Spaces from the Perspective of Residents' Satisfaction with Green Space [Text] / Q. Mao, L. Wang, Q. Guo, Y. Li, M. Liu and G. Xu // *Front. Public Health*. – 2020. – 8. – P. 226. Mode of access: DOI: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00226>
20. Morar C. Spatiotemporal Analysis of Urban Green Areas Using Change Detection: A Case Study of Kharkiv, Ukraine [Text] / C. Morar, T. Lukić, A. Valjarević, L. Niemets, S. Kostrikov, K. Sehida, Ie. Telebienieva, L. Kliuchko, P. Kobylin, K. Kravchenko // *Frontiers in Environmental Science*, 2022. – 10. – P. 1–27. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.823129>
21. OpenStreetMap contributors, 2022. [Electronic resource]. Mode of access: [www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org)
22. Plieninger T. Assessing, mapping, and quantifying cultural ecosystem services at community level [Text] / T. Plieninger, D. Sebastian, S. Oteros-Rozas, C. Bieling // *Land Use Policy*, 2013. – 33. – P. 118–129. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.12.013>
23. Ponizy L. Cultural Ecosystem Services of Urban Green Spaces—Supply and Demand in The Densely Built-Up Areas. Poznan Old Town Case [Text] / L. Ponizy, W. Majchrzak, I. Zwierzchowska // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2017. – 95 (5). DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/95/5/052009>
24. Shyshchenko, P. Accessibility of green spaces in the conditions of a compact city: case study of Kyiv [Text] / P. Shyshchenko, O. Havrylenko, Y. Tsyhanok // *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series “Geology. Geography. Ecology”*, 2021. – 55. – P. 245–256. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-18>
25. Stalhammar S. Recreational cultural ecosystem services: how do people describe the value [Text] / S. Stalhammar, E. Pedersen // *Ecosystem Services*, 2017. – 26. – P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.05.010>
26. Stessens P. Analysing urban green space accessibility and quality: a GIS-based model as spatial decision support for urban ecosystem services in Brussels [Text] / P. Stessens, A.Z. Khan, M. Huysmans, F. Canters // *Ecosystem Services*, 2017. – 28. – P. 328–340. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.10.016>
27. Wu W.J. Residential satisfaction about urban greenness: heterogeneous effects across social and spatial gradients [Text] / W.J. Wu, M. Wang, N. Zhu, W. Zhang, H. Sun // *Urban Forestry & Urban Greening*, 2019. – 38. – P. 133–44. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.11.011>.
28. Zwierzchowska I. Multi-scale assessment of cultural ecosystem services of parks in Central European cities [Text] / I. Zwierzchowska, A. Hof, I.C. Iojă, C. Mueller, L. Ponizy, J. Breuste, et al. // *Urban For Urban Green*, 2018. – 30. – P. 84–97. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.12.017>

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу



## Assessment of the volume of provision of cultural ecosystem services by Kyiv green zones

Nataliia Korohoda <sup>1</sup>,

PhD (Geography), Associate Professor,  
Department of Physical Geography and Geoecology,  
<sup>1</sup> Taras Shevchenko National University of Kyiv,  
2a Hlushkova Av., Kyiv, 03127, Ukraine;

Tetiana Kupach <sup>1</sup>,

PhD (Geography), Associate Professor,  
Department of Geography of Ukraine

### ABSTRACT

Among the groups of ecosystem services, cultural ecosystem services (CES) are the most in demand in cities. Currently, the status of the CES evaluation remains problematic.

Accordingly, **the purpose of the work** was to develop the provisions of the methodology for estimating the volumes of the most demanded CES and determining the value of green areas in providing CES, taking into account the demand for them.

**Methodologically**, the work consisted in the steps: 1) identification of indicators of the effectiveness of the provision of CES, which are of decisive importance when citizens choose green areas to visit, which is an aspect of the CES offer (residents' perception of green areas; the character of their use; value and suitability to perform recreational and wellness functions; indicators defining restrictions on the use of green areas, etc.) 2) Normalization of calculated indicators based on a single scale, to determine the total volume of the CES offer: was applied the one-sided increasing Harrington desirability function. 3) Development of a methodology for the entire CES calculation. According to the general algorithm, the evaluation was based on the sequential determination of the potential of the green zone in providing CES, as an average value of the indicators of perception of the territory and of the total CES offer - the number of CES that the green zone is able to provide, taking into account the value of CES restrictions.

**As a result** of calculations according to the algorithm, an assessment of the volume of CES of was estimated in the selected 14 green zones of the city Kyiv. The calculation showed that none of the selected green zones provide the maximum volumes of CES, only 3 of them have higher than average volumes, 9 have average volumes, and 1 green zone each has minimum and lower than average volumes. At the same time, the potential of the researched green zones for the provision of CES: the maximum volumes in 2 zones and in the absolute majority - 11 is higher than the average volume. Accordingly, in almost all green zones there is a lack of receipt (loss) of significant amounts of CES, mainly due to the presence of problems that lead to a deterioration of the perception of green zones by residents.

In order to determine the consumer value of green zones the indicator of alternative availability of green zones was used, which reflects the ratio of supply of ES and demand for them. Among those investigated in the work, 2 green zones were identified, which due to low supply in areas with high demand for CES, should receive maximum attention when making priority management decisions.

Thus, **the research solved** the scientific task of objectively taking into account in the CES evaluation all aspects that determine the CES offer. This method, in combination with the determination of the value of green areas in providing CES, can be used in urban planning practice as a tool for improving the quality of urban green areas, their sustainable development and providing citizens with the maximum amount of CES.

**Keywords:** urban green zones, cultural ecosystem services, assessment.

### References

1. Arion, O. V., Kupach, T. H., Demianenko, S. O. (2016) *Rekreatsiyna prydatnist' zelenykh nasadzen' mista Kyyeva [Recreation suitability of green spaces of the city of Kyiv]* Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series. "Geology. Geography. Ecology", (45), 113-122. <https://periodicals.karazin.ua/geoeco/article/view/8186> [in Ukrainian]
2. Grodzynskiyi, M., Korohoda, N., Grodzynska, O., & Svidzinska, D. (2023). *Factors of Perception and Assessment of Problems of Green Areas in Kyiv by Its Residents*. In *Ukr. Geogr. Journ.*, 1, 15–22. [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2023.01.015>
3. Kupach T., Korohoda N. (2022). *The values of recreational importance and suitability of urban green areas for the assessment of cultural ecosystem services*. *Geography and Tourism*, 70, 71-80 <https://doi.org/10.17721/2308-135X.2022.70.71-80> [in Ukrainian]
4. *The Central Election Commission of Ukraine* (2021). Available at: [www.https://cvk.gov.ua](https://cvk.gov.ua)
5. Chang, J., Qu, Z., Xu, R., Pan K., Xu, B., Min, Y., Ren, Y., Yang G. & Ge, Y. (2017). *Assessing the ecosystem services provided by urban green spaces along urban center-edge gradients*. *Scientific Reports*, 7, 11226. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11559-5>
6. *Cultural Ecosystem Services*. (2022). *Biosphere Reserves for Climate Adaptation in Ukraine* Available at: <https://www.eba-ukraine.net/kul-turni-poslugi.html>
7. Bertram, C., Rehdanz, K. (2015). *Preferences for cultural urban ecosystem services: comparing attitudes, perception, and use*. *Ecosystem Services*, 12 (23), 187–99. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.12.011>

8. Daniel, T. C., Muhar, A., Arnberger, A., Dunk, A. (2012). Contributions of cultural services to the ecosystem services agenda. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109 (23), 8812–8819. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1114773109>
9. Dinda, S., Ghosh, S. (2021). Perceived benefits, aesthetic preferences and willingness to pay for visiting urban parks: A case study in Kolkata, India. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 9 (1), 36-50. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2020.12.007>
10. Ekkel, E. D. & de Vries, S. (2017). Nearby green space and human health: Evaluating accessibility metrics. *Landscape Urban Plan*, 157, 214–220.
11. Elbakidze, M., Dawson, L., Milberg, P., Mikusiński, G., Hedblom, M., Kruhlov, I., Yamelynet, s T., Schaffer, C., Johansson, K-E., Grodzynski, M. (2022). Multiple factors shape the interaction of people with urban greenspace: Sweden as a case study. *Urban Forestry & Urban Greening*, 74, 127672. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127672>
12. Fischer, L.K., Botzat, A., Honold, J., Cvejić, R., Brinkmeyer, D., Delshammar, T., et al. (2018). Recreational ecosystem services in European cities: sociocultural and geographical contexts matter for park use. *Ecosystem Services*, 31, 455–467. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.01.015>
13. Gómez-Baggethun, E., Barton, D.N. (2013). Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 86, 235–45. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.019>
14. Harrington, E. (1965). The desirable function. *Industrial Quality Control*, 21 (10), 124–131.
15. Harting, T., Kahn, P. (2016). Living in cities, naturally. *Science*, 352, 938-940.
16. Hutcheson, W., Hoagland, P., Jin, D. (2018). Valuing environmental education as a cultural ecosystem service at Hudson River Park. *Ecosystem Services*, 31, 387–394. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.03.005>
17. Ko, H., Son, Y. (2018). Perceptions of cultural ecosystem services in urban green spaces: a case study in Gwacheon, Republic of Korea. *Ecological Indicators*, 91, 299–306. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.006>
18. Korohoda, N., Halahan, O., & Kovtoniuk, O. (2022, November). The use of GIS and remote sensing data in determining the condition of green areas in Kyiv. In: XVI International Scientific Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. Kyiv, Ukraine DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580056>
19. Mao, Q., Wang, L., Guo, Q., Li, Y., Liu, M. and Xu, G. (2020) Evaluating Cultural Ecosystem Services of Urban Residential Green Spaces from the Perspective of Residents' Satisfaction with Green Space. *Front. Public Health*, 8, 226. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00226>
20. Morar C., Lukić T., Valjarević A., Niemets L., Kostrikov S., Sehida K., Tebieniieva Ie., Kliuchko L., Kobylin P., Kravchenko K. (2022). Spatiotemporal Analysis of Urban Green Areas Using Change Detection: A Case Study of Kharkiv, Ukraine. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 1-27 DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.823129>
21. OpenStreetMap contributors (2022). Available at: [www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org)
22. Plieninger, T., Sebastian, D., Oteros-Rozas, S., Bieling, C. (2013). Assessing, mapping, and quantifying cultural ecosystem services at community level. *Land Use Policy*, 33, 118–129. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.12.013>
23. Ponizy, L., Majchrzak, W., Zwierzchowska, I. (2017). Cultural Ecosystem Services of Urban Green Spaces—Supply and Demand in The Densely Built-Up Areas. *Poznan Old Town Case IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 95 (5), 052009. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/95/5/052009>
24. Shyshchenko, P., Havrylenko, O., & Tsyhanok, Y. (2021). Accessibility of green spaces in the conditions of a compact city: case study of Kyiv. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series “Geology. Geography. Ecology”*, (55), 245-256. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-18>
25. Stalhammar, S., Pedersen, E. (2017). Recreational cultural ecosystem services: how do people describe the value? *Ecosystem Services*, 26, 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.05.010>
26. Stessens, P., Khan, A.Z., Huysmans, M., Canters, F. (2017). Analysing urban green space accessibility and quality: a GIS-based model as spatial decision support for urban ecosystem services in Brussels. *Ecosystem Services*, 28, 328–340. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.10.016>
27. Wu, W.J., Wang, M., Zhu, N., Zhang, W., Sun, H. (2019) Residential satisfaction about urban greenness: heterogeneous effects across social and spatial gradients. *Urban Forestry & Urban Greening*, 38, 133–44. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.11.011>
28. Zwierzchowska, I., Hof, A., Iojă, I.C., Mueller, C., Ponizy, L., Breuste, J., et al. (2018). Multi-scale assessment of cultural ecosystem services of parks in Central European cities. *Urban For Urban Green*, 30, 84–97. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.12.017>


**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work

Received 16 January 2023


Accepted 15 March 2023

## Integrative role of human geography in solving global problems of modernity


*Liudmyla Niemets*<sup>1</sup>

DSc (Geography), Professor, Head of the Department of Human Geography and Regional Studies,  
<sup>1</sup>V.N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,  
e-mail: [ludmila.nemets@karazin.ua](mailto:ludmila.nemets@karazin.ua),  <https://orcid.org/0000-0001-9943-384X>;


*Kateryna Sehida*<sup>1</sup>

DSc (Geography), Professor, Professor of the Department of Human Geography and Regional Studies,  
e-mail: [kateryna.sehida@karazin.ua](mailto:kateryna.sehida@karazin.ua),  <https://orcid.org/0000-0002-1122-8460>;

*Pavlo Kobylin*<sup>1</sup>

PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Human Geography and Regional Studies,  
e-mail: [pavlo.kobylin@karazin.ua](mailto:pavlo.kobylin@karazin.ua),  <https://orcid.org/0000-0001-9718-5838>;


*Mehmet Tahsin Şahin*<sup>2</sup>

PhD (Geography), Assistant Professor of the Department of Geography,  
<sup>2</sup>Akdeniz University, Dumlupinar Boulevard 07058 Campus, Antalya, Turkey,  
e-mail: [tahsinsahin@akdeniz.edu.tr](mailto:tahsinsahin@akdeniz.edu.tr),  <https://orcid.org/0000-0003-1012-6814>;


*Oksana Bartosh*<sup>3</sup>

School of Humanitarian Studies, Environment, Sustainability, Associate Faculty,  
<sup>3</sup>Royal Roads University, 2005 Sooke Road, Victoria BC V9B 5Y2, Canada,  
e-mail: [obartosh@directions-eprg.ca](mailto:obartosh@directions-eprg.ca);


*Ievgeniia Telebienieva*<sup>1</sup>

PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Human Geography and Regional Studies,  
e-mail: [telebenevaev@gmail.com](mailto:telebenevaev@gmail.com),  <http://orcid.org/0000-0002-7013-8836>;

*Kateryna Kravchenko*<sup>1</sup>

PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Human Geography and Regional Studies,  
e-mail: [kateryna.kravchenko@karazin.ua](mailto:kateryna.kravchenko@karazin.ua),  <https://orcid.org/0000-0003-4654-3185>;

*Liudmyla Kliuchko*<sup>1</sup>

PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Human Geography and Regional Studies,  
e-mail: [ludmila.klychko@karazin.ua](mailto:ludmila.klychko@karazin.ua),  <https://orcid.org/0000-0001-6937-3364>

### ABSTRACT

**The purpose** of this article is to substantiate the integrative role of human geography based on the information-synergistic paradigm and UN materials on sustainable development in solving global problems of the 21st century.

**Results.** The analysis of previous studies and the relevance of the chosen research topic indicate the high place of geography in general and human geography in particular. Such an analysis indicates of the importance of the raised topic and the integrative role of human geography in the leading universities of the world, which determines its important worldview, mental and cultural role in society. It can ensure the survival of the contemporary civilization of our planet and ensure the right for future generations to live and evolve in favorable conditions of the biosphere. More and more scholars are advocating the importance of geography as an integrative discipline and a leader in providing education for sustainable development. The article presents the integrative role of human geography in solving the global problems of present, namely the interaction in the system "Human - Society - Nature". The article provides a thorough analysis of the main UN documents on the implementation of the strategy of sustainable development in the life activity of society and the education system. Human-geographical science and education are considered from the standpoint of the tasks of post-non-classical science of the 21st century. The article describes the formation of the foundations of education for sustainable development, which should be anticipatory in nature, widespread in various regions of the planet with the support of all countries of the world. The article defines the essence of post-non-classical science, the role of individual sciences in solving the global problems of present and the place of human geography in it. The concept of the information revolution of the contemporary world, the role of sciences in it, in particular information geography, is justified. The article provides a detailed overview of the development of human geography in the leading universities of the world and Ukraine and analyzes the their research areas. The analysis of educational problems of human geography in Ukraine and V. N. Karazin Kharkiv National University was carried out. An analysis was conducted to reveal the features of the structure, content, methods and methodology of human geography in the leading countries of the world, Ukraine and at our university. The article states that the main trends of the world's leading universities regarding the development, place and role of human geography as a complex science of human, society, and nature are powerfully implemented in our university. It is also stated that human geography has a powerful meaning, because it should contribute through its research and educational programs to the formation of the foundations of a global mentality, the basic conditions of global culture in particular. Based on the conducted research, the article presents the main points of development of human geography, in particular in Ukraine, to ensure its integrative role in plans for the future development of the planet in terms of the sustainable development requirements.

Taking into account the modern demand for the integration of scientific research and the necessary changes in the education system, this study reveals the role of human geography as an integrative science and education in accordance with the requirements of sustainable development and overcoming global problems of civilization.

**Keywords:** *human geography, human-geographical research, system, synergy, society and nature, information geography, geographic education, sustainable development, education for sustainable development, contemporary global problems.*

**In cites:** Niemets Liudmyla, Sehida Kateryna, Kobylin Pavlo, Şahin Mehmet Tahsin, Bartosh Oksana, Telebienieva Ievgeniia, Kravchenko Kateryna, Kliuchko Liudmyla (2023). Integrative role of human geography in solving global problems of modernity. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (58), 171-187. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-14>

**Problem Statement.** Nowadays the global world is rapidly changing, and it is in a state of constant changes, shocks negative for society and the natural environment, and dynamic instability of many components. Mankind is experiencing not just problems of a global nature but a global civilizational crisis of the systemic nature, covering all regions and countries of the world, all spheres of society. This crisis has a gigantic scale and unpredictable consequences for humanity and the planet. The question is: what to do? How to find a way out of the crisis which is increasing its catastrophic effects, threatening to destroy all life on the planet? The problem concerns politicians, public figures, educators, and scientists of all fields, each person in particular. Humanity as a global society must change its guidelines, reconsider and limit its needs concerning the environment. Without interaction with environment, it cannot exist and develop further, form its environmental views, creating a global mentality in interaction in the system "Human – Society – Nature". We are talking about the formation of the foundations of education for sustainable development, which should be proactive, and widespread in different regions of the planet with the support of all countries of the world. The integration of human geography with the natural sciences, humanities, and social sciences is an objective process and testifies to the superposition of the subject areas of these sciences and their significant potential. Integrity and interdisciplinarity, the complexity of the object-subject area of study of human geography, the breadth of its applied tasks (including in achieving sustainable development) provides it with a leading position in solving these problems [53].

**Analysis of recent studies and publications** indicates a high place for geography in general and human geography in particular. More and more scholars are committed to understanding the significance of geography as an integrative discipline and leading one in providing education for sustainable development. The high standards, approaches, methodology, and resources of geographic education for studying the interaction of world systems, humans and the environment at the local, regional and global levels are emphasized.

Issues of geographical education in the aspect of sustainable development are raised in the M.E. Meadows' works (2020), which proves that geographical education is an important tool for under-

standing the content, orientation of sustainable development goals and how to achieve them [12]. Geography as a "science of sustainable development" is increasingly important in developing knowledge and skills to provide future generations with the tools to overcome the global crisis.

An analysis of educational programs in the field of geography at German universities, taking into account the formation of competencies for sustainable development, is presented in the S. Sprenger's paper (2018) [34]. A. B. Murphy (2007) emphasizes the growing importance of geography in the United States, increased public interest in geographic knowledge, awareness of geography in other disciplines, development and widespread adoption of GIS technologies, the growth of the labor market for geographers, and improvement of geographical education [14]. Donert, K. (2007) revealed some issues of geographical education in the system of higher education of European countries [7].

The justification of the revolutionary changes in traditional ideas about the standards of geographic education, which is included in the concept of "Powerful Geography", is presented in Boehm, R. G. et al. (2018) [5]. The concept of "Powerful Geography" involves combination of principles of human abilities, the theory of powerful disciplinary knowledge and the concept of the free curriculum to train geography teachers as a social discipline. As well as it includes their further work in modeling geographical knowledge, skills and the best training to achieve personal, career goals, and aspirations.

Although geography on board with philosophy, history and foreign languages is recognized as one of the four compulsory disciplines in the UNESCO's recommendations on education in the XXI century, the place of geography at all levels of education in Ukraine is still uncertain and unreasonably understated [1]. The Ukrainian geographers repeatedly raised the issues of determining the significance and potential of geography as a science, geographical education in the context of solving global problems of modernity. In particular, D.S. Malchikova and K.V. Mezentsev (2022) analyzed the process of contemporary transformation of the standards of basic geographical education in Ukraine and foreign countries and determined the impact of this process on the formation of a public image of geography [46]. In our previous studies, we paid attention to the realities,

challenges, experience of changes in human-geographical science and education [53], trends in the post-industrial development of society and the role of human geography, expanding its capabilities through the information and synergetic component [49, 51, 52], the issue of training specialists in the field of human geography and regional development in Ukraine [48], educational and ideological opportunities of geography as an integrating discipline in view of achieving the goals of sustainable development [50].

**This article** justifies the integrative role of human geography based on the information and synergetic paradigm and UN materials on sustainable development in solving global problems of the XXI century.

**The research tasks are:**

- analysis of the main UN documents on science and education to identify priority issues for overcoming global problems of humanity;
- definition of the essence of post-nonclassical science, the role of individual sciences in solving global problems of modernity, and the place of human geography in it;
- substantiation of the concept of the information revolution of the contemporary world, the role of sciences in this, in particular information geography;
- review of the development of branches of human geography in leading universities of the world, Ukraine and analysis of directions of their research;
- review of educational problems of human geography in Ukraine and V.N. Karazin Kharkiv National University; identification of the main points of human geography development, in particular in Ukraine; to ensure its integrative role in the future development plans of the planet in terms of sustainable development requirements.

**Presentation of the main material of the study.** Attention to the growing problems on the planet has been drawn for a long time, and since the middle of the twentieth century it has been taken care of by powerful international organizations (UN, NATO, UNICEF, etc.), which play a coordinating and organizing role in research, discussions of the situation.

From the point of view of synergetics as a complex component of post-nonclassical science of the XXI century, it is necessary to consider the existence on the planet of a global system of a social, natural, technogenic nature with many subsystems of different nature and hierarchical level. In the aspect of human geography, we will talk about the global social and geographical system, namely a complex, thermodynamic, open, hierarchical system with powerful internal and external information connections and influences.

The main problem of the contemporary state of the global social and geographical system is the following: a person, whose life is based on powerful technologies and means of influencing nature, has become a powerful force and carries out a powerful expansion in the environmental niche of the planet. Pressure on the biosphere has reached its limits. According to Erwin Laszlo, a member and active figure of the Club of Rome, humanity has already entered the era of bifurcations due to its unreasonable activity on the planet [10]. However, there are unknown movement directions of subsystems of the global social and geographical system to attractors, their changes, and losses. But it is already well known that the power of technogenic civilization does not allow to function the laws of nature, which evolutionarily were formed over many millennia and provided self-support, self-development, and self-organization of the biosphere. The anthropocentrism of society is the basis of global natural and social disasters, the growth of tension between countries, etc. Human is an author of the majority of human-made disasters on the planet, and it is up to him to correct the troubles and misfortunes of his human-made victories in the biosphere.

Without dwelling on many components of the global socio-geoecological crisis of the planet, let's consider some issues of overcoming it. This should be embedded in the renewal and transformation of education. Synergetics is an interdisciplinary science that gives impetus to the same direction of other sciences about nature, humans, society, technology. The science and education can provide a completely new nature-centered self-organizing environment on our planet for the formation of global human values, world-class, and understanding of culture. Without it is impossible to overcome military aggression and conflicts, religious, political, cultural misunderstandings, and problems. The basis of this approach is the fundamental nature of education, the ability to form a holistic view of nature, human, society and its technical and technological capabilities. The combination of the humanities and the natural sciences through education can have a powerful impact on changing "human qualities".

As is well known, education always performed many important functions in society; in particular a significant one is the transfer of social experience of generations. It did this task, teaching a person to live in unity with nature many years ago. Nowadays a powerful flow of information, contemporary information technologies, forming confidence in the omnipotence of human and his influence technologies, changes in the environment are not enough. It is necessary to give comprehensive knowledge, practical skills for living in an era of rapid change, the spread of adversity in the natural and social. Change must

concern science and education together, in unity. Contemporary science provides technogenic civilization with powerful means of influencing the natural environment for the rapidly growing needs of mankind, thereby accelerating the growth of the economic, social sphere. At the same time it excludes aggravation of the geocological crisis of consumption due to the destruction and pollution of the environment, decrease in non-renewable resources, and deterioration of the climate situation in many regions of the world. Consequently, education based on post-nonclassical science should have a proactive character and lay the foundations of the civilization that can save the world from global problems of the anthropogenic nature.

Since the end of the twentieth century the efforts of progressive scientists of various scientific directions have given light of hope for the survival of mankind through combining efforts to change the behavior of society. The apogee of these efforts ended in 1992, when the World Summit on Sustainable Development was held in Rio de Janeiro (Brazil) [41]. The era of further efforts of scientists, politicians, public associations for the development and further implementation of documents of sustainable development in science, education, and consciousness of global society began.

Today, the strategy of sustainable development is the leading strategy for the further existence of the information (post-industrial) society.

There is no reasonable alternative to sustainable development, and the entire world community is taking certain steps to switch to a new strategy for its development in the 21st century. Ukraine lags far behind other countries in this process. This process can be accelerated by forming and functioning a new education system, namely education for sustainable development.

Sustainable development involves not only the competent, rational use of natural resources by current generations, but also measures to preserve the environment in the name of the life of future generations. Therefore, an important point of education for sustainable development is practical implementation of the laid foundations of sustainability, ensuring early action to solve environmental problems, as well as problems of sustainable economic and social development.

"Agenda 21" was the first international document that identified education as an important tool for achieving sustainable development and highlighted areas of activity in education. "Agenda 21" states that "education is the foundation of sustainable development" and the main tool for creating a humane, equal and attentive to human problems society in which every individual should have own human dignity and a decent standard of living [2]. Obviously, the main

reason for the emergence of education for sustainable development is the awareness of the need for changes in the educational paradigm to further sustainable development of society, the economy and preservation of the environment. Education for sustainable development involves the transition of such an economically and socially oriented education model, which should be based on broad interdisciplinary knowledge. This knowledge is based on an integrated approach to the development of society, which allows making and implementing decisions at the local and global levels. These decisions are aimed at improving the quality level of living which are not threaten the ability of future generations to meet their needs [40]

Education for sustainable development is at the heart of the United Nations programs. It defines education as encouraging changes in knowledge, skills, values and attitudes to ensure a more sustainable and just society for all [38].

In the UNECE Strategy for Education for Sustainable Development, the overarching goal of education for sustainable development is the statement that "all people should have the knowledge and skills to contribute to a sustainable development process which meets the needs of the present and does not compromise the ability of future generations to meet their needs.... Education... should allow individuals and societies to work for sustainable development. Its goal is to make people more informed, moral, responsible and demanding..." [9, 39]

The contemporary concept of education for sustainable development is mainly based on the following international acts on the development of environmental education: Belgrade Charter, 1975 [36], Tbilisi Declaration, 1977 [35], Declaration of Thessaloniki, 1997 [6].

The general international documents on sustainable development, which contain separate provisions on education for sustainable development are the following: Agenda 21, 1992 [3], Report of the UNECE Regional Ministerial Meeting for the World Summit on Sustainable Development, The Sixth Environment Action Programme of the European Community 2002-2012, 2001 [37], United Nations Millennium Declaration, 2002 [31, 42].

The special international documents on education for sustainable development are the following: Dakar Framework for Action "Education for All: Meeting our Common Commitments" (text was adopted by the World Education Forum, Dakar, Senegal, 2000) [44], An Agenda 21 for Education in the Baltic Sea Region (adopted by the Meeting of Ministers of Education of the Baltic Sea Region, Stockholm, Sweden, 2002) [4], Sofia Conference on Adult Education (Sofia, Bulgaria, 2002) [33], UNECE Ministerial Statement on Education for Sustainable Development [45] (Kyiv, Ukraine, 2003), Basic Ele-

ments of the UNECE Strategy on Education for Sustainable Development (Kyiv, Ukraine, 2003), Draft UNECE Strategy on Education for Sustainable Development (Geneva, Switzerland, October 2004) [39].

In 2005 The UN General Assembly proclaimed the “Decade of Education for Sustainable Development” [38]. In 2015, leaders of all countries at the UN summit expressed support for the transition to sustainability through the implementation of 17 Sustainable Development Goals for the period till 2030 [43]. At the same time, education is formulated as an independent goal, and all other goals of sustainable development and their tasks are also related to education. In 2016 Ukraine developed a national system for sustainable development, which includes 86 tasks and 172 indicators (7 tasks and 11 indicators for education) [43]. In 2017 UNESCO developed recommendations for harnessing the potential of education to achieve each of the Sustainable Development Goals (SDGs) [8].

Education for sustainable development aims to form a worldview based on the principles of sustainable development, systematization and assimilation of information on such development. The peculiarity of education for sustainable development is the following: it covers the environmental, economic and social problems of education and upbringing from the perspective of forming a new system of value orientations and models of behavior of the younger generation and society as a whole. It significantly complements and expands the framework of environmental education, and allows all aspects of educational activities to be developed in the context of sustainable development. Its diversity of topics requires the use of complex elaboration. It makes it possible to create a systematic mechanism for transforming life priorities at the individual level and, therefore, to ensure the leading function of education concerning the modeling of social processes.

Particular attention should be paid to the practical implementation of sustainable development models, the formation of appropriate norms of behavior and lifestyles, and an active public position on implementing sustainability in the everyday experience of children and adults. Ukraine needs a responsible and strategically-minded young generation for its future survival. This need must be met primarily through education by creating schools of advanced education for sustainable development, developing children's value orientations that meet the needs of sustainable development as personally important and appropriate.

The issues of sustainable development should become an important component of contemporary education. Sustainable development should be seen as a universal and necessary element of everyday life and included in all subjects and disciplines. It is necessary to strengthen the relationship between the

natural and social sciences, introducing interdisciplinary approaches. The traditional emphasis on teaching individual subjects should be maintained in education, while opening up opportunities for multilateral analysis of real-life situations. All this will affect the structure of curricula and teaching methods and require lecturers to abandon the role of only information carriers, and students from the role of only information consumers.

Sustainable development requires a concept of education aimed at an integrated and dynamic approach that considers the importance of critical thinking, social learning and participation in society. That is why economic, social and environmental aspects are intertwined in education for sustainable development. In a broader context, ethics and equity are important components of education for sustainable development.

All materials of world forums, normative documents on their basis are embodied in the strategy of education for sustainable development and should be in educational programs of all levels. This gives hope for the search and implementation of ways to restore historical values, ensure the unity of human and nature from the local to the global level on the basis of changing not only knowledge, behavioral skills, but also the formation of a culture of these relationships through nature-centric science, a new philosophy of behavior, etc. The restoration of social experience can be possible through an educational system based on a proactive character, known and unknown attractors, the emergence of “strange attractors”, whose behavior is almost impossible to predict.

As it is well known, synergetics began to develop very rapidly from the end of the twentieth century, first within the framework of physical science. Then they covered other natural, social and human sciences. Initially, the basis of synergetics was dominated by mathematics, its conceptual apparatus, methods, but increasingly spread in the behavioral sciences, humanities, etc. In the field of subject-object area of synergetics are complex thermodynamic systems, their stability and instability, chaos in nature and society, the possibility of self-improvement of such systems, self-regulation and self-organization, self-development, self-preservation, determination of the role of random factors leading to strange attractors, natural and social disasters, revolutionary changes in systems. All these aspects can and should comprehensively explore the sciences of human, society, nature, technology based on the embodiment of the information-synergetic paradigm. In particular, the documents on sustainable development and the tasks of education speak not only about interdisciplinarity, but also raise important issues of the anticipatory nature of such education, changes in teaching methods from a simple transfer of knowledge to a

practical and project form. It ensures the formation of sustainable skills and competencies, including on real materials of the local level. We believe that the geographical component of education is fundamental in the formation of knowledge, skills, attitudes and practices, taking into account the sustainable development goals. It allows people to make more informed decisions for the survival of present and future generations. The potential of geography is underestimated, given the formation of a holistic comprehension of the global problems of mankind, as it covers the achievements of both natural and social sciences. A powerful base of geography as a science of sustainability is formed based on their integration, which gives powerful knowledge through the prism of spatial patterns of interaction between society and nature [11].

Human geography is an integrative science that allows comprehensively analyzing the complex processes of synergetic nature occurring in the world social and geographical system, to respond to the current challenges of present effectively. That is why studying human geography is extremely important for higher education, and it is represented in leading universities of the world, Europe and Ukraine. In many countries of the world, geography and human geography in particular is contained in various educational fields, but its integrative, culturological orientation remains. We consider the features, state and prospects for the development of geographic education and science in the top 10 universities in the world according to QS World University Rankings, namely: University of Oxford, London School of Economics and Political Science, University of Cambridge, University of California Berkeley, National University of Singapore, University of California, Australian National University, University of British Columbia, University College London and University of Hong Kong as well as Akdeniz University and V. N. Karazin Kharkiv National University (*Table 1*).

We consider the correspondence of the level of human-geographical education and science to the challenges of modernity at the leading universities of the world, and other higher education institutions that were not included in the ranking in 2022, but have a significant potential in the development of human-geographical education and science.

The study of human geography at the University of Oxford is carried out through various academic departments and interdisciplinary programs offering specialized courses and research opportunities [28]. The most relevant areas in scientific research are the study of the spread of COVID-19, the interaction of the economy and society, transformational processes in society and justice, research in the field of energy, comprehensive research on the interaction of society and nature, geopolitical research, the interaction of

local authorities and society, technological and technical aspects of society, population mobility, transport, and logistics research. The University of Oxford focuses on scientific research, critical thinking, and intellectual exchange, creating a stimulating environment for students interested in studying and understanding human-geographical processes.

Human-geographical education is also actively implemented at the London School of Economics and Political Science [20]. The study of human geography is viewed through a multidisciplinary prism, combining social, economic, and political perspectives. The School offers a range of programs and research opportunities that reveal different aspects of human geography and its intersection with the global challenges of humanity. The teaching and research of human geography is influenced here by the school's broad approach to studying the social sciences. The most important scientific areas at the London School of Economics and Political Science are: economic geography, environment, and urbanization, planning and development. The activity of the school emphasizes field research, interaction with experts, experience of expeditionary work and contributes to the creation of a lively and intellectually stimulating educational environment.

Human geography at the University of Cambridge is actually studied at various academic faculties as part of interdisciplinary programs, but the formation of a powerful intellectual environment for studying human geography is ensured [26]. The university emphasizes effective research, interdisciplinary interaction and intellectual exchange, which creates a stimulating and enriching environment for students interested in studying the features of human geography.

The study of human geography at the University of Berkeley [23] is provided by various topics, including urban geography, cultural geography, political ecology, economic geography, and GIS (Geographic Information Systems). Field research, practice and expeditionary activities are essential for future human geography specialists. The University also organizes workshops, conferences and public lectures of famous scientists, allowing students to participate in debates and discussions and be aware of current trends in the development of human-geographical science.

The study of human geography at the National University of Singapore is carried out through interdisciplinary programs, research opportunities and a focus on understanding the spatial dynamics of society and its environment [21]. Students have the opportunity to participate in field studies, excursions and expeditions, to implement research projects in local communities and within international projects, as well as to gain their own experience in collecting, an-



Table 1

Place of human geography in the world's leading universities (constructed by the authors)

No.	Higher Education Institution	Structural unit providing educational services	Levels of training	Study programs	Research Centers
1.	University of Oxford (UK) [28]	Department of Social Sciences, School of Geography and Environment	Bachelor of Geography, Bachelor of Science, Master of Science, Doctor of Philosophy (PhD)	"Nature, Society and Environmental Management", "Sustainable Development, Entrepreneurship and Management", "Geography and Environment"	Center "Future of the city", Department of Transport Research
2.	London School of Economics and Political Science (UK) [20]	Department of Geography and Ecology	Bachelor of Geography, Bachelor of Science, Master of Science, Doctor of Philosophy (PhD)	"Environment and Sustainable Development", "Economic History and Geography", "Human, Geography and Urban Geography", "Urbanization and Urban Development", "Regional Urban Development", "Human, Geography and Urban Studies", "Regional and Urban Planning", "Economy, Ecology and Climate Change", "Urban Policy".	There are research centers and initiatives that focus on topics related to human geography, in particular - the "LSE Cities Research Center",
3.	University of Cambridge (UK) [26]	School of Physical Sciences, Faculty of Earth Sciences and Geography, Department of Geography, Department of Geography, Archaeology and Anthropology	(Bachelor, Master, Doctor of Philosophy, etc.)	"Geography of Life activity", "Geography of Infrastructure", "Geography of Education"	Cambridge Centre for Environment, Energy and Natural Resources Management, Centre for Geopolitics.
4.	University of Berkeley (USA) [23]	College of Literature and Science, Department of Geography, Institute of Urban and Regional Development	(Bachelor, Master, Doctor of Philosophy, etc.)	"Development of society and the environment", "Urban Geography"	Center for Global Capital Studies, Gentrification Research Center
5.	National University of Singapore (Singapore) [21]	Faculty of Arts and Social Sciences, Department of Geography	Pre-university training, bachelor, master of science	"Urban Geography", "GIS", "Sustainable Development"	Asia Research Institute, Asia Sustainable Cities Research Center
6.	University of California (USA) [25]	Department of Geography	(Bachelor, Master, Doctor of Philosophy, etc.)	"Cultural Geography", "Geospatial Systems and Technologies"	There are centers dedicated to urban studies, environmental sustainability, social justice and regional development
7.	Australian National University (Australia) [19]	Fenner School of Folklore and Society	Bachelor, Master of Science	"Sustainable Development", "Urban Systems"	Center "Human Ecology"
8.	University of British Columbia (UBC), (Canada) [24]	The Vancouver Campus, Faculty of Arts, Department of Geography	Bachelor of Geography, Bachelor of Science, Master of Science,	"Human Geography", "Environment and Sustainable Development"	Institute of Resources, Environment and Sustainable Development, Centre for

			Doctor of Philosophy (PhD)		Human Settlements Studies
9.	University College London (UK) [29]	Faculty of Social and Historical Sciences, Department of Geography	Bachelor of Geography, Bachelor of Science, Master of Science, Doctor of Philosophy (PhD)	"Economic Geography", "Geography of the World", "Social Geography", "Global Migration", "Human Geography", "Urban Geography",	Center for Leading Spatial Analysis, Laboratory for the Study of Spatial Transformations
10.	University of Hong Kong (China) [27]	Department of Geography	Master of Sciences, Doctor of Philosophy (PhD)	"Geography and Urban Management"	Center for Urban Studies and Urban Planning, Center for Cultural Heritage Studies
11.*	Akdeniz University (Turkey) [22]	Department of Geography	Bachelor, Master	"Human Geography", "Geography and Information Systems", "Urban Geography"	Research Center for Urban and Regional Planning, Research Center for Cultural Heritage Management and Tourism
12.*	V. N. Karazin Kharkiv National University (Ukraine) [18]	Department of Human Geography and Regional Studies	(Bachelor, Master, Doctor of Philosophy, etc.)	"Economic, Social Geography and Regional Development"	Educational Laboratory for Socio-Economic and Information Technologies

\*some universities that were not ranked in 2022, but have a significant potential for human-geographical training

alyzing and interpreting data. Fieldwork experiences enhance students' understanding of spatial dynamics, cultural landscapes, urban transformation processes, and environmental issues. The University also contributes to the implementation of powerful studies of complex world processes and the study of the global perspective of the development of human geography. The university's educational and scientific activities emphasize international cooperation and global prospects for the development of human geography, forming a dynamic educational environment for students interested in studying the global problems of humanity and the role of human geography in solving them.

The scientists at the University of California in Los Angeles focus on the following issues: demographic problems and racial composition of the population, spatial transformations and differentiation of development, cultural and historical geography, globalization, urban, political and economic geography, population migration, natural geography, human geography, methodology of geographical research [25]. The University of California system encourages interdisciplinary collaboration, allowing students to explore the connections between human geography and other disciplines such as sociology, economics, political science, anthropology, and environmental science. The study of human geography at the University of California system involves the availability of interdisciplinary programs, research projects, fieldwork experience, and involvement in solving real practical human-geographical problems. The emphasis of geographical education of this university is

focused on systematic research, cooperation and practical implementation of the acquired knowledge, creating a dynamic and intellectually stimulating environment for students interested in studying human geography.

Australian National University focuses on indigenous issues, human impact on the environment, the state of urban systems and the sustainability of cities, the development of geographic science methodology, interactive methods and their application [19]. Field studies and practices are important components of social and geographical education at the university. The school organizes excursions and research projects that allow students to observe and analyze real geographical phenomena. The specificity of the Australian University in educational and scientific activities is powerful scientific research, cooperation with leading scientists and practitioners, practical implementation of the knowledge gained.

Among the priority areas of the University of British Columbia are the issues of urbanism and economic development of cities, transnational trade flows, climate change, information geography, GIS and spatial analysis, geodemographic features (gender-age structure, racial composition), colonialism and justice, military geography and state security [24].

The study of human geography at this university encompasses a wide range of topics and approaches, particularly cultural geography, urbanism, economic geography and social justice. Students develop skills in spatial analysis, GIS (geographical information systems) and qualitative methods of human-geographical research. Field research and practice are

important components of receiving a geographical education at the University of British Columbia. Students can participate in excursions, public research projects and gain practical experience collecting and analyzing geodata. Fieldwork experiences enhance students' comprehension of spatial dynamics, cultural landscapes, urban transformation processes, and environmental issues. An important feature of geographic education at the University of British Columbia is the interdisciplinary cooperation and integration of various scientific areas to ensure the integrated nature of education and science.

It is worth noting geospatial analysis, sustainable use of natural resources, global health issues, demographic issues and population migration, including refugees and forced migrations, "brain drain", geography of world culture, feminist cities, global urbanism, urban infrastructure and housing urbanism, urban heritage among the main scientific areas at University College London [25]. Educational programs provide general training in human geography, covering its various components: urban geography, cultural geography, political ecology, economic geography and social theory. The specificity of human-geographical education in the college is to provide opportunities for obtaining a quality education, carrying out independent scientific research and testing their results.

The University of Hong Kong has opportunities to study applied geography and urban management [27]. Scientific research is specific and focuses on the study of China, its role and influence on the world stage, in particular by rethinking and recontextualizing China's strategic position through large-scale changes in economic and social structures, as well as the rapid process of urbanization over the past 40 years; research of cities and transport infrastructure using qualitative and quantitative research methods, analysis of the opportunities and challenges of rapid urbanization, as well as improving the growing complexity of transport planning and design, mobility and sustainability, security and management in megacities. The peculiarity of geographical education in this higher education institution is the emphasis on studying the Asian region and China itself, the problems and prospects for its development, the spread of influence and regional hegemony.

It is worth noting human geography, urban-geographical studies and the latest concepts of methods and techniques for using geospatial analysis tools (GIS) among the priority scientific areas of Akdeniz University [22]. The university is equipped with modern geospatial laboratories that provide students access to the most modern tools and software for geospatial analysis and mapping. Students can also join geographic clubs and associations, participate in research projects with faculty, and attend conferences

and workshops organized by the department. These activities contribute to forming an active academic community, allowing applicants to expand their knowledge, develop research skills and communicate with professionals in the field. This experience of the university fully corresponds to the modern demand for the level of geographical education. Department of Geography of the Akdeniz University also has an advisory board consisting of businessmen, local government representatives and NGO representatives. The course catalogs are shaped according to current problems and issues by holding regular meetings with the advisory board every year. In addition, bachelor students have to prepare a graduation thesis that deals with current and regional issues in order to graduate.

Human-geographical science and education is also actively developing at V.N. Karazin Kharkiv National University, and it is represented by the following areas: human geography and sustainable development, demography, migration processes, social geography, political geography and geopolitics, urban geography and urban planning, geography of agriculture and agro-industrial complexes, regional geography and peculiarities of regional development [13, 15-18, 32]. Particular attention is paid to studying the theory and methodology of human-geographical science and information geography as a new and promising field. Students gain a deep comprehension of spatial development models, processes and dynamics of human-geographical processes, exploring ways of the spatial distribution of the population and opportunities for regional development. Much attention is paid to international cooperation, obtaining and implementing the experience of the best universities in Europe and the world in lecturers and students' educational process and research work.

In general, the training of specialists in specialty 106 Geography takes place at all three levels of higher education in Ukraine. 17 higher education institutions of Ukraine train bachelors and 14 higher education institutions of Ukraine train masters within the specialty 106 Geography. There is a fairly wide variety of proposed educational programs, including programs in the field of geography, recreation and tourism, natural geography and environmental management, human geography and regional studies [48]. Content analysis of educational programs of the first and second levels of higher education of these universities indicates a wide range of specialized disciplines that contribute to the formation of highly qualified specialists in regional development, its monitoring and management based on the formed potential of knowledge in the field of human geography and understanding of the peculiarities of the interaction of society-environment-economy and the formed spatial thinking [18].

Therefore, the necessary measures to improve the structure, content, and measures for the implementation of the educational field of this science have been proposed based on the analysis of the place and role of human geography as an integrative interdisciplinary science in solving global problems of humankind. Such changes should be based on the evolutionary synergetic approach to forming knowledge, practical skills, etc. Human geography and its educational component meet all the requirements of this approach. Human-geographical education and its educational programs should include interdisciplinary, synthetic courses. Cross-cutting and leading lines are historicism, evolutionism, information and synergetic laws and the principle of construction.

Human geography as a science has a powerful direction of further development based on interdisciplinarity, from the standpoint of synergy, which is extremely important in the instability and unpredictability of the development of global society of upheaval, chaos and catastrophes in present. Involvement of a wide methodological toolkit and various scientific approaches provides comprehensive and verified research results. It is also important to cooperate with stakeholders, particularly local and regional authorities, communities, politicians, practitioners, scientists of other research institutions and higher education institutions. Such cooperation creates the basis for expanding the social demand for science and education.

Based on the principles of sustainable development, contemporary human geography is designed to be an ambassador for solving global challenges. Therefore, human-geographical research should lead in solving complex global challenges, such as urban sprawl, demographic problems, social inequality, problems of war and peace, etc.

Among the prospects provided by high-quality human-geographical education, the leading place is occupied by the integration of new technologies, such as spatial analysis and forecasting of development, the introduction of the foundations of information geography, remote sensing, big data analytics and geospatial modeling. These areas allow forming a new comprehension of spatial processes and approach the transformation of the human-nature interaction, positively solve tactical and strategic compromises.

Information geography is one of the powerful tools for the transition of human-geographical education to a qualitatively new level of development because it focuses on the formation of skills for mastering and processing the rapidly growing flow of information, the study and application of geographical information systems, remote sensing, spatial analysis and the introduction of geospatial technologies. The analysis conducted by the authors demonstrates that the development of information geography and its

implementation in the educational and scientific process in the leading universities of the world has increased significantly in recent years thanks to the corresponding main trends in the development of education and science. Information geography is an interdisciplinary science, based on geographical concepts and methodology of computer science, synergetics, cybernetics, statistics, earth sciences and other related disciplines. Leading universities recognize the importance of interdisciplinary education and offer programs integrating geospatial technologies with different areas of human geography such as urban planning, environmental management, health, transport and social sciences. This important human-geographical area ensures the excellence of research, and therefore some of the world's leading universities have established research centers, institutes and departments dedicated to information geography. They focus on improving geospatial technologies, developing innovative methodologies, and addressing pressing societal challenges. They contribute to developing theories, algorithms and applications related to GIS, remote sensing, spatial analysis and data visualization.

All bachelor's, master's, and PhD programs of the world's leading universities have been implemented to some extent and continue to develop information geography, providing a comprehensive and powerful educational component. Their basis is the mastery of geospatial technologies, data management, and implementation of geospatial analysis. Educational programs necessarily include practical experience, project-based learning and field studies to enhance practical skills and prepare students to solve real-world practical problems. Comprehension of the need for such training leads to the fact that universities and their research centers invest in advanced geospatial laboratories, high-performance computing resources, remote sensing equipment, and access to geospatial data repositories. Such resources allow researchers and students to conduct advanced geospatial analysis, process large data sets and develop innovative geospatial programs.

Leading universities also collaborate with government agencies, industry partners, and research institutions to address real-world challenges and drive innovation in education and research. This collaboration often includes collaborative research projects, knowledge sharing, and technology transfer, ensuring that academic research will have a practical implementation and positive impact on society's development.

Leading universities are implementing their contribution to open data initiatives by sharing geospatial data sets, developing open source software tools, and advocating for open access to geospatial information. This joint and open approach contribu-

tes to this direction's innovative development, research reproducibility and free access to geospatial technologies.

Therefore, the development of information geography as a component of human geography in the leading universities of the world is characterized by interdisciplinary cooperation, research excellence, improvement of educational programs, the availability of the most modern equipment, cooperation with external partners, opportunities for professional development and commitment to open data and open source software. These universities play a crucial role in developing geospatial technologies, promoting innovation in solving complex social problems through the application of information geography and information development of society. It is worth adding about the importance of education and science in the difficult conditions of the present, war, social upheavals, a significant loss of intellectual potential, problems of restoring the economic potential of the country, the loss of stability of many regions, etc. There is a problem of strengthening the scientific component, training qualified specialists in policy issues, regional development, monitoring and planning of territories in further sustainable development. This is a problem of education. This is a problem of education and integrated interdisciplinary science, namely human geography.

Human geography has a powerful value, because it should contribute through its research and educational programs to the formation of the foundations of the global mentality, the fundamental conditions of world culture in particular. Information geography in this respect will continue to evolve rapidly. It is necessary to translate these changes into educational programs, to form relevant important students' competencies.

It should be noted that the main trends of the world's leading universities regarding the development, place and role of human geography as a complex science of human, society, nature are powerfully implemented in our university. Based on it we note that Kostiantyn Niemets was a generator of ideas for improving human-geographical science and education at our department. He was one of Ukraine's leading scientists in information geography as a component of human geography. He paid much attention to improving human geography's scientific and methodological apparatus. Rapid changes in the flow of various information about a person, society, nature, the aggravation of crises in the biosphere require the expansion of knowledge about various types of information, the search for new methods for mastering it and improving educational programs and theoretical and methodological foundations of our science on this basis [47]. The conceptual and terminological apparatus changes following the transformation of

science itself. The algorithm of this process is simple: a new social order for solving specific problems of society requires the development of new research methods and addressing these problems due to the impossibility of solving them within the previous theoretical and methodological paradigms. In turn, the latter causes the development of the conceptual and terminological apparatus, etc.

The conceptual and terminological apparatus of contemporary social geography was formed historically in the conditions of the development of science itself, starting from economic geography with its transformation into economic and social, socio-economic, and finally into human geography. It was a science not just geographical, but interdisciplinary by definition from the beginning. Therefore, scientific and methodological, methodological and terminological apparatus were formed accordingly. Many intersections from the beginning of development were from economics, mathematics, then from sociology, political science, cultural studies, computer science, etc. Undoubtedly, this development should occur in the near future at the expense of the conceptual and terminological apparatus of cybernetics, synergetics, systems theory, etc. Kostiantyn Niemets substantiated and considered the construction of the thesaurus, structure, content, and the formation of educational programs of geographical orientation in general and human geography in particular. In this aspect we note the significant work on developing the conceptual and terminological apparatus, research methods following global problems and social challenges.

The practical activity of human society poses new and new problems to science, causing rapid development and new research areas. Many bifurcation points are unpredictable in the interaction of society and nature, and the development of global civilization as a whole. This requires the implementation of synergetic laws in human-geographical research, which should cover new phenomena, challenges for answering the question of changes in human behavior and society as a whole, and directions for developing social and geographical systems at bifurcation points, in particular. Given the extraordinary complexity of contemporary challenges to the sciences of society, nature, and human on a global scale; the complexity of processes at all levels in different parts of the world, human geography with its powerful interdisciplinary approach should significantly expand its subject-object research area. Given the need to apply the laws of synergetics in human geography, it is necessary to implement the concept of nonlinearity as soon as possible in its scientific apparatus, which is used very limitedly, although this is one of the main qualities of contemporary social and geographical systems. Further research requires consideration of cross-cutting lines of humanization, in particular

cultural and behavioral geography, the development of behavioral maps that can become the basis for improving infrastructure, in particular transport, etc. Natural and social, purely anthropogenic cataclysms are rapidly spreading and problems. It requires the study of the mechanisms of the spread of anthropogenic cataclysms; in particular, this concerns natural and human-made disasters, their prevention, and overcoming with the analysis of natural and human losses, and financial resources.

The regional gaps in the levels of socio-economic development, availability of human potential, its prospects are growing rapidly in Ukraine. These processes will be intensified as a result of the war that Russia started against Ukraine, and the negative migration situation against this background. In general, there are processes of disintegration of countries under the pressure of globalization in the world. In the same aspect, research is needed on regional identity, in particular ethnic, racial, gender, age, professional, corporate, etc. An important issue for studying human geography is the regional mentality as the basis of regional identity in the new socio-political conditions. It should be noted that this problem was in the field of view of scientists abroad at the end of the last century. Since then an important concept of the cultural landscape has appeared, as the territory is historically inhabited by a certain group of people, namely bearers of certain cultural values.

**Conclusions.** Summing up the study of the important and complex problem regarding the role of science and education in overcoming the threatening problems of contemporary civilization, we note several aspects regarding the role of human-geographical science and education in these processes. Each science in a certain period of historical development performs certain important functions. Its success depends on the future of science itself and its contribution to the development of society, efforts to overcome global troubles, etc. The social order also sets the task for scientific developments, areas and, accordingly, the implementation of achievements in the

education system. The system of transferring the social experience of generations works according to this scheme. In the current crisis state of interaction of humankind with the environment, the means of technogenic civilization do not allow solving these problems. The problem is in a person, his worldview, the dominant role in the biosphere, etc. The leading scientists of the world raise the question of the need for revolutionary changes in "human qualities" [26]. Taking into account the contemporary demand for the integration of scientific research and the necessary changes in the education system, this study reveals the role of human geography as an integrative science and education following the requirements of sustainable development and overcoming the global problems of civilization.

A thorough analysis of the main UN documents on implementing the sustainable development strategy in the life activity of society and the education system was carried out. Human-geographical science and education are considered from the standpoint of the tasks of post-nonclassical science of the 21st century. The main role belongs to the information and synergetic paradigm in theory and methodology, practical activity. Hence a change in the functions of human geography, the structure and content of education is necessary. The authors analyzed the identification of features of the structure, content, methods and techniques of human geography in the leading countries of the world, Ukraine and in our university. These issues will be considered in more detail and thoroughly in the monograph of the scientists of the department, textbooks, etc. The analysis of previous studies indicates the importance of the topic raised and the integrative role of human geography in the world's leading universities, which indicates its significant worldview, mental and cultural role in society. It can ensure the survival of the contemporary civilization of our planet and ensure the right for future generations to live and evolve in favorable conditions of the biosphere.

### Bibliography

1. *A geographic perspective on education for sustainable development: Lûcernskaâ Declaration on geographical education for sustainable development [Текст] // Materials of the symposium held in Lucerne, Switzerland, July 29-31, 2007.*
2. *Agenda 21 (1992).* – Режим доступу: <https://sustainabledevelopment.un.org/outcomedocuments/agenda21>
3. *AGENDA 21.* – Режим доступу: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>
4. *An Agenda 21 for Education in the Baltic Sea Region.* – Режим доступу: <http://www.hu2.se/hu2old/Baltic21E.pdf>
5. *Boehm R. G., Solem, M., Zadrozny, J. The Rise of Powerful Geography [Текст] / R.G. Boehm, M. Solem, J. Zadrozny. The Social Studies.* – 109 (2). – P. 125-135. DOI: <https://doi.org/10.1080/00377996.2018.1460570>
6. *Declaration of Thessaloniki.* – Режим доступу: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000117772>
7. *Donert K. Aspects of the State of Geography in European higher education. TUNING Geography: a report of findings and outcomes [Текст] / K. Donert. Liverpool: HERODOT Network Liverpool Hope University Hope Park, 2007.* – P. 89. – Режим доступу: [https://www.academia.edu/1000866/Aspects\\_of\\_the\\_State\\_of\\_Geography\\_in\\_European\\_higher\\_education](https://www.academia.edu/1000866/Aspects_of_the_State_of_Geography_in_European_higher_education)
8. *Education for Sustainable Development Goals: Learning Objectives. UNESCO Education Sector, 2017.* – Режим доступу: <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002474/247444e.pdf>

9. European Commission, *Key Competences for Lifelong Learning*. – Режим доступу: [at:https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/297a33c8-a1f3-1-9d01-01aa75ed71a1/language-en](https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/297a33c8-a1f3-1-9d01-01aa75ed71a1/language-en)
10. *Goals for mankind* [Текст]. – 1977. – Під кер. Э. Ласло (США)
11. Maude A. (2017) *Applying the concept of powerful knowledge to school Geography* / A. Maude / [Під ред. C. Brooks, G. Butt, M. Fargher]. *The Power of Geographical Thinking*, Springer, Cham, pp. 27-40
12. Meadows M.E. *Geography Education for Sustainable Development* [Текст] / M.E. Meadows // *Geography and Sustainability*. – Volume 1, Issue 1, March 2020. – P. 88-92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2020.02.001>
13. Morar C. *Spatiotemporal Analysis of Urban Green Areas Using Change Detection: A Case Study of Kharkiv, Ukraine* [Текст] / C. Morar, T. Lukic, A. Valjarevic, L. Niemets, S. Kostrikov, K. Sehida, I. Telebienieva, L. Kliuchko, P. Kobylin, K. Kravchenko // *Frontiers in Environmental Sciences*. – 2022. – 10. – 823129. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.823129>
14. Murphy A.B. (2007). *Geography's Place in Higher Education in the United States* [Текст] / A.B. Murphy *Journal of Geography in Higher Education*, 31(1), 121-141. DOI: <https://www.doi.org/10.1080/03098260601033068>
15. Niemets, K. *World Cities in Terms of the Sustainable Development Concept* / K. Niemets, K. Kravchenko, Y. Kandyba, P. Kobylin, C. Morar. *Geography and Sustainability*. – 2021. – 2(4). – Pp. 304-311. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.12.003>
16. Niemets, L. *Food Security Problems in Ukraine* / L. Niemets, Y. Kandyba, P. Kobylin, H. Kucheriava, O. Krainiukov // *Education Excellence and Innovation Management: A 2025 Vision to Sustain Economic Development during Global Challenges. Proceedings of the 35th International Business Information Management Association Conference (IBIMA) (Seville, Spain 1-2 April, 2020)*. Editor Khalid S. Soliman. – Seville, International Business Information Management Association (IBIMA), 2020. – P. 4955-4963. Режим доступу: <https://ibima.org/accepted-paper/food-security-problems-in-ukraine/>
17. Niemets. *Transition Features to the Polycentric Development of the Region: Technique and Practice of the Research* / L. Niemets, K. Niemets, K. Kravchenko, L. Kliuchko, P. Kobylin // *Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020. Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference (IBIMA) (Granada, Spain, 10-11 April 2019)*. Editor Khalid S. Soliman. – Granada, International Business Information Management Association (IBIMA), 2019. – P. 3093-3101. Режим доступу: <https://ibima.org/accepted-paper/transition-features-to-the-policentric-development-of-the-region-technique-and-practice-of-the-research/>
18. Official site of the Department of Human Geography and Regional Studies of V. N. Karazin Kharkiv National University. – Режим доступу: <http://soc-econom-region.univer.kharkov.ua/en/main/>
19. Official website of the Australian National University (ANU). – Режим доступу: <https://fennerschool.anu.edu.au/>
20. Official website of the London School of Economics and Political Science (LSE). – Режим доступу: <http://www2.lse.ac.uk/geographyAndEnvironment/Home.aspx>
21. Official website of the National University of Singapore (NUS). – Режим доступу: <https://fass.nus.edu.sg/geog/>
22. Official website of the University of Akdeniz. – Режим доступу: <https://eng.akdeniz.edu.tr/>
23. Official website of the University of Berkeley (UCB). – Режим доступу: <https://geography.berkeley.edu/>
24. Official website of the University of British Columbia (UBC). – Режим доступу: <https://www.ubc.ca/>
25. Official website of the University of California (UCLA). – Режим доступу: <http://www.geog.ucla.edu/>
26. Official website of the University of Cambridge. – Режим доступу: <http://www.geog.cam.ac.uk>
27. Official website of the University of Hong Kong. – Режим доступу: <https://www.geog.hku.hk/>
28. Official website of the University of Oxford. – Режим доступу: <http://www.geog.ox.ac.uk>
29. Official website of University College London. – Режим доступу: <http://www.geog.ucl.ac.uk/>
30. Peccei A. *The Human Quality*. – Oxford; New York: «Pergamon Press», 1977. – Режим доступу: <https://archive.org/details/humanquality0000pecc/page/n5/mode/2up>
31. Report of the UNECE regional ministerial meeting for the world summit on sustainable development. – Режим доступу: <https://unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2001/ece/ac22/ece.ac.22.2001.2.e.pdf>
32. Sehida K. *Migration Challenges of the 21st Century: The Experience of Ukraine* / K. Sehida, N. Husieva, L. Niemets, O. Suptelo, P. Kobylin, L. Kliuchko // *Sustainable Economic Development and Application of Innovation Management from Regional expansion to Global Growth. Proceedings of the 32nd International Business Information Management Association Conference (IBIMA) (Seville, Spain, 15-16 November 2018)*, Editor Khalid S. Soliman. – Seville, International Business Information Management Association (IBIMA), 2018. – P. 328-337. Режим доступу: <https://ibima.org/accepted-paper/migration-challenges-of-the-21st-century-the-experience-of-ukraine/>
33. Sofia Conference on Adult Education “Lifelong Learning in Europe: Moving towards EFA Goals and the CONFINTEA V Agenda” (Sofia, 9th November 2002). – Sofia, 2002. – Режим доступу: <https://www.dvv-international.de/en/adult-education-and-development/editions/aed-592002/sofia-conference-on-adult-education-call-to-action/lifelong-learning-in-europe>
34. Sprenger S. (2018). *Education for Sustainable Development in Geography Education: review and outlook from a perspective of Germany* [Текст] / S. Sprenger, B. Nienaber // *Journal of Geography in Higher Education*. – 2018. – Volume 42, Issue 2. – P. 157-173. DOI: <https://doi.org/10.1080/03098265.2017.1379057>
35. Tbilisi Declaration (1977). – Режим доступу: <https://www.gdrc.org/uem/ee/tbilisi.html>
36. The Belgrade Charter. – Режим доступу: <https://www.gdrc.org/uem/ee/belgrade.html>
37. *The Sixth Environment Action Programme of the European Community 2002-2012*. – Режим доступу: <https://way-back.archive-it.org/12090/20230307001829/https://ec.europa.eu/environment/archives/action-programme/>

38. UN Decade of Education for Sustainable Development, 2005-2014: the DESD at a glance. – Режим доступу: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000141629>
39. UNECE Strategies for Education for Sustainable Development till 2030. – Режим доступу: <http://www.unece.org>
40. UNESCO. Education for Sustainable Development. – Режим доступу: <https://en.unesco.org/themes/education-sustainable-development>
41. United Nations Conference on Sustainable Development, Rio+20. – Режим доступу: <https://web.archive.org/web/20110501093608/>
42. United Nations Millennium Declaration. – Режим доступу: <https://www.ohchr.org/en/instruments-mechanisms/instruments/united-nations-millennium-declaration>
43. United Nations. Sustainable Development Goals. – Режим доступу: <https://ukraine.un.org/uk/sdgs>
44. Дакарські рамки дії «Освіта для всіх»: виконання наших колективних зобов'язань (2000) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.unesco.org/education/efa/ed\\_for\\_all/dakfram\\_eng.shtml](http://www.unesco.org/education/efa/ed_for_all/dakfram_eng.shtml)
45. Заява Міністрів охорони довкілля країн СЕК ООН про освіту в інтересах сталого розвитку / Процес Довкілля для Європи. – Київ, 2003
46. Мальчикова Д.С. Публічний імідж географії в контексті трансформації стандартів базової середньої освіти: досвід України і світу [Текст] / Д.С. Мальчикова, К.В. Мезенцев // Український географічний журнал. – 2022. – 1. – Р. 53-63. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2022.01.053>
47. Немець К.А. Інформаційна взаємодія природних та соціальних систем: монографія [Текст] / К. А. Немець. – Харків: Східно-регіональний центр гуманітарно-освітніх ініціатив, 2005. – 428 с.
48. Немець Л. До питання підготовки фахівців у галузі суспільної географії та регіонального розвитку в Україні [Текст] / Л. Немець, К. Сегіда, Ю. Кандиба, К. Кравченко // Проблеми сучасної освіти: зб. наук.-метод. пр. – 2021. – Вип. 12. – С. 21-35. – Режим доступу: <https://periodicals.karazin.ua/issuesedu>
49. Немець Л. Постіндустріальний розвиток суспільства і роль суспільної географії [Текст] / Л. Немець, К. Сегіда, К. Немець // Регіон–2021: стратегія оптимального розвитку : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, 21 жовт. 2021 р.). Харків, 2021. – С. 13–17. – Режим доступу: <http://soc-econom-region.univer.kharkov.ua/wp-content/uploads/2017/07/Збірник-Регіон-2021-1.pdf>
50. Немець Л., Сегіда К. Телебенева Є., Ключко Л. Освіта в галузі стійкого розвитку: можливості географії як інтегруючої дисципліни [Текст] / Л. Немець, К. Сегіда, Є. Телебенева, Л. Ключко // Проблеми сучасної освіти: зб. наук.-метод. – 2021. – Вип. 12. – С.35-50. URL: <https://periodicals.karazin.ua/issuesedu/>
51. Немець, К. Методологія суспільно-географічних досліджень: сучасні підходи та методи [Текст] / К. Немець, К. Сегіда, Л. Немець, К. Кравченко, П. Кобилін, Є. Телебенева, Л. Ключко. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія». – 2022. – 56. – С. 143-158. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-10>
52. Немець, Л. Інформаційно-синергетична складова суспільно-географічних досліджень у науковій спадщині Костянтина Немця [Текст] / Л. Немець, К. Кравченко, К. Сегіда, Є. Телебенева, Л. Ключко // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія». – 2022. – 57. С. 153-172. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-12>
53. Сучасна суспільна географія: реалії, виклики, досвід змін у науці та освіті [Текст] / Л. Немець, К. Сегіда, Є. Телебенева, Л. Ключко // Суспільна географія: наукові традиції та сучасні виклики: матеріали Всеукраїнського наукового семінару, присвяченого 110-літтю від народження доктора географічних наук, професора О. Т. Ващенко (м. Львів, 13 грудня 2018 р.) / [відп. ред. проф. О. Шаблій]. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2018. – С. 65- 69.

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work

### References

1. A geographic perspective on education for sustainable development: Lúcernskaâ Declaration on geographical education for sustainable development. Materials of the symposium held in Lucerne, Switzerland, July 29-31, 2007.
2. Agenda 21 (1992). Available at: <https://web.archive.org/web/20110501093608/> <https://sustainabledevelopment.un.org/outcomedocuments/agenda21>
3. AGENDA 21. Available at: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>
4. An Agenda 21 for Education in the Baltic Sea Region. Available at: <http://www.hu2.se/hu2old/Baltic21E.pdf>
5. Boehm, R. G., Solem, M., Zadrozny, J. (2018). The Rise of Powerful Geography. *The Social Studies*, 109 (2), 125-135. DOI: <https://doi.org/10.1080/00377996.2018.1460570>
6. Declaration of Thessaloniki. Available at: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000117772>
7. Donert, K. (2007). Aspects of the State of Geography in European higher education. TUNING Geography: a report of findings and outcomes. Liverpool: HERODOT Network Liverpool Hope University Hope Park, 89. Available at: [https://www.academia.edu/1000866/Aspects\\_of\\_the\\_State\\_of\\_Geography\\_in\\_European\\_higher\\_education](https://www.academia.edu/1000866/Aspects_of_the_State_of_Geography_in_European_higher_education)
8. Education for Sustainable Development Goals: Learning Objectives (2017). UNESCO Education Sector. Available at: <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002474/247444e.pdf>



9. European Commission, *Key Competences for Lifelong Learning*. Available at: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/297a33c8-a1f3-1-9d01-01aa75ed71a1/language-en>
10. *Goals for mankind* (1977). Ed. E. Laszlo (USA).
11. Maude, A., Brooks C., Butt G., Fargher M. (Eds.) (2017). *Applying the concept of powerful knowledge to school Geography. The Power of Geographical Thinking*, Springer, Cham, 27-40.
12. Meadows M.E. (2020). *Geography Education for Sustainable Development*. *Geography and Sustainability*, 1(1), March 2020, 88-92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2020.02.001>
13. Morar, C., Lukic, T., Valjarevic, A., Niemets, L., Kostrikov, S., Sehida K., Telebienieva I., Kliuchko, L., Kobylin P., Kravchenko K. (2022). *Spatiotemporal Analysis of Urban Green Areas Using Change Detection: A Case Study of Kharkiv, Ukraine*. *Frontiers in Environmental Sciences*, 10, 823129. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.823129>
14. Murphy, A. B. (2007). *Geography's Place in Higher Education in the United States*. *Journal of Geography in Higher Education*, 31(1), 121-141. DOI: <https://www.doi.org/10.1080/03098260601033068>
15. Niemets, K., Kravchenko, K., Kandyba, Y., Kobylin, P., Morar, C. (2021). *World Cities in Terms of the Sustainable Development Concept*. *Geography and Sustainability*. 2(4), 304-311. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.12.003>
16. Niemets, L., Kandyba, Y., Kobylin, P., Kucheriava H., Krainiukov, O. (2020). *Food Security Problems in Ukraine. Education Excellence and Innovation Management: A 2025 Vision to Sustain Economic Development during Global Challenges*. *Proceedings of the 35th International Business Information Management Association Conference (IBIMA)* (Seville, Spain 1-2 April, 2020). Editor Khalid S. Soliman. Seville, International Business Information Management Association (IBIMA), 4955-4963. Available at: <https://ibima.org/accepted-paper/food-security-problems-in-ukraine/>
17. Niemets, L., Niemets, K., Kravchenko, K., Kliuchko, L., Kobylin, P. (2019). *Transition Features to the Polycentric Development of the Region: Technique and Practice of the Research*. *Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020*. *Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference (IBIMA)* (Granada, Spain, 10-11 April 2019). Editor Khalid S. Soliman. Granada, International Business Information Management Association (IBIMA), p. 3093-3101. Available at: <https://ibima.org/accepted-paper/transition-features-to-the-policentric-development-of-the-region-technique-and-practice-of-the-research/>
18. Official site of the Department of Human Geography and Regional Studies of V. N. Karazin Kharkiv National University. Available at: <http://soc-econom-region.univer.kharkov.ua/en/main/>
19. Official website of the Australian National University (ANU). Available at: <https://fennerschool.anu.edu.au/>
20. Official website of the London School of Economics and Political Science (LSE). Available at: <http://www2.lse.ac.uk/geographyAndEnvironment/Home.aspx>
21. Official website of the National University of Singapore (NUS). Available at: <https://fass.nus.edu.sg/geog/>
22. Official website of the University of Akdeniz. Available at: <https://eng.akdeniz.edu.tr/>
23. Official website of the University of Berkeley (UCB). Available at: <https://geography.berkeley.edu/>
24. Official website of the University of British Columbia (UBC). Available at: <https://www.ubc.ca/>
25. Official website of the University of California (UCLA). Available at: <http://www.geog.ucla.edu/>
26. Official website of the University of Cambridge. Available at: <http://www.geog.cam.ac.uk>
27. Official website of the University of Hong Kong. Available at: <https://www.geog.hku.hk/>
28. Official website of the University of Oxford. Available at: <http://www.geog.ox.ac.uk>
29. Official website of University College London. Available at: <http://www.geog.ucl.ac.uk/>
30. Peccei, A. (1977) *The Human Quality*. Oxford; New York, «Pergamon Press». Available at: <https://archive.org/details/humanquality0000pecc/page/n5/mode/2up>
31. Report of the UNECE regional ministerial meeting for the world summit on sustainable development. Available at: <https://unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2001/ece/ac22/ece.ac.22.2001.2.e.pdf>
32. Sehida K., Husieva, N., Niemets, L., Suptelo, O., Kobylin, P., Kliuchko, L. (2018) *Migration Challenges of the 21st Century: The Experience of Ukraine*. *Sustainable Economic Development and Application of Innovation Management from Regional expansion to Global Growth*. *Proceedings of the 32nd International Business Information Management Association Conference (IBIMA)* (Seville, Spain, 15-16 November 2018), Editor Khalid S. Soliman. Seville, International Business Information Management Association (IBIMA), 2018, 328-337. Available at: <https://ibima.org/accepted-paper/migration-challenges-of-the-21st-century-the-experience-of-ukraine/>
33. Sofia Conference on Adult Education “Lifelong Learning in Europe: Moving towards EFA Goals and the CONFINTEA V Agenda” (Sofia, 9th November 2002). Sofia, 2002. Available at: <https://www.dvv-international.de/en/adult-education-and-development/editions/aed-592002/sofia-conference-on-adult-education-call-to-action/lifelong-learning-in-europe>
34. Sprenger, S., Nienaber B. (2018). *Education for Sustainable Development in Geography Education: review and outlook from a perspective of Germany*. *Journal of Geography in Higher Education*, 42(2), 157-173. DOI: <https://doi.org/10.1080/03098265.2017.1379057>
35. Tbilisi Declaration (1977). Available at: <https://www.gdrc.org/uem/ee/tbilisi.html>
36. The Belgrade Charter. Available at: <https://www.gdrc.org/uem/ee/belgrade.html>
37. The Sixth Environment Action Programme of the European Community 2002-2012. Available at: <https://wayback.archive-it.org/12090/20230307001829/https://ec.europa.eu/environment/archives/action-programme/>

38. UN Decade of Education for Sustainable Development, 2005-2014: the DESD at a glance. Available at: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000141629>
39. UNECE Strategies for Education for Sustainable Development till 2030. Available at: <http://www.unece.org>
40. UNESCO. Education for Sustainable Development. Retrieved from: <https://en.unesco.org/themes/education-sustainable-development>
41. United Nations Conference on Sustainable Development, Rio+20. Available at: <https://web.archive.org/web/20110501093608/>
42. United Nations Millennium Declaration. Available at: <https://www.ohchr.org/en/instruments-mechanisms/instruments/united-nations-millennium-declaration>
43. United Nations. Sustainable Development Goals. Available at: <https://ukraine.un.org/uk/sdgs>
44. The Education for All Dakar Framework for Action: Fulfilling our collective commitments (2000). Available at: [http://www.unesco.org/education/efa/ed\\_for\\_all/dakfram\\_eng.shtml](http://www.unesco.org/education/efa/ed_for_all/dakfram_eng.shtml) [in Ukrainian]
45. Statement of the Ministers of Environmental Protection of the UNECE countries on education in the interests of sustainable development. Environment for Europe Process. Kyiv, 2003 [in Ukrainian]
46. Malchikova D.S., Mezentsev K.V. (2022). The public image of geography in the context of the transformation of basic secondary education standards: the experience of Ukraine and the world. *Ukrainian Geographical Journal*, 1. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2022.01.053> [in Ukrainian]
47. Niemets K.A. (2005). *Information interaction of natural and social systems: monograph*. Kharkiv, Eastern Regional Center for Humanitarian and Educational Initiatives, 428. [in Ukrainian]
48. Niemets, L., Sehida, K., Kandyba, Yu., Kravchenko, K. (2021). To the issue of training specialists in the field of human geography and regional development in Ukraine. *Problems of modern education: collection of scientific and methodical papers*, 12, 21-35. Available at: <https://periodicals.karazin.ua/issuesedu/> [in Ukrainian]
49. Niemets, L., Sehida, K., Niemets, K. (2021). Post-industrial development of society and the role of human geography. *Region-2021: Optimal Development Strategy: materials of the International. scientific and practical conf. (Kharkov, October 21, 2021)*. Kharkiv, 13–17. Available at: <http://soc-econom-region.univer.kharkov.ua/wp-content/uploads/2017/07/Збірник-Регіон-2021-1.pdf> [in Ukrainian]
50. Niemets L., Sehida K., Tebieniieva E., Kliuchko L. (2021). Education in the field of sustainable development: the possibilities of geography as an integrating course. *Problems of modern education: collection of scientific and methodical papers*, 12, 35-50. Available at: <https://periodicals.karazin.ua/issuesedu/> [in Ukrainian]
51. Niemets, K., Sehida, K., Niemets, L., Kravchenko, K., Kobylin, P., Tebieniieva, I., & Kliuchko, L. (2022). Methodology of human-geographical research: contemporary approaches and methods. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"* (56), 143-158. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-10> [in Ukrainian]
52. Niemets, L., Kravchenko, K., Sehida, K., Tebieniieva, E., & Kliuchko, L. (2022). Information-synergistic component of human-geographical research in Kostiantyn Niemets' scientific heritage. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"* (57), 153-172. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-12> [in Ukrainian]
53. Niemets, L., Sehida, K., Tebieniieva, I., Kliuchko, L. (2018). Contemporary human geography: realities, challenges, experience of changes in science and education. *Human geography: scientific traditions and modern challenges: materials of the All-Ukrainian scientific seminar dedicated to the 110th anniversary of the birth of the Doctor of Geographical Sciences, Professor O. T. Vashchenko (Lviv, December 13)*. [ed. Prof. O. Shablui]. Lviv: LNU named after Ivan Franko, 65-69. [in Ukrainian]

## Інтеграційна роль географії людини у вирішенні глобальних проблем сучасності

*Людмила Немець*<sup>1</sup>,

д. геогр. н., професор, завідувач кафедри соціально-економічної географії і регіонаознавства,  
<sup>1</sup> Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,  
м. Свободи, 4, Харків, 61022, Україна;

*Катерина Сегіда*<sup>1</sup>,

д. геогр. н., професор, кафедра соціально-економічної географії і регіонаознавства;

*Павло Кобилін*<sup>1</sup>,

к. геогр. н., доцент, кафедра соціально-економічної географії і регіонаознавства,

*Мехмет Тахсин Шахін*<sup>2</sup>,

д. філософії (географія), доцент, кафедра географії,

<sup>2</sup> Університет Акденіз, бульвар Думлюмпінар 07058 кампус, Анталія, Туреччина;

*Оксана Бартош*<sup>3</sup>,

асоційований викладач школи навколишнього середовища та стійкого розвитку  
та школи гуманітарних досліджень,<sup>3</sup> Університет Ройал Роудс,

Суке дорога, 2005, Вікторія, Британська Колумбія, V9V 5Y2, Канада;

*Євгенія Телебенева*<sup>1</sup>,

к. геогр. н., доцент, кафедра соціально-економічної географії і регіонаознавства;

*Катерина Кравченко*<sup>1</sup>,

к. геогр. н., доцент, кафедра соціально-економічної географії і регіонаознавства;

*Людмила Ключко*<sup>1</sup>,

к. геогр. н., доцент, кафедра соціально-економічної географії і регіонаознавства

У статті представлено інтегративну роль суспільної географії у вирішенні глобальних проблем сучасності, а саме взаємодію в системі «Людина – Суспільство – Природа». В статті проведено ґрунтовний аналіз основних документів ООН з питань втілення стратегії стійкого розвитку в життєдіяльність суспільства та систему освіти. Суспільно-географічна наука і освіта розглянута з позицій завдань постнекласичної науки XXI століття. В статті розкрито формування засад освіти для стійкого розвитку, яка має носити випереджальний характер, широке поширення в різних регіонах планети за підтримки всіх країн світу. В статті визначено сутність постнекласичної науки, роль окремих наук у вирішенні глобальних проблем сучасності і місце в ній суспільної географії. Обґрунтовано поняття про інформаційну революцію сучасного світу, роль наук в цьому, зокрема інформаційної географії. В статті проведено детальний огляд розвитку галузей суспільної географії в провідних вузах світу, України та аналіз напрямів їх дослідження. Виконаний аналіз освітніх проблем суспільної географії в Україні і ХНУ імені В. Н. Каразіна. Проведено аналіз виявлення особливостей структури, змісту, методів та методики суспільної географії в провідних країнах світу, Україні і в нашому університеті. В статті зазначено, що головні тенденції провідних університетів світу стосовно розвитку, місця і ролі суспільної географії як комплексної науки про людину, суспільство, природу потужно реалізуються в нашому університеті. Також зазначено, що суспільна географія має потужне значення, бо має сприяти через свої дослідження і освітні програми формуванню засад глобального менталітету, засадничих умов загальносвітової культури зокрема. На основі проведеного дослідження в статті наведено основні точки розвитку суспільної географії, зокрема в Україні для забезпечення її інтегративної ролі в планах майбутнього розвитку планети в аспекті вимог стійкого розвитку.

**Ключові слова:** *суспільна географія, суспільно-географічні дослідження, система, синергетика, суспільство та природа, інформаційна географія, географічна освіта, стійкий розвиток, освіта для стійкого розвитку, глобальні проблеми сучасності.*

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 20 березня 2023 р.

Прийнята 3 травня 2023 р.

## Індустріальний туризм як ефективний напрям регенерації міст (аналіз досвіду Кривого Рогу)

**Вікторія Пацюк**<sup>1</sup>

к. геогр. н., доцент, докторантка, кафедра економічної та соціальної географії,

<sup>1</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка,

пр. Академіка Глушкова, 2а, Київ, 50086, Україна,

e-mail: [viktoriia.patsiuk@gmail.com](mailto:viktoriia.patsiuk@gmail.com),  <https://orcid.org/0000-0002-0401-2573>;

**Володимир Казаков**<sup>2</sup>

к. геогр. н., доцент, кафедра туризму та економіки,

<sup>2</sup>Криворізький державний педагогічний університет,

пр. Гагаріна, 54, Кривий Ріг, 50086, Україна,

e-mail: [vl.kazakov1970@gmail.com](mailto:vl.kazakov1970@gmail.com),  <https://orcid.org/0000-0002-0340-2107>

У статті акцентується увага на виборі орієнтирів успішної трансформації міст монопрофільної промислової спеціалізації України, що особливо актуальне на тлі постіндустріальних трансформацій, характерних для розвинених країн світу. Одним із перспективних напрямів диверсифікації економіки промислових міст та їх подальшої регенерації визначено індустріальний туризм. Розкрито історичні засади становлення даного туристичного напрямку та проаналізовано підходи щодо визначення дефініції «індустріальний туризм», запропоновано власне трактування даного поняття. Проаналізовано наявний стан розвитку індустріального туризму в Україні, визначено, що найбільший потенціал для його розвитку має місто Кривий Ріг, що обумовлено як потужним ресурсним потенціалом, представленим різнотиповими об'єктами, так і наявністю у місті затверджені Програми розвитку промислового туризму. Розкрито складові ресурсного потенціалу Кривого Рогу та систематизовано дані за кожним із вказаних пунктів. Структуровано піонерний для нашої країни досвід Кривого Рогу щодо комплексного розвитку індустріального туризму як напрямку подальшої регенерації міста. Проаналізовано динаміку екскурсійної діяльності в місті. Складено картосхему розташування найатрактивніших для індустріального туризму промислових об'єктів Кривого Рогу. Індустріальний туризм розглянуто в усьому різноманітті його зв'язків як внутрішніх, так і зовнішніх, на основі чого розроблено організаційну модель функціонування даного туристичного напрямку на локальному рівні. В даній моделі продемонстровано взаємодію між ресурсом території та сегментами забезпечення туристичної діяльності з метою створення туристичного продукту та доведення його до туриста. Окреслено недоліки становлення індустріального туризму в місті, ключовим з яких є незацікавленість та неготовність керівництва промислових підприємств приймати туристів. Не зважаючи на наявні недоліки, доведено перспективність подальшого становлення індустріального туризму в Кривому Розі та апробації його досвіду іншими монопрофільними містами України на шляху їх регенерації.

**Ключові слова:** індустріальний туризм, туристична дестинація, регенерація міст, ресурси території.

**Як цитувати:** Пацюк Вікторія. Індустріальний туризм як ефективний напрям регенерації міст (аналіз досвіду Кривого Рогу) / Вікторія Пацюк, Володимир Казаков // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 58. – С. 188-201. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-15>

**In cites:** Patsiuk Viktoriia, Kazakov Volodymyr (2023). Industrial tourism as an effective direction of urban regeneration (analysis of Kryvyi Rih practice). Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (58), 188-201. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-15> [in Ukrainian]

**Постановка проблеми.** Ціла низка катаклізмів, які відбулися в глобалізованому світі останніми роками: пандемія коронавірусу, військова агресія проти України, інші збройні конфлікти та терористичні акти призвели до повного переосмислення людських цінностей та потреб. Незважаючи на те, що однією з найбільш постраждалих галузей світового господарства є туризм, його місце та роль в постіндустріальному світі не була втрачена. А подекуди навпаки люди усвідомили, що яскраві враження та спогади є куди важливішими наявності матеріальних цінностей. Тому абсолютна більшість експертів правомірно стверджує, що за всіма законами стадійного розвитку, після урегулювання воєнних протистоянь, соціальних конфліктів та пандемій, туристична сфера знову повернеться до свого стрімкого

зростання.

Туризм – не просто спосіб задоволення низки потреб населення, це один із способів диверсифікації економіки міст та регіонів, що стимулює їх часткову або повну регенерацію. Масштабна туристифікація простору, що проявляється у включенні до сектору туризму нових територій та об'єктів, підтверджує те, що при наявності креативних ідей та інвестицій, туристичну дестинацію можна створити будь-де. Не виключенням є і колишні та наявні промислові центри, виробничі простори яких цілком можуть виступати як атрактивні об'єкти відвідування і є ресурсом індустріального (промислового) туризму. Іспанські вчені М. Андраде та І. Каамано-Франко наголошують, що індустріальний туризм може стати динамічним інструментом для покращення іміджу

міста та його промисловості, стимулювання туристичної конкурентоспроможності місця призначення та сприяння кращим відносинам між бізнесом та міським суспільством [1]- 198 -.

Місто Кривий Ріг має десятирічний досвід комплексного розвитку даного туристичного напрямку, за рахунок включення до туристичної діяльності різноманітних виробничих об'єктів: кар'єрів, заводів, шахт, об'єктів індустріальної спадщини, техногенних ландшафтів, музеїв підприємств тощо. Аналіз даного досвіду з метою його подальшої апробації в Україні є актуальним для промислових міст монопрофільного спрямування на шляху до їх регенерації.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Актуальність становлення індустріального туризму підкріплюється поглибленням його теоретичного підґрунтя, що відображено як в працях зарубіжних, так і вітчизняних науковців. Раніше проблематика індустріального туризму розглядалася переважно з географічної та економічної позиції. Наразі зростає кількість напрацювань в галузі індустріального туризму в контексті його культурологічної складової, соціального значення, а також важливості для формування іміджу промислових територій. Індустріальний туризм та пов'язані з ним аспекти докладно розкривалися у працях багатьох закордонних вчених: Д. Зоєц, П. Бийок, М. Клемпа, З. Кручек, Дж. Харфст, М. Лампарська, Ч.-Ф. Лі, Х. Ванг, А. Шромек, К. Херман, Д. Мак-Кенел, П. Рибар та ін. Фундаментальними працями з даної теми стали книги Е.А. Фрю «Індустріальний туризм: концептуальний та емпіричний аналіз» (2000 р.) [6], а також колективу нідерландських авторів А. Отгаар, Л. Ван ден Берг, К. Бергер та Р. Х. Фенг «Індустріальний туризм: можливості для міст і підприємств» [11]. Один із напрямів індустріального туризму у своїй книзі «Туризм індустріальної спадщини» висвітлив американський вчений Ф. Ф. Ксі [19].

Серед вітчизняних науковців на дану тематику було захищено дві кандидатські дисертації. Зокрема, В. С. Пацюк на тему «Територіальна організація індустріального туризму Криворіжжя» у 2011 р. [30], а також В. О. Кошель на тему «Розвиток європейського ринку послуг промислового туризму» у 2017 р. [23]. Серед провідних вітчизняних вчених, що досліджували дане питання, варто згадати В. Л. Казакова, О. О. Бейдика, В. Ф. Данильчука, Л. Д. Божко, Ю. Г. Тютюнника, К. М. Горб, В. Г. Кулеш тощо. Значно зросла кількість публікацій з даної проблематики серед вчених географів, економістів, управлінців, однак більшість публікацій є одиничними у колі наукових інтересів їх авторів.

Інформаційною базою дослідження є ресурси представлені на сайтах організацій ERIH (Єв-

ропейський маршрут індустріальної спадщини) [4], TISSH (Міжнародний комітет зі збереження індустріальної спадщини) [17], Методичні рекомендації щодо впровадження міжнародного стандарту ДСТУ ISO 13810:2016 «Індустріальний туризм» [27], статистичні дані, надані Комунальним підприємством «Інститут розвитку міста Кривого Рогу» Криворізької міської ради [20], матеріали наукових періодичних видань, Інтернет-ресурси.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** В Україні проблематика становлення індустріального туризму розпочала обговорюватися лише в ХХІ ст., тоді як в західних країнах ці тенденції проявилися значно раніше. У своїх попередніх дослідженнях нами було зазначено, що прототипом даного туристичного напрямку були екскурсії промислової тематики, які почали практикуватися ще в 30-х рр. ХХ ст. Одним із перших підприємств, яке з 1930 р. реалізує дані екскурсії, була компанія «Пежо» в м. Сошо (Франція) [28]. Однак після відвідування авторами у 2019 р. об'єкту ЮНЕСКО – Соляної копальні «Величка», відбулося переосмислення даної інформації. Адже ще в XV ст. зазначену копальню почали відвідувати перші туристи, серед яких був і сам Микола Коперник. Відвідувати дану локацію дозволялося виключно з дозволу короля. Згодом туристичний потенціал копальні оцінили австрійці, які розробили спеціальний маршрут, під час якого можна було побачити каплиці, соляні скульптури та солоні озера. Організовувалися бенгальські вогняні шоу і виступи шахтарського оркестру (заснований в 1830 р.). Наприкінці ХVІІІ ст. шахту щомісячно відвідувало декілька десятків осіб, а на початку ХІХ ст. кількість туристів досягла декількох сотень. На початку ХХ ст. існували певні вимоги щодо кількості туристів – не більше 100 осіб одночасно. Вартість відвідування залежала від рівня освітленості маршруту [13].

Масові організовані відвідування промислових об'єктів у Європі розпочинаються з 80-х рр. ХХ ст. Спровоковано це було тим, що після згорання та перенесення виробничих потужностей до країн, що розвиваються, в європейських країнах залишилась велика кількість нефункціонуючих індустріальних об'єктів. Це спровокувало дилему щодо подальших перспектив використання індустріальної спадщини: очистити територію від індустріальних артефактів минулого чи зосередити зусилля на кардинальних перетвореннях виробничих просторів задля подальшого їх використання в потребах суспільства. З рештою, більшість цивілізованих країн обрала стратегію фундаментальних трансформацій колишніх промислових об'єктів на різноманітні за функціоналом центри, які стануть цікавими як місцевим мешканцям, так і туристам.

Становлення та розвиток теоретичного підґрунтя індустріально-туристичної діяльності в західній науці розпочалося ще з 70-х років ХХ століття. У США засновником теорії індустріального туризму вважають американського вченого, професора кафедри дизайну середовища та ландшафтної архітектури Каліфорнійського університету Д. МакКенелла. У 70-х роках ХХ ст. він здійснив комплексний аналіз туристичних потоків та об'єктів, до яких дані потоки спрямовані. В результаті чого визначив, що «індустріальний туризм – це відвідування об'єктів, що демонструють особливий тип пізнання про минуле, теперішнє або майбутнє в цілому (екскурсії до банків, телефонних компаній, заводів тощо)» [10].

Серед вчених-географів одним із піонерів вивчення даної проблематики був професор Кельнського університету Д. Зоєц, який ще в 1986 році визначав індустріальний туризм як «форми просторової мобільності (за винятком поїздок усіх працівників компанії до місця роботи), які можна простежити до тяжіння діючих або колишніх промислових систем (тобто заводів, включаючи елементи, які можуть бути функціонально віднесені до них)» [14].

В українському науковому середовищі є певні розбіжності щодо трактування даного туристичного напрямку, так як паралельно використовуються дві дефініції «промисловий туризм» та «індустріальний туризм». В свій час український географ, фундатор вітчизняного туризмознавства М. П. Крачило визначав промисловий туризм як відокремлений вид туризму, пов'язаний із відвідуванням регіонів, де поширені та зберігаються місцевим населенням, певні народні промисли – різьба по дереву, гончарство, килимарство, лозоплетіння тощо [24]. Проте автори дослідження не погоджуються з даним підходом і наполягають на тому, що основною метою даного виду туризму є відвідування виробничих просторів і не принципово це буде трактуватися як промисловий чи як індустріальний туризм.

На географічному аспекті змісту індустріального туризму у своєму авторському визначенні належає і В. С. Пацюк – це вид туризму, який розвивається в промислових регіонах, та має на меті ознайомлення з індустріальними об'єктами, пізнання витворів архітектури індустріальних споруд, відвідування як функціонуючих, так і непрацюючих промислових підприємств з метою задоволення пізнавальних, професійних, ділових та інших інтересів [28].

У західній науці останніми роками все частіше почали використовувати термін постіндустріальний туризм. Наприклад, М. Кроненберг розрізняє індустріальний і постіндустріальний туризм. За його словами, перший – це туризм на

діючих виробничих підприємствах, який має освітню та пізнавальну мету, а другий – поїздки в місця, де промислове виробництво було зняте з експлуатації [8]. Також саме цією дефініцією користуються в своїх публікаціях Р. В. Біанчі [2], М. Хвелевська та М. Лампарська [3], О. Кузьор із співавторами [9], І. Самуїл зі співавторами [12], А. Р. Шромек та К. Герман [16], М. Тодерас із співавторами [18] тощо.

Згідно Міжнародного стандарту ISO 13810, який імplementовано до законодавства нашої країни з 2016 року, індустріальний туризм визначається, як відвідування та діяльність туристичного спрямування на індустріальний об'єкт, що дозволяє відвідувачам розуміти процеси та ноу-хау, що належать до минулого, сьогодення чи майбутнього [27].

Авторами дослідження у 2019 році було запропоновано Департаменту туризму та курортів Мінекономрозвитку України включити до Закону України «Про туризм» поняття індустріальний (промисловий) туризм. Запропонований варіант було сформульовано наступним чином:

**Індустріальний (промисловий) туризм** – вид туризму, який передбачає відвідування діючих промислових підприємств, техногенних ландшафтів, об'єктів індустріальної спадщини, музеїв промислової тематики, а також різноманітних тематичних заходів, з метою пізнання виробничих технологій, техніки та результатів промислової діяльності, а також задоволення інших інтересів туристів. У цьому визначенні нами не було відображено ще один елемент відвідування – ревіталізовані індустріальні об'єкти, так як вони є основним об'єктом постіндустріального туризму, який буде розглянуто в подальших дослідженнях авторів. Однак повністю виключати ревіталізовані об'єкти з поля зору індустріального туризму не доцільно.

У новому Проекті Закону про внесення змін до Закону України «Про туризм» дефініція індустріального туризму означена, однак у дещо відмінному від запропонованого нами трактуванні:

Промисловий (індустріальний) туризм – відвідування об'єктів діючої індустрії, індустріальної спадщини територій, будівель та інженерних споруд виробничого або спеціального призначення, будь-яких занедбаних споруд, отримання нових знань, вражень, психологічного, естетичного або дослідницького задоволення [33].

**Формулювання мети статті.** Зважаючи на значний ресурсний потенціал щодо становлення та розвитку індустріального туризму в Україні, основною метою було довести на конкретному прикладі необхідність та доцільність розвитку даного туристичного напрямку, продемонструвавши досвід того, як у місті Кривий Ріг теоретичні на-

працювання стали плацдармом для їх подальшої практичної реалізації. Результатом цього, стало прийняття у 2013 році «Програми розвитку промислового туризму у місті Кривий Ріг» [31], організація відділу промислового туризму при КП «Інститут розвитку міста Кривого Рогу» та формування практично «з нуля» абсолютно нової туристичної дестинації України, так як Кривий Ріг взагалі не позиціонувався на туристичному ринку нашої країни. Все це створює підґрунтя для подальшої регенерації міста на постіндустріальних закладах.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження.**

В Україні до війни на постійній основі індустріальний туризм впроваджували лише декілька виробничих об'єктів. Безумовним лідером та найвідвідуванішим туристичним об'єктом серед іноземців є Чорнобильська АЕС, куди туроператором «Чорнобиль Тур» розроблено цілу низку турів різних за тривалістю, формою організації (авіа, каяк-каное, квести тощо) та рівнем екстремальності [36]. Першим підприємством України, яке розпочало комерційні індустріальні екскурсії на свою територію була соляна шахта у місті Соледар, однак з 2014 року даний об'єкт знаходиться у прифронтовій зоні і екскурсії до даного об'єкту були ускладнені необхідністю проходження блок-постів. На жаль, нині наземна частина даного підприємства зруйнована в результаті військових дій, спровокованих росією. Організовані групи відвідувачів приймали також підприємство Інтерпайп Сталь у м. Дніпро, Південноукраїнська АЕС в м. Южноукраїнськ, Дрогобицька солеварня, Морський порт в м. Одеса та низка підприємств харчового комплексу (виноробні, пивоварні, кондитерські фабрики тощо).

Однак, на нашу думку, найбільший потенціал в Україні щодо розвитку індустріального туризму має найпотужніший індустріальний центр держави – місто Кривий Ріг. Криворізький макрорегіон, що займає площу понад 450 км<sup>2</sup>, охоплює Криворізький залізорудний басейн та Криворізьку залізорудну область (згідно з геологічним районуванням) і є основним регіоном запасів та видобутку залізних руд в Україні. Макрорегіон є багатоконпонентним зі значним переважанням родовищ залізних руд. Видобуток і переробка руди здійснюється на 5 гірничо-збагачувальних комбінатах: Центральному, Інгулецькому, Південному, Північному та Новокриворізькому (нині входить до Гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»), а також двох комбінатах з підземного видобутку руди. За концентрацією руд, кар'єрів та гірничо-збагачувальних комбінатів з цим регіоном не може конкурувати жоден гірничодобувний район світу. На базі гірничодобувних підприємств Криворізького басейну сформувалася

Криворізька гірничо-металургійна агломерація [15].

У Кривому Розі сконцентрована ціла низка потужних підприємств, об'єктів індустріальної спадщини та унікальних техногенних ландшафтів, які за умов продуманої систематичної роботи, спрямованої на оцінку їх туристичного потенціалу та забезпечення умов відвідування туристами можуть стати атрактивними туристичними об'єктами. Це є запорукою того, що Кривий Ріг має значні перспективи перетворитись на нову туристичну дестинацією з домінуванням індустріальної тематики.

Ресурсний потенціал індустріального туризму міста представлений наступними складовими:

**1. Працююча («діюча») індустрія** – тут функціонує найбільший металургійний комбінат Європи «АрселорМіттал Кривий Ріг», 4 потужних гірничо-збагачувальних комбінати (ГЗК), 8 залізорудних шахт, що є найглибшими у Європі, більше 40 фабрик і заводів різних галузей господарства.

**2. Гірничопромислові антропогенні ландшафти** – з 1881 року (рік початку розробок залізних руд на Криворіжжі) сформувалися різні типи гірничопромислових ландшафтів: 11 працюючих кар'єрів, 15 шламосховищ, 26 провальних зон, 89 відвалів, 34 спелестологічні об'єкти [22].

**3. Індустріальна спадщина**, що представлена залишками понад 200 виробничих об'єктів. На території Криворіжжя представлений різноманітний спектр об'єктів індустріальної спадщини: непрацюючі промислові об'єкти (закинуті заводи і фабрики, 40 старих кар'єрів з видобутку залізної руди і граніту, старі шахти тощо); гідротехнічні споруди (греблі водосховищ, 2 підземні дериваційні тунелі річки Саксагань, каналізовані русла рік, водопропускні труби); об'єкти транспортної комунікації (магістральні залізниці та шосе, залізничні станції, локомотивні депо, заводські мости, відкотні залізниці рудників тощо); поселення гірників криворізьких рудників, які розташовувалися компактно поряд з місцями видобутку залізної руди; споруди обслуговуючого призначення (робітничі лазні, адміністративні контори, будівлі пошти та інші) [29].

**4. Унікальні техногенні об'єкти.** У місті сконцентрована низка унікальних техногенних утворень, зокрема: провальні ландшафти Кривого Рогу, Саксаганський підземний дериваційний тунель, Криворізький Гранд-каньйон, різноманітні спелестологічні об'єкти, затоплені кар'єри [22].

**5. Кадровий потенціал** – при факультеті географії, туризму та історії Криворізького державного педагогічного університету діє кафедра ту-

ризму та економіки, фахівці якої займаються проблематикою розвитку індустріального туризму, дослідженням територіальної організації об'єктів індустріальної спадщини, розробкою рекомендацій щодо створення рекреаційних зон у техногенному середовищі, формуванням нової туристичної дестинації. З 2014 року на базі даної кафедри відкрито спеціальність «Туризм», а також проводяться щорічні курси підготовки гідів, що дозволяє забезпечувати туристичну сферу міста професійними кадрами.

**6. Інфраструктура** – на Криворіжжі розвинуте залізничне та автомобільне сполучення, до війни функціонував міжнародний аеропорт. Для організації розміщення туристів наявні 13 закладів гостинності (у т.ч. 2 готелі 4\*, а також 2 хостели), 66 туристичних підприємств, 313 закладів громадського харчування [25]. На задоволення потреб дозвілля туристів орієнтована діяльність культурно-мистецьких установ: Палац молоді і студентів, цирк, 3 кінотеатри, 3 театри, 2 виставкові зали, 12 розважальних центрів, 32 музеї, 10 з яких промислової тематики та 2 скансени гірничої техніки. Серед музеїв увага туристів найбільше фокусується на 3D-відеогалереї, яка розміщена у найбільшому квітковому годиннику Європи.

Обговорення перспектив розвитку індустріального туризму в місті було ініційовано міською владою восени 2012 року, після того як представники канадського проекту МЕРМ (Місцевий економічний розвиток), готуючи маркетингову стратегію міста, визначили індустріальний туризм однією з оперативних цілей [26]. Як результат, в процесі скоординованої діяльності Управління економіки Криворізької міської ради, представників Інституту розвитку міста Кривого Рогу та фахівців Криворізького державного педагогічного університету було розроблено «Програму розвитку промислового туризму в місті Кривому Розі на 2013-2015 роки» [31]. Дані напрацювання стали основою «Програми розвитку промислового туризму в місті Кривому Розі на 2016-2020 роки», яку згодом було пролонговано до 2024 року [32]. Ключовою ціллю Програми є «здійснення заходів, спрямованих на розвиток туристичної сфери, забезпечення умов для повноцінного розвитку промислового туризму, створення якісного туристичного продукту, здатного відобразити все різноманіття індустріальної спадщини та максимально задовольнити потреби внутрішнього й міжнародного туризму» [32].

На базі КП «Інститут розвитку міста Кривого Рогу» з 1 березня 2013 року почав функціонувати відділ промислового туризму, діяльність якого спрямована на реалізацію прийнятої програми. Робота даного відділу повинна була сприяти фор-

муванню комплексного та неординарного туристичного іміджу міста Кривого Рогу, популяризації місцевого туристичного продукту на внутрішньому та міжнародному ринку з метою сталого залучення туристів до міста. Задля успішної реалізації зазначеної програми у місті було створено координаційну раду, до якої увійшли управлінці, фахівці туристичної сфери, представники промислових підприємств, науковці та краєзнавці. Основною місією даного утворення було обговорення стратегічних і тактичних завдань розвитку індустріального туризму.

Оскільки автори дослідження мали значні напрацювання з даної проблематики, так як організували та приймали участь в експедиціях з вивчення промислового минулого Криворізького краю, організації у місті конференції «Індустріальна спадщина в культурі і ландшафті» у 2008 році [21], підготовці численних наукових публікацій з даної тематики та захисті наукової дисертації, їх було запрошено працювати до даного відділу. Згодом діяльність авторів переросла у громадську площину – у 2016 році було створено ГО «Туристичний центр «Кривбастур», головною метою якої є всебічне сприяння становленню туристичної діяльності у місті Кривий Ріг на засадах стимулювання розвитку індустріального та інших видів туризму, консолідації зусиль фахівців туристичної сфери міста для створення ефективних умов для функціонування туристичної діяльності, популяризації туристичних ресурсів Кривого Рогу в Україні та за кордоном [35].

Упродовж 2012-2022 років у Кривому Розі було реалізовано цілу низку заходів для реалізації проекту індустріального туризму, більшість з яких відбувалася за безпосередньої участі авторів дослідження:

- створено сайт «Діюча Індустрія» [34], де комплексно представлено інформацію про туристичний потенціал міста для розвитку індустріального туризму;
- здійснено інвентаризацію індустріально-туристичних об'єктів міста та створено їх реєстр;
- виявлено туристичні вподобання населення шляхом проведення соціологічного опитування. Це дозволило виявити пріоритетні об'єкти індустріального туризму: шахти (18,2 %), кар'єри (17,9 %), непрацюючі старі індустріальні об'єкти (15,2 % респондентів);
- туристичний потенціал Кривого Рогу презентовано на V Міжнародній туристичній виставці в м. Забже, Польща (2013 р.), МТТ – Міжнародному туристичному ярмарку у Вроцлаві, Польща (2017 р.), China International Import EXPO у Шанхаї, Китай (2018 р.), WTM – World Travel Market у Лондоні, Великобританія (2019 р.), Міжнародному ярмарку TT Warsaw Tour & Travel у



Варшаві, Польща (2019 р.). Місто регулярно брало участь у міжнародних виставках, що проводились в Україні: UITM у Києві з 2017 р., «ТурЕКСПО» у Львові з 2017 р., UITT у Києві з 2018 р.;

- автори дослідження презентували напрацювання щодо формування у місті дестинації індустріального туризму на V Європейській конференції з промислового туризму в м. Феррол (Іспанія) у 2014 р., XV Міжнародному конгресі ТІССІН «Індустріальна спадщина в XXI столітті: нові виклики» в м. Лілль (Франція) у 2015 р.; Міжнародній конференції ERIH: «Індустріальний туризм: зв'язок минулого з сучасним та майбутнім» в м. Копенгаген (Данія) у 2017 р.;

- розроблено та видано низку буклетів та відзнято проморолики, де репрезентовано туристичний потенціал міста;

- створено мережу оглядових і тематичних екскурсійних маршрутів, які орієнтовані на різні сегменти туристів (нині розроблено понад 50, зокрема, комплексні містом; тематичні – шахтарської, металургійної, гірничої тематики, об'єктами індустріальної спадщини, а також низка маршрутів активного формату (дайвінг у затоплених кар'єрах, веломаршрути, екстремальні спуски в закинуті шахти та провальні колодязі, водно-індустріальні маршрути на байдарках річкою Інгулець) [29];

- розроблено логотип індустріального туризму міста, який виконано в одному концептуальному форматі з логотипом міста;

- для туроператорів з різних міст України організовано рекламні інформаційні тури та підготовлено різноманітні пакетні пропозиції, розраховані на перебування у місті від одного до трьох днів.

Важливе значення для становлення індустріального туризму мало проведення у місті міжнародних науково-практичних форумів «Індустріальний туризм: реалії та перспективи» (2013 р.), «Індустріальний туризм: кращі практики для ефективного розвитку територій» (2015 та 2017 рр.), «Трансформація економіки індустріальних міст через розвиток туризму» (2019 р.), на яких перспективи розвитку індустріального туризму в місті обговорювали вчені, управлінці, представники індустріальних підприємств та туристичного бізнесу. Окрім цього, у вересні 2018 року відбувся круглий стіл «Крок від індустріальної економіки до креативної через туризм» за участі як керівництва міста та промислових підприємств, так і на той момент чинного директора Департаменту туризму та курортів Міністерства економічного розвитку і торгівлі України Оксани Сердюк.

У вересні 2017 р. у місті було проведено фестиваль «Ніч індустріальної культури», який з кожним роком набрав обертів і в 2019 р. трансформується на західноєвропейський кшталт в Indus-

trialFest. Практика проведення подібного за тематикою фестивалю зародилася в німецькому Рурі, де дана подія під назвою «ExtraShift» стартувала у 2001 році з ідеї зробити індустріальну спадщину регіону видимою та цілеспрямовано об'єднати нефункціонуючі індустріальні локації. У 2022 році даний фестиваль об'єднав 43 локації у 23 індустріальних центрах Рурського регіону [5]. Подібний фестиваль під назвою «Industriada» з 2010 року проводиться і в Польщі. В цьому році він об'єднав 41 локацію в 25 містах [7]. В Україні вперше подібний фестиваль було проведено в Донецьку в 2012 році. Однак, із зрозумілих причин, даний фестиваль у зазначеному місті відбувався лише двічі.

З січня 2019 року провідні індустріально-туристичні об'єкти міста було включено до Європейського маршруту індустріальної спадщини (ERIH). На даний момент до нього входять: скансени гірничої техніки ПрАТ «Північний ГЗК» та гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», коксохімічне виробництво і музей ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», залізородні кар'єри ПрАТ «Інгулецький ГЗК» і АТ «Південний ГЗК» [4] (рис. 1).

Окрім цього, в місті також порушено питання необхідності регенерації індустріальної спадщини. Дана практика широко представлена закордоном та набирає активних обертів у нашій країні. У листопаді 2019 року у Кривому Розі вперше відбувся «Урбаністичний хакатон». У рамках даного заходу своїм досвідом ревіталізації індустріальної спадщини ділились керівники проекту «Урбан Сад» із Херсону. Серед усього різноманіття перспективних для ревіталізації об'єктів Кривого Рогу, для обговорення було запропоновано п'ять: шахта «Артем-2», приміщення колишнього рудоуправління шахти «Тернівська», приміщення та копер шахти «Вентиляційна-3», закинута теплиця та Бурщицький відвал ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Індикатором успішності будь-якого напрямку туристичної діяльності є туристичний інтерес, що матеріалізується в чисельності туристів. Звісно, поки зарано Кривий Ріг величати «індустріально-туристичною Меккою України», однак позитивні зрушення однозначно відбулися, про що свідчать дані рисунку 2. Екскурсанти та туристи – поняття не тотожні, однак провідні тенденції окреслюються, що демонструє зростання в доковідний період (з 2014 по 2019 рік) чисельності екскурсантів на 375 % (з 16 269 осіб в 2014 році до 61 123 осіб в 2019), а екскурсій на 334 % (з 962 до 3217 екскурсій за вказаний період). В той же час, нижчі дані 2021 року в порівнянні з 2014 роком навпаки більш показові щодо розвитку саме туризму, так як в 2014 році основними екскурсантами в місті



Рис. 1. Об'єкти мережі ERIN у Кривому Розі: а) оглядовий майданчик кар'єру Південного ГЗК\*; б) музей ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»\*; в) коксохімічне виробництво ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»\*\*; г) скансен гірничої техніки гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»\*; д) скансен гірничої техніки Північного ГЗК\*, е) кар'єр Інгулецького ГЗК\*\*.

\*фото Володимир Казаков, \*\*фото Ростислав Сергійчук /

Fig. 1. ERIN network objects in Kryvyi Rih: a) viewpoint of the PivdGZK pit\*; b) museum of PJSC "ArcelorMittal Kryvyi Rih"\*; c) coke and chemical production of PJSC "ArcelorMittal Kryvyi Rih"\*; d) scans of mining equipment of the mining department of PJSC "ArcelorMittal Kryvyi Rih"\*; e) scans of mining equipment of the Northern GZK\*, f) open pit of Ingulets GZK\*\*.

\*photo by Volodymyr Kazakov, \*\*photo by Rostyslav Serhiichuk

були представники учнівської молоді, які через карантинні обмеження практично не приймали участі в екскурсіях у 2020 та 2021 роках.

Моніторинг сайтів вітчизняних туристичних операторів підтверджує, що з 2016 року з'являються пропозиції турів до Кривого Рогу від наступних туropераторів: «Країна UA», «Анга Тревел», «Україна Інкогніта» (Київ), «Відвідай» (Львів), «Навігатор Україна», «Відпочинок на всі 100% (Харків), «Глобус України» (Запоріжжя), «Золоті подорожі» (Дніпро), а також Одеський туристичний хаб та туристичний центр «Риба

Андрій» (Дніпро), туристичні клуби «Бідняжка» (Вінниця), «Добре поїхали» та «Дикий Тур» (Київ), туристичні фірми «Мандрівочка» (Миколаїв) та «InGreen» (Полтава) та низки турагенств з міст Кропивницький, Миколаїв, Херсон, Кременчук, Дніпро, Нікополь тощо, які позиціонують себе виключно в соціальних мережах.

Власний досвід авторів щодо організації турів та проведення екскурсій містом для різних категорій відвідувачів: від місцевих школярів до організованих туристичних груп з інших міст України, а також поодиноких закордонних туристів,

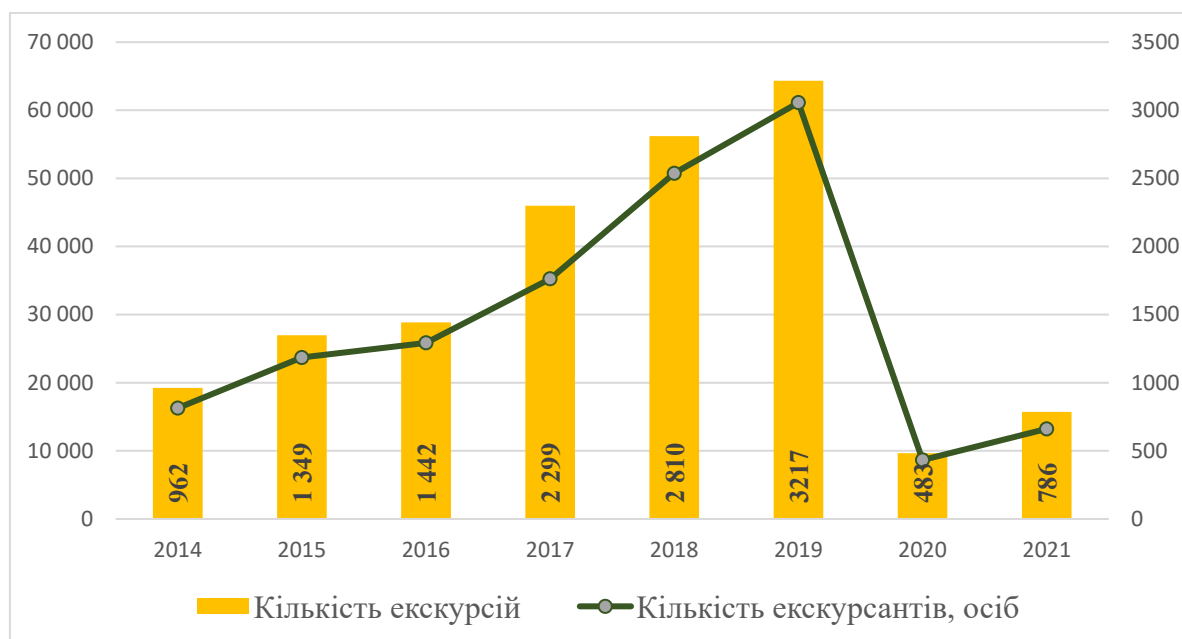


Рис. 2. Аналіз проведення в Кривому Розі екскурсій та охоплення екскурсантів за 2014-2021 роки.

Ресурс: дані відділу розвитку туризму КП «Інститут розвитку міста Кривого Рогу» [20] /

Fig. 2. Analysis of excursions in Kryvyi Rih and coverage of tourists for 2014-2021.

Resource: data from the Tourism Development Department of the Kryvyi Rih City Development Institute [20]

дозволив виокремити найпопулярніші об'єкти індустріального туризму Кривого Рогу, які відображено на картосхемі на рис. 3.

Як теоретичні напрацювання з даної проблематики, так і практичний досвід роботи в сфері розвитку індустріального туризму, дозволяють розробити організаційну модель функціонування індустріального туризму Кривого Рогу, представлену на рис. 4.

Основними блоками даної моделі є ресурс території та сегменти забезпечення функціонування індустріального туризму. Ресурс території представлений ключовими структурними компонентами – об'єктами індустріального туризму, до яких входять промислові підприємства, техногенні ландшафти, індустріальна спадщина, музеї промислової тематики, ревіталізовані об'єкти, а також допоміжними компонентами – закладами сфери послуг.

Забезпечення оптимального використання ресурсу території здійснюють: міська влада, що організовує, координує та забезпечує управління регіональним розвитком індустріального туризму; наука, що сприяє проведенню теоретичних та аналітичних досліджень; освіта, що забезпечує весь туристичний комплекс професійними кадрами; бізнес-структури, які, враховуючи ринкові умови та механізми, координують роботу туристичної сфери, а головне вкладають інвестиції в розвиток та просування тих чи інших туристичних об'єктів; туроператори, що з одного боку також належать до когорти бізнес-структур, однак мають для створення туристичного продукту

найбільш ключове значення, так як безпосередньо займаються його розробкою та просуванням. Розроблений продукт реалізується як через туристичні агентства або подібні до них структури (екскурсійні бюро, туристичні клуби тощо), так і через туристичних гідів, які повинні бути зареєстровані як фізичні особи-підприємці. Туристичні гіді можуть співпрацювати напряму з туристичними операторами, а можуть опосередковано через туристичні агентства.

Структурно-центрованою ланкою даної моделі виступає турист, на забезпечення потреб та запитів якого зорієнтована вся тематична туристична діяльність.

Ключовими стейкхолдерами даної системи є індустріальні підприємства, управлінська структура території (місто чи регіон) та власне туристичний оператор, який розробляє і просуває на ринок готовий туристичний продукт. Всі ці три ланки знаходяться одна з одною у безпосередній взаємодії. Якщо за основу брати приклад Кривого Рогу, то між міською владою та провідними промисловими підприємствами (ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», АТ «Південний ГЗК», ПрАТ «Інгулецький ГЗК», ПрАТ «Центральний ГЗК», ПрАТ «Північний ГЗК», ТОВ «Метінвест-КРМЗ», АТ «Кривбасзалізорудком») у вересні 2017 року укладено Меморандум про співробітництво з питань розвитку індустріального туризму, необхідності ефективного діалогу та партнерських взаємовідносин в рамках реалізації Програми розвитку промислового туризму у місті Кривому Розі на 2016-2024 роки.

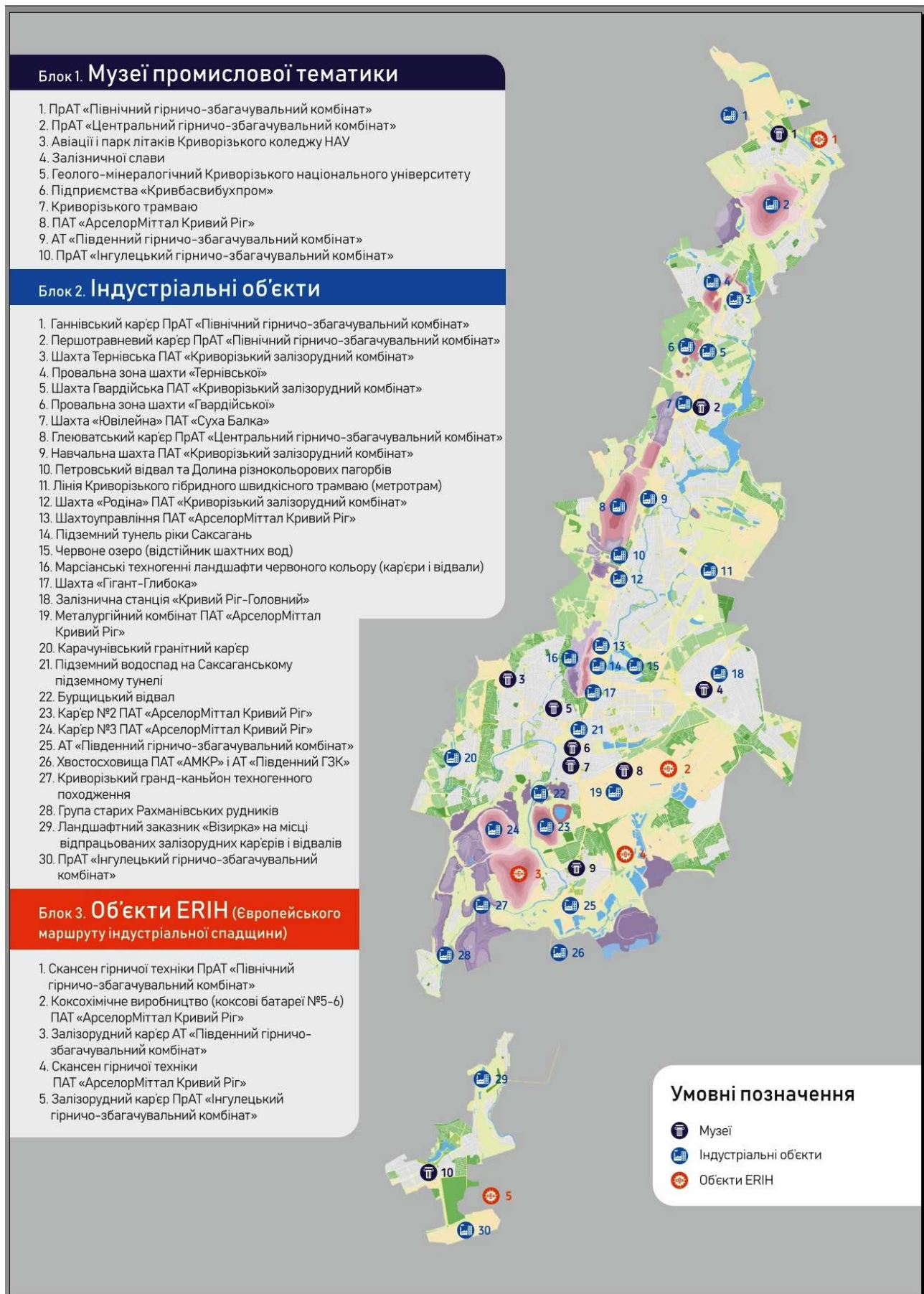


Рис. 3. Найпопулярніші туристичні об'єкти Кривого Рігу /  
Fig. 3. The most popular tourist attractions of Kryvyi Rih

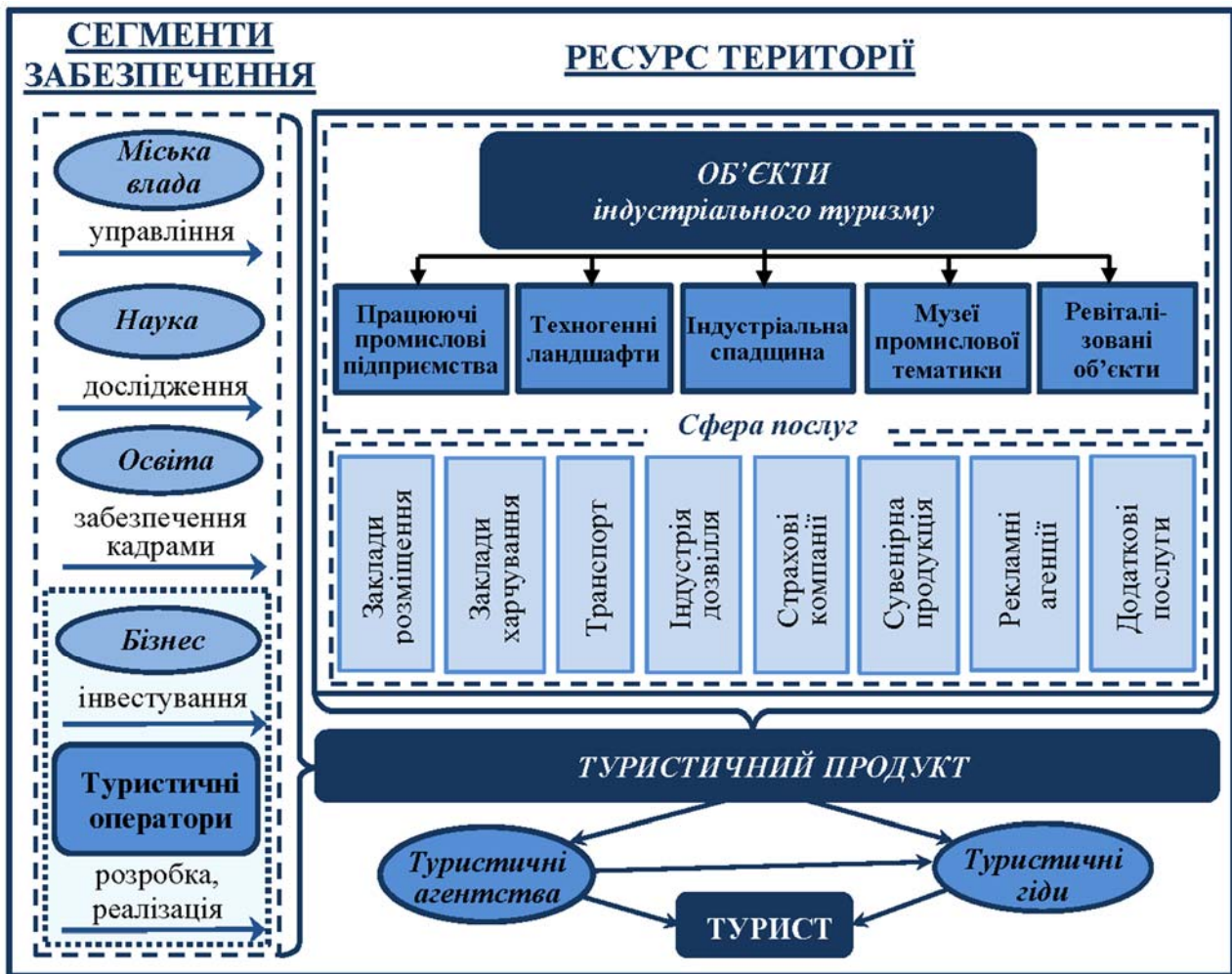


Рис. 4. Організаційна модель функціонування індустриального туризму /  
Fig. 4. Organizational model of industrial tourism functioning

Ключові об'єкти індустриального туризму міста – це працюючі підприємства з численними структурними підрозділами. Їх відвідування можливе лише у складі організованих екскурсійних груп, тож постачати дані послуги можуть лише туристичні оператори та спеціалізовані туристичні організації (турагенства й громадські організації туристичного змісту – турцентри, клуби активного відпочинку тощо). В ідеалі вони повинні мати угоди про співпрацю з усіма промисловими підприємствами, які включені до програм турів та екскурсій. Взаємодія між апаратом органів міської влади та туристичними підприємствами відбувається у форматі спільної участі в організації та проведенні різноманітних івентів, зокрема партнерське представлення туристичного потенціалу міста на туристичних виставках і ярмарках, організація фестивалів тощо. Економічний ефект подібної співпраці має 3 складові: розвиток малого та середнього бізнесу у туристичній сфері, створення нових робочих місць та наповнення місцевого бюджету за рахунок податків.

**Висновки.** За десять років з моменту прийняття Програми розвитку промислового туризму

місту Кривий Ріг вдалося пройти значний шлях від монопрофільного індустриального центру, який жодним чином не розглядався як туристична дестинація, до міста зі сформованим неофіційним статусом столиці індустриального туризму України.

Становлення індустриального туризму у Кривому Розі співпало з низкою як соціальних, так і економічних катаклізмів. І якщо Революція гідності та подальше збройне протистояння на Сході нашої країни лише пригальмувало початковий етап становлення туристичної сфери в місті, то світовий локдаун та повномасштабне військове вторгнення до України значно позначилися і на загальній кількості туристів та екскурсантів, і на згортанні діяльності екскурсоводів, закладів розміщення та харчування, і, звісно, на фінансуванні Програми розвитку туризму та всієї сукупності заходів, запланованих у місті.

На заваді прогресивному становленню індустриального туризму в місті були й інші чинники, зокрема: недосконала нормативно-правова база України щодо розвитку певних видів туризму, в даному випадку – індустриального; відсутність єдиних методик та стандартів оцінки якості пос-

луг індустріального туризму; несформований менталітет обслуговування туристів у місцевого населення; відсутність якісної реклами та обмежені можливості швидкого просування індустріально-туристичного продукту на міжнародний ринок; відсутність спеціалізованих туроператорів. Однак ключову гальмівну роль відіграла незацікавленість керівництва промислових підприємств щодо прийому туристів, що спровокувало складність в отриманні допуску на цікаві для туристів промислові локації та відносно високу вартість відвідування окремих об'єктів, небажання створювати оглядові майданчики на відвалах, копрах шахт та інших промислових об'єктах. Нерозуміння соціальної та економічної значимості індустріального туризму для монопрофільного міста обумовлене певною ментальною неготовністю представників промислових підприємств та недостатньою сформованістю у них індустріальної культури. Ідентичні проблеми були і в Німеччині 30-40 років тому, що у своїх дослідженнях підтверджував у 1986 році Д. Зоєц, постулюючи, що

«для багатьох людей досі є дивною, якщо не абсурдною, думка про те, що занедбані промислові об'єкти ХХ століття можуть становити якусь цінність з естетичної, архітектурної чи культурно-історичної точки зору» [14]. Нині ж Німеччина є «законодавицею моди» в індустріальній культурі та туризмі. Тож сподіваємось європейські вектори руху України будуть стосуватися і питань туризму.

Безумовно відродженню України після припинення військових дій сприятиме й активізація туристичної діяльності. З іншого ракурсу буде переглянутий потенціал постраждалих та прифронтових міст нашої країни щодо розвитку різних напрямів туристичної сфери та подальшої їх регенерації для потреб мирного життя та збалансованого розвитку їх економіки. Тож індустріальний туризм цілком обґрунтовано може стати одним із напрямів необхідної диверсифікації сфер діяльності та пошуку нової регіональної ідентичності промислових регіонів.

#### Список використаної літератури

1. Andrade M. Theoretical and methodological model for the study of social perception of the impact of industrial tourism on local development / M. Andrade, I. Saamaño-Franco // *Social Sciences*. – 2018. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2076-0760/7/11/217> DOI: <https://doi.org/10.3390/socsci7110217>
2. Bianchi R. V. Migrant tourist-workers: Exploring the 'contact zones' of post-industrial tourism [Текст] / R. V. Bianchi // *Current Issues in Tourism*. 2000. – P. 107-137. DOI: <https://doi.org/10.1080/13683500008667869>
3. Chmielewska M. Post-industrial tourism as a chance to develop cities in traditional industrial regions in Europe [Текст] / M. Chmielewska, M. Lamparska // *Sociologie Românească*. – 2011. – Т. 9. – №. 3. – С. 67-75.
4. *European route of industrial heritage* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.erih.net/>
5. ExtraSchicht Die Nacht der Industriekultur [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.extraschicht.de/home/>
6. Frew, Elspeth Ann. *Industrial tourism: a conceptual and empirical analysis*. Diss. Victoria University, 2000. – 305 p.
7. *Industriada. święta Szlaki Zabytków Techniki* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://industriada.pl/>
8. Kronenberg M. Turystyka dziedzictwa przemysłowego – próba sprecyzowania terminologii [Текст] / M. Kronenberg // *Dziedzictwo przemysłowe jako strategia rozwoju innowacyjnej gospodarki*. – 2007. – С. 33-42.
9. Kuzior A. Post-industrial tourism as a driver of sustainable development [Текст] / A. Kuzior, O. Lyulyov, T. Pimonenko, A. Kwilinski, D. Krawczyk // *Sustainability*. – 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13158145>
10. MacCannel D. *The Tourist: A New Theory of the Leisure Class* [Текст] / D. MacCannel. – New York: Schocken Books, 1976. – 231 p.
11. Otgaar A. *Industrial tourism: opportunities for city and enterprise* [Текст] / Alexander HJ Otgaar, Leo Van Den Berg, Rachel Xiang Feng. – Routledge. – 2016. – 242 p.
12. Samuil I., *Business Model for Post-industrial Tourism from a System Dynamics Perspective* [Текст] / I. Samuil, A. C. Ionica, M. Leba // *2021 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*. – IEEE, 2021. – С. 1107-1113. DOI: <https://doi.org/10.1109/IEEM50564.2021.9672841>
13. *Serwis korporacyjny Kopalni Soli "Wieliczka"* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.kopalniawieliczka.eu/gornicze-dziedzictwo/#historia-zabytku>
14. Soyez D. *Industrietourismus (Industrial Tourism)* [Текст] / D. Soyez // *Erdkunde*. 1986. – P. 105-111.
15. Syvyj, M. Y. *The regionalization of territorial combinations of mineral deposits and mining territories of Ukraine* [Текст] / M. Y. Syvyj, N. O. Lisova, B. V. Navryshok // *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія "Геологія. Географія. Екологія"*, 2019. – Вип. 51. – С. 180-193. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-12>
16. Szromek A. *A business creation in post-industrial tourism objects: Case of the industrial monuments route* / Szromek, Adam R., Herman, Krzysztof // *Sustainability*. – 2019. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/5/1451> DOI: <https://doi.org/10.3390/su11051451>
17. *The International Committee for the Conservation of the Industrial Heritage* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ticcih.org/>

18. Toderas M. Aspects regarding a mining area rehabilitation for post-industrial tourism [Текст] / M. Toderas, I. Samuil, A. Ionica, M. Olar, S. Militaru // MATEC Web of Conferences. – Vol. 290. – EDP Sciences. – 2019. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929011012>
19. Xie, Philip Feifan. Industrial heritage tourism. Channel View Publications. – 2015. – 272 p.
20. Звіт з виконання у 2020 році Програми розвитку промислового туризму в місті Кривому Розі на 2016 – 2021 роки. Кривий Ріг. – 2021. – 14 с.
21. Індустріальна спадщина в культурі і ландшафті: Матеріали III Міжнародної наукової конференції (м. Кривий Ріг, 1-4 жовтня 2008 р.): у 2 ч. [Текст] / редкол.: В. Л. Казаков (відп. ред.) та ін. – Кривий Ріг: Видавничий дім, 2008.
22. Казаков В. Л. Організація індустріального туризму: системний підхід [Текст] / В. Л. Казаков // Індустріальний туризм: реалії та перспективи : матеріали I-го Міжнародного науково-практичного форуму. – Кривий Ріг, 2013. – С. 17-21.
23. Кошель В.О. Розвиток Європейського ринку послуг промислового туризму: дис. ... канд. економ. наук : 08.00.02 – світове господарство і міжнародні економічні відносини / В. О. Кошель. – Кривий Ріг, 2017. – 241 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://mdu.in.ua/Nauch/spetsrada/diser/ekonomika/dysertacija-kosheli\\_v.o.PDF](http://mdu.in.ua/Nauch/spetsrada/diser/ekonomika/dysertacija-kosheli_v.o.PDF)
24. Крачило М. П. Економічні аспекти розвитку туризму в Україні в контексті світового досвіду [Текст] / М. П. Крачило // Проблеми розвитку туризму в Україні і завдання відновлення історичної пам'яті народу засобами туризму: тези доп. всеукр. наук.-практ. конф. Ч.І. – К.: Косів, 2012. – С. 14-21.
25. Криворізький ресурсний центр [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.krogerc.info> (дата звернення: 12.01.2022).
26. Маркетингова стратегія міста Кривого Рогу [Текст]. – Кривий Ріг, 2014. – 56 с.
27. Методичні рекомендації щодо впровадження міжнародного стандарту ДСТУ ISO 13810:2016 "Індустріальний туризм" [Текст]. 2019. – 16 с.
28. Пацюк В. С. Індустріальний туризм та його особливості [Текст] / В.С. Пацюк // Географія та туризм. – 2009. – №. 2. – С. 104-109.
29. Пацюк В. С., Казаков В. Л. Чи може індустріальний туризм змінити обличчя Кривого Рогу? [Текст] / Урбаністична Україна: в епіцентрі просторових змін: монографія / за ред. К. Мезенцева, Я. Олійника, Н. Мезенцевої. – Київ: Вид-во "Фенікс", 2017. – 378-393 с.
30. Пацюк В.С. Територіальна організація індустріального туризму Криворіжжя: дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.02 – економічна та соціальна географія [Текст] / В. С. Пацюк. – Київ, – 2011. – 305 с.
31. Програма розвитку промислового туризму в місті Кривий Ріг на 2013-2015 роки [Текст]. – Кривий Ріг, 2013. – 15 с.
32. Програма розвитку промислового туризму в місті Кривий Ріг на 2016-2020 роки. – Кривий Ріг, 2016. – 23 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://krt.dp.ua/files/pdf/The\\_program\\_of\\_development\\_of\\_industrial\\_tourism\\_2016-2020.pdf](http://krt.dp.ua/files/pdf/The_program_of_development_of_industrial_tourism_2016-2020.pdf)
33. Проект Закону про внесення змін до Закону України "Про туризм" та деяких інших законодавчих актів щодо основних засад розвитку туризму. – № 4162 від 29.09.2020. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4\\_1?pf3511=70072](http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=70072)
34. Сайт "Діюча Індустрія". [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://krt.dp.ua/ua/>
35. Статут Громадської організації "Туристичний центр "Кривбастур" [Текст]. – Кривий Ріг, 2016. – 15 с.
36. Чорнобиль Тур. Національний провайдер екскурсій в Чорнобильську зону [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.chernobyl-tour.com/>

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

## Industrial tourism as an effective direction of urban regeneration (analysis of Kryvyi Rih practice)

**Viktoriia Patsiuk**<sup>1</sup>,

PhD (Geography), Associate Professor,  
Department of Tourism and Economics, Faculty of Geography,  
<sup>1</sup> Taras Shevchenko National University of Kyiv,

2a Hlushkova Av., Kyiv, 03127, Ukraine;

**Volodymyr Kazakov**<sup>2</sup>,

PhD (Geography), Associate Professor,  
Head of the Department of Tourism and Economics,  
Faculty of Geography, Tourism and History,

<sup>2</sup> Kryvyi Rih State Pedagogical University,

54 Haharin Av., Kryvyi Rih, 50086, Ukraine

### ABSTRACT

**Formulation of the problem.** The world is constantly moving towards the post-industrial phase of development of society, and if the majority of civilized Western countries have decided on their place and role, the cities of Ukraine are just beginning to outline their future landmarks. This is especially true for the future of single-industry cities, the number of which in Ukraine is quite large. Kryvyi Rih is the largest city with exclusively industrial specialization, performing administrative functions only at the local level and having a scientific sector almost completely focused on the needs of the industrial complex. For the last 10 years, managers and scientists have been actively thinking about the problem of diversifying the city's economy and changing its image, and this is reflected in the Marketing Strategy for the city development. Industrial tourism is one of the key tasks of the Strategy. The promising character of the chosen direction of activities is confirmed by the practice of European countries, which are guidelines for development for us. This is due to the fact that not only individual cities, but also entire regions of Great Britain, Germany, France, Poland, the Czech Republic have a wide experience in regeneration of former industrial territories and further popularization of successful practices through industrial tourism.

**Methods.** The research is based on the system approach and the dialectical method of cognition. The key scientific results are obtained using a complex of general scientific methods, namely: analysis and synthesis, abstraction, theoretical generalization. The historical method enables determining significant moments for development of this tourist destination. With the help of these methods, industrial tourism is considered in its internal and external relations entirety. The simulation method enables presenting the organizational model of this tourist destination at the local level. Comparative-geographical and statistical analysis methods allow assessment of the state and dynamics of tourism development in Kryvorizhzhia (Kryvyi Rih region). Based on the method of observation and analysis, the most visited objects of industrial tourism in Kryvyi Rih are systematized and their base map is created.

The study **aims** to analyze best practices of implementing theoretical developments concerning establishment of industrial tourism in Kryvorizhzhia so that Ukrainian cities with similar resources can factor in all positive areas and minimize shortcomings.

**Results.** The theoretical foundations of industrial tourism establishment are analyzed and this definition is outlined. The practice of Kryvyi Rih concerning integrated development of industrial tourism as a direction of further regeneration of the city, which is pioneering for our country, is revealed, the results obtained are analyzed and available shortcomings are identified.

**Scientific novelty and practical significance.** An organizational model of industrial tourism has been developed, which demonstrates the relationship between the resource of the territory and the management mechanism for introducing tourist activities in order to create a tourist product and bring it to the tourist.

**Keywords:** industrial tourism, tourist destination, urban regeneration, territory resources.

### References

1. Andrade, M., & Caamaño-Franco, I. (2018). *Theoretical and methodological model for the study of social perception of the impact of industrial tourism on local development*. *Social Sciences*, 7(11), 217. DOI: <https://doi.org/10.3390/socsci7110217>
2. Bianchi, R. V. (2000). *Migrant tourist-workers: Exploring the 'contact zones' of post-industrial tourism*. *Current Issues in Tourism*, 3(2), 107-137. DOI: <https://doi.org/10.1080/13683500008667869>
3. Chmielewska, M., & Lamparska, M. (2011). *Post-industrial tourism as a chance to develop cities in traditional industrial regions in Europe*. *Sociologie Românească*, 9(3), 67-75.
4. *European route of industrial heritage*. Available at: <https://www.erih.net/>
5. *ExtraSchicht Die Nacht der Industriekultur [ExtraSchicht The Night of Industrial Culture]*. Available at: <https://www.extraschicht.de/home/> [in German]
6. Frew, E. A. (2000). *Industrial tourism: a conceptual and empirical analysis (Doctoral dissertation, Victoria University)*.
7. *Industriada. święta Szlaku Zabytków Techniki [Industriada. The Feast of the Industrial Monuments Route]*. Available at: <https://industriada.pl/> [in Polish]



8. Kronenberg, M. (2007). *Turystyka dziedzictwa przemysłowego – próba sprecyzowania terminologii* [Industrial heritage tourism – attempt to clarify terminology]. *Dziedzictwo przemysłowe jako strategia rozwoju innowacyjnej gospodarki*, 33-42. [in Polish]
9. Kuzior, A., Lyulyov, O., Pimonenko, T., Kwilinski, A., & Krawczyk, D. (2021). *Post-industrial tourism as a driver of sustainable development*. *Sustainability*, 13(15), 8145. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13158145>
10. MacCannel D. (1976). *The Tourist: A New Theory of the Leisure Class*. – New York: Schocken Books, 1976.
11. Otgaar, A. H., Van Den Berg, L., & Feng, R. X. (2016). *Industrial tourism: opportunities for city and enterprise*. Routledge.
12. Samuil, I., Ionica, A. C., & Leba, M. (2021, December). *Business Model for Post-industrial Tourism from a System Dynamics Perspective*. In *2021 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (1107-1113). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/IEEM50564.2021.9672841>
13. *Serwis korporacyjny Kopalni Soli "Wieliczka"* [Corporate service of the "Wieliczka" Salt Mine]. Available at: <https://www.kopalniawieliczka.eu/gornicze-dziedzictwo/#historia-zabytku> [in Polish]
14. Soyecz, D. (1986). *Industrietourismus* [Industrial Tourism]. *Erdkunde*, 105-111 [in German]
15. Syvyj, M. Y., Lisova, N. O., & Havryshok, B. B. (2019). *The regionalization of territorial combinations of mineral deposits and mining territories of Ukraine*. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University series «Geology. Geography. Ecology»*, (51). DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-12>
16. Szromek, A. R., & Herman, K. (2019). *A business creation in post-industrial tourism objects: Case of the industrial monuments route*. *Sustainability*, 11(5), 1451. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11051451>
17. *The International Committee for the Conservation of the Industrial Heritage*. Available at: <https://ticcih.org/>
18. Toderas, M., Samuil, I., Ionica, A., Olar, M., & Militaru, S. (2019). *Aspects regarding a mining area rehabilitation for post-industrial tourism*. In *MATEC Web of Conferences* (290, 11012). EDP Sciences. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929011012>
19. Xie, P. F. (2015). *Industrial heritage tourism*. Channel View Publications.
20. *Report on implementation in 2020 of the Program for the development of industrial tourism in the city of Kryvyi Rih for 2016–2024* (2021). Kryvyi Rih [in Ukrainian].
21. *Industrial heritage in culture and landscape* (2008). *Proceedings of the III International Scientific Conference* (October 1-4, Kryvyi Rih, Ukraine).
22. Kazakov V. L. (2013). *Organization of industrial tourism: system approach*. *Industrial Tourism: Realities and Prospects: Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Forum* (November 7-8, Kryvyi Rih, Ukraine), 17-21. [in Ukrainian].
23. Koshel V.O. *Development of the European market of industrial tourism services*. PhD's thesis. Mykhailo Tugan-Baranovsky Donetsk National University of Economics and Trade, Available at: [http://mdu.in.ua/Nauch/spetsrada/diser/ekonomika/dysertacija-kosheli\\_v.o.PDF](http://mdu.in.ua/Nauch/spetsrada/diser/ekonomika/dysertacija-kosheli_v.o.PDF) [in Ukrainian].
24. Krachylo M. P. (2012). *Economic aspects of tourism development in Ukraine in the context of world practice. Problems of tourism development in Ukraine and the task of the people's historical memory by means of tourism*: Kosiv [in Ukrainian].
25. Kryvyi Rih Resource Center. URL: <http://www.krogerc.info> (date of issue: 12.01.2022). [in Ukrainian].
26. *Marketing strategy of Kryvyi Rih city* (2014). Kryvyi Rih [in Ukrainian].
27. *Guidelines for implementation of the international standard DSTU ISO 13810: 2016 "Industrial tourism"* (2019). [in Ukrainian].
28. Patsiuk V.S. (2009). *Industrial tourism and its particular characteristics*. *Geography and tourism*. 2, 104-109. [in Ukrainian].
29. Patsiuk V. S., Kazakov V. L. (2017). *Can industrial tourism change the face of Kryvyi Rih? Urban Ukraine: in the epicenter of spatial changes: monograph*. Ed. K. Mezentsev, Ya. Oliinyk, N. Mezentseva. Kyiv, Phoenix Edition. 378-393. [in Ukrainian].
30. Patsiuk V. S. *Territorial organization of industrial tourism of Kryvorizhzhia*. PhD's thesis. Taras Shevchenko National University of Kyiv [in Ukrainian]
31. *Program of industrial tourism development in Kryvyi Rih for 2013-2015* (2013). Kryvyi Rih. [in Ukrainian].
32. *Program of industrial tourism development in Kryvyi Rih for 2016-2024* (2016). Kryvyi Rih. Available at: [http://krt.dp.ua/files/pdf/The\\_program\\_of\\_development\\_of\\_industrial\\_tourism\\_2016-2020.pdf](http://krt.dp.ua/files/pdf/The_program_of_development_of_industrial_tourism_2016-2020.pdf) [in Ukrainian].
33. *Draft Law on Amendments to the Law of Ukraine "On Tourism" and some other legislative acts on the basic principles of tourism development*. No 4162 of 29.09.2020. Available at: [http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4\\_1?pf3511=70072](http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=70072)
34. Website "Acting Industry". Available at: <http://krt.dp.ua/ua/> [in Ukrainian].
35. *Charter of the Public Organization "Tourist Center "Kryvbastur"* (2016). Kryvyi Rih [in Ukrainian].
36. *Chernobyl Tour. Eye-opening experience of post-Apocalyptic world*. Available at: <https://www.chernobyl-tour.com/>

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work

Received 8 October 2022  
Accepted 21 November 2022

## Вплив змін клімату на емісію парникових газів (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O) із ґрунтів агроєкосистем

*Анатолій Польовий*<sup>1</sup>

д. геогр. н., професор, зав. кафедри агрометеорології та агроєкології

<sup>1</sup> Одеського державного екологічного університету,

вул. Львівська, 15, Одеса, 65016, Україна,

e-mail: [apolevoy@te.net.ua](mailto:apolevoy@te.net.ua),  <https://orcid.org/0000-0001-8395-0068>;

*Олександр Микитюк*<sup>2</sup>

к. біол. н., доцент, виконавчий директор

<sup>2</sup> Міжнародної благодійної організації, Інститут розвитку територіальних громад,

вул. Лютеранська, 21/12, Київ, 01024, Україна,

e-mail: [alex.mykytiuk@icdu.kiev.ua](mailto:alex.mykytiuk@icdu.kiev.ua),  <https://orcid.org/0000-0002-0141-8586>;

*Людмила Божко*<sup>1</sup>

к. геогр. н., доцент, кафедра агрометеорології та агроєкології,

e-mail: [bozko@i.ua](mailto:bozko@i.ua),  <https://orcid.org/0000-0002-8712-2099>;

*Олена Барсукова*<sup>1</sup>

к. геогр. н., доцент, кафедра агрометеорології та агроєкології,

e-mail: [lana5933@ukr.net](mailto:lana5933@ukr.net),  <https://orcid.org/0000-0002-9054-142x>

В статті наводяться результати чисельних експериментів з комплексною моделлю емісії парникових газів із ґрунтів агроєкосистеми озимої пшениці з використанням кліматичного сценарію RCP4.5. Класифікація умов вегетації сільськогосподарських культур дозволила звести різноманіття їх режимів до певних типів погоди, що характеризує спільність умов формування врожаю навесні та влітку, завдяки чому виділяють так звані «сухі» та «вологі» роки. Оцінка майбутніх (2021–2050 рр.) агрометеорологічних умов весняно-літньої вегетації озимої пшениці показала, що температура повітря за період вегетації культури буде нижчою від середніх багаторічних даних (1991–2020 рр.) і становитиме 12,9 °С, що на 1,5 °С нижче, ніж за базовий період. Очікується зменшення кількості опадів на 21 %. Наводиться типізація умов вегетації культури. Встановлено тенденції зміни температури повітря та кількості опадів протягом вегетації озимої пшениці, які очікуються в різні за зволоженістю роки. Інтенсивність викидів парникових газів залежить від типу зволоження періоду вегетації. У «посушливі» роки на початку вегетації емісія CO<sub>2</sub> становитиме 0,044–0,079 т C-CO<sub>2</sub> га<sup>-1</sup> д<sup>-1</sup>, що значно вище середніх багаторічних значень та майже вдвічі вище, ніж у «вологі» роки. Навесні на початку вегетації як правило рівень вологості орного шару ґрунту досить високий, що зумовлюватиме формування анаеробних умов та високий рівень емісії N<sub>2</sub>O. Зростання посушливості зменшує рівень потоків N<sub>2</sub>O. Для «посушливих» років за рахунок досить високого рівня весняної вологи в орному шарі на початок вегетації рівень емісії N<sub>2</sub>O буде досить високим (0,061–0,089 кг N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup> д<sup>-1</sup>). У подальшому його рівень суттєво знижуватиметься. Для «вологіх» років підвищений рівень вологості орного шару ґрунту створить сприятливі умови для формування емісії N<sub>2</sub>O (0,096–0,148 кг N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup> д<sup>-1</sup>). Встановлено загальні закономірності вегетаційного ходу емісії CO<sub>2</sub> та N<sub>2</sub>O в середньому багаторічному та в різні за умовами зволоженості роки.

**Ключові слова:** моделювання, емісія, двоокис вуглецю, ґрунт, закис азоту, агроєкосистема, температура повітря, опади, вологість ґрунту.

**Як цитувати:** Польовий Анатолій. Вплив змін клімату на емісію парникових газів (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O) із ґрунтів агроєкосистем / Анатолій Польовий, Олександр Микитюк, Людмила Божко, Олена Барсукова // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 58. – С. 202–216. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-16>

**In cites:** Polevoy Anatoly, Mykytiuk Alexander, Bozhko Lyudmila, Barsukova Elena (2023). The climate change impact on greenhouse gas emissions (CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O) from soils at agroecosystems. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (58), 202-216. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-16> [in Ukrainian]

**Вступ.** Ґрунти агроєкосистем є значним джерелом парникових газів, надходження яких в атмосферу формує потенціал глобального потепління. Під його впливом змінюються агрокліматичні умови вирощування сільськогосподарських культур, відбувається зміна фотосинтетичної продуктивності рослин. В останні 30 років ця проблема досить широко і повно висвітлюється в численних світових публікаціях для різних кліматичних зон світу, в тому числі, і для ґрунтово-кліматичних умов України [1-5, 28]. Моделювання

впливу зміни клімату на продуктивність сільськогосподарських культур спирається, з одного боку, на побудову різноманітних математичних моделей продукційного процесу рослин, які враховують вплив факторів зовнішнього середовища, що змінюються, на формування продуктивності агроєкосистем, а з іншого, на отримані різними способами кліматичні сценарії, що проєктуються на період вегетації культурних рослин.

Одночасно з цим вивчається і проблема емісії парникових газів, серед яких найбільш агре-

сивними є  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  та  $\text{N}_2\text{O}$ . Емісія парникових газів із ґрунтів агроєкосистем визначається впливом комплексу екологічних факторів на сукупність біологічних і фізико-хімічних процесів у ґрунтах. У фундаментальному огляді [25] узагальнено та оцінено методи, які застосовуються для оцінки викидів  $\text{CO}_2$  та  $\text{N}_2\text{O}$  у сільськогосподарських ґрунтах. У всебічному, широкому аналізі [30] розглядаються процеси, пов'язані з викидами ґрунтів, та їх параметри впливу.

Кількісна оцінка викидів парникових газів експериментальними методами досить складна і вимагає значного часу для аналізу результатів емпіричних досліджень. Подолання цих проблем можливе при використанні моделей комп'ютерного моделювання, які пропонують широкі можливості для оцінки та прогнозування викидів парникових газів.

Так, в роботі [23] за допомогою моделі StopSyst [12], яка являє собою біофізичну модель системи землеробства, що імітує процеси вирощування сільськогосподарських культур, а також цикли води та азоту, було оцінено вплив змін клімату на викиди парникових газів. При цьому порівнювались базовий історичний період 1980–2010 рр. з трьома майбутніми періодами: 2015–2045 рр., 2035–2065 рр. і 2055–2085 рр. Невизначеність майбутнього клімату була зафіксована за допомогою 12 моделей загальної циркуляції (МОЦ), доповнених двома репрезентативними траєкторіями концентрації вуглекислого газу (RCP 4.5 та 8.5). Розглядалися сільськогосподарські угіддя Тихоокеанського Північного Заходу США стосовно культури пшениці.

В агроєкосистемах Середземномор'я є обмежена інформація про можливий вплив змін клімату на викиди  $\text{N}_2\text{O}$  із ґрунту за різних видів землекористування. У статті [10] наведено дослідження моделювання з подвійною метою. По-перше, біогеохімічна модель ґрунт–рослина DayCent [17], яка досить широко використовувалась для моделювання довгострокової реакції екосистем на зміни клімату, була оцінена для прогнозування викидів  $\text{N}_2\text{O}$  з ґрунту за різних видів землекористування в типовій середземноморській агроєкосистемі. По-друге, дослідження було спрямоване на визначення впливу змін клімату на викиди  $\text{N}_2\text{O}$  з ґрунту за різних видів землекористування у Середземномор'ї за 85-ти річний період. Для моделювання змін клімату програма DayCent використовувалась зі збагаченням атмосфери  $\text{CO}_2$  та без нього з використанням кліматичних даних із моделі CGCM2-A2. Майже одночасно були оцінені викиди парникових газів в середземноморському кліматі на основі метааналізу [27].

Для умов Канади [21] вплив майбутніх змін клімату на викиди парникових газів оцінювався за

допомогою відкаліброваної та перевіреної моделі RZWQM2. Модель RZWQM2 [26] була використана стосовно історичного періоду (1971–2000 рр.), а також для майбутнього періоду (2038–2070 рр.) з використанням даних, отриманих з глобальних кліматичних моделей в поєднанні з регіональними кліматичними моделями.

В умовах Швейцарії [29] за допомогою моделювання DayCent вивчався довгостроковий вплив методів управління ґрунтом та їх взаємодію на викиди парникових газів, а також інтенсивність викидів парникових газів за швейцарських систем землеробства. На основі експериментальних даних були визначені параметри моделі та проведена її оцінка для імітації продуктивності сільськогосподарських культур, динаміки ґрунтового вуглецю та викидів  $\text{N}_2\text{O}$  у ґрунті за різних методів управління та кліматичних умов.

Дві емпіричні моделі, MCROPS та MGRASS, були розроблені для орних земель та пасовищ [31]. Підтверджений набором незалежних даних, MCROPS показує, що весняна температура та літні опади пояснюють 35% дисперсії річних викидів  $\text{N}_2\text{O}$  з орних земель. У MGRASS норма внесення азотних добрив та зимова температура пояснюють 48% дисперсії щорічних викидів  $\text{N}_2\text{O}$  з пасовищ. Використовуючи довгострокові спостереження за кліматом (1900–2000 рр.), чутливість моделей з урахуванням мінливості клімату оцінюється порівнянням річного прогнозу моделі з точністю, отриманою у процесі перевірки. MCROPS може фіксувати міжрічну мінливість викидів  $\text{N}_2\text{O}$  з орних земель.

В умовах Бразилії [35] модель DayCent використовувалась для прогнозування змін біомаси сільськогосподарських культур, запасів вуглецю у ґрунті та потоків  $\text{N}_2\text{O}$  у великому сільськогосподарському районі Бразилії. Модель була відкалібрована та перевірена з використанням наборів даних 30-річних експериментів. Було проведено моделювання існуючих та альтернативних методів управління до 2100 року з використанням кліматичних сценаріїв MGEIK A2 та B1.

В умовах Польщі [33] викиди парникових газів були змодельовані за допомогою сівозмін, які зазвичай використовуються у східній Польщі для традиційних і консервативних систем обробітку ґрунту. Використовувалась модель денітрифікації DNDC [23], яка складається з шести підмоделей для моделювання клімату ґрунту, росту рослин, розкладання, нітрифікації, денітрифікації та ферментації та описує виділення закису азоту ( $\text{N}_2\text{O}$ ) і вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ) із сільськогосподарських ґрунтів. Для виконання розрахунків використовувались два майбутні кліматичні сценарії (2030 і 2050). Визначались викиди парникових газів з посівів кукурудзи, ріпаку, ярої та озимої пшениці.

Слід зауважити, що як і модель DayCent [16, 17], модель DNDC [24] широко використовується для регіональних досліджень моделювання в Європі, США, Канаді, Китаї, Індії [33].

**Мета.** Оцінити потенційні зміни викидів CO<sub>2</sub> та N<sub>2</sub>O із ґрунтів агроecosистеми під впливом змін температурного режиму та зростання посушливості за глобальних змін клімату (на прикладі Східної України – Біловодськ Луганської області).

**Матеріали та методи.** В основу дослідження покладено матеріали агрометеорологічних спостережень гідрометеорологічної станції Біловодськ за період 1991–2020 рр. та сценарій зміни клімату RCP 4.5 [2] на період 2021–2050 рр. Як теоретична основа для оцінки реакції озимої пшениці на зміну агрокліматичних умов вирощування використовувалась комплексна модель емісії парникових газів із ґрунтів агроecosистем [6], яка дозволяє кількісно оцінити вплив змін клімату на формування урожаю та щорічну динаміку емісії CO<sub>2</sub> та N<sub>2</sub>O з ґрунтів агроecosистеми в конкретних сценаріях землекористування та сівозміни. Модель використовувалась для оцінки викидів парникових газів як для історичного періоду (1991–2020 рр., так і для майбутнього періоду

(2021–2050 рр.)).

**Результати.** Умови виконання досліджень. Для виконання чисельних експериментів з комплексною моделлю були використані матеріали спостережень гідрометеорологічної станції Біловодськ, яка розташована в Східній Україні (координати: 49°13' північної широти, 39° 35' східної довготи, висота над рівнем моря 75 м.), а також кліматичний сценарій RCP 4.5. Ґрунти – чорнозем звичайний, легкоглинистий та важкосуглинковий. Ґрунти характеризуються високим вмістом часток менше 0,01 мм (53,3–64,1 %), вмістом вуглецю (44,5–69,2 т га<sup>-1</sup>), гумусу (3,0–4,93 %), рН ґрунту (7,2–8,1), вмістом легкогідролізуемого азоту (114–137 мг кг<sup>-1</sup>) та об'ємною щільністю ґрунту (1,21–1,28 г см<sup>-3</sup>).

Стрімке підвищення температури повітря, яке відбувалось в останні 30 років, призвело до суттєвих змін агрокліматичних умов вирощування озимої пшениці. Так, середня за період весняно-літньої вегетації цієї культури температура повітря в 1991-2020 роках підвищилась до 14,4 °С, кількість опадів за період значно не змінилась і становила 172 мм. Гідротермічний коефіцієнт Селянинова (ГТК) становив 0,72 відн. од., що характеризує цей період як посушливий (табл. 1).

Таблиця 1/ Table 1

Статистичні характеристики показників агрометеорологічних умов весняно-літньої вегетації озимої пшениці за період 1991–2020 рр. та очікуваних за сценарієм змін клімату RCP4.5 на період 2021–2050 рр. / Statistical characteristics of indicators of agrometeorological conditions of spring-summer vegetation of winter wheat for the period 1991–2020 and expected under the scenario of climate change RCP4.5 for the period 2021–2050

№ п/п	Показники	Період весняно-літньої вегетації озимої пшениці							
		1991–2020 рр.				2021–2050 рр.			
		температура повітря, °С	кількість опадів, мм	запаси вологи в шарі 0-20 см, мм	ГТК, відн. од.	температура повітря, °С	кількість опадів, мм	запаси вологи в шарі 0-20 см, мм	ГТК, відн. од.
1	Кількість випадків	30	30	30	30	30	30	30	30
2	Середнє	14,43	171,70	34,73	0,72	12,92	136,46	33,87	0,57
3	Медіана	14,38	182,00	33,09	0,71	12,70	130,25	32,30	0,48
4	Мода	14,12	144,00	21,34	0,75	12,40	108,30	16,00	0,84
5	Стандартне відхилення	1,04	47,80	7,85	0,27	1,22	50,04	1,84	0,28
6	Коефіцієнт варіації, %	7,19	27,84	22,60	36,86	9,44	36,67	34,94	48,99
7	Асиметрія	0,34	-0,25	0,547	0,419	0,71	0,83	0,352	1,19
8	Ексцес	0,07	-0,47	-0,30	-0,32	1,04	-0,23	-0,76	1,41
9	Діапазон	4,35	189,00	32,11	1,01	5,60	180,00	40,30	1,17
10	Мінімум	12,64	69,00	21,34	0,30	10,70	66,10	16,0	0,25
11	Максимум	16,99	258,00	53,45	1,31	16,30	246,10	56,30	1,42

Порівняння з очікуваними за сценарієм змінами клімату на період 2021–2050 рр. дозволяє зробити висновок, що температура повітря за період вегетації культури буде нижчою від середніх багаторічних даних і становитиме 12,9 °С, що на 1,5 °С нижче, ніж за базовий період. Це пояснюється тим, що початок вегетації озимої пшениці зміщується на більш ранні терміни у зв'язку з чим перша половина весняно-літньої вегетації буде проходити на фоні знижених температур повітря.

Відповідно зменшаться абсолютні величини медіани і моди середньої за вегетацію озимої пшениці температури повітря (табл. 1). За показниками стандартного відхилення відбуватиметься підвищення цього показника на 15 % порівняно з базовим періодом. Зростає також і коефіцієнт варіації від 7,19 % до 9,44 %.

Спостерігатиметься правостороння асиметрія функції розподілу значень середньої температури повітря, яка зміститься в сторону більш високих температур. Збільшиться діапазон зміни температури повітря від 4,3 до 5,6 °С. Майже на 2 °С очікується зменшення мінімального значення температури повітря та також стане меншим максимальне значення.

На фоні зниження температури повітря очікується зменшення кількості опадів на 21 %, що становитиме 136,5 мм. При цьому варіація опадів збільшиться. Суттєво зменшиться значення медіани та моди функції розподілу. Коефіцієнт варіації зростає від 27,84 % за базовий період до 36,67 % за сценарієм зміни клімату. Зростає кількість випадків зі значно меншою кількістю опадів за період вегетації пшениці. Якщо, наприклад, кількість опадів менше 150 мм за базовий період становила 30 %, то відповідно до сценарію зміни клімату очікується, що їх кількість становитиме 75 %. Відбудеться деяке зменшення діапазону зміни кількості опадів та зменшення їх мінімальної та максимальної величини.

Як видно з даних табл. 1, запаси продуктивної вологи в орному шарі ґрунту в період вегетації озимої пшениці за середніми значеннями досить близькі в базовий та сценарний періоди, відповідно 35 мм та 34 мм, але розподіл їх значно відрізняється. Для сценарного періоду буде характерним значне збільшення мінливості цієї характеристики: на 51 % збільшиться стандартне відхилення, на 54% зростає коефіцієнт варіації. В період 2021–2050 рр. мінімальна величина середніх значень запасів вологи в орному шарі ґрунту зменшиться до 16 мм в той час як максимальна величина перевищуватиме базове значення і становитиме 56 мм. Таким чином, діапазон зміни характеристики збільшиться від 32 мм до 40 мм.

Відповідно зменшенню кількості опадів збільшиться і посушливість умов вегетації озимої

пшениці. Величина ГТК (табл. 1, рис. 1) зменшиться до 0,57 відн.од., що є ознакою середньої посухи, варіація цього показника зростає до 49% порівняно з 36,9 % в базовий період. Буде характерним збільшення кількості випадків з ГТК менше 0,4 відн.од., що є ознакою дуже сильної посухи. Кількість випадків з ГТК менше 0,4 відн. од. зростає до 35 % (рис. 1б), в той час як у базовий період їх кількість складала 14 % (рис. 1а). Загальна кількість випадків з сильною посухою (ГТК менше 0,5 відн.од.) очікуватиметься в 53 % випадків порівняно з 20 % у базовому періоді.

Для врахування особливостей вегетаційного періоду озимої пшениці була виконана типізація погодних умов з метою звести різноманіття різних режимів до визначених типів погоди, які характеризують спільність умов формування урожаю у весняно-літній період. В якості критерію оцінки типу погоди була прийнята кількість опадів за вегетацію: випадки з кількістю опадів менше 60 % від середнього багаторічного значення приймалися за «посушливі» роки, при кількості опадів більше середньої багаторічної величини – за «вологі» роки.

Тенденції зміни температури повітря протягом вегетації озимої пшениці будуть в різні за зволоженістю роки досить схожі (рис. 2). Зростання температури повітря від початку вегетації відбуватиметься поступово, при цьому зберігатиметься стійке співвідношення: середня декадна багаторічна температура > температура «посушливого» року > температура «вологого» року.

Виняток складатимуть третя та четверта декади вегетації, які характеризуватимуть період «вихід в трубку - початок стеблуння», коли температура «вологого» року перевищуватиме температуру «посушливого» року.

Динаміка опадів буде ще більш показовою (рис. 3). У «вологі» роки перші чотири декади кількість опадів суттєво перевищуватиме середні багаторічні значення і становитиме 161–210 % від цієї величини. В п'яту декаду кількість опадів буде дещо меншою (127 % від середнього значення). І тільки в шосту декаду їх кількість буде недостатньою і становитиме 81 % від багаторічного значення. Сьома та восьма декади вегетації відрізнятимуться збільшенням кількості опадів від 136 до 144 %. Для кінцевої декади вегетації очікується зменшення кількості опадів до 52 % від середнього багаторічного значення.

Кількість опадів у «посушливі» роки перші чотири декади становитиме 23–58 % від середніх багаторічних значень, у п'ятій декаді вона зростає до 87 %, потім зменшиться до 39 %. Значне збільшення кількості опадів до 100 % відбудеться у сьому декаду. В подальшому кількість опадів очікуватиметься на рівні до 50–88 % від середньої

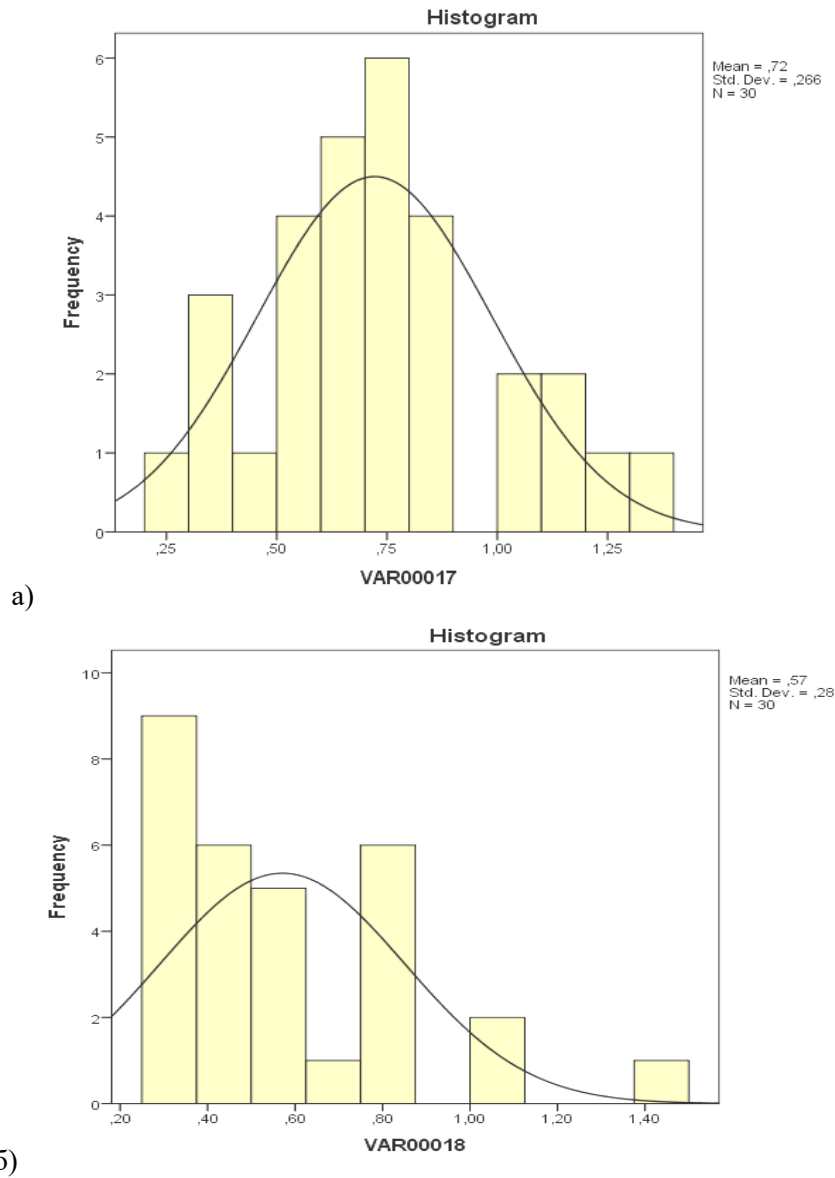


Рис.1. Порівняння гістограм розподілу кількості років з різними значеннями ГТК Селянинова: а) 1991–2020 рр.; б) 2021–2050 рр. Біловодськ /  
 Fig. 1. Comparison of the histograms of the distribution of the number of years with different values of Selyaninov's GTC: a) 1991–2020; b) 2021–2050 Bilovodsk

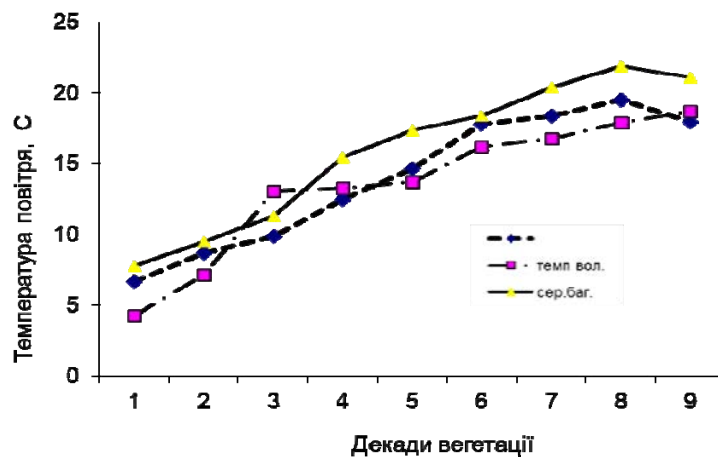


Рис. 2. Порівняння очікуваної за сценарієм зміни клімату RCP4.5 температури повітря в «посушливий» і «вологий» роки в період 2021–2050 рр. із середньою багаторічною за 1991–2021 рр. /

Fig. 2. Comparison of air temperature expected under the RCP4.5 climate change scenario in "dry" and "wet" years in the period 2021–2050 with the multi-year average for 1991–2021

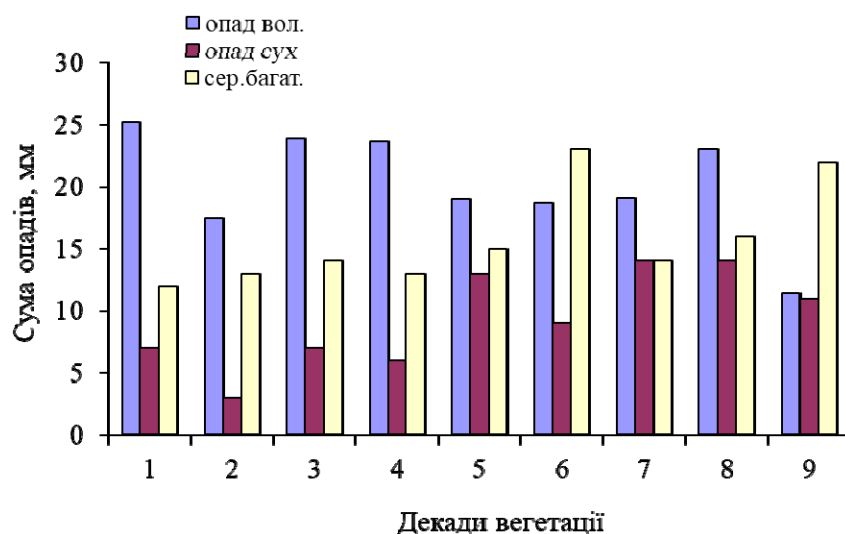


Рис. 3. Порівняння очікуваної за сценарієм зміни клімату RCP4.5 сум опадів у «посушливі» та «вологі» роки в період 2021–2050 рр. із середніми багаторічними за 1991–2021 рр. /

Fig. 3. Comparison of the amount of precipitation expected under the RCP4.5 climate change scenario in "dry" and "wet" years in the period 2021–2050 with the multi-year average for 1991–2021

багаторічної величини.

Тип зволоження періоду вегетації озимої пшениці на фоні поступового підвищення температури повітря з початку вегетації культури впродовж подальшого періоду розвитку рослин в значній мірі впливатиме на інтенсивність викидів парникових газів. Так, у «посушливі» роки (рис. 4) на початку вегетації (до п'ятої декади вегетації включно) емісія  $\text{CO}_2$  становитиме 0,044-0,079 т

$\text{C-CO}_2 \text{ га}^{-1} \text{ д}^{-1}$ , що значно вище середніх багаторічних значень та майже вдвічі вище, ніж у «вологі» роки. З шостої декади і до кінця вегетації рівень емісії  $\text{CO}_2$  зростає від 0,107 до 0,154 т  $\text{C-CO}_2 \text{ га}^{-1} \text{ д}^{-1}$ . У «вологі» роки це збільшення становитиме 0,046–0,129 т  $\text{C-CO}_2 \text{ га}^{-1} \text{ д}^{-1}$ . Загальною закономірністю буде зростання викидів  $\text{CO}_2$  протягом весняно-літньої вегетації озимої пшениці від початку вегетації до фази воскової стиглості. Ця закономір-

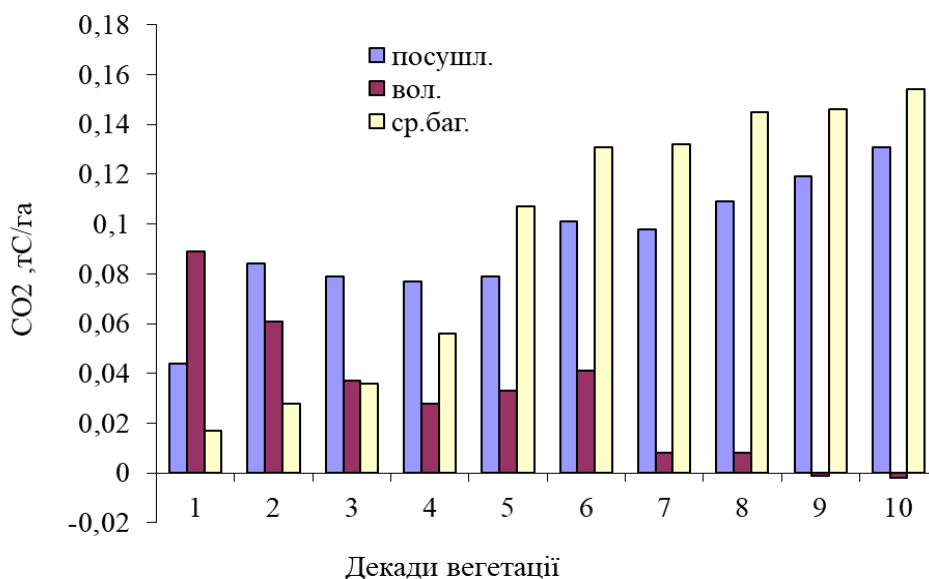
Рис. 4. Порівняння очікуваної за сценарієм зміни клімату RCP 4.5 динаміки декадних викидів  $\text{CO}_2$  в «посушливі» та «вологі» роки в період весняно-літньої вегетації озимої пшениці із середньою багаторічною динамікою /

Fig. 4. Comparison of the dynamics of decadal CO<sub>2</sub> emissions expected under the RCP 4.5 climate change scenario in "dry" and "wet" years during the spring-summer vegetation period of winter wheat with the average multi-year dynamics

ність досить чітко простежується і для середніх багаторічних умов, але рівень емісії CO<sub>2</sub> буде значно вищим порівняно з «посушливими» та «вологими» роками. Це пояснюється тим, що у багаторічному розрізі спостерігається більш високий рівень температури повітря протягом вегетації.

Для динаміки потоків N<sub>2</sub>O за середніх багаторічних умов було характерним зменшення рівня протягом вегетації. Навесні на початку вегетації як правило рівень вологості орного шару

грунту досить високий, що зумовлює формування анаеробних умов (рис. 5). В свою чергу вони визначають рівень емісії N<sub>2</sub>O.

Протягом вегетації відбувається зменшення вологості ґрунту, що відповідно зменшує рівень потоків N<sub>2</sub>O. У «посушливі» роки (рис. 5), незважаючи на невелику кількість опадів, за рахунок досить високого рівня весняної вологості орного шару на початок вегетації рівень емісії N<sub>2</sub>O буде досить високим (0,061–0,089 кг N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup> д<sup>-1</sup>).

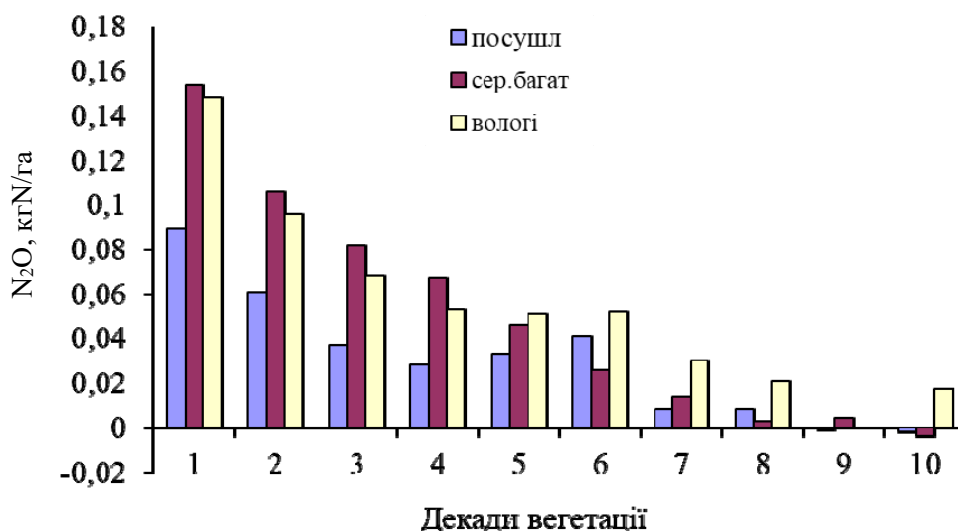


Рис. 5. Порівняння очікуваної за сценарієм зміни клімату RCP 4.5 динаміки декадної емісії N<sub>2</sub>O у "посушливі" та "вологі" роки весняно-літньої вегетації озимої пшениці із середньою багаторічною динамікою /

Fig. 5. Comparison of the dynamics of the decadal emission of N<sub>2</sub>O expected under the RCP 4.5 climate change scenario in the "dry" and "wet" years of the spring-summer vegetation of winter wheat with the average multi-year dynamics

У подальшому його рівень знижуватиметься до 0,037 (третя декада вегетації), а потім (четверта декада) до 0,028 кг N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup> д<sup>-1</sup>. Досить значна кількість опадів у п'яту та шосту декади вегетації поповнюватимуть запаси вологості в орному шарі ґрунту, які зумовлять деяке зростання емісії N<sub>2</sub>O до рівня 0,033–0,041 кг N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup> д<sup>-1</sup>. В подальшому рівень емісії буде значно зменшуватись. У «вологі» роки (рис. 5) погодні умови будуть складатися таким чином, що буде спостерігатись підвищена вологість орного шару ґрунту, яке створить сприятливі умови для формування емісії N<sub>2</sub>O (рис. 5).

На початку вегетації (перші три декади) рівень емісії N<sub>2</sub>O буде складати 0,096–0,148 кг N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup> д<sup>-1</sup>. Зменшення кількості опадів в п'ятій-шостій та сьомій декадах призведе до деякого зменшення вологості орного шару ґрунту, що обумовить дещо менший рівень викидів N<sub>2</sub>O в

цей період (0,051–0,053 кг N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup> д<sup>-1</sup>). Прикінцеві декади вегетації характеризуються подальшим зменшенням емісії N<sub>2</sub>O. Загальною закономірністю вегетаційного ходу викидів N<sub>2</sub>O є зменшення їх кількості з початку вегетації озимої пшениці до її завершення.

Узагальнена характеристика агрометеорологічних умов весняно-літньої вегетації озимої пшениці та величини очікуваних за сценарієм змін клімату RCP4.5 для періоду 2021–2050 рр. викидів парникових газів в різні за зволоженням роки надається в табл. 2. Із наведених в табл. 2 даних видно, що в порівнянні з середніми багаторічними даними за осередненими показниками вегетація озимої пшениці буде відбуватись при більш низьких температурах повітря і в «посушливі», і у «вологі» роки. Ця різниця складатиме для «посушливих» років 0,3 °C, а для «вологіх» – 1,1 °C.



Зміняться і умови зволоження. Кількість опадів у «посушливі» роки зменшиться на 43,3 %, а у «вологі» роки збільшиться на 14 %. Відповідно відбудеться зміна зволоження орного шару ґрунту: у «посушливі» роки запаси продуктивної вологи в орному шарі ґрунту зменшаться на 48,4 %, а у «вологі» роки збільшаться на 30,5 %. Зменшення запасів органічного вуглецю у «посушливі» роки суттєво сповільниться (на 61,7 %), а у «вологі» роки прискориться на 19,9 %. Рівень викидів CO<sub>2</sub> буде нижчим як у «посушливі», так і у

«вологі» роки порівняно з середніми багаторічними значеннями, причому для «вологіх» років це зменшення емісії CO<sub>2</sub> буде досить суттєвим (на 39,2 %).

Емісія N<sub>2</sub>O у «посушливі» роки буде менше порівняно з середнім багаторічним значенням (на 35,1 %), а у «вологі» роки вона підвищиться на 15,5 %. В цілому загальна емісія парникових газів в перерахунку на CO<sub>2</sub>-еквівалент скоротиться у «посушливі» роки на 6,2 %, а у «вологі» роки – на 32,3 %.

Таблиця 2 / Table 2

Порівняння очікуваних за сценарієм змін клімату RCP4.5 для періоду 2021–2050 рр. агрометеорологічних умов весняно-літньої вегетації озимої пшениці та викидів парникових газів з ґрунтів цієї агроєкосистеми в різні за зволоженням роки з середніми багаторічними даними (1991-2020 рр.) /

Comparison of the agro-meteorological conditions of the spring-summer vegetation of winter wheat and greenhouse gas emissions from the soils of this agro-ecosystem in years with different levels of moisture with average multi-year data (1991-2020)

	Осереднені показники за весняно-літній період вегетації озимої пшениці	Періоди, роки		
		1991–2020 рр.	2021–2050 рр.	
		середні багаторічні	«посушливі» роки за кліматичним сценарієм	«вологі» роки за кліматичним сценарієм
1	Середня температура повітря, °C	13,8	13,5	12,7
2	Кількість опадів, мм	168,0	95,4	190,9
3	Запаси продуктивної вологи в орному шарі ґрунту, мм	38,0	19,6	49,6
4	Гідротермічний коефіцієнт, відн. од.	0,74	0,49	0,87
5	Зменшення запасів органічного вуглецю, кг /га	430,0	164,7	515,6
6	Емісія CO <sub>2</sub> , т C/га	0,952	0,932	0,579
7	Емісія N <sub>2</sub> O, кг N/га	0,464	0,301	0,536
8	Загальна емісія парникових газів, CO <sub>2</sub> –еквівалент, т/га	1,090	1,022	0,738

**Дискусія.** Для отримання прогнозних оцінок емісії парникових газів використовуються різноманітні комплексні моделі різного рівня складності з використанням кліматичних сценаріїв різної завчасності. Моделі швидко та ефективно прогнозують викиди та надають цінну інформацію про реалізацію відповідних стратегій скорочення викидів парникових газів в сільському господарстві. Особливістю застосування цих моделей є те, що вони надають змогу отримувати оцінку ефективності заходів, спрямованих на скорочення викидів парникових газів, та визначати стратегію адаптації сільського господарства для скорочення викидів парникових газів, тим самим вносячи посильний внесок у протидію змінам клімату.

В умовах Середземномор'я [10] для моделювання зміни клімату використовувалась модель DayCent [16] з врахуванням збагачення

атмосфери CO<sub>2</sub> та без нього з використанням кліматичних даних із моделі CGCM2-A2. Для різних сценаріїв землекористування та клімату річні кумулятивні викиди N<sub>2</sub>O варіювалися від 126 до 642 г N<sub>2</sub>O-N га<sup>-1</sup> рік<sup>-1</sup>. За змодельований 85-ти річний (2020–2100 рр.) період, зміна клімату зменшить викиди N<sub>2</sub>O із ґрунту у всіх трьох видах землекористування. Водночас в умовах зміни клімату значення заповненого водою порового простору (WFPS) зменшилися від 40 до 15 % залежно від сценарію землекористування та зміни клімату. Це дослідження продемонструвало здатність моделі DayCent моделювати викиди N<sub>2</sub>O з ґрунту в різних видах землекористування. Згідно з прогнозами моделей, в умовах Середземномор'я зміна клімату призведе до скорочення викидів N<sub>2</sub>O у ряді видів землекористування.

Результати, отримані в [23] показали, що в умовах Тихоокеанського Північного Заходу США

райони з великою кількістю опадів, азотних добрив та мінералізації виробляють більше викидів  $N_2O$  як у базовий, так і у майбутній періоди. Середньорічні викиди  $N_2O$  протягом базового періоду становили від 1,8 до 4,1 кг/га залежно від типу землекористування. Загальні викиди  $N_2O$  показали майбутні тенденції до зниження з 2030-х по 2070-і роки внаслідок вищої частки азоту, використовуваного сільськогосподарськими культурами. З 2015 до 2085 років відповідно до кліматичного сценарію RCP4.5 середні викиди  $N_2O$  становитимуть 1,8 – 4,4 кг  $N_2O-N$  га<sup>-1</sup> рік<sup>-1</sup>.

Вміст органічного вуглецю в ґрунті (SOC) знизиться [23] протягом базового періоду, тоді як SOC не досяг рівноваги із системами землеробства, розглянутими у дослідженні. SOC зменшився і в наступні періоди зі швидкістю зміни від -146 до -352 кг га<sup>-1</sup> рік<sup>-1</sup> залежно від системи землеробства та кліматичного сценарію. Потепління збільшило окислення SOC у майбутніх сценаріях, але після початкового збільшення втрат SOC у період 2030-х років швидкість втрат SOC знизиться у 2050-х роках і переважно у 2070-х роках, коли SOC та надходження вуглецю досягнуть рівноваги із втратами. Більш високе надходження вуглецю зумовлено більшим накопиченням біомаси у сценаріях з підвищеним рівнем викидів  $CO_2$ .

Загальні викиди парникових газів становили згідно кліматичному сценарію RCP 4.5 1,95; 3,16 та 4,84 Мг  $CO_2$ -екв. га<sup>-1</sup> рік<sup>-1</sup> та згідно RCP 8.5 1,99, 3,43 та 5,49 Мг  $CO_2$ -екв. га<sup>-1</sup> рік<sup>-1</sup> протягом 2070-х років при різних системах землеробства [23].

В умовах Канади на осушених землях [21] для майбутнього періоду (2038–2070 рр.) у порівнянні з базовим (1971–2000 рр.) збільшаться викиди  $N_2O$  на 21 % за рахунок більшої денітрифікації та мінералізації, а також викиди  $CO_2$  зростуть на 16 % за рахунок більшого накопичення біомаси урожаю, більш високої інтенсивності розкладання рослинних рештків та більшої мікробіологічної активності ґрунту. Прогнозується, що запаси органічного вуглецю в майбутньому будуть зменшуватись на 22 % швидше, що в свою чергу зумовить більш високий потенціал глобального потепління.

В роботі [20] модель денітрифікації-розкладання (DNDC) використовувалася для оцінки впливу зміни методів управління викидами  $N_2O$  у семи основних ґрунтових регіонах Канади для періоду із 1970 по 2029 рік. Перетворення орних земель на постійні пасовища призведе до найбільшого скорочення викидів  $N_2O$ , особливо у східній частині Канади, де модель оцінює викиди  $N_2O$  приблизно на 60% менше за такого перетворення. Більш високі викиди  $N_2O$  у східній Канаді, пов'язані з впровадженням нульової обробки ґрунту та з більш високою вологістю ґрунту, що викликає

денітрифікацію, тоді як нижчі викиди у західній Канаді були пов'язані з меншим розкладанням органічної речовини ґрунту у не ораному ґрунті порівняно із звичайним зораним ґрунтом. Суттєві викиди відбувалися в роки з більшою вологістю ґрунту, коли N накопичувався. Розрахункове чисте скорочення викидів парникових газів під час переходу з орних земель на постійні пасовища змінювалось для семи досліджуваних ґрунтових регіонів від 0,97 до 4,24 Мг  $CO_2$ -екв. га<sup>-1</sup> рік<sup>-1</sup>. При переході зі звичайного обробки ґрунту до нульової обробки ґрунту чисте скорочення викидів парникових газів коливалось для цих регіонів від 0,33 до 0,80 Мг  $CO_2$ -екв. га<sup>-1</sup> рік<sup>-1</sup>.

При вивченні довгострокового впливу методів управління ґрунтом на викиди парникових газів в Швейцарії [29] встановлено зменшення сумарних викидів до (1361–1792 кг  $CO_2$ -екв. га<sup>-1</sup> рік<sup>-1</sup>). Змодельовані чисті викиди парникових газів у ґрунті, розраховані для окремих видів обробки ґрунту протягом 30 років, становили від -594 до 1654 кг  $CO_2$ -екв. га<sup>-1</sup> рік<sup>-1</sup>. Найвищі чисті викиди парникових газів у ґрунті були передбачені для традиційної обробки ґрунту.

Для умов Бразилії [35] накопичення ґрунтового органічного вуглецю до 2100 р. ( $\pm 16$  Мг С га<sup>-1</sup> вище за поточні 46 Мг С га<sup>-1</sup>) прогнозувалося в системах землеробства з пасовищами незалежно від кліматичного сценарію. Згідно з прогнозами моделі, зміна клімату призведе до більшого відносного збільшення викидів  $N_2O$  при нульовій обробці ґрунту (з 27 % у B1 до 41 % у A2), але ці підвищені потоки все одно будуть нижчими, ніж викиди від обробки ґрунту, приблизно на 25 %.

Для оцінки можливих викидів парникових газів в умовах Польщі [33] використовувались два майбутні кліматичні сценарії (2030 і 2050). Розглядалися посіви кукурудзи, ріпаку, ярої та озимої пшениці. Було показано, що підвищення температури та зменшення кількості опадів може знизити чистий потенціал глобального потепління на 2 % за кліматичним сценарієм 2030 року та на 5% за сценарієм 2050 року при традиційній обробці ґрунту щодо базового сценарію. У разі ресурсозберігаючої обробки ґрунту розраховано зниження потенціалу глобального потепління на 5 % та на 10 %. Використання результатів ресурсозберігаючої обробки ґрунту знижує потенціал потепління на 17–19 % за базовим сценарієм, за сценарієм 2030 року на 16–18 %, а за сценарієм 2050 року на 15–17 %. Також було показано, що зміна кліматичних умов призвела до зниження виробництва біомаси озимої пшениці та кукурудзи.

В умовах Австралії [11] розглядалися зміни клімату на періоди до 2030, 2050 та 2070 рр. Встановлено, що в посушливих регіонах вплив кліматичних змін буде залежати від відносної реакції

на температуру і висихання ґрунту. Припускається, що для нинішніх теплих і вологих тропічних і субтропічних регіонів викиди  $N_2O$  можуть збільшитися, тоді як для більш прохолодних і сухих регіонів викиди  $N_2O$  можуть зменшитися. Однак при зрошуваних системах прогнозована зміна клімату збільшить викиди  $N_2O$ .

На основі огляду польових досліджень емісії  $N_2O$  у Європі було визначено основні ґрунтові, кліматичні та управлінські заходи контролю викидів  $N_2O$  із сільськогосподарських мінеральних ґрунтів у Європейському Союзі [19]. Викиди азоту з орних ґрунтів західної частини ЄС становлять у середньому нижче 2 кг  $N_2O-N$  га<sup>-1</sup> рік<sup>-1</sup> і рідко перевищують 5 кг  $N_2O-N$  га<sup>-1</sup> рік<sup>-1</sup>. Вони регулюються параметрами добрив, органічного вуглецю у верхньому шарі ґрунту та вмістом піску. У суббореальних європейських орних ґрунтах викиди  $N_2O$  варіюються в значно ширшому діапазоні від 0 до 27 кг  $N_2O-N$  га<sup>-1</sup> рік<sup>-1</sup>.

В роботі [15] використана модель FASSET, яка імітувала щоденний оборот вуглецю та азоту (N). Викиди  $N_2O$  залежали від мікробних і фізичних умов ґрунту. Модель була протестована на експериментальних даних про викиди  $N_2O$  з пасовищ у Великій Британії, Фінляндії та Данії, які відрізняються кліматичними умовами, властивостями ґрунту та управлінням. Модель змодельувала загальну динаміку викидів  $N_2O$  у часі та зафіксувала спостережуваний вплив використання добрив та гною на викиди. Викиди  $N_2O$  дещо збільшувалися за більш високих температур, у той час як збільшення річної кількості опадів зазвичай призводило до зменшення викидів. При внесенні невеликої кількості азотних добрив викиди склали 2–4 кг  $N_2O-N$  га<sup>-1</sup> рік<sup>-1</sup>.

Слід зазначити, що отримані нами за допомогою моделі [6] оцінки викидів парникових газів за весняно-літню вегетацію озимої пшениці в середньому за період 1991–2020 рр. добре узгоджуються з даними, отриманими для окремих сільськогосподарських культур та пасовищ. Так, наприклад, в умовах Європи [22] потік емісії  $CO_2$  з ґрунту оцінюється з трав'янистої рослинності (пасовища) кількістю 0,52 т  $CO_2-C$  га<sup>-1</sup> за рік. Для орних земель спостерігається більш високе значення емісії  $CO_2$  (0,84 т  $CO_2-C$  га<sup>-1</sup> за рік). Для чорноземів Лівобережної частини України [7] середні значення потоків  $CO_2$  під однорічними травами знаходяться на рівні 0,524–0,525 т  $CO_2-C$  га<sup>-1</sup> за рік.

В умовах нечорноземної зони [9] отримано значення потоків  $CO_2$  для агрокосистем: ячменю 111–467 кг  $C-CO_2$  га<sup>-1</sup>, люпину 429–1356 кг  $C-CO_2$  га<sup>-1</sup>, пару 141–1033 кг  $C-CO_2$  га<sup>-1</sup>, озимої пшениці 792–1259 кг  $C-CO_2$  га<sup>-1</sup>. В умовах Флориди [18] за допомогою моделі DayCent [16] оцінено емісію

парникових газів: для різних типів ґрунтів (пасовища, енергокультури) отримано значення емісії  $CO_2$  на рівні 500–800 г  $C$  м<sup>2</sup> за рік.

Отримані нами в модельних розрахунках значення потоків емісії  $CO_2$  становлять 0,952 т  $CO_2-C$  га<sup>-1</sup> за весняно-літній вегетаційний період озимої пшениці, тобто вони не значно різняться від приведених вище експериментальних та розрахункових оцінок емісії  $CO_2$  за вегетацію сільськогосподарських культур та пасовищ.

Середні багаторічні значення емісії  $N_2O$  за весняно-літній період вегетації озимої пшениці за нашими модельними розрахунками також співвідносяться з її оцінками, отриманими як експериментальним, так і модельним шляхом для різних сільськогосподарських культур. Так, в роботі [22] наводяться дані емісії  $N_2O$  для дев'яти орних ґрунтів Європи, яка складає 0,2–6,6 кг  $N-N_2O$  га<sup>-1</sup> рік<sup>-1</sup>. Для території Саксонії [14] за допомогою моделі DNDC була оцінена щорічна емісія  $N_2O$  з сільськогосподарських та лісових ґрунтів, яка становила відповідно 0,5–26,0 та 0,04–19,7 кг  $N-N_2O$  га<sup>-1</sup>. Для умов Італії отримані значення емісії  $N_2O$  з овочевих культур. Вони складають 0,3 – 5,5 кг  $N-N_2O$  га<sup>-1</sup> за сезон [13]. За даними [32] щорічні викиди  $N_2O$  із мінеральних ґрунтів становлять 0,3 – 10,7 кг  $N-N_2O$  га<sup>-1</sup>. В роботі [31] встановлено, що для пшениці емісія  $N_2O$  становила 0,5 – 3,7 кг  $N-N_2O$  га<sup>-1</sup>.

Наші модельні розрахунки оцінюють середньо багаторічні значення емісії  $N_2O$  за весняно-літній період вегетації озимої пшениці в розмірі 0,464 кг  $N-N_2O$  га<sup>-1</sup>. Ці дані досить задовільно узгоджуються з наведеними вище літературними даними, що відносяться до різних сільськогосподарських культур, в тому числі, і до пшениці.

Виконані нами розрахунки з застосуванням сценарію зміни клімату демонструють зменшення емісії  $CO_2$  у майбутньому (період 2021–2050 рр.) як у «посушливі», так і у «вологі» роки порівняно з базовим періодом. Викиди  $N_2O$  скоротяться у «посушливі» роки, але зростуть у «вологі» роки. Загальна емісія парникових газів скоротиться до 2050 року.

Отримані тенденції викидів парникових газів узгоджуються з даними, отриманими для умов Європи. Так, довгострокове прогнозування показало, що в умовах Середземномор'я зміна клімату призведе до скорочення викидів  $N_2O$  у ряді видів землекористування [10]. Зменшення сумарних викидів при вивченні довгострокового впливу методів управління ґрунтом встановлено в Швейцарії [29]. Для умов Польщі було показано, що за сценаріями до 2030 та 2050 років може знизитись чистий потенціал глобального потепління [33].

Слід зауважити, що аналогічні висновки отримані при дослідженні впливу змін клімату на

викиди парникових газів в умовах Канади [20], в той же час для органічних ґрунтів [21] отримано протилежний результат. Для умов Тихоокеанського Північного-Заходу США результати, отримані в [33] загальні викиди  $N_2O$  показали майбутні тенденції до зниження з 2030-х по 2070-і роки. Для Південної Америки, що досить сильно відрізняється за ґрунтово-кліматичними умовами від Північної Америки, одержано протилежний результат [35].

Для різних за режимом опадів кліматичних регіонів Австралії очікується, що у вологих тропічних і субтропічних регіонах викиди  $N_2O$  можуть збільшитися, тоді як для більш прохолодних і сухих регіонів викиди  $N_2O$  можуть зменшитися [11]. На підставі результатів цієї роботи та результатів, отриманих для умов Бразилії [35] можна зробити висновок, що в умовах вологого клімату зміни кліматичних мов можуть привести до збільшення викидів  $N_2O$ , що добре узгоджується з результатами, отриманими нами для «вологих» років.

В той же час в більш посушливих умовах буде відбуватись зменшення викидів парникових газів та зменшення вмісту органічного вуглецю у ґрунті. В роботі [20] приводяться величини щорічного зменшення запасів органічного вуглецю від 146 до 352 кг С га<sup>-1</sup> рік<sup>-1</sup>. У нашому дослідженні ця величина становила у «посушливі» роки 164,7 кг га<sup>-1</sup>, а у «вологі» роки 515,6 кг га<sup>-1</sup>. Що кореспондується з наведеними вище даними для Канади.

**Висновки.** На основі чисельних експериментів з комплексною моделлю емісії парникових газів із ґрунтів агроєкосистем та використанням кліматичного сценарію RCP 4.5 виконано оцінку викидів парникових газів з ґрунтів агроєкосистеми озимої пшениці весняно-літньої вегетації на період до 2050 року та встановлено закономірність вегетаційного ходу викидів  $N_2O$ .

Порівняння з очікуваними за сценарієм змінами клімату на період 2021–2050 рр. дозволяє зробити висновок, що температура повітря за період вегетації культури буде нижчою від середніх багаторічних даних і становитиме 12,9 °С, що на 1,5 °С нижче, ніж за базовий період. На фоні зниження температури повітря очікується зменшення кількості опадів на 21 %, що становитиме 136,5 мм. При цьому варіація опадів збільшиться.

Відповідно зменшенню кількості опадів збільшиться і посушливість умов вегетації озимої пшениці. Величина ГТК зменшиться до 0,57 відн.од., що є ознакою середньої посухи. Буде характерним збільшення кількості випадків з ГТК менше 0,4 відн.од., що є ознакою дуже сильної посухи.

Для врахування особливостей вегетаційного періоду озимої пшениці була виконана типізація

погодних умов з метою звести різноманіття їх режимів до визначених типів погоди, які характеризують спільність умов формування урожаю у весняно-літній період. В якості критерію оцінки типів погоди була прийнята кількість опадів за вегетацію: випадки з кількістю опадів менше 60 % від середнього багаторічного значення приймалися за «посушливі» роки, при кількості опадів більше середньої багаторічної величини – за «вологі» роки.

Встановлено тенденції зміни температури повітря та кількості опадів протягом вегетації озимої пшениці будуть в різні за зволоженістю роки. Зростання температури повітря від початку вегетації відбуватиметься поступово, при цьому зберігатиметься стійке співвідношення: декадна середня багаторічна температура > температура «посушливого» року > температура «вологого» року.

У «вологі» роки перші чотири декади кількість опадів суттєво перевищуватиме середні багаторічні значення і становитиме 161–210 % від цієї величини. В п'яту декаду кількість опадів буде дещо меншою (127 % від середнього значення). І тільки в шосту декаду їх кількість буде недостатньою і становитиме 81 % від багаторічного значення. Сьома та восьма декади вегетації відрізнятимуться збільшенням кількості опадів до 136–144 %. Кількість опадів у «посушливі» роки перші чотири декади становитиме 23–58 % від середніх багаторічних значень, у п'ятій декаді вона зросте до 87 %, потім зменшиться до 39 %.

Тип зволоження періоду вегетації озимої пшениці на фоні поступового підвищення температури повітря з початку вегетації культури впродовж подальшого періоду розвитку рослин в значній мірі впливатиме на інтенсивність викидів парникових газів. Так, у «посушливі» роки на початку вегетації емісія  $CO_2$  становитиме 0,044–0,079 т С- $CO_2$  га<sup>-1</sup> д<sup>-1</sup>, що значно вище середніх багаторічних значень та майже вдвічі вище, ніж у «вологі» роки. Рівень викидів  $CO_2$  буде нижчим як у «посушливі», так і у «вологі» роки порівняно з середніми багаторічними значеннями, причому для «вологих» років це зменшення емісії  $CO_2$  буде досить суттєвим (на 39,2 %).

Для динаміки потоків  $N_2O$  за середніх багаторічних умов буде характерним зменшення їх рівня протягом вегетації. Навесні на початку вегетації як правило рівень вологості орного шару ґрунту досить високий, що обумовлює формування анаеробних умов. В свою чергу вони визначають рівень емісії  $N_2O$ . Протягом вегетації відбувається зменшення вологості ґрунту, що відповідно зменшує рівень потоків  $N_2O$ .

У «посушливі» роки, незважаючи на невелику кількість опадів, за рахунок досить високого

рівня весняної вологи орного шару на початок вегетації рівень емісії  $N_2O$  буде досить високим ( $0,061-0,089$  кг  $N-N_2O$   $га^{-1} д^{-1}$ ). У подальшому його рівень знижуватиметься до  $0,037$ , а потім до  $0,028$  кг  $N-N_2O$   $га^{-1} д^{-1}$ .

У «вологі» роки погодні умови будуть складатися таким чином, що зумовлять рівень підвищеної вологості орного шару ґрунту, що створить сприятливі умови для формування емісії  $N_2O$ . На початку вегетації її рівень буде складати  $0,096-0,148$  кг  $N-N_2O$   $га^{-1} д^{-1}$ . Емісія  $N_2O$  у «посушливі» роки буде менше порівняно з середнім багаторічним значенням (на  $35,1\%$ ), а у «вологі» роки вона підвищиться на  $15,5\%$ .

Загальною закономірністю є зростання викидів  $CO_2$  протягом весняно-літньої вегетації озимої пшениці від початку вегетації до фази воскової стиглості. Ця закономірність досить чітко простежується і для середніх багаторічних умов, але рівень емісії  $CO_2$  буде значно вищим порівняно з «посушливими» та «вологими» роками. Для вегетаційного ходу викидів  $N_2O$  загальною закономірністю є зменшення їх кількості з початку вегетації озимої пшениці до її завершення.

В цілому загальна емісія парникових газів в перерахунку на  $CO_2$  –еквівалент скоротиться у «посушливі» роки на  $6,2\%$ , а у «вологі» роки на  $32,3\%$ .

#### Список використаної літератури

1. Степаненка С.М. Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату [Текст] / С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса: «ТЕС». 2018. – 546 с.
2. Степаненка С.М. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України [Текст] / С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса: «ТЕС». 2015. – 518 с.
3. Степаненка С.М. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України [Текст] / С.М. Степаненко, А.М. Польового. Одеса: «Екологія». 2011. – 694 с.
4. Полевой А.Н. Моделирование влияния изменений климата на формирование продуктивности озимой пшеницы в Украине [Текст] / А.Н. Полевой, Н.И. Кульбида, И.В. Трофимова, Т.И. Адаменко // В сб. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 2005. – Том XX. – С. 191–218.
5. Полевой А.Н. Моделирование фотосинтеза зеленого листа у растений типа  $C_3$  и  $C_4$  при изменении концентрации  $CO_2$  в атмосфере [Текст] / А.Н. Полевой // В сб. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – Москва: IGCE, 2010. – № XXIII. – С. 297–316.
6. Польовий А.М. Моделивання емісії парникових газів із ґрунтів агроекосистем [Текст] / А.М. Польовий, Л.Ю. Божко // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія». – 2021. – № 54. – С. 329–344. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-54-25>
7. Сябрук О.П. Оцінка втрат вуглецю з чорнозему типового за різних способів обробітку та систем удобрення [Текст] / О.П. Сябрук // Агрохімія і ґрунтознавство. 2013. – Вип. 80. – С. 140–146.
8. Васильченко В.В. Україна та глобальний парниковий ефект [Текст] Книга 2. Вразливість і адаптація екологічних та економічних систем до зміни клімату / В.В. Васильченко, М.В. Ратуна, І.В. Трофимова. – Київ: Агентство раціонального використання енергії та екології, 1998. – 208 с.
9. Шилова Н.А. Динамика выделения  $CO_2$  в посевах полевых культур на дерново-подзолистых и торфяных почвах [Текст] / Н.А. Шилова. // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – № 1(52). – С. 104–113.
10. Alvaro-Fuentes J. Simulating climate change and land use effects on soil nitrous oxide emissions in Mediterranean conditions using the Daycent model [Текст] / J. Alvaro-Fuentes, J.L. Arrúe, A. Bielsa et al. // Agriculture, Ecosystems & Environment. – Volume 238, – 1 February 2017, – Pages 78-88. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.07.017>
11. Baldock J.A. Soils and climate change: potential impacts on carbon stocks and greenhouse gas emissions, and future research for Australian agriculture [Текст] / J.A. Baldock, A.D.I. Wheeler, C.N. McKenzie et al. // Crop & Pasture Science, – 2012, – 63, – P. 269–283. <http://dx.doi.org/10.1071/CP11170>
12. Benli B. Assessment of winter wheat production under early sowing with supplemental irrigation in a cold highland environment using CropSyst simulation model [Текст] / B. Benli, M. Pala, C. C.Stockle, T. Oweis // Agricultural Water Management. – Volume 93, – Issues 1–2, – 16 October 2007, – Pages 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.06.014>
13. Bosko S. Greenhouse Gas Emissions from Soil Cultivated with Vegetables in Crop Rotation under Integrated, Organic and Organic Conservation Management in a Mediterranean Environment [Текст] / S. Bosko, I. Volpi, D. Antichi, et al. // Agronomy. – 2019. – Volume 9. – 446 p.
14. Butterbach-Bahl K. Quantifying the regional source strength of N-trace gases across agricultural and forest ecosystems with process based models [Текст] / K. Butterbach-Bahl, M. Kesik, P. Miehle et al. // Plant and Soil. – 2004. – Volume 260. – P. 311–329.
15. Chatskikh D. Simulation of Effects of Soils. Climate and Management on  $N_2O$  Emission from Grasslands [Текст] / D. Chatskikh, J.E. Olesen, J. Berntsen et al. // Biogeochemistry. – 2005. – Vol. 76. – No. 3. – P. 395-419. <https://www.jstor.org/stable/20055312>
16. Del Grosso S.J. Modeling soil  $CO_2$  emissions from ecosystems [Текст] / S.J. Del Grosso, W.J. Parton, A.R. Moiser et al. // Biogeochemistry. – 2005. – Volume 73. – P. 71–91.
17. Del Grosso S.J. DayCent Model Simulations for Estimating Soil Carbon Dynamics and Greenhouse Gas Fluxes from Agricultural Production Systems [Текст] / S.J. Del Grosso, W.J. Parton, R. Paul et al. // In book: Managing Agricultural Greenhouse Gases. – 2012. – P.241-250. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386897-8.00014-0>

18. Duval B.D. Predicting Greenhouse Gas Emissions and Soil Carbon from Changing Pasture to an Energy Crop [Текст] / B.D. Duval, K.J. Anderson-Teixeira, S.C. Davis et al. // PLoS ONE. – 2013. – Volume 8(8). – 12 p.
19. Freibauer A. Controls and models for estimating direct nitrous oxide emissions from temperate and sub-boreal agricultural mineral soils in Europe [Текст] / A. Freibauer, M. Kaltschmitt // Biogeochemistry. – 2003. – Volume 63, – Pages 93–115. <https://doi.org/10.1023/A:1023398108860>
20. Grant B. Estimated N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> Emissions as Influenced by Agricultural Practices in Canada [Текст] / B. Grant, W.N. Smith, C. Li // Climatic Change. – 2004. – Vol. 65. – Iss. 3. 1-14. <https://doi.org/10.1023/B:CLIM.0000038226.60317.35>
21. Jiang Q. Assessing climate change impacts on greenhouse gas emissions, N losses in drainage and crop production in a subsurface drained field [Текст] / Q. Jiang, Z. Qi, L. Xue et al. // Science of The Total Environment. – 2020. – Volume 705. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135969>
22. Kaiser E-A. What predicts nitrous oxide emissions and denitrification N-loss from European soils? [Текст] / E-A. Kaiser, F. Eiland, J.C. Germon et al. // Z Pflanzenernaehr Bodenkd. – 1996. – Volume 159. – P. 541–547. <https://onlinelibrary.wiley.com/journal/13652486>
23. Karimi T, Stöckle C.O., Higgins S.S. et al. Impact of climate change on greenhouse gas emissions and water balance in a dryland-cropping region with variable precipitation [Текст] / T. Karimi, C.O. Stöckle, S.S. Higgins et al. // Journal of Environmental Management. – 2021. Volume 287, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112301>
24. LI C. A model of nitrous-oxide evolution from soil driven by rainfall events: model structure and sensitivity [Текст] / C. LI, S. Frolking, T.A. Frolking // Journal of Geophysical Research-Atmospheres. –1992. – 97. – P. 9759-9776.
25. Lokupitya F. Agricultural soil greenhouse gas emissions: A review of national inventory methods. Article Literature Review [Текст] / F. Lokupitya, K. Paustian // Journal of Environmental Quality. – 2006. – 35(4). – P. 1413–1427. <https://doi.org/10.2134/jeq2005.0157>
26. Ma L. Root zone water quality model (RZWQM2): model use, calibration and validation. Transactions of the ASABE [Текст] / L. Ma, L.R. Ahuja, B.T. Nolan et al. // American Society of Agricultural and Biological Engineers. – 2012. – Vol. 55(4). – P. 1425-1446. ISSN 2151-0032 1425
27. Maria L. Direct nitrous oxide emissions in Mediterranean climate cropping systems: Emission factors based on a meta-analysis of available measurement data [Текст] / L. Maria, Cayuela et al. // Agriculture, Ecosystems and Environment. – 2017. – 238. – P. 25–35. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.10.006>
28. Müller D. Impact of Climate Change on Wheat Production in Ukraine [Текст] / D. Müller, A. Jungandreas, F. Koch, F. Schierhorn // Agricultural Policy Report APD/APR/02/2016. – Kyiv. – 2016. – 89 p.
29. Necpalova M. Potentials to mitigate greenhouse gas emissions from Swiss agriculture [Текст] / M. Necpalova, J. Lee, C. Skinner et al. // Agriculture, Ecosystems and Environment. – 2018. – 265. – P. 84-102. <http://hdl.handle.net/20.500.11937/75587>
30. Oertel C. Greenhouse gas emissions from soils. [Текст] / C. Oertel, J. Matschullat, K. Zurba et al. // A review. Geochemistry. – 2016. – 76(3). – P. 327–352. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2016.04.002>
31. Roelandt C. Estimating annual N<sub>2</sub>O emissions from agricultural soils in temperate climates [Текст] / C. Roelandt, B. van Wesemael, M. Rounsevell // Global Change Biol. – 2015. – Volume 11. – P. 1701–1711. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01025.x>
32. Stehfest E., Bouwman L. N<sub>2</sub>O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions [Текст] / E. Stehfest, L. Bouwman // Nutr. Cycl. Agroecosys. – 2006. – Volume 74. – P. 207–228.
33. Sup A. Modeling Impact of Climate Change and Management Practices on Greenhouse Gas Emissions from Arable Soils [Текст] / A. Sup, A. Faber, J. Kozura et al. // Pol. J. Environ. Stud. – 2011. – Vol.20. – No. 6. P. 1593-1602.
34. Vleeshouwers L.M. Carbon emission and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe [Текст] / L.M. Vleeshouwers, A. Verhagen // Global Change Biology. – 2002. – Volume 8. – P. 519–530.
35. Weiler D.A., Tornquist C.G., Parton W. et al. Crop Biomass, Soil Carbon, and Nitrous Oxide as Affected by Management and Climate: A DayCent Application in Brazil [Текст] / D.A. Weiler, C.G. Tornquist, W. Parton et al. // Soil Science Society of America Journal. Soil & Water Management & Conservation. –2017. –Volume 81. – Issue 4. – Pages 945-955. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.01.0024>

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

## The climate change impact on greenhouse gas emissions (CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O) from soils at agroecosystems

**Anatoly Polevoy**<sup>1</sup>,

DSc (Geography), Professor, Head of Department of Agrometeorology and Agroecology,  
<sup>1</sup> Odessa State Environmental University, 15 Lvivska St., Odessa, 65016, Ukraine;

**Alexander Mykytiuk**<sup>2</sup>,

PhD (Biology), Associate Professor, Executive Director,

<sup>2</sup> International charitable organization, Institute for the Development of Territorial Communities;

**Lyudmila Bozhko**<sup>1</sup>,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Agrometeorology and Agroecology;

**Elena Barsukova**<sup>1</sup>,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Agrometeorology and Agroecology

### ABSTRACT

**Formulation of the problem.** Soils are a significant source of greenhouse gases (GHGs), the release of which into the atmosphere forms the global warming potential. Mathematical models describing greenhouse gas emissions make it possible to assess the impact of climate change on the GHG emissions on a regional scale, and study how land-use changes affect these emissions.

**The study is aimed at** assessment of potential changes in CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from soils at agroecosystems under the influence of temperature regime changes and increasing aridity in the context of global climate change.

**Materials and methods.** Numerical experiments with a comprehensive model of GHG emissions from the soils at the winter wheat agroecosystem were performed by means of RCP4.5 climate change scenario. The study is based on the materials of agrometeorological observations at the hydrometeorological station of Bilovodsk (Eastern Ukraine) for the period of 1991-2020 and the climate change scenario RCP4.5 for the period of 2021-2050.

**Results.** Classification of crop vegetation conditions allowed us to reduce the diversity of their regimes to certain weather types, characterizing the common conditions of crop formation in spring and summer, due to which the so-called 'dry' and 'humid' years were distinguished. The tendencies of change in air temperature and rainfall during vegetation of winter wheat in years different on humidity have been established. The increase in air temperature from the beginning of the growing season was gradual, while maintaining a stable correlation: a ten-day average long-term temperature was more than a temperature of the 'dry' year which was more than a temperature of the 'humid' year.

The intensity of greenhouse gas emissions is defined by the type of humidification in the growing season. In the 'dry' years at the beginning of the vegetation season, CO<sub>2</sub> emissions will make up 0.044-0.079 tons of C-CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> per a ten-day period, which is higher than the average long-term values and almost twice as high as in the 'humid' years.

In the spring at the beginning of the growing season, as a rule, the level of moisture content in the arable soil layer is quite high, which leads to the formation of anaerobic conditions. They, in turn, determine the level of N<sub>2</sub>O emissions. Increasing aridity reduces the level of N<sub>2</sub>O fluxes. For 'dry' years, at the expense of a fairly high level of spring moisture of the arable layer at the beginning of the growing season, the level of N<sub>2</sub>O emissions was quite high (0.061-0.089 kg of N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> per a ten-day period). Subsequently its level decreased significantly.

In general, total greenhouse gas emissions in terms of CO<sub>2</sub> equivalent will decrease by 6.2% in 'dry' years and by 32.3% in 'humid' years.

**Conclusions.** Based on numerical experiments with the model of greenhouse gas emissions from soils at the winter wheat agroecosystem, the general patterns of vegetation-related variation of CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions are identified. The main patterns feature consists in increasing CO<sub>2</sub> emissions during spring-summer vegetation of winter wheat from the beginning of a growing season to the wax ripeness phase and in decreasing N<sub>2</sub>O emissions from the beginning of the winter wheat growing season until its ending. Their peculiarities are defined by the years' different humid conditions.

**Keywords:** modelling, emission, carbon dioxide, nitrous oxide, soil, productivity, agroecosystem, air temperature, precipitation, soil moisture.

### References

1. Stepanenko, S.M. ta Polovyi, A.M. (2018). *Climatic risks of functioning of industries of economy of Ukraine are in the conditions of change of climate*. Odessa, TES. 546 [in Ukrainian]
2. Stepanenko, S.M. ta Polovyi, A.M. (2015). *Climatic changes and their influence on the spheres of economy of Ukraine*. Odessa: TES. 518 [in Ukrainian]
3. Stepanenko, S.M. ta Polovyi, A.M. (2011). *Assessment of the impact of climate change on the economy of Ukraine*. Odessa: Ecology. 694 [in Ukrainian]
4. Polovoy, A.M., Kul'bida, N.I., Trofimova, I.V., Adamenko, T.I. (2005). *Modeling the impact of climate change on the formation of winter wheat productivity in Ukraine*. On Sat. *Problems of ecological monitoring and modeling of ecosystems*. Sankt-Peterburg: Gidrometeoizdat, XX. 191-218. [in Russian]
5. Polevoy, A.N. (2010). *Modeling of green leaf photosynthesis in plants of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> types with changes in CO<sub>2</sub> concentration in the atmosphere*. On Sat. *Problems of ecological monitoring and modeling of ecosystems*. XXIII, Moskva: IGCE. 297-316 [in Russian]
6. Polovyi, A.M., Bozhko, L.Yu. (2021). *Modeling of greenhouse gas emissions from agro-ecosystem soils*. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"* (54), 329–344. [in Ukrainian] <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-54-25>
7. Siabruk, O.P. (2013). *Estimation of carbon losses from typical chernozem by different tillage methods and fertilizer systems*. *Agrochemistry and soil science*. 80. 140–146 [in Ukrainian]
8. Vasylychenko, V.V., Raptun, M.V., Trofymova, I.V. (1998). *Ukraine and the global greenhouse effect*. Book 2. *Vulnerability and adaptation of ecological and economic systems to climate change*. Kyiv: Ahenstvo ratsionalnoho vykorystannia enerhii ta ekolohii, 208. [in Ukrainian]
9. Shilova, N.A. (2014). *Dynamics of CO<sub>2</sub> release in field crops on sod-podzolic and peat soils*. *Soil science and agrochemistry*. 1(52). 104–113 (In Russia).
10. Álvaro-Fuentes, J., Arrúe, J.L., Bielsa, A. et al. (2017) *Simulating climate change and land use effects on soil nitrous oxide emissions in Mediterranean conditions using the Daycent model*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 238, 78-88. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.07.017>
11. Baldock, J.A., Wheeler, A.D.I., McKenzie, C.N. et al. (2012) *Soils and climate change: potential impacts on carbon stocks and greenhouse gas emissions, and future research for Australian agriculture*. *Crop & Pasture Science*, 63, 269–283. <http://dx.doi.org/10.1071/CP11170>

12. Benli, B., Pala, M., C.Stockle, C., Oweis, T. (2007). Assessment of winter wheat production under early sowing with supplemental irrigation in a cold highland environment using CropSyst simulation model. *Agricultural Water Management*, 93(1–2), 45–53. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.06.014>
13. Bosko, S., Volpi, I., Antichi, D., et al. (2019). Greenhouse Gas Emissions from Soil Cultivated with Vegetables in Crop Rotation under Integrated, Organic and Organic Conservation Management in a Mediterranean Environment. *Agronomy*, 9, 446.
14. Butterbach-Bahl, K., Kesik, M., Miehle, P. et al. (2004). Quantifying the regional source strength of N-trace gases across agricultural and forest ecosystems with process-based models. *Plant and Soil*, 260, 311–329.
15. Chatskikh, D., Olesen, J.E., Berntsen, J. et al. (2005). Simulation of Effects of Soils, Climate and Management on N<sub>2</sub>O Emission from Grasslands Biogeochemistry, 76(3), 395–419. <https://www.jstor.org/stable/20055312>
16. Del Grosso, S.J., Parton, W.J., Moiser, A.R et al. (2005). Modeling soil CO<sub>2</sub> emissions from ecosystems. *Biogeochemistry*, 73, 71–91.
17. Del Grosso, S.J., Parton, W.J., Paul, R. et al. (2012). DayCent Model Simulations for Estimating Soil Carbon Dynamics and Greenhouse Gas Fluxes from Agricultural Production Systems. In book: *Managing Agricultural Greenhouse Gases*, 241–250. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386897-8.00014-0>
18. Duval, B.D., Anderson-Teixeira, K.J., Davis, S.C, et al. (2013). Predicting Greenhouse Gas Emissions and Soil Carbon from Changing Pasture to an Energy Crop. *PLoS ONE*, 8(8): 12.
19. Freibauer, A., Kaltschmitt, M. (2003). Controls and models for estimating direct nitrous oxide emissions from temperate and sub-boreal agricultural mineral soils in Europe. *Biogeochemistry*, 63, 93–115. <https://doi.org/10.1023/A:1023398108860>
20. Grant, B., Smith, W.N., Li, C. (2004) Estimated N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> Emissions as Influenced by Agricultural Practices in Canada. *Climatic Change*, 65(3), 1–14. <https://doi.org/10.1023/B:CLIM.0000038226.60317.35>
21. Jiang, Q., Qi, Z., Xue, L. et al. (2020). Assessing climate change impacts on greenhouse gas emissions, N losses in drainage and crop production in a subsurface drained field. *Science of The Total Environment*, 705, 135969. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135969>
22. Kaiser, E-A., Eiland, F., Germon, J.C. et al. (1996). What predicts nitrous oxide emissions and denitrification N-loss from European soils? *Z Pflanzenernaehr Bodenkd.* 159, 541–547. <https://onlinelibrary.wiley.com/journal/13652486>
23. Karimi, T., Stöckle, C.O., Higgins, S.S. et al. (2021). Impact of climate change on greenhouse gas emissions and water balance in a dryland-cropping region with variable precipitation. *Journal of Environmental Management*, 287, 112301. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112301>
24. LI, C., Frolking, S., Frolking, T.A. (1992). A model of nitrous-oxide evolution from soil driven by rainfall events.: I model structure and sensitivity. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 97, 9759–9776.
25. Lokupitya, F., Paustian, K. (2006) Agricultural soil greenhouse gas emissions: A review of national inventory methods. *Article Literature Review. Journal of Environmental Quality*, 35(4): 1413–1427. <https://doi.org/10.2134/jeq2005.0157>
26. Ma, L., Ahuja, L.R., Nolan, B.T. et al. (2012). Root zone water quality model (RZWQM2): model use, calibration and validation. *Transactions of the ASABE*. 55(4): 1425–1446. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. ISSN 2151-0032 1425.
27. Maria, L. Cayuela et al. (2017). Direct nitrous oxide emissions in Mediterranean climate cropping systems: Emission factors based on a meta-analysis of available measurement data. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 238, 25–35 <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.10.006>
28. Müller, D., Jungandreas, A., Koch, F., Schierhorn, F. (2016). Impact of Climate Change on Wheat Production in Ukraine. *Agricultural Policy Report APD/APR/02/2016*. Kyiv, 89.
29. Necpalova, M., Lee J., Skinner, C. et al. (2018). Potentials to mitigate greenhouse gas emissions from Swiss agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 265, 84–102. <http://hdl.handle.net/20.500.11937/75587>
30. Oertel, C., Matschullat, J., Zurba, K. et al. (2016). Greenhouse gas emissions from soils. A review. *Geochemistry*, 76(3), 327–352. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2016.04.002>
31. Roelandt, C., van Wesemael, B., Rounsevell, M. (2015). Estimating annual N<sub>2</sub>O emissions from agricultural soils in temperate climates. *Global Change Biol.*, 11, 1701–1711. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01025.x>
32. Stehfest, E., Bouwman, L. (2006). N<sub>2</sub>O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. *Nutr. Cycl. Agroecosys*, 74, 207–228.
33. Sup, A., Faber, A., Kozura, J. et al. (2011). Modeling Impact of Climate Change and Management Practices on Greenhouse Gas Emissions from Arable Soils. *Pol. J. Environ. Stud.*, 20(6), 1593–1602.
34. Vleeshouwers, L.M., Verhagen, A. (2002). Carbon emission and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe. *Global Change Biology*, 8, 519–530.
35. Weiler, D.A., Tornquist, C.G., Parton, W. et al. (2017). Crop Biomass, Soil Carbon, and Nitrous Oxide as Affected by Management and Climate: A DayCent Application in Brazil. *Soil Science Society of America Journal. Soil & Water Management & Conservation*, 81(4), 945–955. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.01.0024>



## Сучасний характер змін середньої місячної температури повітря протягом 2006-2020 рр.

Світлана Пясецька<sup>1</sup>

к. геогр. н., ст. наук. співроб. відділу кліматичних досліджень та довгострокових прогнозів погоди

<sup>1</sup> Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України, пр. Науки, 37, Київ, 03028, Україна,

e-mail: [spyasets@ukr.net](mailto:spyasets@ukr.net),  <http://orcid.org/0000-0002-5288-4026>;

Олександр Щеглов<sup>1</sup>

к. геогр. н., ст. наук. співроб. відділу фізики атмосфери,

e-mail: [aleshcheglov@gmail.com](mailto:aleshcheglov@gmail.com),  <http://orcid.org/0000-0001-5702-6285>

Представлена стаття присвячена дослідженню сучасних особливостей змін у полі середньої місячної температури повітря на території України по усіх місяцях протягом періоду останніх 15 років (2006-2020 рр.) відносно 1991-2005 рр. внаслідок змін атмосферної циркуляції над Атлантико-Європейським сектором Північної півкулі. На сучасному етапі зміни клімату актуальним є дослідження поточних змін та тенденцій у полі середньої місячної температури повітря на території України протягом останніх 15 років 2006-2020 рр. Матеріалами для дослідження слугували дані середньої місячної температури повітря на 55 станціях України протягом усіх місяців року по п'ятнадцятирічним періодам 1991-2005 та 2006-2020 рр. Дослідження проводилось фізико-статистичним методом для визначення відхилень двох 15-річних періодів та картографічним для визначення просторово-часової диференціації виявлених осередків. Встановлено, що на території України у січні 2006-2020 рр. спостерігається певне зниження середньої місячної температури повітря за рахунок більш низьких температур. У решті зимових місяців спостерігається зростання середньої місячної температури повітря на усій території України, особливо на території північно-західних (Волинь, Рівненщина, Житомирщина), північних (Київщина, Чернігівщина), північно-східних (Сумщина, Харківщина) областей та у окремих центральних (Кіровоградщина, Дніпропетровщина) та південних (Миколаївщина, Херсонщина). Навесні зростання середньої місячної температури повітря у 2006-2020 рр. більш інтенсивно відбувалось у північних регіонах та в ряді областей західного регіону (Передкарпаття). Влітку зростання температури повітря спостерігалось по усій території України, але найбільш інтенсивно у липні. Територіально найбільше зростання середньої місячної температури повітря було виражено на півночі, північному сході та півдні. Восени зростання середньої місячної температури повітря найбільш інтенсивно виявилось у листопаді 2006-2020 рр. на території областей північного та центрального регіонів, а також Прикарпаття. Одною з нових тенденцій, які було виявлено у сучасному полі середньої місячної температури це її зниження на території північних, північно-східних, східних та частині центральних регіонів у січні. При цьому на заході у Карпатському регіоні та Передкарпатті середня температура повітря повільно зростала. Результати дослідження для території України представлено вперше та можуть бути використані для планування робіт сільськогосподарського призначення.

**Ключові слова:** територія України, середня місячна температура повітря, регіональні зміни клімату, аномалії середньої місячної температури повітря, від'ємні та додатні відхилення середньої місячної температури повітря.

**Як цитувати:** Пясецька Світлана. Сучасний характер змін середньої місячної температури повітря протягом 2006-2020 рр. / Світлана Пясецька, Олександр Щеглов // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 58. – С. 217-230. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-17>

**In cites:** Pyasetska Svitlana, Shcheglov Olexsandr (2023). The modern nature of changes in the average monthly air temperature during 2006-2020. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (58), 217-230. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-17> [in Ukrainian]

**Вступ.** Середня температура повітря, в тому числі середня місячна, є важливою характеристикою температурного режиму та є дуже важливим кліматичним показником. Особливого значення її дослідження на сучасному етапі зміни клімату, враховуючи те, що вона має значну мінливість у часі та просторі. Дослідження температури повітря в умовах глобального потепління стає актуальним, тому що її коливання призводять до багатьох погодних умов, які в свою чергу мають як сприятливі так і несприятливі наслідки. Підвищення температури повітря навесні сприяє більш раннім та стабільним умовам вегетації рослин, розширення посівів теплолюбних культур, сприяє більш комфортним умовам збирання врожаю.

Однак, більш високий температурний фон сприяє нестійкому заляганню снігового покриву через часті відлиги, а також утворення снігової кірки (насту) на сніговому покриві. Остання може істотно вплинути на посіви озимини створюючи умови для її випрівання, і як наслідок пересівання її навесні ярими культурами. Істотне підвищення температури повітря влітку при умовах нестабільного зволоження сприяє виникненню посушливих умов, особливо якщо опадів у сезоні, який передував вегетаційному періоду було мало та склалась ситуація із низькими запасами вологи у ґрунті. Це в решті решт може сприяти посусі як у повітрі так і в ґрунті на тлі високих температур, яка є найбільш жорсткою та неминуче призведе до

суттєвих втрат врожаю.

На сучасному етапі кліматичних досліджень проблема зміни клімату має не тільки евристичний характер суто наукового пізнання, але й охопила усі ланки повсякденного життя у всьому світі. Найбільш гостро вона постала перед країнами що розвиваються, які дуже часто стоять на порозі екологічних та гуманітарних катастроф, зокрема різкої нестачі води та продовольства. Протягом останніх десятиріч в усьому світі і насамперед у розвинутих країнах потужно розвиваються нові теоретичні методи та інструментальні засоби досліджень відносно змін клімату, які відбуваються. Крім того, зважаючи на різкі зміни клімату, які спостерігаються протягом останніх десятиріч постає проблема в адаптації низки галузей виробничого комплексу до таких змін для запобігання економічним втратам та розробки нової стратегії в цьому напрямку. Одним з найважливіших завдань при цьому є адаптація сільського господарства, в першу чергу рослинництва за умов різких змін температури та зволоження. Таким чином, зважаючи на це, актуальним завданням кліматологічної науки є дослідження територій країни із найбільшими змінами які виникли останнім часом у температурі повітря, враховуючи усі її показники від середніх до найбільших та найменших. Особливого сенсу це набуває саме протягом останніх п'ятнадцяти років коли, як свідчать дослідження В.Ф. Мартазінової [23-29] та Т.А. Свердлик [34], починаючи з 2006 на території Атлантико-Європейського сектору посилюється різка зміна погодних умов, що певним чином пов'язане із суттєвими перетвореннями циркуляції атмосфери над Північною півкулею протягом останніх 15-и років та її відмінність від циркуляції попередніх років. Враховуючи цей факт найбільш актуальним та доцільним буде дослідження особливостей змін у розподілі середньої місячної температури повітря на території України протягом 2006-2020 рр.

**Постановка проблеми та зв'язок публікації із важливими науковими та практичними завданнями.** Зважаючи на вищевикладене, враховуючи триваючий процес підвищення температури повітря у глобальній кліматичній системі та виникнення багатьох несприятливих погодних явищ, у першу чергу посух, які охоплюють значні площі натеper, актуальним залишається всебічне дослідження особливостей просторово-часового розповсюдження температури повітря як середньої добової, середньої місячної та екстремальних –максимальної та мінімальної. Для України натеper, протягом сучасного етапу зміни клімату постає проблема визначити регіони найбільших змін у полі середньої місячної температури повітря у кожному з місяців року, особливо тих, про-

тягом яких відбувається сільськогосподарський цикл від посівної кампанії до збирання врожаю. Місяці холодного періоду року також є важливими, тому що протягом них закладаються передумови для подальшого нового циклу сільськогосподарського виробництва.

*Об'єктом* дослідження була середня місячна температура повітря кожного окремого місяця року протягом останнього тридцятирічного періоду 1991-2020 рр., а предметом аномалії її значень протягом 2006-2020 рр. від 1991-2005 рр. та їх просторове розповсюдження територією України.

*Зв'язок із науково-дослідницькими завданнями.* Напрямок дослідження та здобуті результати пов'язані із відповідними завданнями щодо наукових досліджень стосовно сучасного спрямування змін клімату в Україні та розташуванню кліматовразливих регіонів, які знаходяться під впливом тих чи інших кліматичних чинників. Такими науково-дослідними роботами протягом певного часу були - «Фізико-статистичний аналіз та прогноз зміни клімату регіонів України для підтримання сталого розвитку економіки країни» (номер держреєстрації 0112U004651, 2012-2014 рр.), «Розроблення комплексного методу виявлення кліматовразливих районів на території України в умовах глобальної зміни клімату» (номер держреєстрації 0115U002775, 2015-2017 рр.), - «Прогнозування мінливості кліматовразливих районів на території України в найближчі десятиріччя» (номер держреєстрації 0118U000554, 2018-2020 рр.) та «Прогноз посух в Україні на найближчі 10 років (до 2030 року)» (номер держреєстрації 0121U109573, 2021-2022 рр.).

**Стан дослідження проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сучасні дослідження температури повітря та її змін на території Північної півкулі ведеться вже декілька десятків років дослідниками багатьох держав. Для території України також проводиться такі дослідження низкою вчених-кліматологів, зокрема дослідниками Українського гідрометеорологічного інституту (УкрГМІ). У цьому сенсі, серед найбільш докладних наукових робіт, де представлено низку результатів досліджень із цього питання є монографія 1967 р. «Клімат України» [9]. В ній докладно представлено та розглянуто складові клімату країни, зокрема і просторово-часовий розподіл температури повітря. У подальшому наявна інформація була доповнена новими даними щодо сучасного на той час стану клімату в Україні яку проаналізовано та подано у монографії «Природа Украинской ССР. Клімат», 1984 р. [35]. Окремим дослідженням стосовно особливостей та динаміки розподілу температури повітря на території України, як одного з головних елементів клімату виявилась монографія «Температура возду-

ха на Україне» [1], в якій докладно та ґрунтовно проаналізовано матеріали спостережень за температурою повітря протягом її регулярних спостережень починаючи з останньої чверті XIX сторіччя) до початку 80-х років XX сторіччя та надано розраховані характеристики усіх показників температури повітря від її середніх місячних значень до її екстремумів на території різних фізико-географічних регіонів України, а також визначено дати стійкого переходу температури повітря через окремі межі, які характеризують для сільськогосподарського виробництва необхідні ресурси для вирощування низки культур, а також тривалість періодів із від'ємними температурами та без морозного періоду для роботи енергетичної галузі. Результати проведених досліджень свідчили, що найбільші відхилення середньої температури повітря від норми спостерігаються переважно у місяці холодного періоду року, зокрема взимку. Крім того було виявлено, що осередки найбільшого зниження або підвищення температури в окремих випадках можуть знаходитись у різних фізико-географічних районах країни. Враховуючи те, що зміни у кліматичній системі продовжують тривати вже не один десяток років було проведено дослідження по вивченню особливостей та динаміки змін клімату в Україні. Зважаючи на відповідні роботи К.Т. Логвинова та М.Б. Барабаш [4, 21, 22] які були виконані на емпіричному матеріалі протягом 80 років (1900-1980 рр.), було встановлено тенденцію, що основні зміни температури повітря спостерігались південніше 49° пвн. ш., особливо стосовно температури повітря за рік. При цьому було виявлено тенденцію за якою при зменшенні широти потепління клімату послаблюється. Також за даними дослідження на той час для більшості території України було встановлено певне зниження температури взимку та влітку і зростання її навесні та восени. За даними які викладені у [21] які були отримані на основі розробки сучасних на той час емпіричних моделей сучасних змін клімату та досліджень [7, 8, 20], було зроблено припущення, що у подальшому зміни температури повітря треба очікувати у зимовий сезон, за рахунок чого зміниться і річна температура повітря. Крім того на основі результатів досліджень, викладених у [22], де було застосовано метод автокореляційного аналізу та метод селективних перетворень та встановлено декілька періодів змін річної температури повітря 9, 13-14, 18, 21, 26-27 років. У наступних дослідженнях, стосовно нових змін у глобальному та регіональному клімату викладено у [4, 16]. З комплексних монографій, які висвітлюють стан клімату на території України можна назвати монографію «Клімат України» [10].

Серед низки питань, стосовно зміни клімату

виділяється один з першочергових, а саме визначення механізму зміни клімату, який базується на багаторічних основних кліматоутворюючих чинниках. Одними з таких чинників є парникові гази та вектор кутової швидкості обертання Землі. Зважаючи на вже отримані дані про приземну температуру повітря протягом останніх 150 років [6-8, 20] та її динаміку по окремих часових інтервалах часу встановлено, що існує глобальний та спрямований у часі тривалий вплив на кліматичну систему двох чинників – збільшення викидів парникових газів (в першу чергу CO<sub>2</sub> та метану), та як свідчить геофізичні дослідження, зміна вектору кутової швидкості обертання Землі. Останнє підтверджується окремими просторово-часовими змінами у розташуванні полюсів. Також окремим питанням у пошуку чинників зміни клімату є флуктуації магнітного поля Землі, результати дослідження якого висвітлено у роботі [28]. В дослідженнях змін клімату на тепер досить часто застосовують моделі змін клімату на основі еманції парникових газів та відтворення клімату минулих епох (палеорекоконструкцій). Саме для території України В.М. Волощуком [36] В.М. та Волощуком і С.Г. Бойченко [37] було запропоновано сценарій зміни клімату на тлі загального підвищення температури. Згідно до результатів цих робіт, які базуються на основі математичного моделювання та матеріалів палеокліматичної реконструкції минулих теплих епох, побудована напівемпірична модель широтного потепління у Північній півкулі, існує більш інтенсивне зростання середньорічної температури відносно глобального потепління. Було висловлено припущення, що ефект полярного підсилення глобального потепління виявляється, як прояв загальної тенденції просторово-часового вирівнювання кліматичного поля приземних температур та зменшення її амплітуди при загальному нагріванні Землі. Підтвердженням цього припущення слугують матеріали, які наведені у Climate change 2007 [8]. На користь цієї гіпотези також слугують модельні розрахунки і аналіз кліматичних палеорекоконструкцій та статистичний аналіз викладені у [5-7] мають схожий результат.

Важливим питанням у дослідженні змін у глобальній кліматичній системі належить перетворенню атмосферної циркуляції. Це питання висвітлено у низці робіт В.Ф. Мартазиної [23-29]. Було доведено зміни у великомасштабному перетворенні атмосферній циркуляції над Атлантико-Європейським сектором, яка в свою чергу впливає на циркуляцію повітря над Україною, а саме вплив центрів дії атмосфери (ЦДА) протягом різних часових інтервалів на окремі території. Встановлений зв'язок взаємодії Азорського максимуму, Ісландського мінімуму Сибірського та Арк-

тичного максимуму. У наведених дослідженнях показано період переміщення Сибірського максимуму на схід від його звичайного положення, із наступним його переміщенням у зворотному напрямку. Отримані результати надали можливість довгострокового прогнозування погодних умов за допомогою методу «плаваючого аналога» та дво-місячної квазіперіодичності атмосферних процесів. У роботі В.Ф. Мартазинової, 2003 р. [26] було сформульовано основні чинники формування найбільш загрозливих посух у середині ХХ сторіччя. Так, було встановлено, що їх виникнення визначалось Азорським та Арктичним антициклонами за умови їх одночасної активності. При цьому спостерігалось, що протягом останніх десятиріч атмосферна циркуляція змінилась у бік зменшення її часової стійкості та різкої трансформації за якої посушливому атмосферному процесу та високими температурами повітря може передувати вологий процес. Сам механізм визначався тим, що серед еталонів баричних полів, які відповідають за утворення посушливих умов виділяються наступні – при різкому вторгненні холодного повітря із півночі (північного заходу, північного сходу) з осередків високого тиску; потрапляння на територію України аномально теплого повітря із заходу, півдня та сходу; вторгнення теплого континентального повітря з Уралу. Проте при подальшому аналізі синоптичних ситуацій, які обумовлюють формування інтенсивної посухи на території України було виявлено найбільш небезпечний південний процес, який є найбільш руйнівним за своїми наслідками для сільськогосподарського виробництва. На теперішньому етапі розвитку суспільства зміни клімату є глобальними географічними проблемами, які суттєво впливають на сталий розвиток багатьох країн, зокрема і України. Враховуючи це, згідно результатів досліджень [12, 18, 30, 38], зміни у сучасному кліматі повинні враховуватись для обґрунтування схем районування території України в контексті сталого розвитку.

Одною з найбільш вагомих публікацій зі змін клімату на території України, і в першу чергу зміни, які відбуваються у полі середньої місячної температури повітря, на території України наприкінці ХХ та на початку ХХІ сторіччя є публікація В.М. Бабіченко та інш. [3], де для кожного місяця проведено порівняння норми за 45 років (1961-2005) із стандартною кліматологічною нормою 1961-1990 рр. та визначено сучасний стан розташування ізотерм на території України. Дослідженням встановлено, що протягом 1991-2005 рр. середня місячна температура зазнала найбільш значних змін. Вона стала вищою для більшості місяців за винятком вересня, листопада та грудня. На основі отриманих результатів та використо-

вуючи осучаснені дані, зокрема і по температурі повітря, для території України було проведено більш всебічне та ґрунтовне дослідження стосовно сучасного стану та змін, які відбулись на сучасному етапі зміни клімату у полі температури повітря, результати якого викладено у монографіях «Клімат України» (2003) [10], «Дати переходу температури повітря в Україні за сучасних умов клімату» [11] та «Динаміка температури повітря в Україні за період інструментальних метеорологічних спостережень» [2], а також монографію «Глобальные и региональные изменения климата» [17]. Вагомим дослідженням, який сприяє не розумінню сучасного клімату в Україні, але й є ґрунтовною базою для наукового супроводження сільськогосподарського виробництва особливо для рослинництва є монографія В.П. Дмитренка «Погода, клімат і урожай польових культур» [15]. В цій монографії також узагальнено досвід прогнозування врожаю різних культур в залежності від погодних умов на окремих територіях України. Також важливі результати було досягнуто у дослідженнях [12-14], які присвячені сучасним проблемам у розробці агрометеорологічних стратегій адаптації землеробства та рослинництва до погоди і клімату в Україні в умовах високих температур та недостатнього зволоження. Особливості сучасних тенденцій змін середньої місячної температури повітря по окремих місяцях холодного та теплого періодів року на території України впродовж останнього тридцятиріччя 1991-2020 рр. відносно її показників протягом кліматологічної норми 1961-1990 рр. наведено у роботах автора [31-33].

Натепер, враховуючи значний накопичений матеріал стосовно особливостей розподілу температури повітря на Україні та імовірні сценарії її зміни під впливом загального потепління на території Північної півкулі, для території України існує низка невирішених питань, а саме:

- з'ясувати механізм її змін протягом останнього тридцятиріччя за рахунок чого (якого періоду) відбуваються ці зміни у полі середньої місячної температури повітря та визначити спрямованість цих змін - у які місяці та на якій території відбувається підвищення або зниження середньої місячної температури повітря із виділенням найбільш значних осередків.

**Мета статті.** Метою представленої статті було:

1. Встановити особливості просторово-часового розподілу середньої місячної температури повітря на території України в умовах останніх 15 років періоду 1991-2020 рр., який співпадає із сучасним станом зміни атмосферної циркуляції на території Атлантико-Європейського сектору на тлі глобальної зміни клімату.

2. Виявити території України на яких протягом останніх п'ятнадцяти років (умови сучасного клімату) відбулась найбільш значна зміна середньої місячної температури повітря та встановити напрямок цих змін.

Отримані результати дослідження мають не тільки евристичне значення для розуміння сучасного стану клімату в Україні, а й безпосередньо можуть бути використані для планування робіт окремих ланок сільськогосподарського виробництва, у першу чергу рослинництва.

**Матеріали та методи.** Для аналізу і подальшого узагальнення було використано матеріали спостережень за середньою місячною температурою повітря враховуючи усі місяці року протягом двох п'ятнадцятирічних періодів останнього тридцятиріччя 1991-2020 рр., відповідно 1991-2005 рр. та 2006-2020 рр. на 55 станціях України. Дані відібрано з відповідних таблиць Метеорологічних щомісячників (Вип. 10. Ч.ІІ. Україна), які надано Центральною геофізичною обсерваторією імені Бориса Срезневського, м. Київ. Спостереження за температурою повітря на станціях проводились згідно плану спостережень та методичних рекомендацій викладених у відповідній «Настанова гідрометеорологічним станціям і постам. Вип. 3., Ч.1. Метеорологічні спостереження на станціях, К., 2011 р.» [19].

Основним методом узагальнення матеріалів спостережень був фізико-статистичний, за допомогою якого було розраховано нормовані значення середньої місячної температури повітря для місяців обох п'ятнадцятирічних періодів 1991-2005 рр та 2006-2020 рр. Для з'ясування змін у сучасному полі середньої місячної температури повітря на території України застосовано розрахунок відхилень значень середньої температури повітря періоду 2006-2020 рр. від 1991-2005 рр. та визначено знак (додатні та від'ємні) та величину цих відхилень. Наступним етапом дослідження була візуалізація отриманих результатів розрахунків для отримання просторово-часового розподілу отриманих результатів розрахунків. Для цього був застосований картографічний метод за допомогою якого для кожного з досліджуваних місяців створені карто-схеми просторово-часового розповсюдження відхилень середньої місячної температури повітря останнього п'ятнадцятиріччя 2006-2020 рр. відносно 1991-2005 рр., та встановлені осередки змін у полі середньої місячної температури повітря і встановлено сучасні тенденції.

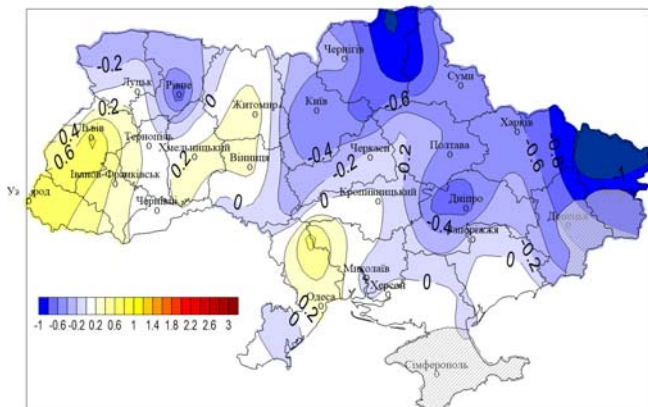
Надійність використаних матеріалів забезпечено єдиною затвердженою методикою спостережень на метеорологічних станціях України, викладеною у відповідних Керівних документах та Настановах, які регламентують проведення цих

робіт. Крім того на державній мережі гідрометеорологічних спостережень використовують стандартні засоби спостережень які проходять регулярну повірку та сертифікацію.

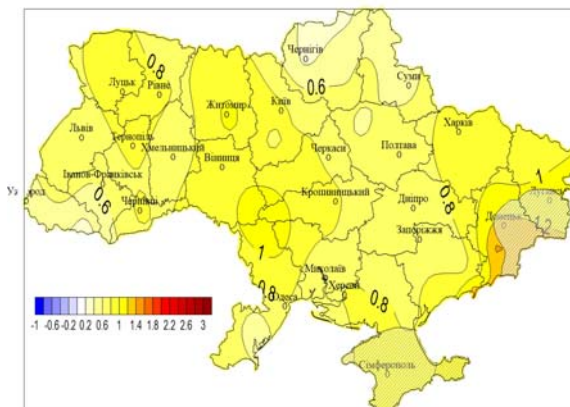
**Виклад основного матеріалу.** Для дослідження того, як саме змінювалась середня місячна температура повітря на території України протягом останнього тридцятиріччя було здійснене порівняння її величини протягом останніх 15 років (2006-2020 рр.) відносно першої половини цього періоду (1991-2005 рр.) для кожного окремого місяця року. Отримані результати розрахунків було використано для створення відповідних карт для візуалізації результатів дослідження, які представлено на рис. 1.

Для січня 2006-2020 рр. встановлено, що протягом цього часу на території України досить поширеним було зниження середньої місячної температури повітря відносно першої половини тридцятиріччя. Найбільш це помітно на території областей північного заходу (Рівненщина), півночі (Київщина, Чернігівщина), північного сходу (Сумщина, Харківщина), а також в окремих областях центру На Черкащині, Полтавщині, Кіровоградщині, Дніпропетровщині, а також подекуди на Луганщині та Донеччині. Найменше зниження середньої місячної температури повітря протягом п'ятнадцятиріччя 2006-2020 рр. порівняно із попереднім п'ятнадцятиріччям становило  $-0,1...-0,4^{\circ}\text{C}$  та спостерігалось на окремих станціях на території низки областей від північного заходу та центру - Волині, Рівненщини, Вінниччини, Черкащини, Харківщини, Полтавщини, Кіровоградщини, Дніпропетровщини до східних та південних областей – Донеччини, Одещини, Миколаївщини та Херсонщини. Найбільше зниження середньої місячної температури повітря становило від  $0,5...0,8^{\circ}\text{C}$ , а іноді навіть до  $1,0...1,1^{\circ}\text{C}$  на території областей північно-східного регіону, зокрема у Семенівці (Чернігівщина), Конотоп (Сумщина), Сватове (Луганщина). Тобто, таким чином можна сказати, що на досить значній території України у останньому п'ятнадцятиріччі відбувалось зниження середньої місячної температури повітря. На окремих територіях західних та південних областей середня місячна температура не зазнала змін. Проте встановлено, що в окремих областях, здебільшого у західному регіоні країни (від Житомирщини на захід), а також на півдні (від південного заходу на південний схід) на станціях спостерігалось здебільшого невелике збільшення. При цьому було встановлено, що на території середньої місячної температури повітря ( $0,1...0,3^{\circ}\text{C}$ ). Львівщини (Львів, Славське) та Закарпаття (Ужгород) підвищення середньої місячної температури повітря було більшим (до  $0,7^{\circ}\text{C}$ ). Це саме можна сказати і про північ Одещини (Любашівка).

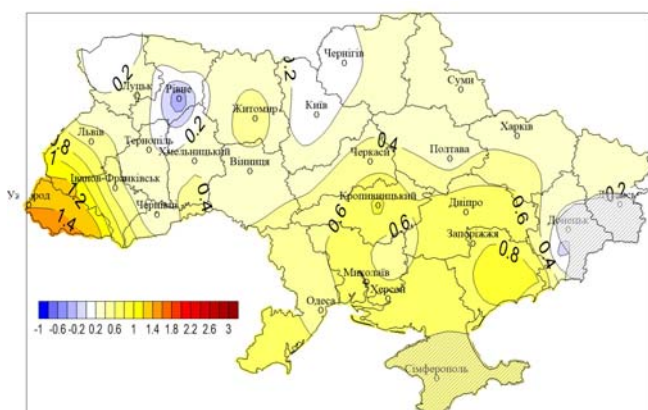
Січень



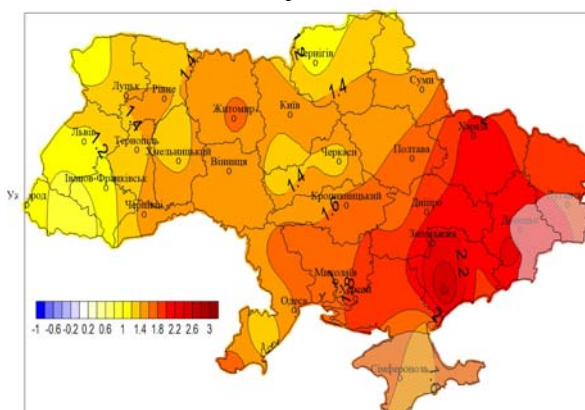
Липень



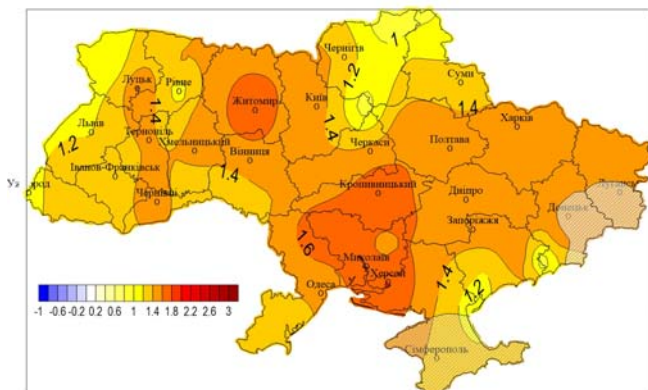
Лютий



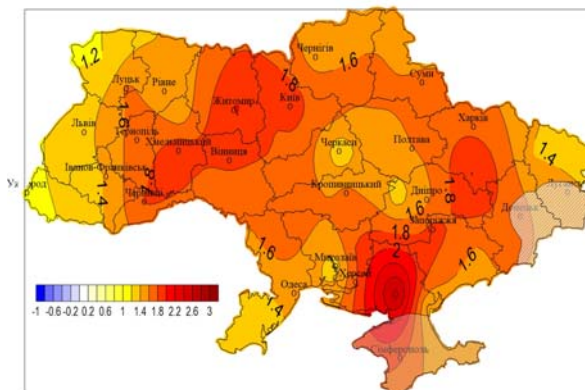
Серпень



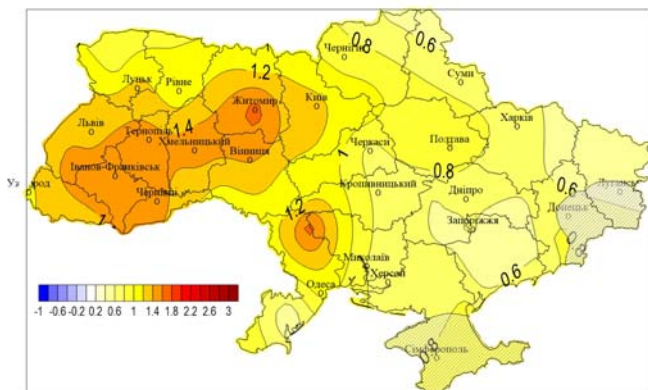
Березень



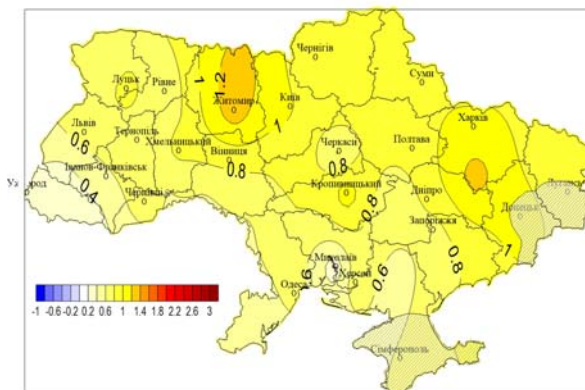
Вересень



Квітень



Жовтень



Травень

Листопад

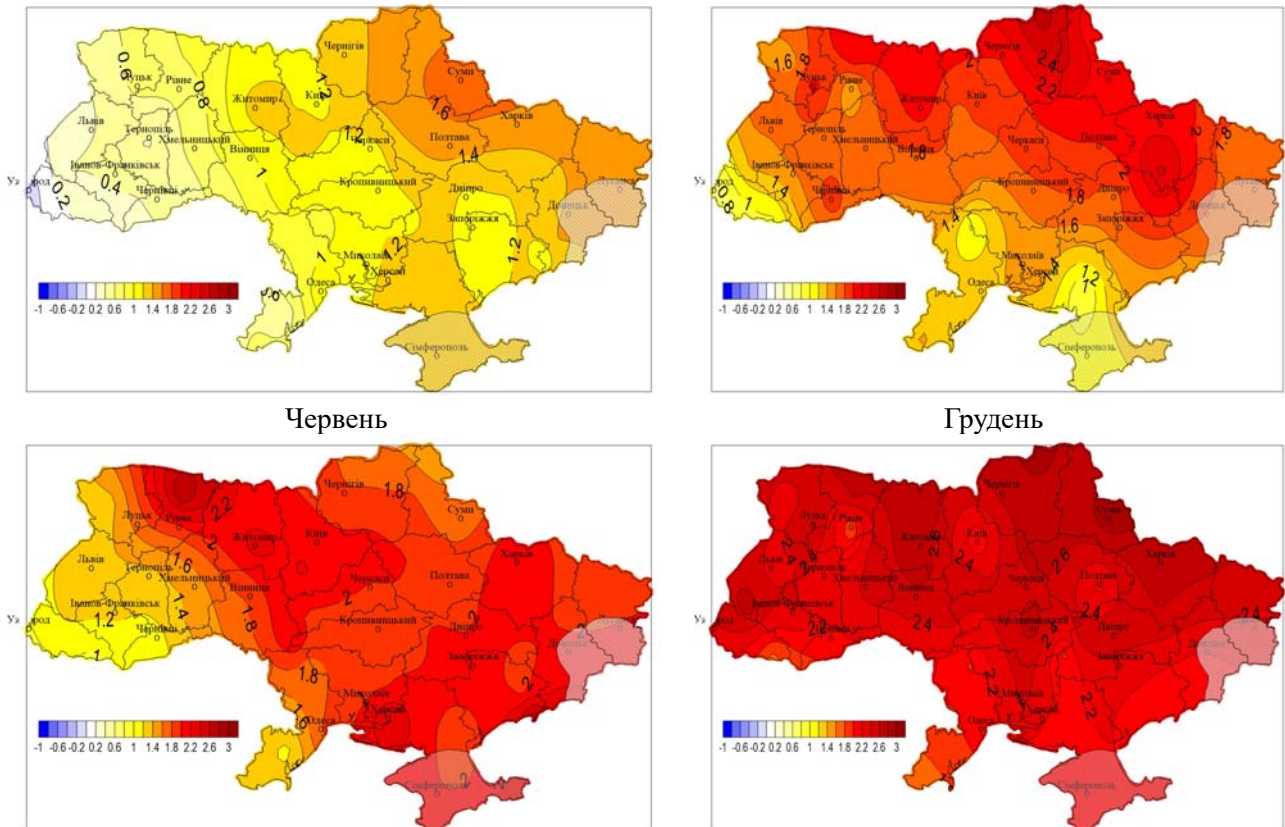


Рис. 1. Аномалії середньої місячної температури повітря протягом п'ятнадцятиріччя 2006-2020 рр. від аналогічного періоду 1991-2005 рр. /

Fig. 1. Anomalies of the average monthly air temperature during individual months of the fifteenth year 2006-2020 from the similar period 1991-2005

Таким чином, у останньому п'ятнадцятиріччі 2006-2020 рр. спостерігалось певне зниження середньої місячної температури повітря на більшій частині України (особливо північний захід та північ) порівняно із попереднім п'ятнадцятиріччям 1991-2005 рр. (рис. 1).

У лютому 2006-2020 рр. на відміну від січня на усій території України спостерігається підвищення середньої місячної температури повітря. В областях північно-західного (Волинь, Рівненщина, Житомирщина), північного регіону (Чернігівщина, Сумщина), частково центру (Вінничина, Черкащина) та заходу (Львівщина, Хмельниччина, Тернопільщина) України збільшення середньої місячної температури повітря знаходиться у межах  $0,1...0,4^{\circ}\text{C}$ . У східній частині країни від більшості центральних областей на схід, а також у південному регіоні середня місячна температура зросла на  $0,5...0,9^{\circ}\text{C}$ . Окремо треба відмітити ряд районів Карпатського регіону, де збільшення середньої місячної температури було інтенсивнішим. Так у Львівській області у Славське середня місячна температура зросла на  $1,3^{\circ}\text{C}$ , а на Закарпатті (Ужгород, Рахів), навіть на  $1,4^{\circ}\text{C}$ . Треба зазначити, що помічено незначне точкове зменшення середньої місячної температури повітря у

Рівному та у Волновасі. Тобто у лютому на відміну від січня протягом останніх 15 років спостерігається підвищення середньої місячної температури повітря, при чому найбільш інтенсивно на півдні країни та на Закарпатті (рис. 1).

У березні протягом останнього п'ятнадцятиріччя спостерігається досить помітне підвищення середньої місячної температури повітря та усій території України. Здебільшого підвищення середньої місячної температури повітря спостерігалось у межах від  $0,8(0,9)^{\circ}\text{C}$  до  $1,0...1,4^{\circ}\text{C}$  фактично на території усіх регіонів у напрямку з півночі на південь та із заходу на схід. Найменші значення спостерігались на півночі Чернігівщині (Семенівка) та на півдні Київщини (Яготин). Також виявлено низку регіонів де збільшення середньої місячної температури повітря було найбільш помітним. Підвищення температури у цих осередках становило  $1,5...1,8^{\circ}\text{C}$ . Найбільший осередок підвищення середньої місячної температури повітря у межах таких значень спостерігався на території, яка охоплювала частини Полтавської, Харківської., Дніпропетровської, Запорізької, Миколаївської, Херсонської областей та Донецького регіону. Подібні осередки, проте дещо менші за площею розповсюдження, спостерігались у

північно-західному регіоні та на півночі на території Волині (Луцьк), Житомирщини (Овруч, Житомир), Київщини (Київ, Фастів), на Вінничині (Вінниця) та Черкащині (Черкаси). На заході такі осередки мали місце на Хмельниччині (Шепетівка) та на Чернівеччині (Чернівці). Можна сказати, що на початку весни підвищення середньої місячної температури повітря було більш інтенсивним та охоплювало усю територію країни, але найбільш інтенсивним воно проявилось на території північно-західного, північно-східного регіонів та низки областей центрального регіону (Дніпропетровщина, Полтавщина), а також на частині Запоріжжя, Миколаївщини та Херсонщини (рис. 1).

У **квітні** протягом 2006-2020 рр. спостерігається певна диференціація осередків підвищення середньої місячної температури повітря на території України. Здебільшого найбільші значення підвищення середньої місячної температури повітря перебували у межах  $1,1...1,4^{\circ}\text{C}$ , проте на окремих станціях її підвищення могло сягати і більших величин  $1,5...1,7^{\circ}\text{C}$ . Серед таких станцій треба назвати Житомир ( $1,7^{\circ}\text{C}$ ), Тернопіль, Славське, Хмельницький та Чернівці ( $1,5^{\circ}\text{C}$ ), Івано-Франківськ ( $1,6^{\circ}\text{C}$ ), Любашівка ( $1,7^{\circ}\text{C}$ ). Територіально найбільш широко розгалужені помітні осередки збільшення середньої температури повітря інтенсивністю  $1,1...1,4^{\circ}\text{C}$  спостерігались на території частини півночного заходу (Житомирщина), півночі (Київщина), на території західного регіону на Львівщині, Хмельниччині, Тернопільщині, Чернівеччині та Закарпатті, а також на Вінничині та частині Одещини. Збільшення середньої місячної температури повітря у діапазоні  $0,7...1,0^{\circ}\text{C}$  спостерігалось на території як північно-західних (Волинь, Рівненщина) так і північних, північно-східних та центральних (Чернігівська, Сумська, Харківська, Полтавська, Черкаська, Кіровоградська) областей. Крім того, подібні зміни спостерігаються на території Миколаївської Херсонської та частково Запорізької областей. На решті території країни збільшення середньої місячної температури повітря було меншим і знаходилось у межах  $0,5...0,6^{\circ}\text{C}$ . Підвищення середньої місячної температури повітря на  $0,4^{\circ}\text{C}$  спостерігалось у Сватовому (Луганщина) та Сараті (Одещина). На початку посівної кампанії найпомітніше зростання середньої місячної температури повітря відбулось на території низки областей західного регіону (Хмельниччина, Львівщина, Закарпаття, Тернопільщина, Чернівеччина) та на півночі країни. На півдні підвищення середньої місячної температури повітря було менш інтенсивним (рис. 1).

Протягом **травня** 2006-2020 рр. середня температура повітря також зазнала підвищення.

Підвищення середньої місячної температури повітря на території України знаходилось у різних діапазонах. Здебільшого середня місячна температура повітря збільшувалась від  $0,5...0,8^{\circ}\text{C}$  до  $1,1...1,4^{\circ}\text{C}$ , однак на території окремих регіонів підвищення сягало  $1,5...1,8^{\circ}\text{C}$ . Істотне підвищення середньої місячної температури повітря ( $1,1...1,4^{\circ}\text{C}$ ) досить широко проявилось на території північно-західного (Житомирщина), північного (Київщина, Чернігівщина) та північно-східного (Сумщина, Харківщина) регіонів, а також у центрі (Черкащина, Кіровоградщина, Полтавщина, Дніпропетровщина) та південних областей (Запоріжжя, Миколаївщина, Херсонщина). Найбільше підвищення середньої місячної температури повітря ( $1,5...1,8^{\circ}\text{C}$ ) спостерігалось на території від півночі Чернігівщини до північно-східної частини Сумщини., а також на Полтавщині та Харківщині. На території Волині, Рівненщини, Вінничини та Хмельниччини підвищення середньої місячної температури повітря було дещо меншим та становило  $0,5...0,8^{\circ}\text{C}$ . Теж саме можна сказати і про Одещину. Для території Прикарпаття та Закарпаття підвищення середньої місячної температури повітря було найменшим і становило  $0,3...0,4^{\circ}\text{C}$ . Крім того в Ужгороді виявилось незначне зниження середньої місячної температури повітря. На початку вегетаційного періоду найбільш значне зростання середньої місячної температури повітря відбулось на території областей північного, північного та низці областей центрального регіонів, а також на Запоріжжі та Херсонщині.

У **червні** останнього 15-річчя на території України спостерігається більш інтенсивне підвищення середньої місячної температури повітря відносно попередніх 15 років порівняно із вищезгаданими попередніми місяцями. Щонайменше середня місячна температура повітря підвищилась на  $1,0...1,4^{\circ}\text{C}$ . Саме таке збільшення середньої місячної температури повітря спостерігалось на території ряду областей Карпатського регіону на Львівщині, Тернопільщині, Чернівеччині, Закарпатті, частково Хмельниччині, Волині, а також та на півдні та південному заході Одещини. Проте переважно на території України підвищення середньої місячної температури повітря відбулось у межах  $1,5...2,0^{\circ}\text{C}$ , а в окремих випадках  $2,1...2,3(2,4)^{\circ}\text{C}$  та навіть  $2,7...2,8^{\circ}\text{C}$ . Найбільш помітні осередки підвищення середньої місячної температури повітря спостерігались на території Житомирщини та Київщини, Харківщини, Донецького регіону, частково Запоріжжя та Херсонщини. Ще більш суттєві зміни у бік підвищення середньої місячної температури повітря спостерігались у Сарнах ( $2,8^{\circ}\text{C}$ ), Бердянську ( $2,7^{\circ}\text{C}$ ) та Херсоні ( $2,4^{\circ}\text{C}$ ). Тобто найбільш інтенсивно



збільшення середньої місячної температури відбувалось на території північно-західного, північного та північно-східного регіонів (рис. 1).

У **липні** зростання середньої місячної температури повітря протягом 2006-2020 рр. на території України було не таким інтенсивним як у червні. На півночі (Чернігівщина) та північному сході (Сумщина) її зростання було у межах  $0,3(0,4)\dots 0,5(0,6)^\circ\text{C}$ . На території областей північного заходу, більшості областей західного регіону (окрім Закарпаття та Івано-Франківщини) підвищення середньої місячної температури повітря відбулось здебільшого у межах  $0,7\dots 0,9^\circ\text{C}$ . Аналогічно таке зростання середньої місячної температури відносно 1991-2005 рр. повітря відбулось у центральних та південних областях. Крім того на території окремих областей, таких як Житомирщина (Житомир), Харківщина (Харків), Черкащина (Умань), Кіровоградщина (Гайворон), Донеччина (Волноваха), Одещина (Любашівка), Запоріжжя (Бердянськ) виявилось зростання середньої місячної температури повітря у межах  $1,0\dots 1,4^\circ\text{C}$  (рис. 1).

У **серпні** 2006-2020 рр. на території України також спостерігалось підвищення середньої місячної температури повітря. Для більшої території України частіше її аномалії становили  $1,1\dots 1,4^\circ\text{C}$ , або  $1,5\dots 1,9^\circ\text{C}$ . Серед останніх можна назвати Житомирщину, більшу частину Київщини, Кіровоградщину, Дніпропетровщину, частину Одещини, Миколаївщину та Херсонщину. На території окремих областей таких як Харківщина (Харків), Дніпропетровщина (Дніпро), Донеччина (Волноваха, Маріуполь), Запоріжжя (Запоріжжя, Кирилівка), Херсонщина (Херсон) підвищення середньої місячної температури повітря було більш інтенсивним до  $2,0\dots 2,2^\circ\text{C}$ . У Мелітополі підвищення середньої місячної температури повітря зросла на  $2,7^\circ\text{C}$ . Таким чином можна сказати про те, що підвищення середньої місячної температури повітря по території України на відміну від попередніх місяців було більш однорідним за винятком північного сходу Донецького регіону та Запоріжжя.

У **вересні** склалась аналогічна ситуація до серпня. У цілому на території України середня місячна температура повітря підвищилась на  $1,1\dots 1,4^\circ\text{C}$  (здебільшого північно-західний регіон, Львівщина, Закарпаття, окремі станції Черкащини, Одещини, Миколаївщини та Херсонщини), проте на більшій її території вона зросла у межах  $1,5\dots 1,9^\circ\text{C}$ , практично повсюди. Крім того на окремих станціях таких як Житомир, Хмельницький, Лозова підвищення середньої місячної температури повітря було більш значним на  $2,0^\circ\text{C}$ , а в Асканії Новій вона підвищилась на  $2,7^\circ\text{C}$ . Тобто як і у серпні підвищення середньої місячної

температури повітря відбувалось більш менш рівномірно по окремих регіонах.

У **жовтні** на території України протягом 2006-2020 рр. середня місячна температура зростала повсюди. Частіше за все підвищення середньої місячної температури повітря відбувалось у межах  $0,5\dots 0,9^\circ\text{C}$ . На території окремих областей її зростання було більш інтенсивним на  $1,0\dots 1,1^\circ\text{C}$ . Саме таке зростання середньої місячної температури повітря спостерігається на території усієї Київщини, сходу Сумщини, на півночі Харківщини, на окремих станціях Кіровоградщини та Запоріжжя. На території окремих регіонів таких як Житомирщина, південний схід Харківщини (Лозова) середня місячна температурна повітря зросла на  $1,3^\circ\text{C}$ . На тлі досить інтенсивного загального підвищення середньої місячної температури повітря були виявлені станції де таке зростання було ледь помітним та становило  $0,2\dots 0,3(0,4)^\circ\text{C}$ . Серед них треба назвати Славське, Рахів, Ужгород, Миколаїв, Асканію Нову. Отже, найбільш інтенсивно середня місячна температура повітря за останні 15 років підвищилась на території областей північно-західного, північного, північно-східного регіонів (рис. 1).

У **листопаді** 2006-2020 рр. підвищення середньої місячної температури повітря було більш відчутним порівняно із попередніми місяцями осені. У цілому найбільш часто середня місячна температура повітря підвищилась у межах  $1,5\dots 1,9^\circ\text{C}$ . Причому таке зростання було характерне для більшої частини України за винятком Одещини, Херсонщини та Закарпаття, де підвищення середньої місячної температури повітря становило  $0,6\dots 1,0^\circ\text{C}$ . Крім того в окремих регіонах, таких як Волинь, Рівненщина, Житомирщина, частково Чернігівщина, Сумщина та Харківщина зростання середньої місячної температури повітря було більш інтенсивним на  $2,1\dots 2,7^\circ\text{C}$ . Тобто зростання середньої місячної температури повітря на території України було також більш-менш однорідним, окрім окремих південних областей та Закарпаття.

У **грудні** останнього п'ятнадцятиріччя встановлено більш інтенсивне зростання середньої місячної температури повітря порівняно із попереднім аналогічним періодом. Здебільшого, середня місячна температура повітря на території країни зростала в діапазоні  $2,0(2,1)\dots 2,4^\circ\text{C}$ , а іноді і більше  $2,5\dots 2,7^\circ\text{C}$ . Саме таке, більш значне, підвищення середньої місячної температури повітря відбулось на території низки північно-західних, північних, північно-східних областей та окремих областей центру країни – Вінничині, Кіровоградщині, Полтавщині, Дніпропетровщині. Крім того на Сумщині (Суми) встановлено підвищення середньої місячної температури на  $3,0^\circ\text{C}$ . Отже

можна сказати, що на частині України з півночі на південь та із заходу на схід до Закарпаття, Одещини, Миколаївщини та Херсонщини зростання середньої місячної температури було інтенсивним (рис. 1).

**Висновки.** Зважаючи на вищевикладені результати досліджень змін у полі середньої місячної температури повітря на території України протягом 1991-2020 рр. можна сказати, що протягом останнього п'ятнадцятиріччя на території України відбулись істотні зміни у полі середньої місячної температури повітря. Результати дослідження отримано на оригінальному емпіричному матеріалі та отримані вперше.

На відміну від тенденцій до зростання середньої місячної температури повітря, які було встановлено при порівнянні двох кліматологічних норм 1991-2020 рр. та 1961-1990 рр., протягом другої половини останнього тридцятиріччя (2006-2020 рр.) відносно його першої половини вперше у січні встановлено зниження середньої місячної температури повітря за рахунок більш низьких середніх місячних температур протягом 2006-2020 рр. на території північних областей території окремих областей центру. На заході та півдні здебільшого середня місячна температура повітря не змінилась, або незначно зросла, особливо на Закарпатті.

У лютому 2006-2020 рр. відносно 1991-2005 рр. на відміну від січня на території України відбулось незначне зростання середньої місячної температури повітря. Дещо більше зростання середньої місячної температури повітря відбулось у центрі країни та особливо на Закарпатті.

Навесні виявлена тенденція до зростання середньої місячної температури повітря. У березні середня місячна температура повітря зросла більш значно порівняно із першими зимовими місяцями. Осередки найбільш значних додатних відхилень спостерігались на території північно-західних, частині центральних та південних областей.

У квітні найбільше зростання середньої місячної температури повітря спостерігалось на півночі та на території низки західних областей Прикарпатського регіону.

Протягом травня 2006-2020 рр. найбільше підвищення середньої місячної температури повітря спостерігалось на території північно-західних, окремих областях центру та півдня країни.

Влітку середня місячна температура повітря продовжувала зростати. Додатні відхилення виявлені на усій території країни. Найбільше зростання середньої місячної температури у червні

встановлено на території північних, північно-східних та центральних областей.

У липні 2006-2020 рр. зростання середньої місячної температури повітря в Україні порівняно із червнем було більш повільним. Найменше зростання середньої місячної температури повітря відбувалось на півночі та північному сході.

У серпні істотні додатні відхилення середньої місячної температури повітря здебільшого спостерігались на території центральних, північно-східних та особливо східних областей.

Восени 2006-2020 рр. зростання середньої місячної температури спостерігалось на усій території України, проте з різною інтенсивністю. У вересні середня місячна температура повітря найбільше зросла на території північно-західних, північних, окремих західних та центральних областей.

Протягом жовтня 2006-2020 рр. найбільше зростання середньої місячної температури спостерігалось на території північних та північно-східних областей.

У листопаді досліджуваного періоду різке зростання середньої місячної температури повітря спостерігалось на території північних та північно-східних областей. На решті території зростання середньої місячної температури повітря відбувалось дещо повільніше.

На початку зими, у грудні підвищення середньої місячної температури повітря відбувалось найбільш інтенсивно. Особливо таке зростання відбувалось на території північних, північно-східних та східних областей.

**Значимість отриманих результатів та перспективи подальших досліджень.** Виявленні особливості розповсюдження поля середньої місячної температури повітря на території України протягом останніх п'ятнадцяти років дають змогу оцінити її сучасне просторово-часове розповсюдження та встановити регіони де відбулись найбільші зміни як у бік її підвищення так і її зниження. Отримані результати можуть бути використані для планування проведення низки сільськогосподарських робіт (початок посівної кампанії, збирання врожаю, інш.), у тому числі розташування посівних площ окремих видів культур, які б відповідали новим кліматичним умовам, що створюються.

Зважаючи на зміни клімату, які відбуваються натеper в Україні, доцільними надалі будуть проведення досліджень стосовно умов зволоження протягом аналогічного періоду, в тому числі залягання снігового покриву із формуванням весняного запасу вологи у ґрунті.

## Список використаної літератури

1. Температура воздуха на Украине [Текст] / Под ред. В.Н. Бабиченко. Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 399 с.
2. Динаміка температури повітря в Україні за період інструментальних метеорологічних спостережень [Текст] / За ред. В.І. Осадчого, В.М. Бабіченко, Ю.Б. Набиванця, О.Я. Скринника. – К.: Вид-во Ніка-Центр, 2013. – 307 с.
3. Бабіченко В.М. Зміни температури повітря на території України наприкінці ХХ та на початку ХХІ століття [Текст] / В.М. Бабіченко, Н.В. Ніколаєва, Л.М. Гуцина // Український географічний журнал, 2007. – № 4. – С. 3–12
4. Барабаиш М.Б. Современные изменения температуры воздуха и осадков на Украине [Текст] / М.Б. Барабаиш, Л.А. Гейко, Н.П. Гребенюк // Труды УкрНИГМИ. 1986. – Вып. 209. – С. 108–114.
5. Бойченко С.Г. Глобальне потепління та його наслідки на території України [Текст] / С.Г. Бойченко, В.М. Волощук, І.А. Дорошенко // Укр. Геогр. журн., 2000. – №3. – С. 59–68.
6. Changnon S.A. Human factors explain the increased losses from weather and climate extremes / S.A. Changnon, R.A. Jr. Pielke, D. Changnon, et al. // Bull. Amer. Meteorol. Soc., 2000. – Vol. 81, № 3. – P. 417–425.
7. Climate of Europe. Regent variation, present state and future prospects. – ECSN. – 1995. – 72.
8. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. In: Contribution of working Group II to the Forth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / M. Parry, O. Canziani, J. Palutkof, et al. (eds.). – New York, Cambridge University Press., 2007. – P. 976.
9. Клімат України [Текст] / Под ред. Г.Ф. Прихотько, А.В. Ткаченко, В.Н. Бабиченко. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 413 с.
10. Клімат України [Текст] / За ред. В.М. Липінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. К.: Вид-во. Раєвського, 2003. – 343 с.
11. Дати переходу температури повітря в Україні за сучасних умов клімату [Текст] / За ред. В.І. Осадчого, В.М. Бабіченко. – К.: Вид-во Ніка-Центр, 2010. – 303 с.
12. Дмитренко В.П., Дячук В.А. Кліматичні аспекти проблеми сталого розвитку України. Проблеми сталого розвитку України [Текст]. – К.: БМТ. 1998. – С. 283–293.
13. Дмитренко В.П. Періодичність та шкодочинність посух [Текст] // Землеробство в умовах недостатнього зволоження / За ред. В.М. Крутя, О.Г. Тараріко – Київ: Аграрна наука, 2000. – С. 6–9.
14. Дмитренко В.П. Сучасні проблеми агрометеорологічних стратегій адаптації землеробства до погоди і клімату в Україні [Текст] / В.П. Дмитренко // Наукові праці НДІ Землеробство. – 2001. – Вып. 76. – С. 10–25.
15. Дмитренко В.П. Погода, клімат і урожай польових культур [Текст]. – К.: Ніка-Центр, 2010. – 620 с.
16. Гребенюк Н.П. Нове про зміни глобального та регіонального клімату в Україні на початку ХХІ ст. [Текст] / Н.П. Гребенюк, Т.В. Корж, О.О. Яценко // Водне господарство України, 2002, № 5–6. – 34 с.
17. Глобальные и региональные изменения климата [Текст] / В.М. Шестопалов, В.Ф. Логвинов, В.И. Осадчий. – К.: Ніка-Центр, 2011. – 448 с.
18. Глобальне потепління і клімат України: регіональні екологічні та соціально-економічні аспекти [Текст] / В.М. Волощук, С.Г. Бойченко, С.М. Степаненко, С.Ю. Бортник, П.Г. Шищенко. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2002. – 117 с.
19. Настанова гідрометеорологічним станціям і постам. Вып. 3. Ч.1. Метеорологічні спостереження на станціях [Текст]. – К.: Державна гідрометеорологічна служба. 2011. – 279 с.
20. IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change) / R.T. Watson, M.C. Zinoyowera, etc. The regional impact of climate change. An assessment of vulnerability. – Cambridge Univ. Press. Cambridge, 1998. – 517 p.
21. Логвинов К.Т. О возможных изменениях климата [Текст] / К.Т. Логвинов, М.Б. Барабаиш // Труды УкрНИГМИ, 1986. – Вып. 209. – С. 114–117.
22. Логвинов К.Т. Исследование периодических изменений температуры воздуха и осадков на Украине [Текст] / К.Т. Логвинов, М.Б. Барабаиш // Труды УкрНИГМИ, 1987. – Вып. 224. – С. 71–76.
23. Martazinova V.F. Displacement of semi-permanent centers of action and variations of the regional climate / V.F. Martazinova // Proc. Int. Symp. Precipitation and Evaporation. – Bratislava, 1993. – V. 2. – P. 210–213.
24. Martazinova V.F. Changes of the long-scale atmosphere circulation and regional climate in the Ukraine / V.F. Martazinova, V.S. Maderich // Proc. Second Conference on Applied Climatology – Norkkoping, 1996. – P. 171–172.
25. Мартазинова В.Ф. Крупномасштабная атмосферная циркуляция ХХ столетия, ее изменения и современное состояние [Текст] / В.Ф. Мартазинова, Т.А. Свердлик // Труды УкрНИГМИ, 1998. – Вып. 246. – С. 21–27.
26. Мартазинова В.Ф. Атмосферная циркуляция, формирующая засушливые условия на территории Украины в конце ХХ столетия [Текст] / В.Ф. Мартазинова, Т.А. Сологуб // Труды УкрНИГМИ, 2003. – Вып. 248. – С. 36–47.
27. Martazinova V.F. Peculiarities of Synoptic Processes of Various Probability Categories in the End of XX – the Beginning of XXI Centuries / V.F. Martazinova, Ye.K. Ivanova // Global and Regional Climate change. – К.: Ніка-Centre, 2011. – P. 80–89.
28. Мартазинова В.Ф. Связь изменений климата с геомагнитным полем I. Пространственно-временная структура магнитного поля Земли и климата ХХ в. [Текст] / В.Ф. Мартазинова, Е.К. Иванова, В.Г. Бахмутов, Н.А. Килифарска, Г.В. Мельник // Геофизический журнал. К.: – 2014. – Т. 36. – С. 81–104.
29. Мартазинова В.Ф. Метод «плаваючого аналога» для довгострокового прогнозу погоди [Текст] / В.Ф. Мартазинова. – Одеса. – Видавничий дім «Гельветика», 2022. – 121 с.

30. Проблеми і стратегія виконання Україною Рамкової Конвенції ООН про зміну клімату. [Текст] / За ред. В.Я. Шевчука, Рада Національної Безпеки і Оборони України. – Київ. – 2001.
31. Пясецька С.І. Сучасний стан змін середньої місячної температури повітря у місяці холодного періоду року протягом 1991–2020 рр. відносно кліматологічної норми 1961–1990 рр. [Текст] / С.І. Пясецька, Н.П. Гребенюк // *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. Збірник матеріалів VII Міжнародного конгресу 12–14 жовтня 2022. Україна, Львів.* – С. 25. DOI: <https://doi.org/10.51500/7826-07-0>
32. Пясецька С.І. Тенденції у зміні середньої місячної температури повітря у місяці теплої сезону протягом 1991–2020 рр. відносно кліматологічної норми 1961–1990 рр. [Текст] / С.І. Пясецька, Н.П. Гребенюк. // *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. Збірник матеріалів VII Міжнародного конгресу 12–14 жовтня 2022. Україна, Львів.* – С. 26. DOI: <https://doi.org/10.51500/7826-07-0>
33. Пясецька С.І. Порівняння полів середньої місячної температури повітря протягом кліматичних норм 1991–2020 рр. відносно 1961–1990 рр. Колективна монографія. [Текст] / С.І. Пясецька, О.А. Щеглов, Н.П. Гребенюк За ред. М.С. Мальваного. – К.: Ярошенко Я.В. – 2022. – С. 202–228. DOI: <https://doi.org/10.51500/7826-23-0>
34. Свердлик Т.А. Эволюция крупномасштабной атмосферной циркуляции воздуха Северного полушария во второй период современного потепления климата [Текст] / Т.А. Свердлик // *Наукові праці УкрНДГМІ.* – 1999 – Вип.. 247. – С. 63–75.
35. *Природа Украинской ССР. Климат* [Текст] / Под ред. К.Т. Логвинова, М.И. Щербаня. К.: Наукова думка, 1984. – 231 с.
36. Волощук В.М. Про можливі зміни середньорічного температурного режиму України в першій половині XXI століття [Текст] / В.М. Волощук // *Доклади Академії наук України, 1993.* – № 12, – С. 105–111.
37. Волощук В.М. Реакція ходу приземної температури України на глобальне потепління клімату [Текст] / В.М. Волощук, С.Г. Бойченко // *Доповіді НАН України, 1997.* – № 9. – С. 113–118.
38. Волощук В.М., Гродзинський В.М., М.Д., Шищенко П.Г. Географічні проблеми сталого розвитку України [Текст] / В.М. Волощук, М.Д. Гродзинський, П.Г. Шищенко // *Укр. геогр. жун.* – 1998. – №1. – С. 13–18.

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

## The modern nature of changes in the average monthly air temperature during 2006-2020

*Svitlana Pyasetska*<sup>1</sup>,

PhD (Geography), Senior Researcher,  
Department of Climate Research and Long-Term Weather Forecasting  
State Emergency Service of Ukraine NAS of Ukraine  
<sup>1</sup> Ukrainian hydrometeorological institute (UHMI),  
37 Nauki Av., Kyiv, 03028, Ukraine;

*Oleksandr Shcheglov*<sup>1</sup>,

PhD (Geography), Senior Researcher, Department of Atmospheric

### ABSTRACT

The proposed article is devoted to the study and analysis of changes in the field of average monthly air temperature on the territory of Ukraine over the past fifteen years (2006-2020) of the period 1991-2020 to determine the trends that have emerged as a result of changes in global circulation over the Atlantic-European sector of the Northern Hemisphere and the possible occurrence of frequent drought events on the territory of Ukraine. Taking into account the drastic climate changes that have occurred during the last decades, there is a problem in adapting a number of branches of the production complex to such changes in order to prevent economic losses and develop a new strategy in this direction.

**Connection with research tasks.** The presented study is related to the implementation of a number of state-ordered research works dedicated to the study of the peculiarities of modern climate changes in Ukraine and the identification of climate-vulnerable areas on its territory.

**Problems to be solved in the article.** Taking into account the accumulated material regarding the features of the distribution of the air temperature field in Ukraine and the probabilistic scenarios for its change under the influence of general warming in the Northern Hemisphere, for the territory of Ukraine it is necessary to find out the mechanism of its current changes and determine their direction on a temporal and territorial scale.

**The main purpose** of the presented article was to investigate and establish the main trends in the current field of average monthly air temperature in Ukraine over the past 15 years (2006-2020) and show the nature of the spatial and temporal distribution of these changes.

**Materials and methods.** The data of the average monthly air temperature at 55 stations of Ukraine during all months of the year for the fifteen-year periods 1991-2005 and 2006-2020 served as the research materials. The main research

methods were physical and statistical to determine the deviations of two 15-year periods and cartographic to determine spatio-temporal differentiation of detected cells.

**Main results.** It was established that on the territory of Ukraine in January 2006-2020 there was a certain decrease in the average monthly air temperature due to lower temperatures. In the rest of the winter months, its growth is observed, especially in the territory of the northwestern, northern, and northeastern regions and in some central and southern regions. In the spring, the increase in the average monthly air temperature in 2006-2020 occurred more intensively in the northern regions and in a number of regions of the western region (Peredkarpattia). In the summer, the increase in air temperature was observed throughout the territory of Ukraine, but most intensively in July. Territorially, the greatest increase in the average monthly air temperature was expressed in the north, northeast and south. In autumn, the increase in the average monthly air temperature was most intense in November 2006-2020 in the regions of the northern and central regions, as well as in the Carpathian region.

In the last 15 years, the average monthly air temperature in Ukraine has increased, but in January it decreased in the north, northeast, in some places in the center and south. This trend is new for today's climate.

The results of the study for the territory of Ukraine are presented for the first time and can be used for planning agricultural works.

**Keywords:** territory of Ukraine, average monthly air temperature, regional climate changes, anomalies of the average monthly air temperature, negative and positive deviations of the average monthly air temperature.

### References

1. Air temperature in Ukraine (1987). Ed. V.N. Babichenko. L., Hydrometeoizdat, 399 [in Russian].
2. Air temperature dynamics in Ukraine during the period of instrumental meteorological observations (2013). Ed. V.I. Osadchego, V.M. Babichenko, Yu.B. Nabyvantsia, O.Ya. Chest K., Nika Center Publishing House, 307 [in Ukrainian].
3. Babichenko V.M., Nikolayeva N.V., Gushchyna L.M. (2007). Air temperature changes in the territory of Ukraine at the end of the 20th and the beginning of the 21st century. *Ukrainian Geographical Journal*, 4, 3-12 [in Russian].
4. Barabash M.B., Geiko L.A., Grebenyuk N.P. (1986). Modern changes in air temperature and precipitation in Ukraine. *Truy UkrNIGMY*, 209, 108-114 [in Russian].
5. Boychenko S.G., Voloshchuk V.M., Doroshenko I.A. (2000) Global warming and its consequences on the territory of Ukraine *Ukr. Geogr. Journal*, 3, 59-68 [in Ukrainian].
6. Changnon S. A., Pielke R.A. Jr., Changnon D., et al. (2000). Human factors explain the increased losses from weather and climate extremes. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 81, 3, 417-425.
7. Climate of Europe. Regent variation, present state and future prospects (1995). ECSN, 72.
8. Climate Change 2007, Impacts, Adaptation, and Vulnerability (2007). In, Contribution of working Group II to the Forth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. M. Parry, O. Canziani, J. Palutkof, et al. (eds.). New York, Cambridge University Press, 976.
9. Climate of Ukraine (1967). Ed. G.F. Prykhotko, A.V. Tkachenko, V.N. Babichenko. L., Hydrometeoizdat, 413 [in Russian]
10. Climate of Ukraine (2003). Eds. V.M. Lipinsky, V.A. Dyachuka, V.M. Babichenko. K., Type-vo. Raevsky, 343 [in Ukrainian].
11. Dates of air temperature transition in Ukraine under modern climate conditions (2010). Eds. V.I. Osadchego, V.M. Babichenko. K., Nika-Center Publishing House, 303. [in Ukrainian].
12. Dmytrenko V.P., Dyachuk V.A. (1998). Climatic aspects of the problem of sustainable development of Ukraine. *Problems of sustainable development of Ukraine. K., BMT*, 283-293. [in Ukrainian]
13. Dmytrenko V.P. (2000). Periodicity and harmfulness of droughts Agriculture in conditions of insufficient moisture. Eds. V.M. Krutya, O.G. Tarariko. Kyiv, Agrarna nauka, 6-9 [in Ukrainian].
14. Dmytrenko V.P. (2001). Modern problems of agrometeorological strategies for adapting agriculture to weather and climate in Ukraine. Ed. V.P. Dmytrenko. *Scientific works of the Research Institute of Agriculture*. 76, 10-25. [in Ukrainian].
15. Dmytrenko V.P. (2010). Weather, climate and harvest of field flowers. K., Nika-Center, 620. [in Ukrainian].
16. Global and regional climate changes (2011). Eds V.M. Shestopalov, V.F. Loginov, V.I. Sedimentary. K., Nika-Center, 2011, 448 [in Ukrainian].
17. Global warming and the climate of Ukraine, regional ecological and socio-economic aspects (2002). Eds. V.M. Voloshchuk, S.G. Boychenko, S.M. Stepanenko, S.Yu. Bortnyk, P.G. Shishchenko. K., VOC "Kyiv University", 117 [in Russian].
18. Hrebenyuk N.P., Korzh T.V., Yatsenko O.O. (2002). News about global and regional climate changes in Ukraine at the beginning of the 21st century. *Water management of Ukraine*, 5-6, 34. [in Ukrainian].
19. Instructions to hydrometeorological stations and posts. Vol. 3. Part 1. Meteorological observations at the stations (2011). K., State hydrometeorological service, 279 [in Ukrainian].
20. IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change), 1998, Watson R.T., Zinoyowera M.C., et. al. (eds.). *The regional impact of climate change. An assessment of vulnerability*. Cambridge Univ. Press. Cambridge, 517.
21. Logvinov K.T., Barabash M.B. (1986). About possible climate changes. *Proceedings of UkrNIHMY*, 209, 114-117 [in Russian].
22. Logvynov K.T., Barabash M.B. (1987). Study of periodic changes in air temperature and precipitation in Ukraine. *Proceedings of UkrNIHMY*, 224, 71-76 [in Russian].

23. Martazinova V.F. (1993). Displacement of semi-permanent centers of action and variations of the regional climate. *Proc. Int. Symp. Precipitation and Evaporation. Bratislava*, 2, 210-213.
24. Martazinova V.F., Maderich V.S. (1996). Changes of the long-scale atmosphere circulation and regional climate in the Ukraine. *Proc. Second Conference on Applied Climatology. Norkkoping*, 171-172.
25. Martazinova V.F., Sverdlyk T.A. (1998). Large-scale atmospheric circulation of the 20th century, its changes and current state. *Proceedings of UkrNIHMY*, 246, 21-27 [in Russian].
26. Martazinova V.F., Sologub T.A. (2003). Atmospheric circulation forming arid conditions on the territory of Ukraine at the end of the 20th century. *Proceedings of UkrNIHMA*, 248, 36-47 [in Russian].
27. Martazinova V.F., Ivanova Ye.K. (2011). Peculiarities of Synoptic Processes of Various Probability Categories in the End of XX – the Beginning of XXI Centuries. [Collective Monograph] *Global and Regional Climate change*. K., Nika-Centre, 80-89.
28. Martazinova V.F., Ivanova E.K., Bakmutov V.G., Kilifarska N.A., et al. (2014). Connection of climate change with the geomagnetic field. 1. Spatial-temporal structure of the Earth's magnetic field and the climate of the 20th century. *Geophysical Journal*. 36, 81-104 [in Russian].
29. Martazinova V.F. (2022). The method of "floating analogue" for a long-term weather forecast Odessa. *Vidavnichy dim "Helvetica"*, 121 [in Ukrainian].
30. *Problems and strategy of Ukraine's implementation of the UN Framework Convention on Climate Change (2001)*. Ed. V. Ya. Shevchuk, National Security and Defense Council of Ukraine. Kyiv. [in Ukrainian].
31. Pyasetska S.I., Grebeniuk N.P. (2022). The current state of changes in the average monthly air temperature in the months of the cold period of the year during 1991-2020 relative to the climatological norm of 1961-1990. Sustainable development, environmental protection. Energy saving. Balanced nature management. Collection of materials of the VII International Congress October 12-14, Ukraine, Lviv, 25 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.51500/7826-07-0>
32. Pyasetska S.I., Grebeniuk N.P. (2022). Trends in changes in the average monthly air temperature in the months of the warm season during 1991-2020 relative to the climatological norm of 1961-1990. Sustainable development, environmental protection. Energy saving. Balanced use of nature. Proceedings of the VII International Congress October 12-14, Ukraine, Lviv, 26. [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.51500/7826-07-0>
33. Pyasetska S.I., Shcheglov O.A., Grebenyuk N.P. (2022). Comparison of fields of average monthly air temperature during the climatic norms of 1991-2020 relative to 1961-1990. Collective monograph. Ed. M.S. Malovanogo. K., Yaroshenko Ya.V., 202-228. [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.51500/7826-23-0>
34. Sverdlyk T.A. (1999). Evolution of large-scale atmospheric air circulation of the Northern Hemisphere in the second period of modern climate warming. *Scientific works of UkrNDGMI, Issue. 247*, 63-75 [in Russian].
35. *The nature of the Ukrainian SSR. Climate (1984)*. Eds. K.T. Logvynova, M.I. Shcherbanya K., Scientific opinion, 231 [in Russian].
36. Voloshchuk V.M. (1993). About possible changes in the average annual temperature regime of Ukraine in the first half of the 21st century. *Proceedings of the Academy of Sciences of Ukraine*, 12, 105-111 [in Ukrainian].
37. Voloshchuk V.M., Boychenko S.G. (1997). The reaction of the course of the surface temperature of Ukraine to the global warming of the climate. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 9, 113-118 [in Ukrainian].
38. Voloshchuk V.M., Grodzynski M.D., Shishchenko P.G. (1998). Geographical problems of sustainable development of Ukraine. *Ukrainian Geographical Journal*, 1, 13-18 [in Ukrainian].

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work

Received 28 October 2022  
Accepted 21 January 2023

## Physical meaning of temperature and evaluation of distribution laws (in the area of the Lake Sevan basin)

*Armen Sedrakyan*<sup>1</sup>

PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor of the Department of Physics, Faculty of Applied Mathematics and Physics,<sup>1</sup> National Polytechnic University of Armenia (NPUA), 105 Teryan St., Yerevan, 0009, Armenia,

e-mail: [asedrakyan@seua.am](mailto:asedrakyan@seua.am),  <https://orcid.org/0000-0003-2166-3754>;

*Varduhi Margaryan*<sup>2</sup>

PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Physical Geography and Hydrometeorology,<sup>2</sup> Yerevan State University, 1 Alek Manoukian St., Yerevan, 0025, Armenia,

e-mail: [vmargaryan@ysu.am](mailto:vmargaryan@ysu.am),  <https://orcid.org/0000-0003-3498-0564>;

*Svitlana Reshetchenko*<sup>3</sup>

PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Physical Geography and Cartography,<sup>3</sup> V.N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,

e-mail: [s.reshetchenko@karazin.ua](mailto:s.reshetchenko@karazin.ua),  <https://orcid.org/0000-0003-0744-4272>;

*Sviatoslav Dmitriiev*<sup>3</sup>

PhD Student at the Department of Physical Geography and Cartography,

e-mail: [s.dmitriiev@student.karazin.ua](mailto:s.dmitriiev@student.karazin.ua),  <https://orcid.org/0000-0001-9256-6455>

### ABSTRACT

**Formulation of the problem.** In the work, the most general definition of temperature was discussed and presented, the temporal probability distribution of air temperature was analyzed and evaluated. Temperature has no specific definition. Thus it will be difficult to study the nature of any geophysical phenomena, including the characteristics of temperature distribution, without understanding the modern scientific definition and adjustment of temperature.

**The aim of the work** is to give the most modern reasonable definition of temperature or what the thermometer measures, the answer to which requires a more specific scientific justification, as well as to evaluate the patterns of possible spatiotemporal distribution of air temperature in the territory of Armenia and in the area of the Lake Sevan basin.

**Methods.** To solve the set tasks, the authors used corresponding research and published works as a theoretical basis in the work.

In the work, the average monthly data of actual observations of the temperature of the ground surface air layer and the amount of precipitation of the «Center for Hydrometeorology and Monitoring» SNCO of the Ministry of Environment of the Republic of Armenia were used. It was found that temperature is a quantity characterizing the thermal state and radiation of the terrestrial and celestial bodies and, in general, the environment, which is strongly related to the entropy change of the system; temperature is the main thermodynamic characteristic of thermal equilibrium; the thermodynamic and microscopic concepts of temperature coincide; the temperature-heat (energy) difference becomes known in the sense that a system can have high energy but low temperature.

The authors applied the following research methods in the article: mathematical and statistical, extrapolation, analysis, analogy, correlation, cartographic.

**Results.** Energy depends on the geometry (dimensions) of the system, but temperature does not. A trend of increasing air temperature is observed in the RA territory, which is also a result of the entropy change of the system. It can change very quickly, depending on the environmental factors in the given area (the growth rate of greenhouse farms, the artificial filling of valleys, which are wave carriers of air flow, the relentless use of green spaces for the purpose of public buildings, and other factors) in the process of disrupting the excessively permissible norms, which are currently separate needs serious research and prevention.

The long-term variability of surface air temperature in the area of the Lake Sevan basin is analyzed. The analysis carried out made it possible to give a quantitative assessment characterizing the climate change in this region over the past 98 years. An analysis of the observational data showed that the trend of climate warming is confirmed by an increase in air temperature both in winter and over a long period of time. The change in surface air temperature occurs at a rate of 0.002 °C/year to 0.012 °C/year and is generally 0.008 °C/year (or 0.08 °C/10 years) for all analyzed stations. The results obtained confirm the presence of two periods of warming observed in 1927–1970 and 1971–2021. All the results obtained in the course of the work testify to the trend of climate mitigation in the area of the Lake Sevan basin at the end of the 20th - beginning of the 21st century.

**Keywords:** temperature, air temperature, thermodynamics, entropy, energy, trend lines, warming, probability distribution.

**In cites:** Sedrakyan Armen, Margaryan Varduhi, Reshetchenko Svitlana, Dmitriiev Sviatoslav (2023). Physical meaning of temperature and evaluation of distribution laws (in the area of the lake Sevan basin). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (58), 231-240. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-18>

**Problem description.** It is known that any terrestrial (air, soil) and astrophysical body is characterized by an important scalar physical measure - temperature, which constantly changes periodically /

non-periodically in the Cartesian coordinate system / space of calculation, mainly related to periodic fluctuations of the heat flow density reaching the environment. And the role and significance of temperatu-

re, as an important indicator of climate change, evaporation, flow formation, formation and elimination of ice phenomena, heat and moisture circulation, occurrence of frosts and droughts, desertification and many other processes is extremely important. On the other hand, the patterns of the possible spatiotemporal distribution of temperature in the context of modern climate changes, which are associated with periodic/non-periodic fluctuations in the frequency of heat flows reaching the environment, should be taken into account in the efficient use and conservation of water resources, including the problems of water consumption by agricultural crops, harvest and yield formation. Therefore, it is difficult to understand the nature of this or that geophysical process and the features of the thermal regime distribution without knowing the modern scientific definition and justification of temperature. In modern science, there are two basic parameters that make it possible to study and accurately assess any natural phenomenon. It is energy and entropy. Let's define the temperature from that point of view.

Surface air temperature is used as one of the main indicators of climate change. As a result, the long-term variability of surface air temperature in the area of the Lake Sevan basin was analyzed in the work.

Taking into account the above, the aim of the work is to give the most modern reasonable definition of temperature or what the thermometer measures, the answer to which requires a more specific scientific justification, as well as to evaluate the patterns of possible spatiotemporal distribution of air temperature in the territory of Armenia and in the area of the Lake Sevan basin.

**Material and methodology.** In order to solve the presented problems, relevant scientific studies served as a theoretical and informative basis in the work [5, 8, 12, 16-17, 22-23]: The actual data of temperature observations of meteorological stations of «Hydrometeorology and Monitoring Center» of RA Ministry of Environment, climate bulletins and chronicles were used as starting material. Mathematical-statistical, analysis, correlation methods and fundamental laws of modern physics were used in the work.

**Results and discussion.** As a rule, temperature is the kinetic energy of moving molecules/atoms. Therefore, the increase in energy of the atoms during heating is easy to detect by touching the other end of the iron rod. Under normal conditions ( $P=1$  atmosphere,  $t=0$  °C) the number of gas molecules in  $1\text{cm}^3$  volume ( $N_L$ , which is called Loschmid number) is determined by the following equation [4, 15]

$$N_L = \frac{N_A}{V_m} = 2,68 \times 10^{19}, \quad (1)$$

where  $N_A$  – is Avogadro's constant ( $N_A = 6,02214129 \times 10^{19}$ ),  $V_m$ -is 1 mol material volume.

Temperature is a physical quantity that characterizes the amount of heating of bodies, which entered science with the subjective feeling of a person with the concepts of hot and cold [24]. Because of this, the feeling of temperature was subjective and could be misleading. Thus, for example, a metal object in a room appears colder than a wooden object, even though they are in the same conditions of thermodynamic thermal equilibrium. And it is better not to try to determine the temperature of molten metal and liquid nitrogen by touch. That is why the modern problem of a clear definition of temperature as a physical quantity is very important.

First, let's try to answer the question, what is temperature and how can it be scientifically justified? The main heat, whose main characteristic physical parameter is temperature, comes from the Sun. It propagates continuously, in all directions, in the form of an electromagnetic quantum. Therefore, temperature is also characterized in terms of quantum physics. Modern physics can answer this question in two ways: statistical (from the point of view of molecular kinetic theory) and thermodynamic.

*1. Definition of temperature from the point of view of molecular kinetic theory.* The basic equation of molecular theory for the pressure of an ideal gas can be expressed in the form of the following equation  $P = \frac{2}{3} n \frac{m\bar{v}^2}{2}$ . If  $\frac{2}{3} \frac{m\bar{v}^2}{2}$  relation assign  $\theta$ , then the pressure of an ideal gas can be expressed as  $P = n\theta$ , where  $\theta$ -is is the temperature of an ideal gas in Joules. Therefore, in order to express the temperature in degrees, a correction factor must be added to  $\theta$ , which will replace the unit of energy with the unit of temperature. On the other hand, according to molecular kinetic theory,  $\frac{m\bar{v}^2}{2} = \frac{3}{2}KT$ , where  $K$  –is the Boltzmann constant,  $\bar{v}^2$ - is root mean square velocity,  $T$ –is absolute temperature. Since kinetic energy is only positive, temperature measured on the Kelvin scale is also positive ( $T>0$ ) and is called absolute temperature. Therefore, it turns out that temperature and pressure are determined by the average kinetic energy of thermal motion of molecules, since they are statistical quantities. For example, expressions such as temperature or pressure of one or more molecules are meaningless. It follows from this that it would be more correct to present the temperature in the form of thermodynamic parameters, because it cannot be measured in any way and it makes no sense to talk about the temperature of a single particle.

From the point of view of molecular kinetic theory, it follows from such a definition of temperature that  $T=0$  corresponds to the cessation of thermal motion of molecules, which is impossible from the point of view of quantum physics: when the temperature



tends to absolute zero, the average energy of the molecule does not tend to zero, but tends to a certain minimum energy value. Therefore, absolute zero temperature equates to the minimum internal energy of the system.

2. Definition of temperature in terms of distribution of energy levels of molecules/atoms.

According to the Boltzmann distribution law [4, 18].

$$\frac{n}{n_0} = \exp(-E/kT) \quad (2)$$

where  $\frac{n}{n_0}$  ratio is the fraction of molecules/atoms/whose energy is bigger from  $kT$  as  $E$ ,  $k$  is Boltzmann's constant [24]: Let's slide the expression (2), we get:

$$\ln \frac{n}{n_0} = -\frac{E}{kT} \text{ or } \ln \frac{n_0}{n} = \frac{E}{kT} \Rightarrow , T = \frac{E}{k \ln \frac{n_0}{n}} \quad (3)$$

It follows from equation (3) that body temperature is determined by the number of excited molecules or atoms per unit volume. Such a definition of temperature, in contrast to the above, is, in our opinion, relatively simple and somewhat complete.

3. Now let's try to give the general modern formulation of temperature. It turns out that entropy simultaneously satisfies the two properties of temperature listed above [26-27] inverse of the derivative of the internal energy at constant volume ( $S'$ ) [3]: That quantity is called temperature.

$$T = \frac{1}{S'}, \quad (4)$$

where  $S' = \left(\frac{\Delta S}{\Delta U}\right)_{V=const}$ , therefore

$$T = \left(\frac{\Delta U}{\Delta S}\right)_{V,N=const} \quad (5)$$

For any body with a constant volume, as the internal energy increases, the entropy also increases, as a result of which the absolute temperature of all bodies is positive ( $T > 0$ ).

Let us show that the absolute temperature satisfies the two properties defined above.

**To prove definition I**, consider a closed system consisting of two bodies with physical  $U_1, S_1, T_1$  and  $U_2, S_2, T_2$  (fig. 1). As a result of heat exchange, the internal energy and entropy of each of the bodies will change, so  $\Delta U_1 = -\Delta U_2$  and the entropy of the complete system increases.

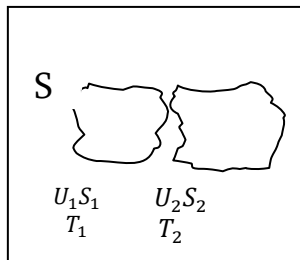


Fig. 1. A closed system with bodies having different physical parameters

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 > 0 \quad (6).$$

From the definition of temperature (see formulas (4) and (5)) it follows that

$$\Delta S_1 = \frac{\Delta U_1}{T_1} \text{ и } \Delta S_2 = \frac{\Delta U_2}{T_2} = -\frac{\Delta U_1}{T_2}, \quad (7)$$

and

$$\Delta S = \frac{\Delta U_1}{T_1} - \frac{\Delta U_1}{T_2} = \Delta U_1 \left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 \cdot T_2}\right): \quad (8)$$

Since  $\Delta S > 0$ , then  $U_1(T_1 - T_2) > 0$ : For example, if the first body has a lower temperature than the second ( $T_2 > T_1$ ), then in the process of heat exchange it will receive, and the second body will give that energy and vice versa, if  $T_1 > T_2$ , then  $\Delta U_1 < 0$ , and  $\Delta U_2 > 0$ , which was required to be proved.

**To prove Definition II**, consider again a closed system consisting of two bodies. At thermal equilibrium, the entropy of the system remains constant ( $\Delta S = 0$ ) [14]: Putting that value in (8), we get  $T_1 = T_2$ , which was required to be proved.

Thus, temperature is the **main characteristic of thermal equilibrium**. All other parameters (for example, pressure and volume) may have different (but constant) values in different parts of the system at thermal equilibrium. At constant volume

$$(\Delta U)_{v=const} = Q: \quad (9)$$

Therefore, it follows from (5) that  $Q = T\Delta S$ , which is the Clausius formula and is true only for non-closed systems.

The temperature is mainly measured by mercury and alcohol thermometers, whose operation is based on the phenomenon of thermal expansion of liquids. Other properties of bodies that depend on temperature can also be used to measure temperature [2, 13]: Naturally, different types of thermometers are required for different temperature ranges (fig. 2). In the low temperature range, the temperature is measured by the change in the receptivity of paramagnetic salts, in the everyday temperature range by a hydrogen-gas

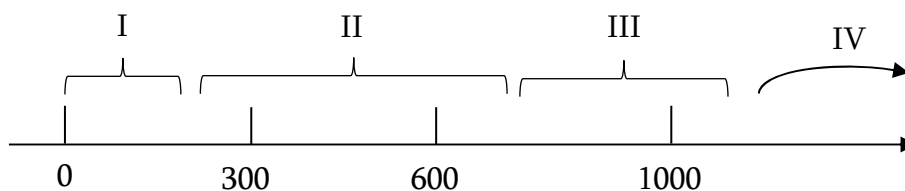


Fig. 2. Different temperature ranges and measurement methods

thermometer, in the temperature range of 600-1000 K by thermocouples (based on the Seebeck phenomenon), in the temperature range above 1000 K by a pyrometer (fire gauge).

So it would be more natural to measure temperature in units of energy (Joules) because it is the kinetic energy of molecules. However, temperature was measured long before the creation of the molecular-kinetic theory. Therefore, in practice, the temperature is expressed in a conventional unit - degree.

Statistics show that not only in our republic [10, 25, 31], but also in different regions of our planet [6, 9, 19, 21, 28-30] and throughout [32] (fig. 3) a trend

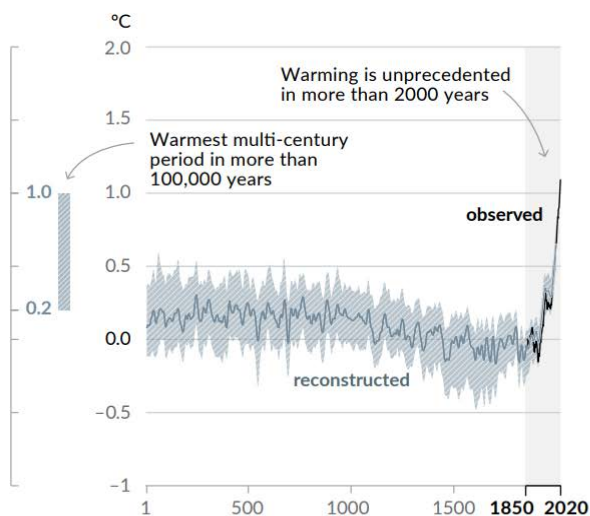
of increasing air temperature is observed. At the end of the 20th - beginning of the 21st century, the most noticeable climate changes are observed in the Arctic region [7, 24].

Between 1929 and 1996, the average annual temperature in Armenia increased by 0.4 degrees compared to the average of 1961-1990 (standard period), and by 1.23 degrees between 1929 and 2016 (norma: 5.5 °C) [31].

Studies show that Armenia is vulnerable to climate change with its entire mountainous area, despite having little influence on the global climate change process. According to the RCP8.5 scenario of the

### Changes in global surface temperature relative to 1850–1900

(a) Change in global surface temperature (decadal average) as reconstructed (1–2000) and observed (1850–2020)



(b) Change in global surface temperature (annual average) as observed and simulated using human & natural and only natural factors (both 1850–2020)

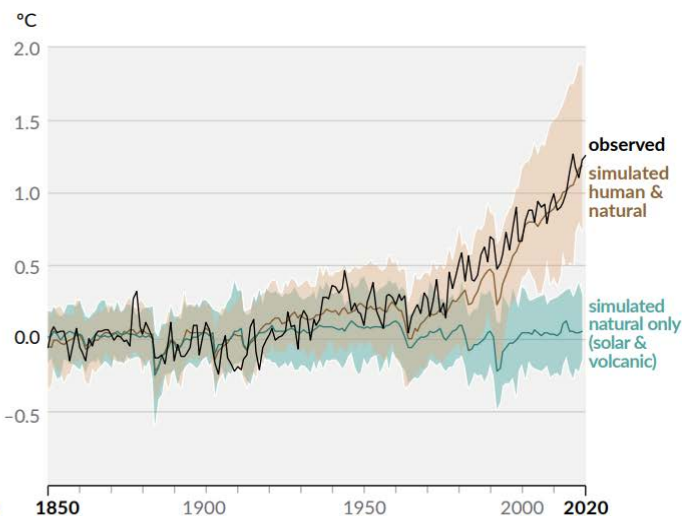


Fig. 3. History of global temperature change and causes of recent warming Panel (a) Changes in global surface temperature reconstructed from paleoclimate archives (solid grey line, years 1–2000) and from direct observations (solid black line, 1850–2020), both relative to 1850–1900 and decadal averaged. The vertical bar on the left shows the estimated temperature (very likely range) during the warmest multi-century period in at least the last 100,000 years, which occurred around 6500 years ago during the current interglacial period (Holocene). The Last Interglacial, around 125,000 years ago, is the next most recent candidate for a period of higher temperature. These past warm periods were caused by slow (multi-millennial) orbital variations. The grey shading with white diagonal lines shows the very likely ranges for the temperature reconstructions. Panel (b) Changes in global surface temperature over the past 170 years (black line) relative to 1850–1900 and annually averaged, compared to Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) climate model simulations (see Box SPM.1) of the temperature response to both human and natural drivers (brown) and to only natural drivers (solar and volcanic activity, green). Solid colored lines show the multi-model average, and colored shades show the very likely range of simulations. (See Figure SPM.2 for the assessed contributions to warming) [32]

METRAS model, the increasing air temperature trends will continue throughout the 21st century in all high-altitude zones of the Republic of Armenia (table 2). Moreover, the greatest increase in the annual average air temperature is predicted in low-lying areas, which decreases according to altitude.

On fig. 4 shows the long-term course of the average winter air temperature, which gives an idea of the nature of fluctuations of this characteristic for the

period 1927–2021. for all analyzed stations in the area of the Lake Sevan basin. Thus, the “first” warming falls on the time interval 1927–1970. It should be noted that in this time interval, against the background of a general increase in temperature, short-term periods of temperature decrease (“cooling”) are distinguished from 1926/27 to 1934/35, from 1970/71 to 1977/78, from 1987/88 to 1992/93 and from 2003/04 to 2008/09.

Table 1

Forecast values of annual average air temperatures in the highlands of Armenia according to the METRAS model (RCP8.5 scenario) [31]

Altitude zones, m	< 800	800-1000	1000-1500	1500-2000	2000-2500	2500-3000	> 3000	Total area
1961-1990	11,2	10,8	8,4	5,5	3,3	1,6	-0,7	5,5
2011-2040	12,8	12,4	10,0	7,1	4,9	3,2	0,9	7,1
2041-2070	14,5	14,1	11,7	8,8	6,6	4,9	2,6	8,8
2071-2100	15,9	15,5	13,1	10,2	8,0	6,3	4,0	10,2

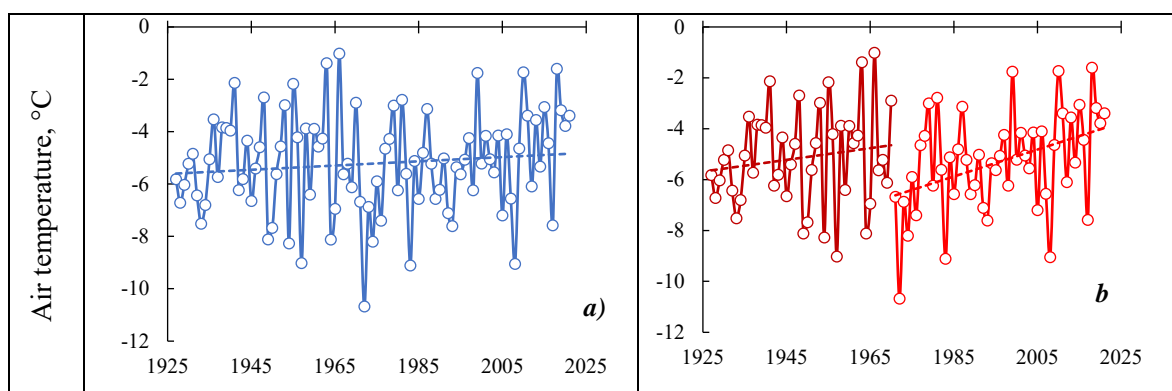


Fig. 4. Long-term course of average winter air temperature (°C) in the area of the Lake Sevan basin for the period from 1926/27 to 2020/21

As a rule, an increase in air temperature during the winter season can play an important role in the formation of winter runoff. As is known, the modern period is characterized by an increase in surface air temperature, which is most pronounced just in the winter period [11].

In the study area, the average air temperature of the winter season is distinguished by an uneven spatial and temporal distribution. Thus, the average air

temperature of the winter season ranges from -3.55 (Shorzha) to -7.11 (Masrik) (table 2). We found a close relationship between the average winter air temperature for the period 1927-2021 and for the period 1927-2070 (fig. 5, a), for the period 1927-2021 and for the period 1971-2021 (fig. 5, b). It can be used to calculate and estimate the average winter air temperature for the period 1927-2021 of unexplored or little-explored areas.

Table 2

Average air temperature (°C) in the winter season in the area of the Lake Sevan basin for the period from 1926/27 to 2020/21

Meteorological station	For the period 1927–1970	For the period 1971–2021	For the period 1927–2021
Semyonovka	-6.23	-6.27	-6.25
Sevan	-4.18	-4.38	-4.29
Shorzha	-3.32	-3.75	-3.55
Gavar	-5.93	-5.88	-5.90
Masrik	-6.93	-7.26	-7.11
Martuni	-4.25	-4.21	-4.23

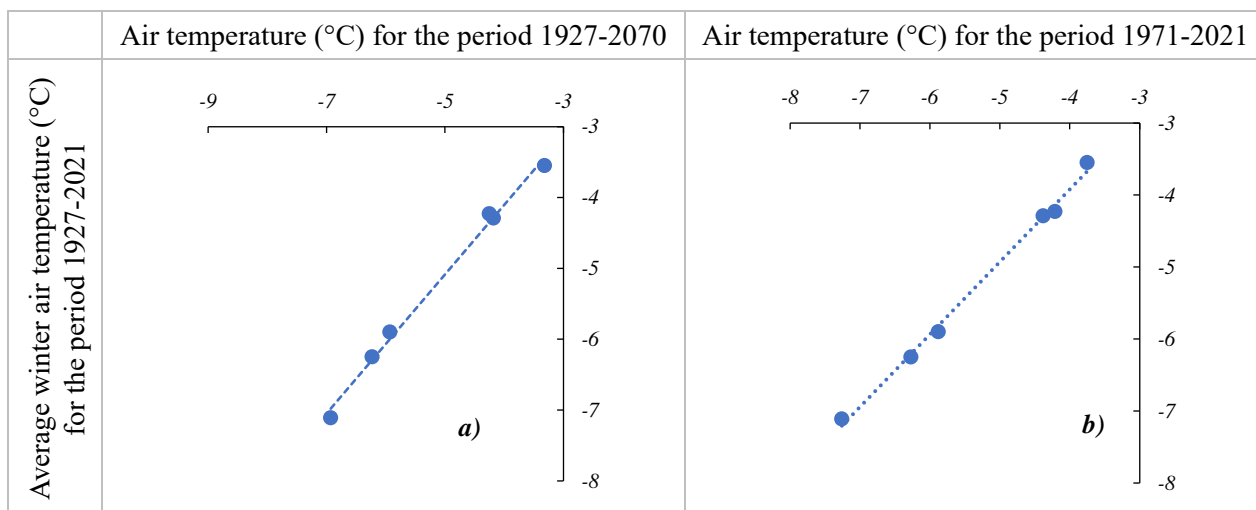


Fig. 5. Regression relationship between the average winter air temperature for the period 1927-2021 and 1927-2070 (a), for the period 1927-2021 and 1971-2021(b)

The most intensive increase in the average air temperature of the winter season has been observed from 1970 to the present period of time - the «modern» period of warming. In the «modern» period of warming, short-term periods of temperature decrease («cooling») are also observed, but at much lower amplitudes and time scales compared to the period of the «first» warming.

Calculation of the linear trend of the average air temperature of the winter season shows that warming occurs on average for all analyzed stations at a rate of 0.002 °C/year to 0.012 °C/year and in general is 0.008 °C/year (or 0.08 °C/10 years) (table 3).

Considering the manifestation of warmings for the time intervals 1927–1970 and 1971–2021, it can be argued that during each of the warmings, a more intense increase in air temperature is observed than for the entire analyzed period of 1927–2021.

So, for the «first» warming, the coefficient of the linear trend of the average air temperature of the winter season is on average 0.023 °C/year, for the «modern» warming - 0.053 °C/year. Based on the data obtained, it can be concluded that the «modern» warming occurs at a rate significantly higher than the rate of the «first» warming for all analyzed stations (table 3).

Table 3

The magnitude of warming in the area of the Lake Sevan basin for the period from 1966/67 to 2020/21

Meteorological station	Linear trend coefficient, °C/year		
	for the period 1927–70	for the period 1971–2021	for the period 1927–2021
Semyonovka	+0,049	+0,045	+0,011
Sevan	+0,007	+0,062	+0,007
Shorzha	+0,026	+0,050	+0,003
Gavar	+0,040	+0,047	+0,012
Masrik	-0,001	+0,049	+0,002
Martuni	+0.018	+0,065	+0,013

All the results obtained in the course of the work testify to the trend of climate mitigation in the area of the Dvina Bay of the White Sea at the end of the 20th - beginning of the 21st century [9].

In recent decades, there has been a significant change in the global climate, as measured by increases in surface air temperature, extremes, variability and changes in precipitation, etc. Such current and predicted changes in meteorological conditions cannot but affect the river runoff generation [1].

Global mean temperature in 2022 is currently es-

timated to be  $1.15 \pm 0.13$  °C above the 1850-1900 average. The eight years 2015 to 2022 are likely to be the eight warmest years on record, with 2022 most likely to be 5th or 6th warmest [33].

Such a change in air temperature will have both positive and negative many natural and socio-economic consequences, which require complex and detailed studies. The result of the latter will be the quantum development of effective measures of adaptation to the consequences of temperature changes, the key to the solution of which should be complete and

governed by the mathematical predictions of the laws of quantum physics.

**Conclusions.** Thus, as a result of studies, we have come to the conclusion that:

1) temperature is a quantity characterizing the thermal state and radiation of the terrestrial and celestial bodies and, in general, the environment, which is strongly related to the change in entropy of the system;

2) temperature is the main thermodynamic characteristic of thermal equilibrium; the thermodynamic and microscopic concepts of temperature coincide;

3) the temperature-heat (energy) difference becomes known in the sense that a system can have high energy but low temperature. Energy depends on the geometry (dimensions) of the system, but temperature does not;

4) a trend of increasing air temperature is observed in the RA territory, which is also a result of the entropy change of the system. It can change very quickly, depending on the environmental factors in the given area (the growth rate of greenhouse farms, the artificial filling of valleys, which are wave

carriers of air flow, the relentless use of green spaces for the purpose of public buildings, and other factors) in the process of disrupting the excessively permissible norms, which are currently separate needs serious research and prevention;

5) long-term variation of the surface mean air temperature in the winter season in the area of the Lake Sevan basin has a unidirectional character. Thus, the change in surface air temperature occurs at a rate of 0.002 °C/year to 0.012 °C/year and in general is 0.008 °C/year (or 0.08 °C/10 years) for all analyzed stations;

6) the obtained results confirm the presence of two periods of warming observed in 1927–1970 and 1971–2021. Based on the quantitative estimates of the average annual surface air temperature obtained in the course of the work, it can be argued that the “modern” warming (1971–2021) is more powerful than the “first” warming (1927–1970).

**Acknowledgments:** The work was supported by the Science Committee of RA, in the frames of the research project 21T-1E215 «Hydro-ecological assessment of winter low water period discharge characteristics of lake Sevan basin rivers».

#### Bibliography

1. Божок Ю.В. Оцінка змін водних ресурсів річки Дунай у XXI сторіччі за сценарієм A18 з використанням моделі «Клімат-стік» [Текст] / Ю.В. Божок, Н.С. Лобода // Український гідрометеорологічний журнал. – Одеса, 2016. – №18. – С. 112-120.
2. Варданян Т.Г. Метеорологія і кліматологія: навч. посіб. для вишів [Текст] / Т.Г. Варданян, В.Г. Маргарян. – Єреван: Вид-во «Астхик Гратун», 2014. – 532 с. [вірменською мовою].
3. Волькенштейн М.В. Ентропія та інформація [Текст] / М.В. Волькенштейн // Проблеми науки та технічного прогресу. – Київ: Наука, 1986. – 192 с.
4. Волков О.Ф. Курс фізики: У 2-х т. Т.1: Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. Електростатика. Постійний струм. Електромагнетизм: Навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів [Текст] / О.Ф. Волков, Т.П. Лумпієва. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – 224 с.
5. Заболотний В.Ф. Фізичні величини. Закони: навч. посіб. [Текст] / В.Ф. Заболотний, Н.А. Мисліцька, Ю.А. Пасічник. – Тернопіль: Навчальна книга – Богдан, 2007. – 56 с.
6. Польовий А.М. Зміна показників термічного режиму повітря в Україні на період до 2030 р. [Текст] / А.М. Польовий., О.О. Дронова, Л.Ю. Божко, Г.О. Боровська // Український гідрометеорологічний журнал. – Одеса: ТЕС, 2014. – №14. – С. 95-104.
7. Фролов І.Е. Зміни клімату Арктики та Антарктики – результат дії природних причин [Текст] / І.Е. Фролов, З.М. Гудкович, В.П. Карклін, В.М. Смоляницький // Проблеми Арктики та Антарктики. 2010. – № 2 (85). – С. 52-61.
8. Дроздов О.А. Кліматологія [Текст] / О.А. Дроздов. – Київ: Наука, 1989. – 568 с.
9. Коваль Я.В. Тенденція змін планетарного клімату та їх можливого впливу на основні сектори української економіки [Текст] / Я.В. Коваль, І.М. Лицар, М.А. Хвесик. – Київ: Логос, 2012. – 268 с.
10. Маргарян В.Г. Мінливість зимових екстремальних низьких температур приземного шару повітря у басейні озера Севан (Вірменія) [Текст] / В.Г. Маргарян // Стійкий розвиток гірських територій. 2020. –Т.12. – №4 (46). – С. 523-531. DOI: <https://10.21177/1998-4502-2020-12-4-523-531>.
11. Маргарян В.Г. Просторово-часова мінливість зимового мінімального місячного стоку у річках басейну озера Севан (Вірменія) [Текст] / В.Г. Маргарян, К.Г. Клименко, Т.Г. Ткаченко // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2020. – № 52. – С. 182–192. DOI: <https://10.26565/2410-7360-2020-52-13>
12. Матвеев Л.Т. Курс загальної метеорології: Фізика атмосфери [Текст] / Л.Т. Матвеев. – Київ: Наука, 1984. – 752 с.
13. Решетченко С.І. Метеорологія та кліматологія : навч. Посіб [Текст] / С.І. Решетченко. – Харків : Вид-во Харківського ун-ту, 2015. – 220 с.

14. Рижєва Н. Предмет історії науки та техніки [Текст] / Н. Рижєва, Л. Грифен. – Sworld-Us Conference Proceedings, 2022. – Вип. 1 (usc09-01), – С. 120–122. DOI: <https://doi.org/10.30888/2709-2267.2022-09-01-010>
15. Савельєв І.В. Курс загальної фізики. Т. 1. Механіка. Молекулярна фізика: навч. посіб. 2-ге вид., перероб. [Текст] / І.В. Савельєв. – Київ: Наука, 1982. – 432 с.
16. Седракян А. Властивості простору і часу. Роль універсальних сталих у фізиці [Текст] / А. Седракян, Л. Акопян // Збірник наукових праць Єреванського державного університету, 2009. – 2(35). – С. 137-140 [вірменською мовою].
17. Седракян А.М. Про квантову фізику. Частина 1. [Текст] / А.М. Седракян. – Єреван: Архітектор, 2021. – 167 с. [вірменською мовою].
18. Трайбус М. Термостатика та термодинаміка [Текст] / М. Трайбус. – Київ: Наука, 1971. – 503 с.
19. Adamo N. Climate Change: Droughts and Increasing Desertification in the Middle East, with Special Reference to Iraq [Text] / N. Adamo, N. AlAnsari, V. Sissakian, K.J. Fahmi and S.A. Abed // Engineering, 14, 2022. – P. 235-273.
20. Balling R. C., Jr. Influence of lunar phase on daily global temperatures [Text] / R. C. Balling, Jr., R. S. Cerveny // Science, 1995. – Vol. 267. – P. 1481–1483
21. Cheredko N.N. The long-term dynamics of surface air temperature [Text] / N.N. Cheredko // Geography and Natural Resources, 2015. – Vol. 36. – P. 154–160.
22. Sestak Ja. Thermotics—theoretical thermal analysis, thermometry and calorimetry [Text] / Ja. Sestak. // Thermal Analysis and Thermodynamic Properties of Solids (Second Edition). Elsevier, 2021. – P. 153-193. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85537-2.00022>.
23. Le système international d'unités. The international system of Units [Text] / Bureau International des Poids et Mesures. Sevres: Cedex, 2019. – 218 p.
24. Pitre L. Déterminations de la constante de Boltzmann Comptes [Text] / L. Pitre, M. D. Plimmer, F. Sparasci, M. E. // Rendus Physique. – Volume 20. – Issues 1–2, 2019. – P. 129-139, DOI: <https://10.1016/j.crhy.2018.11.007>.
25. Lucia U. Macroscopic irreversibility and microscopic paradox: A Constructal law analysis of atoms as open systems [Text] / U. Lucia // Sci Rep 6, 35796. 2016. – 7 p. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep35796>
26. Margaryan V. About the features of the time course of the average annual air temperature in the territory of the Debed river basin (Armenia) [Text] / V. Margaryan, G. Tsubulskii, K. Raevich // E3S Web of Conferences, – Volume 223 (2020), id. 03009. Regional Problems of Earth Remote Sensing (RPERS 2020), 2020. – P. 1-20. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022303009>
27. Chambadal P. Évolution et Applications du Concept D' Entropie [Text] / P. Chambadal. – Paris, 1963. – 279 p.
28. Robaa S. M. Trends of annual mean surface air temperature over Iraq [Text] / S. M. Robaa, Z. J. Al-Barazanji // Nature and Sciences. 2013. – Vol. 11. – № 12. – P. 138-145.
29. Barber D. Sediment-laden sea ice in southern Hudson Bay: Entrainment, transport, and biogeochemical implications. [Text] / D. Barber // Elementa: Science of the Anthropocene. 2021. – P. 1-20. DOI: <https://doi.org/10.1525/elementa.2020.00108>.
30. Steiner A. K. Temperature Changes in the Troposphere and Stratosphere from 1979 to 2018 [Text] / A. K. Steiner // J. Climate, 2022. – Vol. 33. – P. 8165–8194. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0998.1>.
31. Armenia's Fourth National Communication on Climate Change [Text], 2020. – 213 p. URL: [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/NC4\\_Armenia.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/NC4_Armenia.pdf) (дата звернення: 15.04.2023).
32. IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Text]. 2021. – 31 p. URL: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_SPM\\_final.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf) (дата звернення: 14.04.2023).
33. WMO Provisional State of the Global Climate 2022. [Text]. URL: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=11359](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11359) (дата звернення: 15.04.2023).

#### References

1. Bozhok, Y.V., Loboda, N.S. (2016). Assessment of changes in water resources of the Danube River in the 21st century according to scenario A18 using the Climate-Stick model. Odesa, 112-120. [in Ukrainian]
2. Vardanyan, T.G., Margaryan, V.G. (2014). Meteorology and climatology: teaching manual for universities Yerevan, 532. [in Armenian].
3. Volkenstein, M.V. (1986). Entropy and information. Series: Problems of science and technical progress. Kyiv, 192. [in Ukrainian]
4. Volkov, O.F., Lumpieva, T.P. (2009). Physics course: In 2 vols. T.1: Physical foundations of mechanics. Molecular physics and thermodynamics. Electrostatics. Direct current. Electromagnetism: Study guide for students of engineering specialties of higher educational institutions. Donetsk, 224. [in Ukrainian]
5. Zabolotnyi, V.F., Myslitska, N.A., Pasichnyk, Yu.A. (2007). Physical quantities. Laws: education manual Ternopil, 56. [in Ukrainian]
6. Polevyi, A.M., Dronova, O.O., Bozhko, L.Yu., Borovska, G.O. (2014). Changes in indicators of the thermal regime of the air in Ukraine for the period until 2030. Odesa, 95-104. [in Ukrainian]
7. Frolov, I.E., Gudkovich, Z.M., Karklin, V.P., Smolyanitsky, V.M. (2010). Changes in the climate of the Arctic and Antarctic - the result of natural causes. Problems of the Arctic and Antarctic, 2 (85), 52-61. [in Ukrainian]
8. Drozdov, O.A. (1989). Climatology. Kyiv, 568. [in Ukrainian]

9. Koval, Y.V., Lytsar, I.M., Khvesyuk, M.A. (2020). *The trend of planetary climate changes and their possible impact on the main sectors of the Ukrainian economy*. Kyiv, 268. [in Ukrainian]
10. Margaryan, V.G. (2020). *Variability of winter extreme low surface air temperatures in the Lake Sevan basin (Armenia). Sustainable development of mountain areas*, 523-531. DOI: <https://10.21177/1998-4502-2020-12-4-523-531>. [in Ukrainian]
11. Margaryan, V.G., Klymenko, K.G., Tkachenko, T.G. (2020). *Spatial-temporal variability of the winter minimum monthly flow in the rivers of the Lake Sevan basin (Armenia)*. Kharkiv, 182–192. DOI: <https://10.26565/2410-7360-2020-52-13>. [in Ukrainian]
12. Matveev, L.T. (1984). *General meteorology course: Atmospheric physics*. Kyiv, 752. [in Ukrainian]
13. Reshetchenko, S.I. (2015). *Meteorology and climatology: teaching manual* Kharkiv, 220. [in Ukrainian]
14. Ryzheva, N., Griffen, L. (2022). *The subject of the history of science and technology*. Sworld-Us Conference Proceedings, 120–122. DOI: <https://doi.org/10.30888/2709-2267.2022-09-01-010>. [in Ukrainian]
15. Saveliev, I.V. (1982). *General physics course. T. 1. Mechanics. Molecular physics: education manual* 2nd ed., revision. Kyiv, 432. [in Ukrainian]
16. Sedrakyan, A., Hakopyan, L. (2009). *Properties of space and time. The role of universal constants in physics*. Yerevan, 137-140. [in Armenian].
17. Sedrakyan, A.M. (2021). *About quantum physics. Part 1*. Yerevan, 167. [in Armenian].
18. Trybus, M. (1971). *Thermostats and thermodynamics*. Kyiv, 503. [in Ukrainian]
19. Adamo, N., Al-Ansari, N., Sissakian, V., Fahmi, K.J. (2022). *Climate Change: Droughts and Increasing Desertification in the Middle East, with Special Reference to Iraq*, Engineering, 235-273.
20. Balling, R. C., Jr., Cervený, R. S. (1995). *Influence of lunar phase on daily global temperatures*. Science, 1481–1483.
21. Cheredko, N.N. (2015). *The long-term dynamics of surface air temperature*. Geography and Natural Resources, 154–160.
22. Sestak, Ja. (2021). *Thermotics—theoretical thermal analysis, thermometry and calorimetry. Thermal Analysis and Thermodynamic Properties of Solids (Second Edition)*, 153-193. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85537-2.00022>.
23. *Le système international d'unités*. (2019). *The international system of Units*. Bureau International des Poids et Mesures. Sevres: Cedex, 218.
24. Pitre, L., Plimmer, M. D., Sparasci, F. (2019). *Himbert Déterminations de la constante de Boltzmann Comptes. Rendus Physique*, 129-139. DOI: <https://10.1016/j.crhy.2018.11.007>.
25. Lucia, U. (2016). *Macroscopic irreversibility and microscopic paradox: A Constructal law analysis of atoms as open systems*. Sci Rep 6, 7. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep35796>.
26. Margaryan, V., Tsibulskii, G., Raevich, K. (2020). *About the features of the time course of the average annual air temperature in the territory of the Debed river basin (Armenia)*. Regional Problems of Earth Remote Sensing, 1-5. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022303009>.
27. Chambadal, P. (1963). *Évolution et Applications du Concept D' Entropie*. Paris, 279.
28. Robaa, S.M., Al-Barazanji, Z.J. (2013). *Trends of annual mean surface air temperature over Iraq*. Nature and Sciences, 138-145.
29. Barber, D. (2021). *Sediment-laden sea ice in southern Hudson Bay: Entrainment, transport, and biogeochemical implications*. Elementa: Science of the Anthropocene, 1-20. DOI: <https://doi.org/10.1525/elementa.2020.00108>.
30. Steiner, A. K. (2022). *Temperature Changes in the Troposphere and Stratosphere from 1979 to 2018*. J. Climate, 8165–8194. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0998.1>.
31. *Armenia's Fourth National Communication on Climate Change*. (2020). URL: [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/NC4\\_Armenia\\_.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/NC4_Armenia_.pdf) (access date: 15.04.2023).
32. *IPCC, 2021: Summary for Policymakers*. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., and others]*. URL: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_SPM\\_final.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf) (access date: 14.04.2023).
33. *WMO Provisional State of the Global Climate 2022*. URL: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=11359](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11359) (access date: 15.04.2023).

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work

## Фізична сутність температури та оцінка закономірностей розподілу (в басейні озера Севан)

*Армен Седракян<sup>1</sup>,*

к. фіз.-мат. н., доцент кафедри фізики, факультет прикладної математики та фізики,

<sup>1</sup> Національний Політехнічний Університет Вірменії, вул. Терян, 105, Єреван, 0009, Вірменія;

*Вардуй Маргарян<sup>2</sup>,*

к. геогр. н., доцент кафедри фізичної географії та гідрометеорології, факультет географії та геології,

<sup>2</sup> Єреванський державний університет,

вул. Алека Манукяна, 1, Єреван, 0025, Вірменія;

*Світлана Решетченко<sup>3</sup>,*

к. геогр. н., доцент, кафедра фізичної географії і картографії,

<sup>3</sup> Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,

майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна;

*Святослав Дмитрієв<sup>3</sup>,*

аспірант кафедри фізичної географії і картографії

У роботі подається загальнозживане визначення терміну температура, проаналізовано та оцінено часовий розподіл ймовірних показників температури повітря. Визначено, що температура – це величина, що характеризує як тепловий стан системи, так і є мірою енергії, як-то випромінювання земних, небесних тіл. Цей термін пов'язаний з зміною ентропії будь-якої системи, кінетичної енергії, але виступає як головна термодинамічна характеристика стану теплової рівноваги. Розглядаючи поняття температура-випромінювання (енергія), треба враховувати, що система може мати значну енергію, але низьку температуру. Енергія залежить від геометрії (розмірів) системи, а температура – немає такої залежності. Отже, для вивчення особливостей природи будь-яких геофізичних процесів, треба враховувати сучасні наукові розуміння процесу, явища та їх фізичну сутність. На прикладі фактичних даних результатів спостереження, а саме: кліматичних рядів середньої місячної температури повітря «Центру гідрометеорології і моніторингу» ГНКО Міністерства навколишнього середовища Республіки Вірменія, аналізувалися закономірності розподілу температури повітря на території Республіки Вірменія. Встановлена тенденція до зростання температури повітря, що можна розглядати як стан зміни ентропії системи. Вона може швидко змінюватися залежно від екологічних факторів на досліджуваній території (температура росту тепличних господарств, штучне заповнення улоговин, що є хвильовими носіями повітряного потоку, використання зелених насаджень на громадських будівлях та багато інших факторів) під час порушення гранично допустимих норм, що окремо потребує вивчення та заходів профілактики. Проаналізована довгоперіодна мінливість приземної температури повітря в районі басейна озера Севан. Визначена кількісна оцінка зміни клімату в цьому районі за останні 98 років. Аналіз даних вказує на тенденцію до потепління, що характеризується зростанням температури повітря як взимку, так і впродовж багаторічного періоду дослідження. Зміна приземної температури повітря відбувається із швидкістю від 0,002 °C /рік до 0,012°C/ рік та в цілому становить 0,008°C/ рік (або 0,08 °C/10 років) для всіх досліджуваних станцій. Отримані результати підтверджують наявність двох періодів потепління та вказують на тенденцію пом'якшення клімату в районі басейну озера Севан наприкінці ХХ – початку ХХІ століть.

**Ключові слова:** температура, температура повітря, термодинаміка, ентропія, енергія, лінія тренду, потепління, розподіл ймовірності.

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 20 березня 2023 р.

Прийнята 21 квітня 2023 р.



## До питання виокремлення урбаністичних геоситуацій

Денис Серьогін<sup>1</sup>

аспірант кафедри соціально-економічної географії і регіоназнавства,

<sup>1</sup> Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, м. Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна,  
e-mail: [den.seryogin@gmail.com](mailto:den.seryogin@gmail.com),  <https://orcid.org/0000-0002-0169-4468>;

Сергій Костріков<sup>1</sup>

д. геогр. н., професор, кафедра соціально-економічної географії і регіоназнавства,

e-mail: [sergiy.kostrikov@gmail.com](mailto:sergiy.kostrikov@gmail.com),  <https://orcid.org/0000-0002-4236-8474>

Автори подають новітнє поняття урбаністичної геоситуації (УГСит), під якою можна розуміти динамічний аспект існування різних конфігурацій урбаністичного середовища (УС). Вказане поняття подається в рамках концепції урбогеосистем (УГС). УС, у свою чергу, є моделлю реально існуючого (фізичного) міського довкілля. Підкреслюється значення міських мешканців у трансформації статичної урбаністичної конфігурації у геоситуацію. Зазначається ефективність використання даних дистанційного лазерного сканування (лідарні дані) і переходу від двовимірного до тривимірного міського кадастру для виокремлення УГСит. Викладається предметний контент урбаністичної геоситуації і пояснюється її структурна успадкованість при розростанні міст. На прикладі забудов міст Вашингтон та Харків пояснюються особливості формування геоситуацій та їх вплив на міський розвиток. Виникаючі геоситуації в міському середовищі є повторюваними і формують різнорангові патерни геоситуацій. Виокремлення таких патернів впроваджується на підставі ГІС-функціональності візуального аналізу архітектурної морфології міста. Наводиться приклад дослідження патернів геоситуацій за допомогою структурованих наборів лідарних даних. Пояснюється динамічна мінливість геоситуацій в контексті щоденної концентрації населення в міському середовищі при зміщенні його центрів тяжіння. Підкреслюється, що УГСит формують структурні інваріанти УГС і можуть бути представлені у якості дискретних ГІС-сутностей. Авторами пропонується веб-ГІС, яка надає інструменти для виокремлення та аналізу УГСит на підставі лідарних даних. Наводяться також користувацькі сценарії, які можуть бути розраховані в даній веб-ГІС за обраними геоситуаціями, а саме: аналіз видимості, оцінка енергоспоживання будівель та оцінка чисельності населення по архітектурній морфології міста.

**Ключові слова:** геоситуація, урбогеосистема, геоситуаційний патерн, урбаністична конфігурація, міське середовище, урбаністичні дослідження, ГІС, лідарні дані.

**Як цитувати:** Серьогін Денис. До питання виокремлення урбаністичних геоситуацій / Денис Серьогін, Сергій Костріков // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 58. – С. 241-256. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-19>

**In cites:** Serohin Denys, Kostrikov Sergiy (2023). Towards urbanistic geosituation delineation. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (58), 241-256. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-19> [in Ukrainian]

**Вступ до наукової проблеми.** Функціонування та розвиток сучасних міст породжують низку проблем та висувають ряд невідкладних завдань, які можна вирішувати виключно на основі інноваційних теоретичних підходів та новітніх технологічних розробок. Наприклад, авторами цієї статті розроблялася концепція *візуального аналізу міського середовища* (ВАМС) як складова загального *урбогеосистемного підходу* у суспільній географії [8, 11, 21]. Ключовою складовою цих підходу і концепції є *урбаністичне середовище* (УС) як модель реально існуючого фізичного довкілля міста. Континуальна природа (*квазірастерастрове подання*) УС, як формалізованої моделі міського середовища, протиставляється дискретній природі (*квазівекторне подання*) урбогеосистеми (УГС), як ієрархічній сукупності функціональних урбогеосистемних складових – точкових, лінійних та площинних ГІС-примітивів у тривимірному просторі.

Представлена підхід і концепція містять певні методологічні особливості обробки даних дистанційного зондування щодо урбанізованих те-

риторій, зокрема, через лідар-засоби (*LiDAR, Light Detection and Ranging* – англ.). Результати вказаної обробки формують тривимірну картину навколишнього простору, що корегується із здібностями певних сучасних повноформатних ГІС-платформ надавати візуалізацію у вигляді Тривимірної Сцени [9]. Результати дистанційного зондування міського середовища з подальшою обробкою і аналізом похідних даних успішно використовуються для виокремлення різних *конфігурацій* урбаністичного середовища [10]. Конфігурація УС – статична картина співвідношень, прямих і зворотних зв'язків об'єктів, процесів та явищ у міському довкіллі. Подання цієї самої картини у динамічній площині і буде, на нашу думку, представленням *урбаністичної геоситуації* (УГСит).

Саме таке теоретичне підґрунтя, на нашу думку, дає можливість визначення поняття та подання сутності урбаністичної геоситуації – динамічної картини у певному екстенсті географічного простору функціональних співвідношень об'єктів, процесів та явищ у міському середовищі із прямими та зворотними зв'язками між ними. У

вказаному полягає мета цієї статті.

**Досвід попередніх досліджень.** Незважаючи на визначені претензії на оригінальність геоситуаційної концепції, які подавалися ще так званою Казанською школою радянської географії (вказані пошуки і нароби дещо пізніше були фіналізовані визначено аморфною категорією «соціально-економічної геоситуації» [18]), дійсно ж *геоситуаційна парадигма (ГП)* була започаткована ще у середині 1960-х років в основному у західній англійській географії [17].

У наш час, західна ГП трансформувалася у надскладну предметну галузь, де, наприклад, вважається, що геоситуаційний підхід має ширші можливості у порівнянні із «ортодоксальним» системним підходом, оскільки він може бути застосований як до системних, так і до несистемних геосутностей [16]. Подібний висновок у джерелі, на яке ми посилаємося, робиться у предметній площині штучного інтелекту (ШІ). Саме дефініції *сталого обумовленості* та *структурованої причинності* сукупності географічних подій є підґрунтям для введення поняття геоситуації (ГС) у рамках нейронної мережі (НМ) географічних подій. За допомогою апробованих методів впровадження НМ – «вибірка з навчанням, без навчання», «графи знань» тощо – автори вважають можливою відповідь на питання щодо будь-якої географічної події – чому остання виникла?

Заслуговує, вважаємо, окремої уваги дослідження, яке, за думкою його авторів, запроваджує новітні принципи виокремлення геоситуацій у землекористуванні з точки зору методологічних засад предметної галузі геоєкології [15]. Вказані автори вводили певні *індекси-співвідношення* геоєкологічно додатних («гео-додатні») та геоєкологічно від'ємних («геовід'ємні») типів (систем) землекористування (*land use / land cover systems – LULC*, англ.). «Гео-додатні» системи землекористування вважалися «більш близькими до природних систем», що, на нашу думку, виглядає деяким спрощенням. На додаток до індексу геоситуацій був введений параметр «відсотка геопозитивних типів». Масштабування введених параметрів дозволило авторам отримати увесь діапазон сконструйованих сутностей – від найбільш сприятливих для сталого землекористування ГС до катастрофічних. Хоча автори цього дослідження і оперували дефініцією «система», однак фактично – лише як з синонімом «типу землекористування». Тобто усе подане можна визначено вважати тим саме прикладом подання геоситуаційного підходу, як альтернативи системного.

Щодо співвідношення цих двох фундаментальних підходів треба окремо зазначити існування такої точки зору, згідно з якою вони не є альтернативними, а лише доповнюють один одного у

рамках відомих фундаментальних категорій «геосистема» та «теорія поля у географії» [14]. Геосистема, на думку авторів, має відбивати «організацію географічного об'єкту», а геоситуація – його динаміку.

Тобто, зважаючи як на декларовану альтернативність геоситуаційного і системного підходів відповідно одним авторам, так і на їх взаємне доповнення, відповідно іншим дослідникам, можна зробити наступний попередній висновок. Геосистемний підхід так саме, комплексно та ієрархічно, як і у предметному прикладі «геоситуації через НМ» [16], або у площині геоєкологічної предметної галузі [15] і теорії поля у географії [14] може характеризувати обстановку, стани і функціонування географічних складових міського середовища, що складаються у цілісні урбогеосистеми [8, 11, 20], саме через залучення такого новітнього поняття, як «урбаністична геоситуація». Йдеться про поєднання геоситуаційної парадигми із урбогеосистемним підходом при моделюванні при моделюванні фізичного міського довкілля через гадану вище конструкцію «урбаністичне» середовище.

Раніше ми вже доводили значущість візуального аналізу міського довкілля в рамках урбогеосистемного підходу [21]. Відповідно, доцільно припустити домінуюче значення цієї концепції у виокремленні міських конфігурацій і урбаністичних геоситуацій. Тим більш, що у вказаному предметному відношенні достатньо дослідників повідомляли про суттєві доробки. У зазначеному аспекті, слід у першу чергу брати до уваги, що застосування подібної методики візуальної оцінки у межах такого складного комплексно-ієрархічного об'єкта як міське довкілля, відрізнятиметься від використання, наприклад, такого відомого інструменту, яким є *Viewshed Analysis - VA* (англ.) природного рельєфу місцевості [5]. У вказаному відношенні доречно послатися, на перший погляд здавалося б, досить окремий випадок застосування VA [19]. У цій статті її автор описує урбанізоване середовище, як тривимірний порожній *публічний простір* (ПП) між різними структурами міської забудови, простір, у який також включається переміщення у часі (у межах цього простору) «його користувачів», тобто – міських мешканців. Відповідно до зробленого визначення, можна припустити, що останні стають ключовим чинником трансформації статичної сутності у динамічну: *конфігурація УС => урбаністична геоситуація*.

Щодо зробленого автором, на якого ми посилаємося визначення урбанізованого середовища (фактично це – аналог фізичного *міського довкілля*, яке ми описували у [21]), то воно достатньо наочно ілюструється порівнянням *2D цифро-*

вого плану міста із виокремленим ПП з 3D сценою тієї самої урбанізованої території. Тобто, подається певне ілюстративне уявлення трансферу від 2D- до 3D Міського Кадастру, яке спирається на, повторюємо, здавалося б окремих випадок розгляду об'єкта великої міської структури (комплексу PZM / Radisson Hotel, що у м. Щецин, Польща). У двох аспектах VA - по-перше, цей комплекс є вираженим міським як функціональним, так і візуальним атрактором; по-друге, це найважливіша точка спостереження за величезним сегментом найближчого сусідства у міському середовищі. Основний висновок, який робиться автором дослідження на яке ми посилаємось, полягає у тому, що правильно налаштована тривимірна (віртуальна) модель міського середовища (3D City Model – англ.) повинна розпізнавати та визначати типологію порожнього простору між міськими будинками та спорудами. На нашу думку, саме структурування такої типології може бути основним предметом для досягнення тих цілей VA, які можуть бути пов'язані з виокремленням УГСит. Такі цілі обговорюються, як і пропонуються відповідні рішення у цілій низці літературних джерел [ 1, 2, 4, 6, 12, 13].

**Викладення основного матеріалу. Предметний контент урбаністичної геоситуації.** Дещо перефразуючи зробленого у вступі визначення урбаністичної геоситуації, можна сформулювати, що УГСит – це саме *динамічний аспект* певного стану міського середовища, у якому існують об'єкти, процеси і явища з урахуванням особливостей стану їх самих, і які знаходяться у діалектичній єдності з цим міським середовищем. Урбаністичні геоситуації існують об'єктивно. Вони періодично виникають, функціонують, розвиваються, зникають і складаються знову на різних просторових рівнях певного міста й у різні відрізки часу.

В якості УГСит можна представити певний фрагмент міського середовища у певний момент часу з унікальними урбогеосистемними властивостями та параметрами в межах досліджуваного міста. При цьому геоситуація може бути виокремлена лише у визначеному контексті дослідження міста. Наприклад, при аналізі щільності населення міста, у якості УГСит можуть бути виділені ділянки міста з максимальними або мінімальними показниками щільності. У той же час ці ж ділянки можуть бути пропущені при дослідженні УГСит у контексті аналізу карт забруднення повітря – в даному випадку, у якості геоситуацій можуть бути виділені ділянки з підвищеними показниками забруднення. Таким чином, подібною геоситуацією може стати будь-яка ділянка міста, яка певним чином виділяється від решти міста та представляє інтерес в контексті поточного дослідження.

Важливою властивістю геоситуацій, взагалі, і УГСит, зокрема, є їхня мінливість. Конфігурації УГСит постійно змінюються та доповнюються у міському середовищі як у вертикальному напрямку (створення нових вертикальних забудов), так і у горизонтальному напрямку (реновація старих забудов). Мінливість УГСит обумовлює утворення різноманітних структурних інваріантів урбогеосистеми. Вони існують у певному часовому відрізку. Можна припустити, що геоситуації у міському просторі пов'язані між собою відносинами, існує певна структурна успадкованість у тому розвитку; наступна геоситуація має «структурну пам'ять», що несе відображення попередніх УГСит.

**Структурна успадкованість** урбаністичних геоситуацій яскраво проявляється при розростанні міст та активізації урбанізаційних процесів. Ще на початковому етапі формування певного міста, воно набуває певних структурних ознак та особливостей планування вулично-дорожньої мережі та забудови., які надалі будуть успадковуватися при подальшому міському розвитку. Так, побудова нових районів чи розширення транспортної мережі зазвичай виконується з урахуванням існуючого планування міста, що частково утворює фрактальну подібність міського візерунка. За рахунок такої структурної успадкованості у міста формується певний архітектурно-історичний образ і упізнаваний пейзаж, який сам по собі стає історичною пам'яткою міста, яку важливо зберегти у первісному вигляді [11]. Однак, при інтенсифікації економічного та технологічного розвитку підтримка історичного образу міста може бути недоцільною в умовах урбанізації. У такому разі або починають забудовуватися нові райони, у певному віддаленні від історичного центру, або ж ухвалюються оптимізаційні рішення щодо реставрації та модернізації історичних районів.

Варто зазначити, що структурна успадкованість в нових районах міста послаблюється при віддаленні від його історичного центру. Нові райони зазвичай забудовуються згідно з сучасними принципами урбаністики, спрямованими на ефективне використання міського середовища в умовах стрімкого росту населення. Якщо ж район наближений до центру, то в ньому більшою мірою виявлятиметься структурна успадкованість, оскільки такі райони будуть більш прив'язані до історичних вулиць, які вже забудовані за певним плануванням, окрім того, до цих районів може бути заданий дизайн код або вимоги до висот будівель, які запобігають порушенню історичного міського пейзажу [19]. З появою нових районів формуються нові УГСит, які надалі також будуть успадковуватися, проте на нижчому структурному рівні. Таким чином, дослідження УГСит дозволяє

відстежити хронологію змін та розвитку міського середовища.

**Виокремлення урбаністичних геоситуацій через загальну VA-функціональність.** Структурну успадкованість УГСит можна відстежити на підставі загального візуального аналізу (мається на увазі звичайний перегляд користувачем результатів VA-функціональності ГІС) при порівнянні сучасних карт великих міст та їх історичних планів забудови. Тут також доцільно приймати до уваги таке важливе поняття як *архітектурна морфологія* певного міста, поняття якої можна приймати за формалізоване підґрунтя виокремлення як урбаністичних конфігурацій, так і геоситуацій [3].

На рис. 1, складеного авторами, наведено

приклад порівняння плану міста Вашингтон, складеного П'єром Ланфаном в 1792 з його реалізацією на сучасній карті даного міста. Червоною лінією обведена зона, яка забудована саме за планом Ланфана. У цій зоні добре підтримана структурна успадкованість, тому що зона є плановою, і за період її забудови не відбувалося істотних змін, які б вимагали реорганізації плану забудови. Хоча при детальному порівнянні плану з його реалізацією можна виявити безліч невідповідностей, що виникли через недостатній контроль забудови, у цілому, загальні обриси плану були збережені. Вся ця зона, забудована за історичним планом, є окремим патерном УГ. Цей патерн простежується на всіх її ділянках.

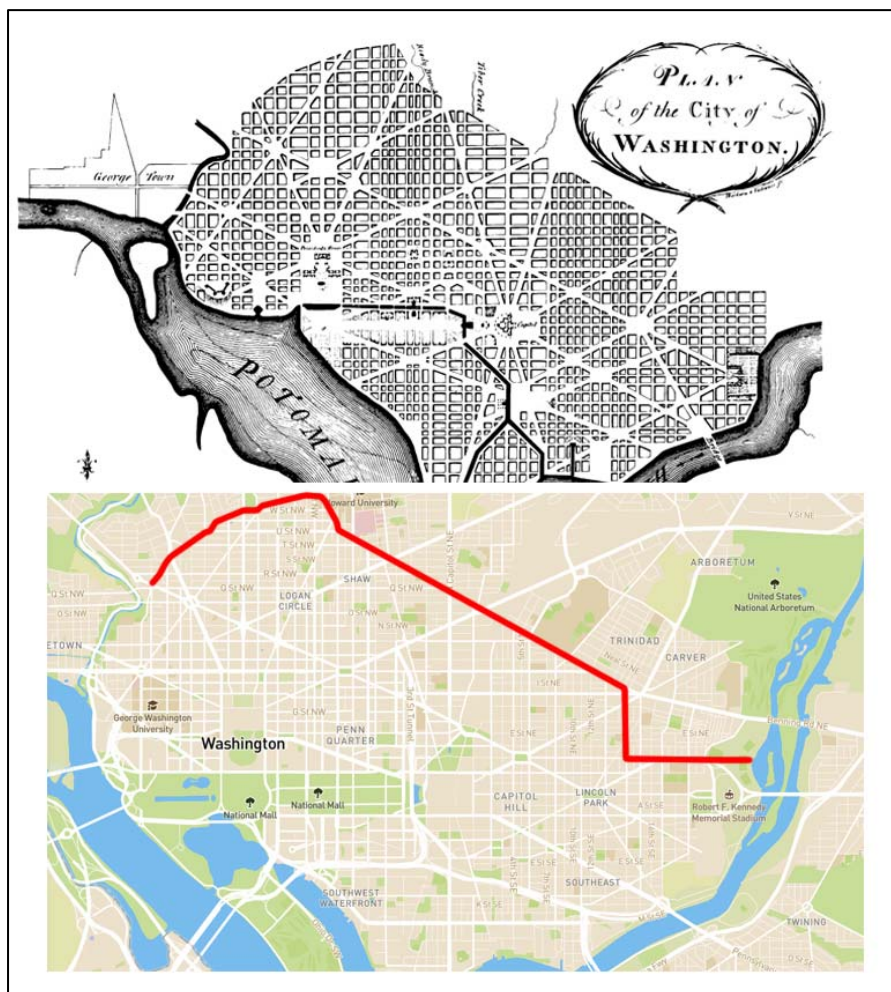


Рис. 1. Історичний план міста Вашингтон, складений в 1792 році та його сучасне відображення на карті OpenStreetMap /  
Fig. 1. Historical plan of the city of Washington, made in 1792 and its modern display on the OpenStreetMap map

Певні структурні властивості також простежуються і поза зоною історичного плану, що підтверджує структурну успадкованість УГСит, але що далі розростається місто від червоної лінії, то слабкіше її прояв. Прилеглі райони все ще наслідують певні особливості планування, такі як площа, висота будівель та їх упорядкованість, але

в них вже спостерігаються деякі відмінності у прокладанні доріг та щільності забудови. На рис. 2, таким чином, вже можна порівняти сучасну забудову планової зони та прилеглої до неї нового району. Зокрема, простежується зміна у прокладанні кварталів – раніше вони забудовувалися у паралельному порядку, тепер – перпендикулярно

існуючим. Зрозуміло, за фіксованими ілюстраціями у статті важко подати суто динамічний характер розвитку геоситуації, однак цього, на нашу думку достатньо для встановлення загального тренду.

Якщо провести порівняння між двома віддаленими районами, то тут спостерігається вже суттєвіша різниця. На рис. 3А зображена УГСит одного зі старих, центральних житлових районів м.

Вашингтон, на рис. 3Б зображений район, що з'явився пізніше, також із житловою забудовою. Хоча у новому районі все ще успадковано паралельне розміщення кварталів, сама забудова вже суттєво модернізована. У новій забудові відстежуються нові на той момент тренди районного планування, що ґрунтуються на зниженні щільності розміщення будівель для підвищення комфорту проживання в цих районах.

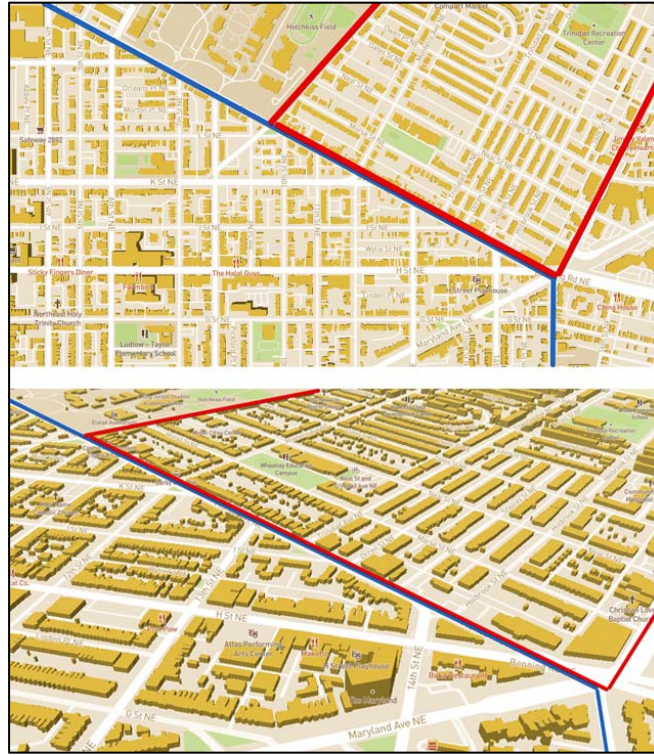


Рис. 2. Сучасна забудова м. Вашингтон (за синіми лініями - забудова за історичним планом, за червоними - нова забудова), візуалізована у середовищі MapBox /

Fig.2. Modern buildings of the city of Washington, visualized in the MapBox environment (by blue lines - buildings according to the historical plan, by red lines - new buildings)



Рис. 3. Порівняння геоситуацій старого (А) і нового (Б) житлових районів м. Вашингтон візуалізованих у середовищі MapBox /

Fig. 3. Comparison of the geosituations of the old (A) and new (Б) residential areas of the city of Washington visualized in the MapBox environment

Утворення нових УГСит у міській забудові може бути обумовлено різними факторами: зміна влади на різних рівнях управління, зміна держави, яка контролює територію міста, зміна курсу економічного розвитку, трансформація економіки, трансформація функціонального призначення міста, поява нових містобудівних трендів та нових архітектурних стилів, військові дії, стихійні лиха тощо. Деякі з перерахованих факторів призводять до доволі різких змін у містобудуванні, що може як позитивно, так і негативно позначитися на рівні і якості життя в місті. За таких змін спостерігається мінімальна структурна успадкованість УГСит, і це добре відстежується на сучасних міських картах.

**Прикладний аспект визначення урбаністичних геоситуацій та геоситуаційні патерни.** Прикладом різких змін у міській забудові є масове панельне будівництво у м. Харкові після другої світової війни. Було розроблено безліч проєктів для розміщення спальних районів поблизу

промислових підприємств разом із підтримкою транспортної інфраструктури, яка забезпечувала оптимальну комунікацію між заводами та житловими зонами, в яких проживали працівники відповідних заводів.

При такому підході до забудови практично ігнорувалась структурна успадкованість від попередніх районів та підтримка історичного образу міста, хоча така забудова утворила нову УГСит, структурні властивості якої надалі успадковувалися при розширенні забудови нових спальних районів. На рис. 4 зображено приклад різкого переходу у планувальній структурі при забудові Немишлянського району міста Харків. Нова багатоповерхова забудова суттєво вплинула на існуючі поселення: відбулося різке зменшення концентрації населення, у зв'язку з чим зросло шумове забруднення, що позначилося на якості життя у приватному секторі, який був забудований ще до радянської влади.



Рис. 4. Розміщення старої та нової забудови у Немишлянському районі міста Харків, візуалізоване у середовищі MapBox /

Fig. 4. Location of old and new buildings in the Nemyshlyansky district of the city of Kharkiv, visualized in the MapBox environment

Ряд проєктів із багатоповерхової забудови нових спальних районів так і не було реалізовано за початковим задумом. Через мінливість планів забудови та мінливість радянської влади місто забудовувалося непослідовно. Замість єдиної планувальної структури в місті утворилося безліч мікрорайонів із власними УГСит, яким були характерні унікальні за своєю архітектурою в межах району будівлі та унікальні особливості їхнього взаємного розміщення. В результаті такої непланомірної забудови виникла істотна диференціація якості життя не лише між сусідніми мікрорайонами, а й сусідніми дворами, або навіть окремими

будинками, хоча всі вони є частиною забудови одного району.

Згодом наслідки допущених під час планування помилок можуть посилюватися на рівні окремих геоситуацій. Зростання кількості населення, зростання кількості особистих автомобілів, поява нових супермаркетів і торгових центрів призводить до незбалансованого розподілу населення, переповнення автопаркувань в окремих дворах, зниження транспортної доступності будівель, що знаходяться в глибині району, підвищення шумового забруднення тощо [9]. Подібних проблем можна було запобігти на етапі плануван-

ня, якби до уваги бралися існуючі та виникаючі УГСит. Нині ж низка таких проблем є практично незворотною за умови збереження будівель.

На рис. 5 зображено приклад проблемної геоситуації, що виникла через непослідовну забудову району. Будівлі А та Б розташовані за 40 метрів одна від одної, але при цьому вони були збудовані в різний період часу – будівля Б була збудована задовго до будівлі А. Фактично будівлі відносяться до різних геоситуацій у контексті планувальної структури: у них різний об'єм, площа, поверховість, порядок розміщення тощо. Будівля А відноситься до сектора будівель, які були збудовані на місці порожнього простору, що утворився між двома іншими секторами, забудованими раніше. Хоча обидві будівлі знаходяться поряд одна з одною, через хаотичну планувальну структуру виникла істотна диференціація за рівнем транспортної доступності цих будівель. Для того, щоб дістатися автомобілем до найближчої вулиці з

будинку А необхідно подолати майже в 3 рази більшу відстань, ніж з будинку Б. Така обставина не тільки позначається на рівні життя місцевих жителів, а й ускладнює обслуговування цього району загалом. Наприклад, сміттевозам доводиться заїжджати в кожен такий двір окремо, витрачаючи час та бензин; автомобілям швидкої допомоги та пожежникам доводиться долати набагато більшу відстань для того, щоб дістатися місця, до якого можна було б дістатися швидше при більш грамотному плануванні. Крім того, для економії часу деякі жителі з будинку А використовують в'їзд до будинку Б і місця для паркування біля цього будинку – це також викликає локальні конфліктні ситуації. Подібні проблеми, що виникають на рівні геоситуацій, викликають ефект доміно і сповільнюють функціонування всього міста. Ігнорування УГ призводить до того, що проблеми повторюються, успадковуються та посилюються.



Рис. 5. Проблемна геоситуація у житловому районі м. Харків (будівля А – пізня забудова, будівля Б – рання забудова), візуалізована у середовищі MapBox /

Fig. 5. A problematic geosituation in a residential area of Kharkiv, visualized in the MapBox environment (building A – late construction, building B – early construction)

З використанням тривимірних карт та супутникових знімків можна виявляти безліч УГСит у міському плануванні, порівнювати їх між собою, оцінювати їх переваги та недоліки, виявляти тенденції, екстраполювати розвиток геоситуацій у майбутньому та приймати оптимальні рішення для запобігання негативним наслідкам такого розвитку.

Однією з властивостей УГСит є те, що вони повторюються – одна і та сама геоситуація за збігом певних конфігурацій може багаторазово спостерігатися у певному екстені урбанізованого

простору. Геоситуації, що повторюються зі спільними властивостями, на нашу думку, формують *різноманітні патерни геоситуацій*. Загалом чим вище ранг патерну – тим більші території він охоплює та за більш узагальненими властивостями і параметрами. Наприклад, одноповерхова забудова у місті формує патерн високого рангу, але в межах території такого патерну можуть бути виявлені патерни низького рангу – це окремі ділянки, які об'єднуються за більш вузьким набором властивостей, наприклад, одноповерхові будівлі з двосхилими дахами. Патерни УГСит можуть

також бути сформовані унікальними конфігураціями їх елементів, наприклад взаємним розміщенням будівель різних розмірів, що мають певну впорядкованість.

*Високорангові патерни* зазвичай характеризують сталі геоситуації, які мають власний історичний контекст утворення – до таких геоситуацій можуть відноситись окремі вулиці та райони міста, забудовані в певну історичну епоху, або ж цілі міста. *Низькорангові патерни*, у свою чергу, характерні більш мінливим геоситуаціям, які виникли внаслідок локальних природних особли-

востей та умов місцевості, чи внаслідок локальних подій в міському середовищі, наприклад, появи підприємств, офісних та торгових центрів, що стягують концентрацію населення.

На рис. 6 зображений приклад виокремлення різнорангових патернів геоситуацій на прикладі одного із районів міста Харкова. Території з одноповерховою та багатоповерховою забудовою формують два різні патерни високого рангу. Далі, у межах багатоповерхової забудови виділяється безліч низькорангових патернів геоситуацій.

Вказану просторову класифікацію, якою є



Рис. 6. Виокремлення різнорангових патернів геоситуацій у м. Харків з використанням додатку Google Earth /

Fig. 6. The delineation of different rank patterns of geosituations in the city of Kharkiv using the Google Earth application

виокремлення геоситуаційних патернів у певному географічному екстенсі урбанізованого простору, на нашу думку, важко переоцінити у аспекті, наприклад, визначення функціонального значення урбогеоситеми при аналізі певних особливостей міського соціуму [25].

Вище йшлося про так звані *кінцеві геоситуаційні патерни*. Чим більше враховується змінних при розгляді архітектурної морфології міста для виокремлення геоситуацій, тим більше різних *проміжних патернів* можна виділити. Наприклад, якщо розглядається розміщення будівель тільки в горизонтальному напрямку – буде виділено один набір патернів, якщо ж буде враховуватися і вертикальний напрямок (тобто, висота забудови), тут може спостерігатися вже інший набір патернів, у

новій комбінації [24].

Тривимірні карти (*3D Сцени*, як визначалося вище) дозволяють виділяти такі геоситуації, які неможливо виявити на звичайних двовимірних носіях картографічної інформації, навіть – цифрових. Так, на рис. 7 зображені двовимірні та тривимірні карти однієї і тієї ж ділянки забудови. На рис. 7Б виділено ділянку з більш багатоповерховою забудовою, порівняно з іншими ділянками. Ця ділянка на тривимірній карті формує окрему УГСит, яка при цьому не відстежується на двовимірній карті (рис. 7А). Наведений приклад ще раз демонструє суттєві переваги тривимірного міського автоматизованого кадастру перед двовимірним, про що нами вже робилося зауваження вище у тексті.



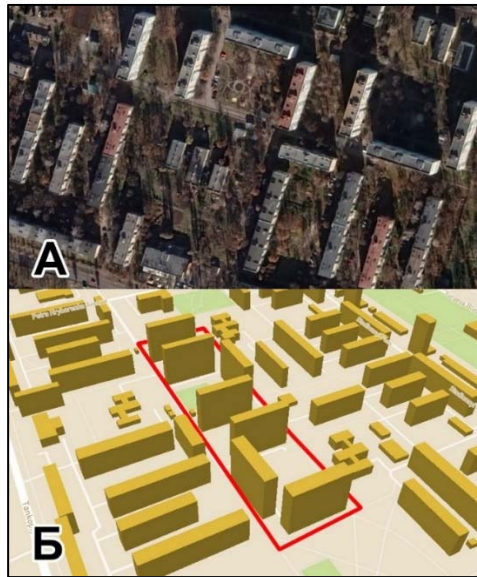


Рис. 7. Порівняння двовимірної (А) та тривимірної (Б) візуалізації геоситуації в урбанізованому середовищі /

Fig. 7. Comparison of 2D (A) and 3D (B) visualization of the geosituation in an urbanistic environment

**Компаративний аналіз геоситуаційних патернів.** На підставі геоситуаційного підходу можна ефективно порівнювати між собою різні патерни геоситуацій, виокремивши з них окремі геоситуації однакової площі. Для порівняння можна використовувати ГІС-інструменти та тривимірні моделі відповідних геоситуацій, за якими можна візуально проаналізувати місцевість, а також обрахувати різні кількісні показники, такі як щільність забудови, середня площа, висота будівель, їх дисперсія, тощо. За рахунок такого аналізу можна дати певну узагальнену оцінку стосовно ефективності використання території для того чи іншого патерну геоситуацій, наприклад, можна оцінити характер урбанізаційних процесів, комфортність проживання, рівень завантаженості території, тощо. Використання рівних за площею територій дозволяє обчислити середні та оптимальні кількісні показники для цілого району чи цілого міста. Хоча такий розрахунок не дає вичерпної оцінки про реальну обстановку на обраній території, він дає можливість висувати певні припущення про потенційні проблеми, які можуть бути актуальними для однієї території, та не є актуальними для іншої.

Вище у цьому тексті ми вже наводили приклади застосування загальної VA-функціональності ГІС для виокремлення геоситуацій по результатах перегляду користувачем результатів побудови 3D сцен. Щодо компаративного аналізу геоситуаційних патернів (КАГП) ми пропонуємо застосування у перспективі чотирьох наступних предметних сегментів інструментарію повноформатної ГІС-платформи (наприклад, *ArcGIS 10.X*), три з яких знаходяться поза загальною візуаліза-

цією:

- *Аналіз близькості і оверлей:*
  - вимірювання відстаней;
  - побудова буферних зон;
  - визначення перетину об'єктів;
- *Аналіз динаміки процесів та явищ:*
  - об'ємометричний аналіз феномену, який розраховує моделі просторового розповсюдження;
    - аналіз потокової динаміки;
- *Визначення 3D щільності процесів:*
  - просторова тривимірна диференціація звичайних двовимірних даних по території міста (наприклад – демографічних);
    - *Загальна VA-функціональність* (аналіз видимості):
      - виокремлення геоситуаційних патернів із різних точок спостереження.

Ще раз треба підкреслити, що впровадження трьох із чотирьох предметних сегментів КАГП – ціль наших майбутніх досліджень, а тут ми обмежуємося лише загальним аналізом видимості архітектурної морфології у певних екстентах урбанізованого простору (рис. 2-7).

Необхідність порівняння патернів геоситуації по територіям з однаковою площею вдало поєднується з особливістю збору та обробки лідарних даних (*LiDAR*, про що вже згадувалося у Вступі до статті), які для полегшення їх аналізу розбиваються на окремі, рівні за площею квадрати – тайли. Вдало розташовані тайли можуть повністю відповідати окремому патерну геоситуації, що, повторюємо, значно полегшує його виокремлення. У ході обробки цих даних з таких тайлів витягуються тривимірні моделі будівель, і

саме ці моделі надалі аналізуються в ГІС і зіставляються з моделями інших тайлів. Один із авторів цієї статті тексту вже виконував таке порівняння забудови окремих тайлів лідарних даних по місту Вашингтон: для побудови тривимірних моделей було обрано окремі патерни житлової забудови, які представляли інтерес для оцінки щільності

збудови та архітектурної морфології (рис. 8А) [23]. Також для тайлів всього міста було розраховано показники щільності забудови, середньої площі та висоти будівель, розподіл яких був візуалізований на двовимірній карті тайлів міста Вашингтон (рис. 8Б).

Таким чином, геоситуаційний підхід є, на

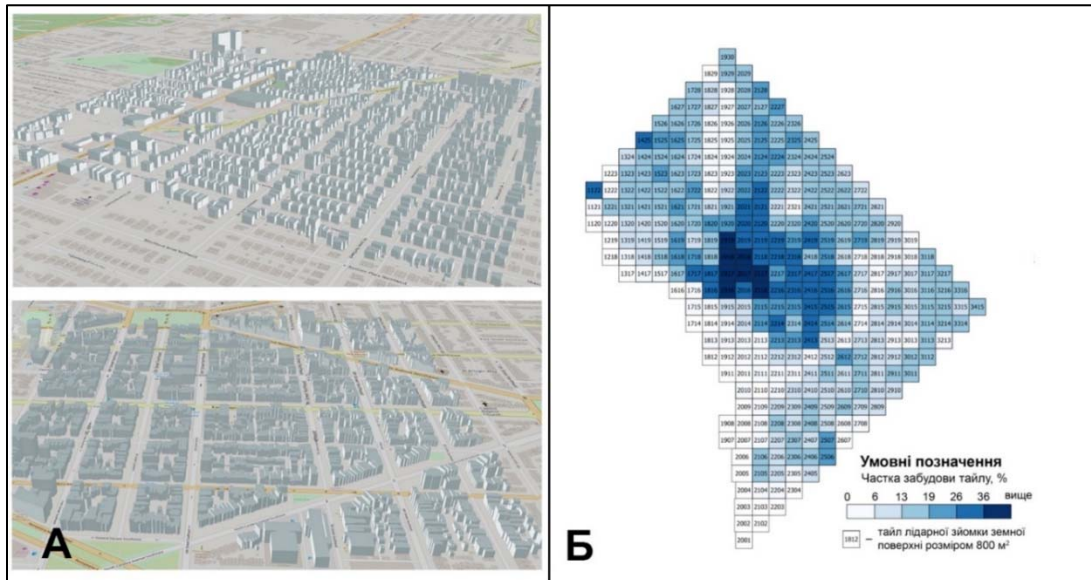


Рис. 8. Тривимірна візуалізація патернів геоситуацій (А) та карта щільності забудови м. Вашингтон (Б) на підставі лідарних даних [23] /

Fig. 8. 3D-visualization of geosituation patterns (A) and a map of the buildings density in the city of Washington (B) based on lidar data [23]

нашу думку, дуже зручним саме при аналізі лідарних даних, оскільки для нього може бути достатньо невеликих фрагментів даних, що покривають лише окремі геоситуації міста. Для вивчення певної геоситуації можна змоделювати лише забудову з конкретного патерну геоситуації, далі проаналізувати цю забудову, порахувати кількісні показники, дати оцінку планування, архітектурної морфології, після чого поширити вилучені властивості на інші ділянки міського середовища, які стосуються даного патерну. Такий підхід особливо актуальний для міст із високою структурною успадкованістю у міському плануванні.

**Динамічна мінливість геоситуацій. Патерни геоситуацій і користувачькі сценарії їх виокремлення через веб-ГІС.** Ще однією властивістю УГСит, яка має бути обговорена, є їх мінливість. Так, незважаючи на те, що УГСит на відміну від урбаністичної конфігурації є динамічною сутністю сама по собі, її мінливість можна вважати, так би мовити, «динамічним параметром другого порядку».

Ця властивість має проявлятися при дослідженні міста в контексті щоденного розподілу концентрації населення. У високоурбанізованих містах регулярно відбуваються зміни, пов'язані або з появою нових об'єктів різного призначення

(магазинів, закладів громадського харчування, парків, спортивних майданчиків, арт-об'єктів, інсталяцій, ярмарків тощо) або зі зникненням таких об'єктів. Такі зміни призводять до виникнення УГСит навколо певних центрів тяжіння міського населення. Ці геоситуації є непостійними – вони періодично з'являються, зникають та зміщуються в залежності від пори доби, пори року, або специфіки функціонування відповідних центрів тяжіння. Наприклад, поява нового торговельного центру у місті викликає тимчасове транспортне навантаження на дорогах та стоянках навколо цього торговельного центру, але згодом у населення падає інтерес до цього закладу, і відповідно знижується транспортне навантаження. Однак, навантаження може знову підвищитися в цьому ж місці в окремі періоди року, наприклад, перед святами, коли у населення підвищуються потреби в послугах об'єктів торгового центру. Патерни геоситуацій такого роду найкраще проявляються на *теплових картах міста*. Вони також можуть бути як вищого рангу, наприклад, центри тяжіння навколо центральних вулиць міста та історичних паркових, рекреаційних зон, так і нижчого рангу – навколо окремих закладів.

Як вже зазначалося раніше, урбаністичні геоситуації формують структурні інваріанти урбо-

геосистеми. Таким чином, патерни геоситуацій є окремими частинами УГС на її різних ієрархічних рівнях. Якщо ми виокремлюємо певні урбогеосистемні властивості на рівні певної геоситуації, можна очікувати, що ці ж властивості спостерігатимуться і у інших урбаністичних геоситуаціях, що утворилися за аналогічних умов, тобто тих, що відносяться до аналогічних патернів. Якщо досліджувана геоситуація характеризує певну проблему у забудові, що впливає на функціонування міста та комфортність проживання, то її можна зафіксувати, вивчити причини її виникнення, і запобігти її поширенню у подальшій забудові міста за поточним патерном.

Для пошуку, виокремлення та аналізу УГСит пропонується використання двох складових: карти глобального покриття (відкриті бази геоданих) та ГІС-інструментарій (рис.9). Карти дозволяють виконати попередній перегляд та оцінку місцевості, виокремити УГСит та завантажити для неї необхідні дані. До таких карт відносяться *OpenStreetMap*, *Google Earth*, *MapBox*, а також різні карти, що надають відкритий доступ до геопросторових даних щодо певних країн/міст. Як правило, до таких карт додається відповідний інструментарій, що дозволяє отримувати потрібні дані з досліджуваної геоситуації [23, 24]. Вилучені дані потім завантажуються в ГІС (як настіль-

ні, веб- так і портативні), які надають безліч інструментів для візуалізації, відтворення та аналізу геоситуацій. Загальна схема операційних процедур і похідних результатів наводиться на наступній ілюстрації (рис. 9).

Сама по собі УГСит може бути розкладена на сукупність точкових, лінійних та полігональних об'єктів, як і будь-яка інша ГІС-сутність, наприклад – та сама урбогеосистема [8, 11]. Але також вона може бути сукупністю дискретних тривимірних моделей забудови. До таких сутностей може бути також привласнена різна атрибутивна інформація, отримана з тих же самих відкритих джерел або розрахована у самій ГІС [22].

Сукупність ГІС-об'єктів, що описують УГ, формують базу геоданих, в якій різні об'єкти, які належать до геоситуації, містяться в окремих категоріях – класах об'єктів. Збільшення точності категоризації об'єктів, розбиття класів об'єктів на підкласи, додавання правил та відносин для об'єктів УГСит розширюють можливості її геопросторового аналізу через архітектурну морфологію міста [3]. Наприклад, точна класифікація і розподіл будівель міста за функціональним призначенням дозволить уникнути помилкових оцінок населення за об'ємометричним методом для будівель, які не відносяться до житлових.

ГІС можуть застосовуватись не тільки для

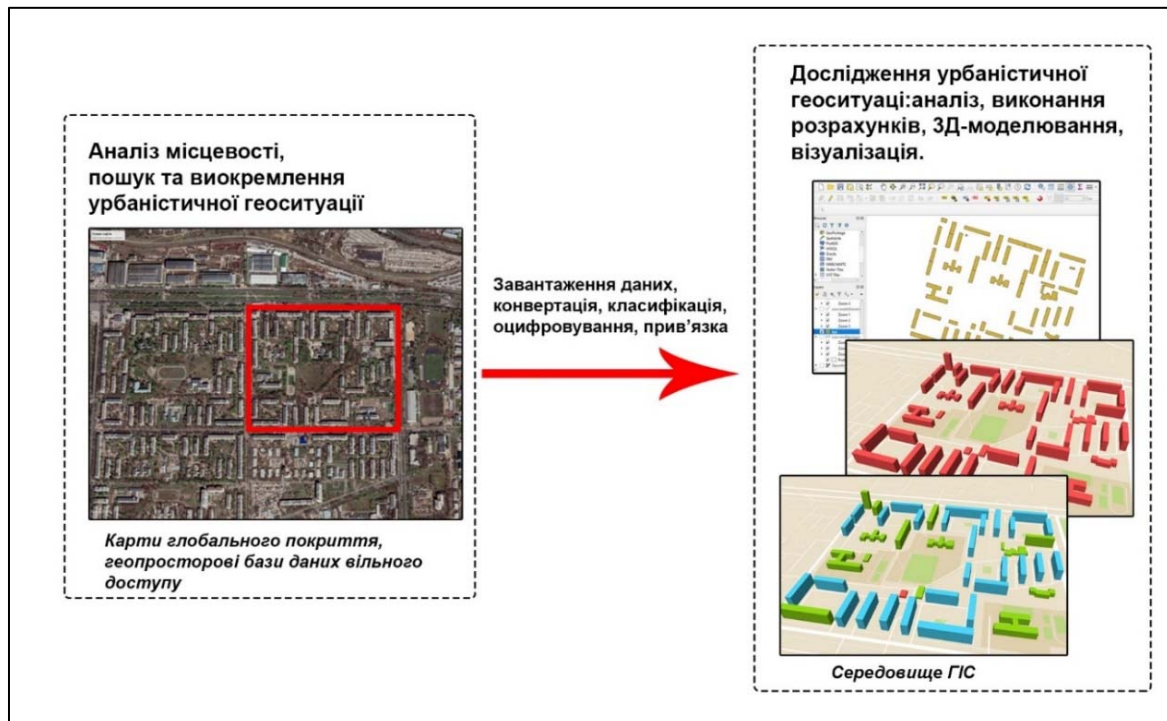


Рис. 9. Схема виокремлення та аналізу урбаністичних геоситуацій за допомогою карт глобального покриття та ГІС /

Fig. 9. The scheme for identifying and analyzing urbanistic geosituations using global coverage maps and GIS

проведення міських досліджень за перевіреними методиками, але й для перевірки та розробки но-

вих інструментів та нових підходів до вивчення міського середовища. На прикладі певних геоси-

туацій, представлених у вигляді обмеженого набору даних можна застосовувати різні експериментальні інструменти і якщо вони підтверджують свою доцільність, то їх можна застосовувати на більш об'ємних наборах даних, що покривають всю територію міста.

Деякі ГІС можуть поєднувати у собі функції представлених на рис. 9 складових. Так, в настільні ГІС за допомогою додаткових модулів може бути інтегрована карта глобального покриття або може бути підключена зовнішня база даних. Це дозволяє досліджувати міську місцевість, знаходити урбаністичні геоситуації та аналізувати їх, перебуваючи в одному ГІС-середовищі. Зокрема, такий функціонал реалізований у програмах *ArcGIS* та *QGIS* [22].

Обидва автори статті приймали безпосередню участь у розробці веб-ГІС *ELiT Geoportal* також надає зручне середовище для одночасного пошуку та аналізу урбаністичних геоситуацій ([www.eos.com](http://www.eos.com)). У цій веб-ГІС, за допомогою *JS*-бібліотеки *Cesium*, реалізована карта глобального перегляду з покриттям *OpenStreetMap* [7]. За даною картою можна знайти та виокремити УГСит в якості області інтересу (*Area of Interest, AOI* – англ.) за допомогою вбудованих інструментів запиту та вибірки. За наявності даних, що покривають виділену область, за ними виконується тривимірне моделювання та подальша візуалізація на тій самій карті та на тій самій області інтересу, за якою виконувався запит. При цьому на окремих шарах карти вже існує готова тривимірна візуалізація окремих високорангових патернів геоситуацій. У *ELiT Geoportal* також впроваджено ряд користувацьких сценаріїв (*use cases* – англ) у вигляді окремих інструментів аналізу тривимірних моделей забудови за обраними геоситуаціями. До таких юзкейсів належать: аналіз видимості, оцінка енергоспоживання будівель та оцінка чисельності населення у будинках.

Користувацький сценарій *аналізу видимості* виконувався для низькорангових урбаністичних геоситуацій. Сутність даного юзкейсу полягає у побудові півсфери видимості яка моделює видимий об'єм у міському середовищі з позиції спостерігача на місцевості [14]. Побудова кількох півсфер у межах одного патерну УГСит дозволяє дати комплексну оцінку видимості на всіх ділянках території із забудовою, що відноситься до даного патерну (рис. 10).

Інші два користувацькі сценарії є наступними. *Оцінка енергоспоживання будівель* виконується для високорангових патернів УГСит – окремих міських районів чи цілих міст. Для будівель розраховується приблизні показники їх енергоспоживання на підставі їх геометричних характе-

ристичних, виокремлених з лідарних даних (площа, висота та об'єм), та семантичних характеристик, отриманих з відкритих джерел (вік будівлі, тип користування).

Розподіл енергоспоживання по будинках у міському просторі допомагає відстежити історичні промислові райони, а також найбільш проблемні міські геоситуації з точки зору енергоспоживання, які потребують вжиття певних оптимізаційних заходів.

За схожим принципом виконується *оцінка чисельності населення по архітектурній морфології міста* у проміжках між переписами – для кожної житлової будівлі розраховується очікувана кількість населення за об'ємо-метричним методом. Такий підхід передбачає пропорційність обсягу будівлі та очікуваної кількості населення, яка в ній може проживати. У цілому застосування даного підходу є доцільним, за умов суспільної недостатності реальних показників чисельності населення [7]. Розрахована на геоситуативному рівні чисельність населення дозволяє відстежити загальну закономірність розподілу населення в урбаністичному середовищі, а також виявити деякі низькорангові геоситуації у такому розподілі.

**Висновки.** Таким чином, описаний геоситуаційний підхід може суттєво полегшити дослідження міського середовища, і цьому сприяє певна структурність планування міста та його складових елементів: вулично-дорожньої мережі, забудованих районів та окремих масивів будівель. Виокремлення урбогеосистемних властивостей міста на рівні геоситуацій може дати низку передумов для оцінки обстановки у всьому місті, оскільки геоситуації є повторюваними і підтримують структурну успадкованість.

У нашому тексті вперше подається і доводиться та сутність геоситуаційного підходу в урбаністичних дослідженнях, яка ґрунтується, поперше, на відповідному понятті, яке використовувався у інших географічних предметних галузях, а, по-друге – на авторській концепції урбогеосистем. Ми намагалися докладно розкрити сутність урбаністичних геоситуацій, а також особливості їх виникнення, існування та розвитку у міському середовищі, що може відстежуватися на сучасних картах глобального покриття та тривимірних моделях архітектурної морфології міста.

Ефективному дослідженню різноманітних геоситуацій сприяють сучасні повноформатні ГІС, які здатні швидко обробляти та візуалізувати набори даних порівняно малого обсягу, що, як правило, стосуються окремих геоситуацій. У вказаному відношенні принциповим є застосування веб-ГІС, які мають доступ до баз картографічних та інших даних глобального покриття.

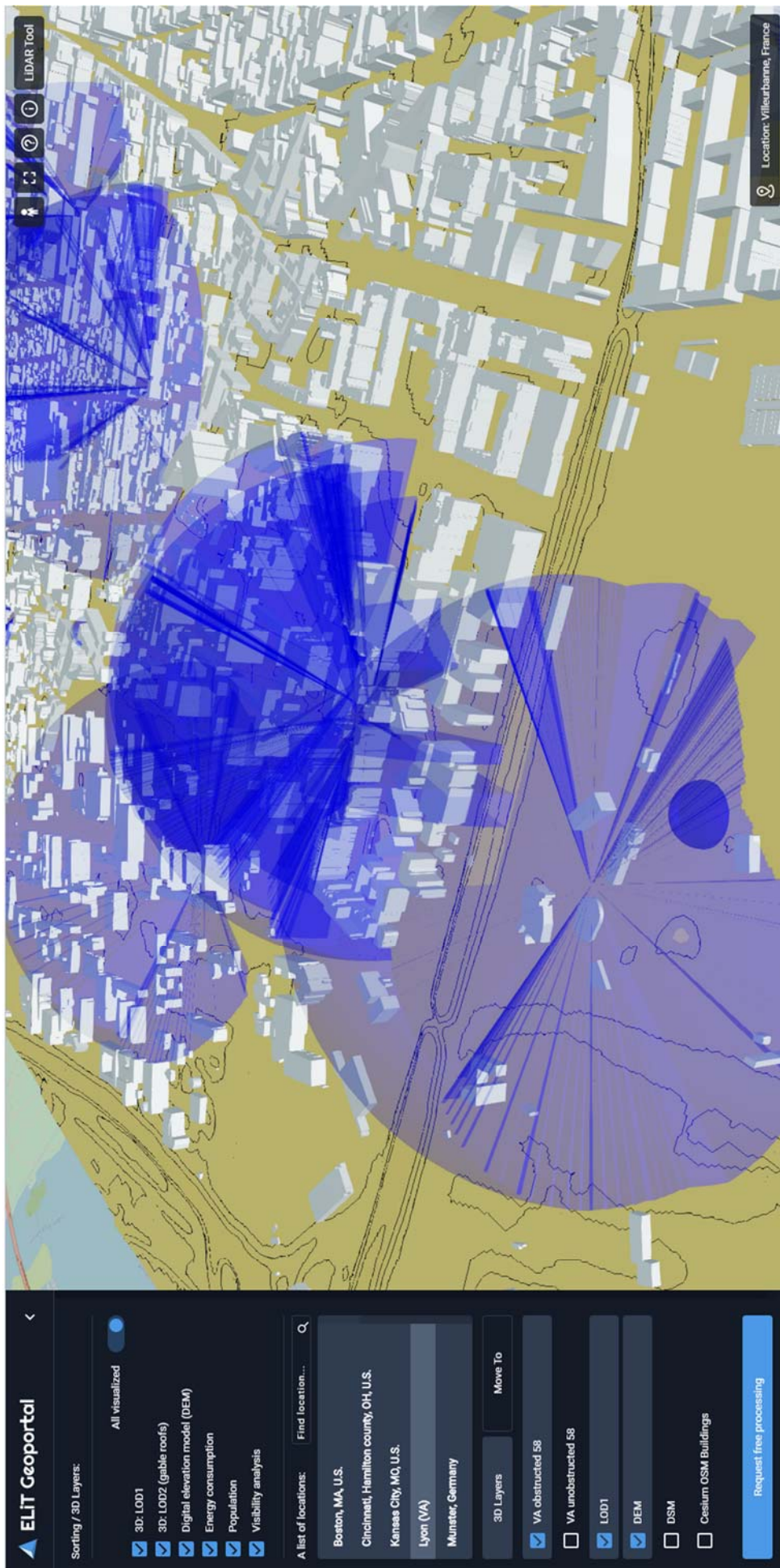


Рис. 10. Користувальцький сценарій аналізу видимості для виокремлення патернів УГСит /  
Fig. 10. Use-case of visibility analysis for extracting urbanistic geosituations patterns

## Список використаної літератури

1. Bartie P. Advancing visibility modelling algorithms for urban environments [Text] / P. Bartie, F. Reitsma, S. Kingham, S. Mills // *Computers, Environment and Urban Systems*. – 2010. – Vol. 34. – P. 518-531. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2010.06.002>
2. Benedikt M.L. To take hold of space: isovists and isovist fields [Text] / M.L. Benedikt // *Environment and Planning B*. – 1979. – Vol.6. – P. 47-65. DOI: <https://doi.org/10.1068/b060047>
3. Cheer, B.C. Urban morphology as a research method. *Planning Knowledge and Research* [Text] / Edited by T.W. Sanchez. – Routledge: NewYork, NY, USA. – 2017. – P. 167-181. DOI: <http://dx.doi.org/10.4324/9781315308715-11>
4. Czyńska, K.: Application of Lidar Data and 3D-City Models in Visual Impact Simulations of Tall Buildings [Text] / K. Czyńska // *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* – 2015 – Vol.XL-7/W3. – P. 1359-1366, DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-1359-2015>
5. De Floriani, L., Magillo P. Intervisibility on terrains [Text] / In: P. A. Longley, M. F. Goodchild, D. J. Maguire & D. W. Rhind, eds. // *Geographic Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications*. John Wiley & Sons. – 1999. – P. 543–556.
6. Jiang, B., Claramunt, C. Integration of space syntax into GIS: new perspectives for urban morphology [Text] / B. Jiang, C. Claramunt // *Transactions in GIS*. – 2005. – Vol.6. – No.3. – P. 295-309. DOI: <https://doi.org/10.1111/1467-9671.00112>
7. Kostrikov S. ELiT, multifunctional web-software for feature extraction from 3D LiDAR point clouds [Text] / S. Kostrikov, R. Pudlo, D. Bubnov, V. Vasiliev // *ISPRS International Journal of Geo-Information*. – 2020. – Vol.9. – No.11. – P. 650- 885. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/ijgi9110650>
8. Kostrikov S. Geoinformation approach to the urban geographic system research (case studies of Kharkiv region) [Text] / S. Kostrikov, L. Niemets, K. Sehida [and other] // *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія "Геологія. Географія. Екологія"*. – Вип. 49. – X.: ХНУ, 2018. – С. 107-121. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-09>
9. Kostrikov S. Studying of urban features by the multifunctional approach to LiDAR data processing /S. Kostrikov, R. Pudlo, A. Kostrikova, D. Bubnov // *IEEE Xplore Digital Library*, 2019. – Electronic ISSN: 2642-9535. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/JURSE.2019.8809063>
10. Kostrikov S. Urban environment 3D studies by automated feature extraction from LiDAR point clouds [Text] / S. Kostrikov, D. Bubnov, R. Pudlo // *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія "Геологія. Географія. Екологія"*. – Вип.52. – X.: ХНУ, 2020. – С. 156-182. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-52-12>
11. Kostrikov S., Seryogin D. Urbogeosystemic Approach to Agglomeration Study within the Urban Remote Sensing Frameworks. *Urban Agglomeration* [Text] / Edited by A. Battisti and S. Baiani.- London – Milan – Zagreb: INTECH Open. – 2022. – P. 1-23. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.102482>
12. Natapov A. Can visibility predict location? Visibility graph of food and drink facilities in the city [Text] A. Natapov, D. Czamanski, D. Fisher-Gewirtzman // *Survey Review*. – 2013. – Vol.45. – P. 462-471. DOI: <https://doi.org/10.1179/1752270613Y.0000000057>
13. Rana S, Batty M. Visualising the structure of architectural open spaces based on shape analysis [Text] / S. Rana, M. Batty // *International Journal of Architectural Computing*. – 2004. – Vol. 18. – P. 1123-1132. DOI: <https://doi.org/10.1260/1478077041220241>
14. Rubtsov V.A. Field theory in Geography and stable structure of geoformations [Text] / V.A. Rubtsov, N.K. Gabdrakhmanov, M.R. Mustafin [and other] // *Mediterranean Journal of Social Sciences*. – 2015. – Vol. 6. – No.3. – P.673-677. DOI: <https://doi.org/10.5901/mjss.2015.v6n3p673>
15. Samoilenko V., Dibrova I. Geoecological situation in land use [Text] / V. Samoilenko, I. Dibrova // *Journal of Environmental Research, Engineering and Management*. – 2019. – Vol. 75. – No.2. – P. 36-46. DOI: <https://doi.org/10.5755/j01.ere.m.75.2.22253>
16. Stephen S., Li W., Hahmann T. Geo-Situation for Modeling Causality of Geo-Events in Knowledge Graphs [Text] / S. Stephen, W. Li, T. Hahmann // *arXiv preprint arXiv:2206.13658*. – 2022. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2206.13658>
17. Tobler W.R. Computation of the correspondence of geographical patterns [Text] / W.R. Tobler // *Papers of the Regional Science Association*. – 1965. – Vol. 15. – P. 131-139. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01947869>
18. Trofimov A., Pianova O. Social-Economical Situation Analysis [Text] /A.Trofimov, O. Pianova // *10th Europ. Colloq. of Theoretical and Quantitative Geography*, Sept. 6-10, 1997. Rostock, Germany. *Inst. of Regional Geography, Leipzig*, 1997. – P. 86-88.
19. Zvolinski A. A day in a shadow of high-rise: 3D parameterization and use of public space around pzm / hotel radisson building complex in center of Szczecin [Text] / A. Zvolinski // *Architecture et Artibus*. – 2014. – Vol.1. – P. 67-71.
20. Безрук В.А., Костріков С.В., Чуєв А.С. ГІС-аналіз функції урбогеосистеми з метою оптимізації розміщення закладів громадського харчування (на прикладі м. Харків) [Текст] / В.А. Безрук, С.В. Костріков, А.С. Чуєв // *Часопис соціально-економічної географії*. – 2016. – Вип.21(2). – С. 91-101.
21. Костріков С. Візуальний аналіз урбаністичного середовища як складова урбогеосистемного підходу [Текст] / С. Костріков, Д. Сєрьогін, В. Бережний // *Часопис соціально-економічної географії*. – 2021. – Вип.30(1). – С. 7-23. DOI: <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2021-30-01>

22. Костріков С.В. Практикум із створення ГІС-карт, просторового аналізу і геообробки на повноформатних ГІС-платформах (на прикладі ArcGIS 10.2 і QGIS 3.16): Навчально-методичний посібник для студентів вишів / С. В. Костріков, Д. С. Серьогін, К. О. Кравченко. – Харків, 2022. – 499 с.
23. Серьогін Д.С. Аналіз урбогеосистемних властивостей просторово-географічного екстенсу міста Вашингтон через ГІС-моделювання на підставі обробки лідарних даних (дистанційного лазерного сканування): кваліфікаційна робота магістра. – Харків, 2019. 105 с.
24. Серьогін Д.С. ГІС-моделювання та тривимірна візуалізація міської забудови в середовищі веб-ГІС порталу Марбох [Текст] / Д.С. Серьогін // Регіон – 2021: стратегія оптимального розвитку: матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 21 жовтня 2021 р.) / Харків, 2021. – С. 157-159.
25. Чуєв О. С. Оцінка через ГІС-засоби просторової диференціації благоустрою міста як функції урбогеосистеми (на прикладі м. Харків) [Текст] / О. С. Чуєв, С. В. Костріков // Часопис соціально-економічної географії: міжрег. зб. наук. праць. – 2015. – Вип.18 (1). – С. 52-62. DOI: <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2015-18-09>

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

## Towards urbanistic geosituation delineation

*Denys Serohin*<sup>1</sup>,

PhD Student of the Department of Human Geography and Regional Studies,

<sup>1</sup> V.N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine;

*Sergiy Kostrikov*<sup>1</sup>,

DSc (Geography), Professor of the Department of Human Geography and Regional Studies

### ABSTRACT

**Introduction.** Modern cities are complex and rapidly expanding systems. For their more effective study, it is necessary to use methods of urban remote sensing, in particular, LiDAR survey. Processed LiDAR survey data, visualized in a 3D scene, model a certain urban configuration that represents a static picture of the relationships between objects, processes and phenomena in the urban environment. The representation of such configurations in the dynamic plane are urbanistic geosituations.

The **main research objective** of the paper is to define the concept and present the essence of the urbanistic geosituation.

**Results.** The urbanistic geosituation is a dynamic aspect of a certain state of the urban environment, in which there are objects, processes and phenomena that are in dialectical unity with this urban environment. The urbanistic geosituation can be represented as a separate area of the urban environment in a certain research context with a specific state that is currently not inherent in other areas.

The article describes in detail the property of the structural heredity of geosituations, which can be traced during the growth of cities. New buildings and roads are laid out taking into account the existing layout, thus inheriting the structure of the original geosituations.

On the example of the city of Washington using 2D and 3D maps, the article discusses the features of identifying inherited urbanistic geosituations using the general functionality of visual analysis. On the example of the city of Kharkiv are described urban problems that arise as a result of unplanned development and ignoring the structural heredity of urbanistic geosituations.

Repeating geosituations with common properties and internal configurations are combined into different rank geosituational patterns, which are tracked on city maps with the naked eye. The higher the rank of the pattern, the more stable it is, and the larger territories it covers in terms of more generalized properties. The formation of geosituational patterns is successfully combined with the feature of collecting and storing LiDAR data, which are divided into many areas of the same size – tiles.

An important property of urbanistic geosituations is their variability, which manifests itself in the city study in the context of the daily population concentration. Diverse internal urban processes and phenomena often lead to the emergence of urbanistic geosituations that characterize the temporary gravity centers of the population.

To search, identify and analyze urbanistic geosituations, it is necessary to use two key components – global coverage maps and geographic information systems (GIS). The article describes a special web-GIS that combines these components and provides an environment for exploring urbanistic geosituations in a 3D scene. Three use-cases are also proposed for analyzing urban systems at the geosituational level: visibility analysis, buildings energy consumption estimation, and population estimation [11, 21].

**Conclusions.** The geosituational approach in urban research can significantly improve the urban environment study. The repeatability of urban geosituations and the small data sets that can be obtained using LiDAR surveys provide grounds for their effective analysis and visualization in GIS, as a result of which it is possible to extract urban geosystem properties that can be relevant for the entire city.

**Keywords:** geosituation, urbogeosystem, geosituational pattern, urbanistic configuration, urban environment, urban studies, GIS, LiDAR data.

## References

1. Bartie P. Reitsma F. [and other]. (2010). Advancing visibility modelling algorithms for urban environments. *Computers, Environment and Urban Systems*. 34, 518-531. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbysys.2010.06.002>
2. Benedikt M.L. (1979). To take hold of space: isovists and isovist fields. *Environment and Planning B*. 6, 47-65. DOI: <https://doi.org/10.1068/b060047>
3. Cheer, B.C. (2017). *Urban morphology as a research method*. Planning Knowledge and Research: New York, NY, USA. 167-181, DOI: <http://dx.doi.org/10.4324/9781315308715-11>
4. Czyńska, K. (2015). Application of Lidar Data and 3D-City Models in Visual Impact Simulations of Tall Buildings. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. XL-7/W3*, 1359-1366, DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-1359-2015>
5. De Florian, L., Magillo P. (1999). *Intervisibility on terrains*. Geographic Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications. John Wiley & Sons, 543-556
6. Jiang, B., Claramunt, C. (2005). Integration of space syntax into GIS: new perspectives for urban morphology. *Transactions in GIS*. 6(3), 295-309, DOI: <https://doi.org/10.1111/1467-9671.00112>
7. Kostrikov S., Pudlo R., Bubnov D., Vasiliev V. (2020). ELiT, multifunctional web-software for feature extraction from 3D LiDAR point clouds. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 9(11), 650-885, DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/ijgi9110650>
8. Kostrikov, S., Niemets, L., Sehida, K. [and other]. (2018) Geoinformation approach to the urban geographic system research (case studies of Kharkiv region). *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series "Geology. Geography. Ecology"*, 49, 107-121. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-09>
9. Kostrikov, S., Pudlo, R., Kostrikova, A. [and other]. (2019). Studying of urban features by the multifunctional approach to LiDAR data processing. *IEEE Xplore Digital Library. Electronic ISSN: 2642-9535*, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/JURSE.2019.8809063>
10. Kostrikov S, Bubnov D, Pudlo R. (2020). Urban environment 3D studies by automated feature extraction from LiDAR point clouds. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 52, 156-182. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-52-12>
11. Kostrikov S., Seryogin D. (2022). Urbogeosystemic Approach to Agglomeration Study within the Urban Remote Sensing Frameworks. *Urban Agglomeration: INTECH Open*. 1-23, DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.102482>
12. Natapov A. Czamanski D., Fisher-Gewirtzman D. (2013). Can visibility predict location? Visibility graph of food and drink facilities in the city. *Survey Review*, 45, 462-471, DOI: <https://doi.org/10.1179/1752270613Y.0000000057>
13. Rana S, Batty M. (2004). Visualising the structure of architectural open spaces based on shape analysis. *International Journal of Architectural Computing*, 18, 1123-1132, DOI: <https://doi.org/10.1260/1478077041220241>
14. Rubtsov V.A. Gabdrakhmanov N.K., Mustafin M.R. [and other]. (2015). Field theory in Geography and stable structure of geoformations. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 6(3), 673-677, DOI: <https://doi.org/10.5901/mjss.2015.v6n3p673>
15. Samoilenko V., Dibrova I. (2019). Geoecological situation in land use. *Journal of Environmental Research, Engineering and Management*, 75(2), 36-46, DOI: <https://doi.org/10.5755/j01.arem.75.2.22253>
16. Stephen S., Li W., Hahmann T. (2022). Geo-Situation for Modeling Causality of Geo-Events in Knowledge Graphs. *arXiv preprint arXiv:2206.13658*, DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2206.13658>
17. Tobler W.R. (1965). Computation of the correspondence of geographical patterns. *Papers of the Regional Science Association*, 15, 131-139, DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01947869>
18. Trofimov A., Pianova O. (1997). *Social-Economical Situation Analysis*. 10th Europ. Colloq. of Theoretical and Quantitative Geography. Rostock, Germany. Inst. of Regional Geography, Leipzig, 86-88
19. Zvolinski A. (2014). A day in a shadow of high-rise: 3D parameterization and use of public space around pżm / hotel radisson building complex in center of Szczecin. *Architecture et Artibus*, 1, 67-71
20. Bezruk V.A., Kostrikov S.V., Chuiev O.S. (2016). Optimizing allocation of catering institution establishments through the urbogeosystem GIS-analysis (case study of Kharkiv). *Human Geography Journal*, 21(2), 91-101 [in Ukrainian]
21. Kostrikov S., Serohin D., Berezhnoy V. (2021). Visibility analysis of the urbanistic environmet as a constituent of the urbogeosystems approach. *Human Geography Journal*, 30(1), 7-23, DOI: <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2021-30-01> [in Ukrainian]
22. Kostrikov S.V., Serohin D.S., Kravchenko K.O. (2022). Workshop on creating GIS maps, spatial analysis and geoprocessing on full-format GIS platforms (using the example of ArcGIS 10.2 and QGIS 3.16): Educational and methodological manual for university students. Kharkiv, 499 [in Ukrainian]
23. Serohin D.S. (2019). Analysis of urbogeosystemic properties of the spatial and geographic extent of Washington through GIS-modeling based on LiDAR data processing: master's thesis. Kharkiv, 105 [in Ukrainian]
24. Serohin D.S. (2021). GIS-modeling and 3D-visualization of the city buildings in the Mapbox web-GIS environment. *Region 2021: Human-Geographical aspects. Proceedings of the International Conference for young scientists and post-graduate students*. Kharkiv, 157-159 [in Ukrainian]
25. Chuiev O.S., Kostrikov S.V. (2015). City well-being spatial differentiation as the urbogeosystem function assessment with GIS-tools (case study of Kharkiv). *Human Geography Journal*, 18(1), 52-62, DOI: <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2015-18-09> [in Ukrainian]



# Application of quantitative methods for the assessment of landslide susceptibility of the Aghsuchay river basin

*Stara Tarikhazer*<sup>1</sup>

DSc (Geography), Associate Professor,

<sup>1</sup>Institute of Geography named by acad. H.A. Aliyev of MES Azerbaijan,  
115 H. Javid Av., Baku, AZ 1143, Azerbaijan,

e-mail: [kerimov17@gmail.com](mailto:kerimov17@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-5870-1721>;

*Seymur Mammadov*<sup>2</sup>

PhD (Geography), Leading Engineer, <sup>2</sup>Production Unit «Azneft», SOCAR,  
73 Neftchilar Av., Baku, AZ 1000, Azerbaijan,

e-mail: [seymurmq@gmail.com](mailto:seymurmq@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8470-2584>;

*Zernura Hamidova*<sup>1</sup>

PhD (Geography), Associate Professor,

e-mail: [zernura@gmail.com](mailto:zernura@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-9605-4884>

## ABSTRACT

**Problem statement.** Azerbaijan is making a lot of efforts to reduce the impact of dangerous geological processes on natural geosystems, but they still cause huge damage. To a greater extent, the region of the Greater Caucasus, namely the southern slope, is subject to such processes, where the whole range of dangerous geological processes occurs: earthquake (7-8 b and above), landslides, landslides, screes, mudflows, etc. All of them are large-scale processes in terms of damage - they affect large areas and lead to economic losses.

**Purpose** - to identify the main factors of the formation and spread of landslides in the basin of one of the most mudflow-bearing rivers not only in Azerbaijan, but also in the South Caucasus - the Aghsuchay river, identify the conditions for their formation, assess the risk of the territory's susceptibility to landslide processes, as well as ways to prevent and protect.

**Research method.** To assess landslide susceptibility and create maps of the potential development of landslides in the basin of the Aghsuchay river we used the Frequency Ratio method (FR).

**Research results.** For minimize damage from landslides on the example of the Aghsuchay river basin a detailed study of the factors (hypsometry, slope angles (slope steepness) was carried out by us. Also slope exposure, geological structure (lithology), distance from faults, average annual precipitation, distance to the erosion network, distance to roads and land use) that determine the development of landslide processes with taking into account the mechanism of their development, as well as an analysis of the obtained values of landslide susceptibility and their potential development was studied. In the ArcGIS software environment, using the "Raster Calculator" spatial analysis tool, summing up each landslide factor multiplied by its weights, a map of the landslide susceptibility of the Aghsuchay river basin was obtained.

In the river basin Aghsuchay we identified over 120 landslide areas. Most of the landslides were recorded along the Baskal tectonic cover, the Steppe Plateau, as well as on the slopes of the Langyabiz ridge, and also partially on the slopes of the Nialdag ridge.

**Conclusion.** Using the natural boundary classification method in the ArcGIS software environment, the study area was divided into five landslide potential zones: very low, low, medium, high, and very high. The result of the analysis showed that zones with very low, low, medium, high and very high landslide development potential are: 13.75; 24.48; 31.51; 20.51 and 9.74% of the study area, respectively.

Ultimately, the reliability of the obtained models was evaluated using AUC ROC (area under the error curve) analysis, which showed high performance of the method used (82%). Due to the high reliability, the method used can be used to assess the landslide susceptibility not only of the territory of Azerbaijan, but of similar regions of the Alpine-Himalayan belt.

**Keywords:** landslide, mud river, geosystem, tourist and recreational potential, damage, landslide hazard, susceptibility, quantitative methods.

**In cites:** Tarikhazer Stara, Mammadov Seymur, Hamidova Zernura (2023). Application of quantitative methods for the assessment of landslide susceptibility of the Aghsuchay river basin. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (58), 257-273. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-20>

**Introduction.** Studying hazardous geomorphological processes and the zoning of developed territories based on the complexity of engineering and geomorphological conditions and the intensity of development of unfavourable geomorphological processes is regularly conducted and appears relevant for many years (Tarikhazer, 2022). Slope (landslide) processes are listed among such dangerous geomorphological processes. The term landslide refers to the gravitati-

onal movement of rock masses and fragmental debris, as well as loose soils that have lost their balance due to a complex of factors under the influence of their weight down the slope. In contrast with other natural perils, landslide risk assessment requires a comprehensive study of the spatial interaction of factors provoking landslides.

The southern slope of the Greater Caucasus, specifically the Shamakhi-Ismail region, is a unique re-

gion for the peculiarity of its geographical location. It should be noted that some factors i.e. the diversity of landscapes, vegetation, and the animal world, including the existing developed infrastructure and transportation network, determine the region's role as one of the largest resort and tourist regions of Azerbaijan. Vast recreational potential attracts a sheer number of investors and holiday-makers to places subject to landslide. In recent decades, the studied territory has been actively settled down. There have been done several work on the construction and expansion of settlements, roads, industrial facilities, and hotels. Some of these objects pass through or are in mountainous/ highland areas, requiring increased attention to the conditions for landslide formation (Tarikhazer, 2020). The suddenness of emergence, unpredictability, and close connection with other geological processes, specifically with mudflow processes and phenomena, make landslides a severe, sometimes even insolvable problem in construction, requiring the development of landslide prevention works.

An assessment of the formation and distribution of landslide processes in a given region will allow solving many practical and economic problems, preventing undesirable consequences caused by the catastrophic transformation of the primary relief, applying the results obtained for more rational use of the territory, and reducing the potential hazard and damage from landslides. All of the above stated reasons

define the relevance of the addressed topic.

The **purpose of the study** is to determine the prime drivers in the formation and distribution of landslides in the Aghsuchay River basin, one of the most mudflow-bearing rivers not only in Azerbaijan but also in the South Caucasus, elucidate the conditions conducive to their formation, and assess the sensitivity risk of the territory for landslide processes, and provide a way of protection and prevention.

The **object of the study** is the landslides developed in the basin of the mud-bearing Aghsuchay River.

**Characteristics of the study region.** Aghsuchay River basin is located between 40°25'-40°50' N and 48°15'-48°45' E (Figure 1). In terms of altitude, the river basin belongs to low-sited water-collecting headers, where 45.5 km<sup>2</sup> or 8% of the basin area falls to a height above 1500 m. The rest of the river basin is located at an altitude of less than 1500 m. The average height is 666 m; the area of the Aghsuchay basin is 572 km<sup>2</sup>, while the river length makes 85 km. The reason for the widespread occurrence of landslides here is the complex geological and tectonic (thick member of clay materials and the existence of acting tectonic faults) and geomorphological (large slopes) structure of the territory.

The mountainous part represents the middle altitudes, with the absolute elevation reaching 2200 m. The geographic area is strongly split by the river valleys and streams, where the steepness of slopes does

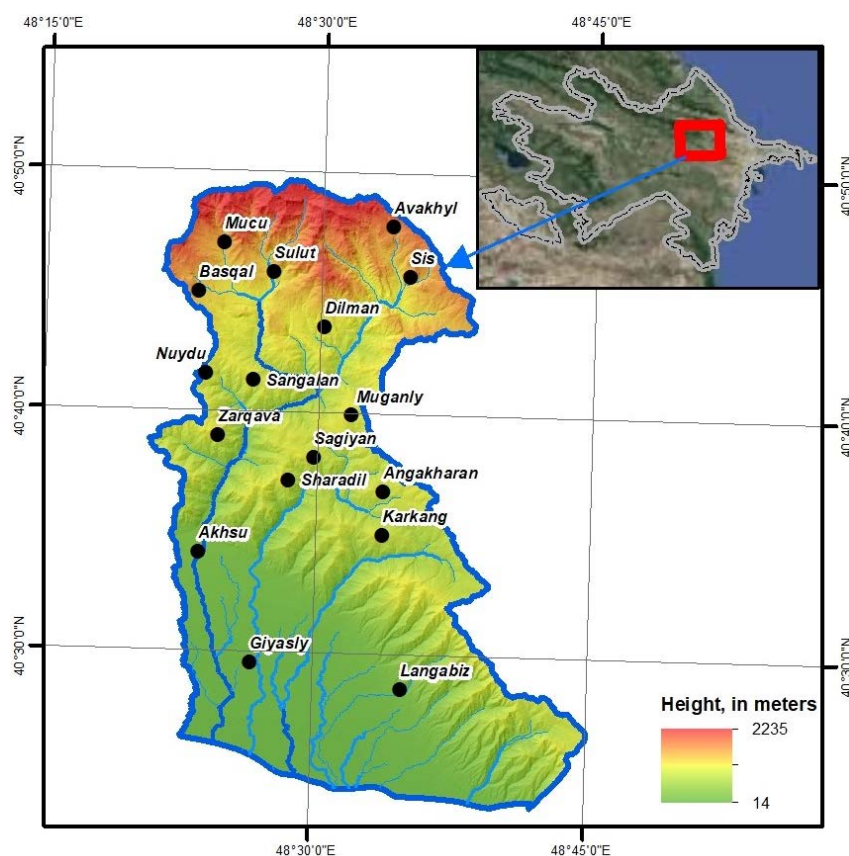


Fig. 1. The geographical location of the basin Aghsuchay river

not exceed 30-40°. Tertiary sedimentary and volcano-genic sedimentary rocks of the Cretaceous Period primarily take part in the geologic aspects of the study area. The Aghsuchay river flows through a billowy area, a relatively wide plateau, rising in places to a height of up to 1000 m. The Gurjivan Plateau borders the basin in the west and the Langabiz Ridge - in the east. The average density of the river network makes 0.46 km/km<sup>2</sup>. The main mudflow centres, specifically landslides and landslides-flows, are located at an altitude of over 1200 m.

In recent years, the number of landslide (slope) processes has increased dramatically in the basin of the Aghsuchay River (Figure 2). Based on fund and own field data, a table of manifestations of landslide processes in this basin over the past 23 years has been compiled (Table 1). As can be seen from the table, the main triggers of landslide processes are atmospheric precipitation (mainly heavy rains) and anthropogenic activity, expressed by cutting slopes during construction work. As field studies (observations) show, improper laying of the drainage network during the construction of new roads in this basin causes rapid

destruction of the roadway. If earlier these processes were mainly developed in the upper parts of the middle and high mountains, now they are actively developing in the low-mountain and foothill zones of the basin. Along with natural factors, anthropogenic activities (earthmoving operations on slopes in the course of road construction) played a significant role as well (Figure 3).

The territory, through which the Aghsuchay River flows, is characterised by a complex orotectonic plan. The structure of the relief reflects the fold-block basis of the territory, representing a combination of large and small, positive and negative structures, disjunctive dislocations, and overthrust masses. Structural features stem from even greater differentiation due to the close relationship between endogenous and exogenous processes.

At the riverhead, the valley of the Aghsuchay River is represented by a gorge with steep, often sheer slopes, ravines, and waterfalls. In the middle reaches, the river valley expands. Gorge with steep rocky slopes is formed in places where it cuts through effusive rocks with interlayers of sandstones and li-



Fig. 2. Active landslides in the basin of the Aghsuchay river

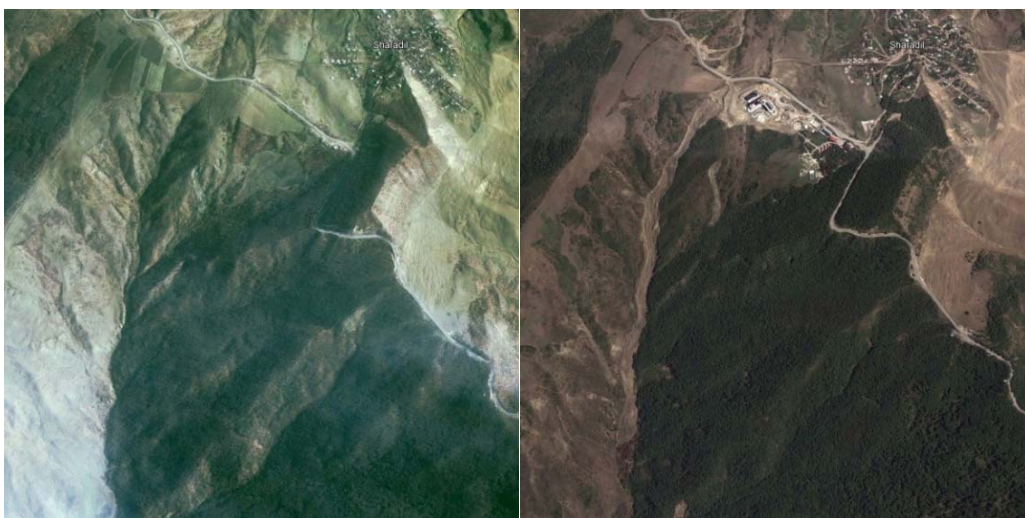


Fig.3. Retrospective analysis of landslide formation. a) satellite image of 2004, b) satellite image of 2012  
The landslide began to form after the construction of the tourist complex

Dates of manifestation of the most dangerous landslide processes  
within the basin of the Agsuchay river (for 2000-2022)

№	Date of manifestation	Place of manifestation	Causes of a landslide	The aftermath of a landslide
1	2	3	4	5
1	March 2000	Chaily village	Rains	The landslide intensified in the south-west of Chaily village at an altitude of 710-860 m. Landslide length 250-300 m, width 150-160 m
2	April 2000	Muganli village	//-//	The landslide is developed in the central part of the Muganly village. Landslide length 920-930 m, width 85-100 m
3	April 2001	The villages of Shirvan and Sheradil	//-//	Several residential buildings are under the threat of a landslide. Landslide length 250-300 m, width 200-220 m
4	April 2001	Geylardag village	//-//	The landslide occurred in the central part of the village of Geylardag. The building of the Historical and Cultural Reserve was under threat. Landslide length 640-670 m, width 150-170 m
5	April 2001	Dilman village	//-//	Landslide activation in Dilman village
6	May 2002 r.	Adnaly village	//-//	Landslide activation in the south of Adnaly village. Landslide length 120-130 m, width 30-40 m
7	April 2003	Chabany village	Leakage of water from the reservoir	Damaged rural road. Landslide length 1200 m, width 300-330 m
8	May 2003	Nuydu village	Rains	A landslide intensified at an altitude of 720-860 m south-west of the village of Nyuidyu
9	May 2003	Dedegunesh village	//-//	The landslide is developed at an altitude of 1000-1150 m. Several houses are under threat. Landslide length 5400 m, width 200-220 m
10	May 2003	Kalva village	//-//	Landslide activation in the north-west of Kalva village at an altitude of 770-880 m
11	May 2004	Sangalan village	//-//	Landslide activation in the eastern part of Sangalan village. Landslide length 270-280 m, width 300-320 m
12	May 2004	Garavelli village	//-//	Landslide activation. Small cracks were recorded in several houses. Landslide length 300-320 m, width 120-130 m
13	March 2005	Khazydere village	//-//	Activation of a landslide in the north-eastern part of the village of Khazydere. Landslide length 80-100 m, width 100-120 m
14	April 2005	Sheradil village	Rains, slope cutting	The landslide is developed at an altitude of 750-880 m. The landslide first appeared in 1985. Landslide length 200-250 m, width 120-150 m
15	February 25, 2010	Villages of Sangan, Kalva, Surakhani, Girror, Guzai	Rains	80 houses and 4 office buildings were damaged. In Sangalan village (38 houses), Kalva village (35 houses), Surakhani village (2 houses), Girror village (1 house), Guzay village (1 house)
16	April 21, 2010	Chagan village	//-//	The 700-meter highway Shamakhi-Uncle Gunash was closed. Cracks appeared in 20 houses of Mirikand and Muganli villages
17	March 20, 2012	Agsu district, Chagan and Dedegunesh villages	//-//	The activity of landslide processes. Landslides and subsidence phenomena have developed on the 2nd km of the Muganly-Ismayilli highway, landslides have intensified in the villages of Chagan and Dedegunesh
18	March 21, 2012	Muganli village	Melting snow and rains	There are 50 residential buildings in the landslide zone. 18 houses, a school, a club, an outpatient facility are severely deformed
19	February 27, 2014	147, 149, 150 and 152 km of Shamakhi-Agsu highway	Rains	Cracks and several subsidence of the asphalt pavement of the road formed
20	March 7, 2015	Agsu-Shamakhi highway	//-//	Vehicular traffic blocked

21	April 2, 2015	Shamakhi regions, Agsu pass	//-//	Activation of landslides on the Baku-Shamakhi, Muganly-Ismayilli and Agsu Pass roads
22	October 22, 2015	Roadbed of Baku-Shamakhi, Agsu pass	//-//	Activation of landslides at 106, 109 and 111 km of the Baku-Shamakhi highway, at the Agsu pass. Numerous cracks found
23	November 12, 2015	106-109 and 111 km of the Shamakhi-Ismayilli highway, 132 and 135 km of the Baku-Agsu highway	//-//	Vehicular traffic blocked
24	February 26, 2016	Sheradil village	Rains and melting snow	Cracks 1.5 m deep and more than 60 m long formed on Baku-Shamakhi-Yevlakh main road
25	June 3, 2016	106-107 km of Baku-Shamakhi-Yevlakh highway	Rains	Vehicular traffic blocked
26	September 22, 2016	Agsu and Shamakhi regions	//-//	Numerous landslide processes on the right bank of the Agsuchay River, at 147-154 km of the Baku-Shamakhi-Agsu highway. Difficulty in traffic
27	November 14, 2016	Madras village	//-//	Cracks appeared on the main road. Landslide area 40 ha
28	December 6, 2016	Shamakhi-Gyzmeydan highway	//-//	Blocked communication with 4 villages
29	January 18, 2017	Madras village	Melted waters of snow and rains	7 houses in disrepair
30	February 4, 2017	Agsu pass	//-//	Activation of landslides on the Agsu pass, on the Baku-Shamakhi-Yevlakh highway. Landslides damaged concrete barriers. Numerous cracks were found on the asphalt pavement. Difficulty in traffic
31	February 17, 2017	149 km of the road of the Agsu pass	Rains	The road sank to a depth of 40-50 sm. Landslide length 40 m
32	March 29, 2017	The villages of Chabany, Madras, Meysari, Birindzhi Chaily, Muganly, Ajidere, Galeybudug	//-//	The road at 4, 6 and 10 km Shamakhi-Gyzmeydan was destroyed. Blocked traffic
33	June 2, 2017	106-107 km of Baku-Shamakhi highway	//-//	Landslide intensified on 106-107 km of Baku-Shamakhi highway
34	June 28, 2017	106-107 km of Baku-Shamakhi highway	//-//	Landslide intensified on 106-107 km of Baku-Shamakhi highway
35	July 21, 2017	106-107 km of Baku-Shamakhi highway	//-//	Landslide intensified on 106-107 km of Baku-Shamakhi highway. Asphalt collapsed in two places
36	August 28, 2017	106-107 km of Baku-Shamakhi highway	//-//	Landslide intensified on 106-107 km of Baku-Shamakhi highway
37	September 12, 2017	106-107 km of Baku-Shamakhi highway	//-//	Landslide intensified on 106-107 km of Baku-Shamakhi highway
38	October 5, 2017	The villages of Dilmán, Khatman, Khadzhan	//-//	Cracks appeared in many houses in the villages of Dilmán, Khatman and Khadzhan. About 70 houses are in disrepair
39	October 16, 2017	Sagyan village	//-//	In the village of Sagyan, fences were destroyed, ceilings sagged in the houses, and there were numerous cracks on the walls. Residents evacuated

40	October 19, 2017	142, 148 and 152 km of Baku-Agsu-Yevlakh road	//-//	The asphalt sank in some places, cracks appeared 20-30 m long, 10-20 m deep, in some places up to 30 m
41	January 5, 2018	106-111 km of the Baku-Shamakhi road and 132-156 km of the Baku-Agsu road	Melted waters of snow and rains	Landslide activity at km 106-111 of the Baku-Shamakhi highway, at km 132-156 of the Baku-Agsu highway
42	April 3, 2018	The villages of Shabany and Dede-gunesh	Rains	Landslides also intensified in the villages of Shabany and Dede-gunesh. Landslide length 150 m, width 100 m
43	April 13, 2018	Adnaly village	//-//	There are 12 residential buildings in the landslide zone. Cracks appeared in 4 houses. Residents evacuated
44	April 19, 2018	Road Shamakhi-Pirguli-Damirchi	//-//	In many places of the Shamakhi-Pirguli-Damirchi road, asphalt subsided, numerous cracks developed
45	April 24, 2018	3 km Gushchu-Chayly road		On the 3rd km of the Gushchu-Chayly road, landslide-subsidence phenomena are developed. Overturned road signs along the road
46	April 24, 2018	19-20 km of Shamakhi-Geylyar-Padarchel road	//-//	Numerous cracks developed on the 19-20th km of the Shamakhi-Goylar-Padarchel road
47	June 15, 2018	Zaratheiberi village	//-//	In the village of Zaratkheyberi, a landslide destroyed a road bridge. Communication of 300 villagers with the regional center was interrupted
48	December 11, 2018	Gushchu village	//-//	In the village of Gushchu, cracks appeared in 15 houses. Damage was caused to personal plots, vegetable gardens, orchards. Roads damaged
49	April 1, 2019	Agsu-Khanbulag road	//-//	Landslide processes on the Agsu-Khanbulag roadbed. Blocked communication between the villages of Khanbulag Khingar, Girda, Kendahan, Zargava, Yenikend and Kevludzh with the regional center
50	January 10, 2020	Agsu pass	//-//	Activation of landslide processes in 4 places of the Agsu pass. Large cracks formed on the roadway, numerous landslides and subsidence
51	May 5, 2021	Agsu pass	//-//	Threatened destruction of a rural cemetery
52	January 13, 2022	22 km of the highway Chukhurdyrd-Sis-Galeybugurd-Kechmeddin-Galaderesi	//-//	A landslide descended on the 22 km of the Chukhurdyrd-Sis-Galeybugurd-Kechmeddin-Galaderesi highway. Several sections of this 16 km road, which was reconstructed and put into operation at the beginning of 2020, were destroyed, cracks formed on the asphalt surface

mestones. Its tributaries are characterised by their nesting in folds overturned to the south. The northern slopes are steep, while the southern slopes are relatively slightly sloping, corresponding to the bedding of rocks. The valleys of lateral tributaries developed in thick and relatively rapidly eroding rocks are deeper. In the lower reaches, the Aghsuchay River takes the form of a wide box canyon with a high floodplain and stream terraces.

The sub-mountain region and low-hill terrain, along which the Aghsuchay River valley passes, are characterised by the development of a strong debris cone plume, in the upper parts of which the largest material of mudflows has accumulated. The middle altitudes of the Aghsuchay River basin, are characterised by the development of landslide-scrée slopes in dense sandstone-limestone deposits of the Cretaceous and Jura. The high mountain regions are an

area of nival-denudation impact and gravitational processes.

Huge landslide massifs, amphitheatres, circuses, slowly moving streams, and landslide disruptions cover the middle course of the Aghsuchay River, mainly complicating the relief and obscuring the structural features of the relief. These processes and landforms of gravitational origin have erased the structural features of low-order morphostructures. Massive landslide flows with powerful plume cones fill the bottoms of the basins of their slopes.

According to N. Shirinov (1982), the presence of intensely dissected slopes of the longitudinal part of the Aghsuchay River stems from the intense fragmentation of the Lower Cretaceous limestones, marls, and sandstones by a series of longitudinal fractures active in the latest stage. It is also due to the scaly structure of the slope with the layers falling to

the north.

One of the main factors in the development of landslide processes is the orotectonic structure, which is confirmed by the geological and geomorphological analysis of the structure of the region under study.

**Materials and research methods.** The danger posed by landslides encourages researchers to look for the most advanced approaches and tools for their prediction. In recent years, probabilistic-statistical methods have been increasingly applied for forecasting purposes. As of the current date, a considerable number of works have been published on this problem (van Westen CJ, 1997; Suzen, Doyuran, 2004; Guzetti et al., 2005; Lee, Pradhan, 2007; van Westen CJ., 2008; Nefeslioglu et al., 2008 ; Ozdemir, 2009; Castelanos Albella, Cervi et al., 2010; Oh, Lee, 2011; Pendin V.V., Fomenko I.V., 2015; Ciurleo et al., 2017; Arabameri et al., 2019; Cantarino et al., 2019; Mandal, Mondal, 2019; Nahayo, 2019; Shano et al., 2020; Kharchenko S.V., Shvarev S.V., 2020; Mersha T., Meten M., 2020; Rocatti et al., 2021, etc.). It is not possible to list all researchers in this study. However, the features, often found in these works, could be generalised.

The most popular methods for forecasting landslide processes include the frequency ratio (Akgun et al., 2008; Akgun and Needet, 2010; Constantin et al., 2011; Ram Mohan et al., 2011; Yalcin et al., 2011; Pourghasemi et al., 2012; Berhane, Tadesse, 2021; Duong et al., 2022), logistic regression (Getachew, Meten, 2021), linear discriminant analysis, and hierarchy analysis method (Pourghasemi et al., 2013; Duong et al., 2021). In recent years, new methods have been increasingly used: region-partitioning approach (Hong et al., 2018), random forest (Yesilnajar, 2005), decision tree (Saito et al., 2009; Nefeslioglu et al., 2010), neural networks (Lee et al., 2003; Sezer et al., 2011; Pradhan, 2013; Xiong et al., 2019), and Support Vector Machine.

Similar sets of variables are often used to develop models. Positive altitude, angle of gradient, layout, distance to faults, distance to watercourses, etc. take the lead among the quantitative variables in terms of frequency of use (Fell et al., 2008; van Westen et al., 2008; Gaidzik, Ramirez-Herrera, 2021). Along with this, qualitative variables are also applied: the composition of a subsurface rock, the type of vegetation and land management, and rainfall amount.

Landslide susceptibility is “*the spatial probability of landslides occurring in a given area, depending on local conditions, indicating where landslides may occur*” (Sestrash et al., 2019; Kose and Turk, 2019). In other words, landslide susceptibility is considered as the likelihood of a landslide occurring in a particular area, being estimated based on the quantitative

and qualitative interpretation of certain natural and anthropogenic factors leading to the landslides emergence. Landslide Susceptibility Mapping (LSM) is “*the process of defining the positional relation and classifying units of territory based on their propensity to cause landslides. Topography, geology, soil property characteristics, climate, vegetation, and anthropogenic environmental impact influence this process as well*” (Fell et al., 2008). Spatial analysis using GIS “*clarifies the connections between various elements of slope stability and the development of landslide processes, being an effective method for assessing landslide susceptibility*” (Van Westen et al., 2006; McColl, 2015).

Landslide susceptibility analysis is the most commonly used statistical approach. In this analysis, landslides and their causing factors are used to develop a landslide susceptibility model to forecast future landslides (Aleotti and Chowdhury, 1999; Gokceoglu et al., 2005; van Westen et al., 2006; Tiranti and Cremonini, 2019). Approaches to assessing landslide susceptibility could be classified as quantitative and qualitative (Guzetti et al., 1999; Yalcin et al., 2011; Pendin, Fomenko, 2015; Gaidzik, Ramirez-Herrera, 2021). Recently, the number of quantitative estimates of landslide susceptibility has been considerably expanded. It stems from the fact that quantitative approaches deliver the most accurate results. Nevertheless, qualitative approaches remain relevant in assessing landslide susceptibility in large regions or in cases where quantitative approaches are not feasible due to a lack of data.

Quantitative methods are widely applied in assessing landslide susceptibility due to the following advantages:

- 1) The results can be easily explained owing to an independent analysis of each of the maps of the development factors of landslide (slope) processes;
- 2) Analysis can include the expert assessment, since specific combinations of variables can be considered and assessed in terms of their significance in the occurrence of landslides;
- 3) The accuracy of the developed maps can be verified using data on the spatial distribution of landslides.

The study has used the Frequency Ratio method (FR) and the Index of entropy method to assess the landslide susceptibility and compile maps of the potential development of landslides in the Girdimanchay River basin. When forecasting the landslide (slope) processes, it is reasonable to assume that causal factors define their occurrence. In addition, it is assumed that future landslides can occur under the same conditions as the previous ones.

Frequency ratio as a bivariate statistical method represents a straightforward and efficient model for

assessing landslide susceptibility. This method is based on the observed correlation between the distribution of landslides and each associated factors to reveal the correlation between the places of manifestation of the process and the factors that cause it in the study area. According to it, each causative factor is subdivided into several classes. In addition, the frequency rate (FR) for each class of factors is defined by applying the following equation (1):

$$F_{ij} = \frac{\frac{N_i}{N}}{\frac{P_i}{P}} \quad (1)$$

where  $N_i$  is the number of points (pixels) of landslides in the class of factors  $i$ ;  $N$  is the total number of points (pixels) of landslides on the map of the study area;  $P_i$  is the number of points (pixels) in the class of factors  $i$ ; and  $P$  is the total number of points (pixels) on the map of the study area.

The Frequency Ratio (FR) model is commonly practiced in forecasting geological and geomorphological processes. It was first proposed by Lee, Talib (2005). FR is a usable geospatial assessment tool, predicting the probability distributions of occurrence and non-occurrence of geological processes for each class of related factors. Classes are assessed based on the ratio of observed landslides to the entire study region. FR is one of the best geospatial assessment tools for defining the spatial correlation between the record of stocktaking and a class of related factors. The amount or percentage of stocktaking record in each class refers to the significance of correlation with the development of geological processes. FR shows the correlation between the locations of geological processes and the factors influencing the occurrence of processes in a given area. Process development factors could be assessed, considering the ratio of observed processes in the territory under consideration. The correlation among the class factors could be determined through FR, which is quite a useful geospatial estimation tool.

As a result of the analysis, five zones of potential development of the landslide process have been identified in the study area: very low, low, medium, high, and very high.

The results of quantitative methods in assessing landslide susceptibility are verified by AUCROC (area under the error curve) analysis.

ROC-curve or curve of errors (Receiver Operating Characteristic) is a graph, allowing estimating the quality of two-class classification. It shows the dependence of the number of correctly classified positive examples on incorrectly classified negative examples. The Area Under the ROC-curve is an aggregated characteristic of the classification quality, independent of the ratio of error rates. The higher the AUC value, the better the resulting classification model.

**Landslide inventory.** One of the main elements of the FR methodology is the compilation of an inventory map of landslides and fall-scrée processes. A map of manifestations of slope processes can be compiled based on both field studies and by interpreting multispectral images obtained using remote sensing.

The sources for the inventory of landslides are satellite images of 2008-2022 taken from open sources (Google Earth, Earthexplorer), field surveys and geomorphological maps of the region.

The Landslide Inventory Mapping (LIP) is a map, showing the number of active manifestations of landslide processes. The compiling inventory maps of landslides (LIM - Landslide Inventory Mapping) calls attention to the selection of the boundaries of landslides and ignores the specifics of landslide deformations. LIP is a major element in landslide risk assessment. At the same time, with the image of the spatial distribution of landslides, the landslide inventory map can contain the following types of information, such as the geometrical features of the landslide (scale, area, and depth of capture of the slope mass by landslide deformations), structural style (lithology, structure, and soil properties) and hydrogeological conditions.

Compiling the landslide and avalanche-scrée inventory maps will be conducted by applying the contrast enhancement algorithm proposed by Gond and Brognoli in 2005. This technique is based on a combination of spectral bands to generate a normalized difference vegetation index (NDVI) and normalized difference water index (NDWI). Afterwards, the resulting layers are combined with mid-infrared (MIR) to increase terrain contrasts (Figure 3).

The study has identified over 120 landslide areas in the Aghsuchay River basin. Most of the landslides have been observed along the Baskal tectonic cover, the Steppe plateau, as well as on the slopes of the Langabiz Ridge and partially on the slopes of the Nialdagh Ridge. Slope processes are long-term successive events, starting from their formation and ending with the results. Sometimes there is a need only to prevent its destructive consequences. In many cases, it is not possible to eliminate the primary reason for a landslide. Then it becomes efficient to mitigate the impact rather than trying to eliminate the cause. It is more common for landslides to emerge under the influence of geological-tectonic, topographic, hydrological-climatic, and anthropogenic factors.

**Research results.** The research has selected ten factors, associated with landslides, for landslide susceptibility mapping and compiling maps for the potential development of landslides based on the available data, the characteristics of landslides, and the relationship between the formation of slope deformations and factors causing landslides. These factors



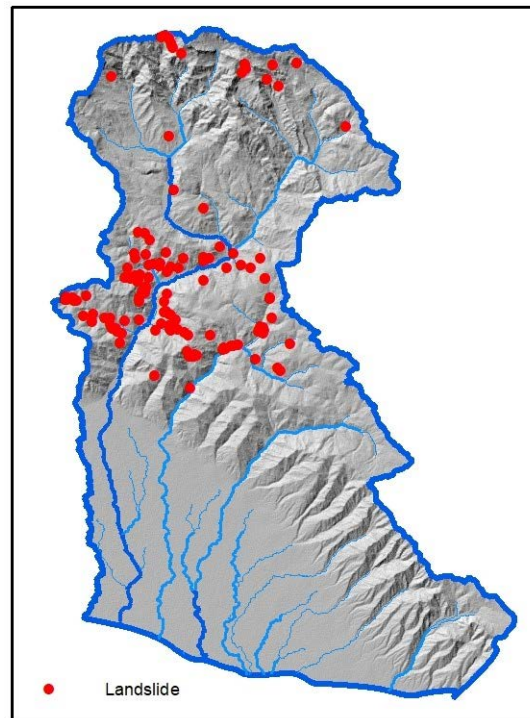


Fig. 4. Map of the distribution of landslides in basin Agsuchay river

include hypsometry, slope angles (steepness of slopes), slope exposure, topographic moisture indices, geological structure (lithology), distance from faults, average annual precipitation, distance to erosion network, distance to roads, and land use (Fig. 5).

Maps for hypsometry, slope and aspect were compiled using a digital elevation model (DEM). To create a digital elevation model were used SRTM (resolution 30m) and Alos Palsar (resolution 1 2.5m) data. Fault distance, road distance, and streams distance were estimated using the “Euclidean distance” tool in Spatial Analyst Toolbox in ArcGIS Desktop (ArcMap). A map of average monthly precipitation was developed by interpolating rainfall data for nearby settlements (Figure 6). The Land use and land cover map was developed based on the classification training in the ArcGIS software environment.

Data on the lithology and tectonic disturbances were digitised from the geological map of the Mountainous Shirvan economic region at a scale of 1:200,000. Afterwards, to conduct analysis, these maps were transformed into a raster format to calculate the weights of classes and factors and compile maps of landslide susceptibility.

**The slope angle** is considered one of the key triggering agents in landslide events and is widely utilised in landslide susceptibility mapping; this parameter was obtained from the DTM using spatial analysis tools and reclassified into five classes based on the natural boundaries (intervals) algorithm.

**Aspect** is the most important source of changes in soil properties. It determines the direction of the slope and is measured clockwise in degrees from 0

(North) to 360 (North again), forming a full circle. Flat areas have a value of -1. The effect of slope exposure is reflected in differences in temperature and humidity between polar and equatorial exposure. Accordingly, slopes facing south and west are warmer than slopes exposed to the east and north. On the other hand, the southern slopes in the mountainous area make it possible to determine the places where the snow can melt first. Differences in impact on slopes determine changes in soil properties due to their effect on microclimatic and vegetation conditions. Such parameters related to the orientation of the slope as exposure to sunlight, dry wind, rainfall, and discontinuities, can influence the occurrence of landslides. The slope exposure was split into nine categories: flat ( $-1^\circ$ ), northern ( $0^\circ-22.5^\circ$ ;  $337.5^\circ-360^\circ$ ), northeastern ( $22.5^\circ-67.5^\circ$ ), eastern ( $67.5^\circ-112.5^\circ$ ), southeast ( $112.5^\circ-157.5^\circ$ ), south ( $157.5^\circ-202.5^\circ$ ), southwest ( $202.5^\circ-247.5^\circ$ ), western ( $247.5^\circ-292.5^\circ$ ), and northwestern ( $292.5^\circ-337.5^\circ$ ).

**The distance to rivers** is one of the factors determining the stability of the slope as they destroy the toe of the slope, resulting in erosion processes. Consequently, the risk of soil slippage decreases due to an increase in the distance from watercourses.

Based on the Distance to Rivers parameter, the research has identified three classes using the ArcGIS Euclidean distance tool: up to 200 m, within 200-500 m, and over 500 m.

**The Topographic Wetness Index (TWI)** is a robust index of wetness. It is mainly used for quantitative evaluation of the topographic control of hydrological processes. TWI is an indicator of the hydromor-

phism of the soil continuum, commonly defined by the relief features of the studied territory. Large values of the index correspond to the wet deposition, and its increased content in the soil. TWI is estimated using the following formula (2), where  $a$  is the total runoff into the cell (non-dimensional value);  $\tan b$  is the surface slope within the cell (in radians):

$$TWI = \ln \frac{a}{\tan b} \quad (2)$$

Based on the *Distance to roads* parameter, the research has identified three classes using the ArcGIS: distance up to 500 m, within 500-1000 m, and over 1000 m.

**Discussion.** The article has analysed the relationship between the factors causing landslides and the actual occurrence of landslides in the study area. The frequency ratios ( $F_{ij}$ ) and the weight factor ( $W_j$ ) were calculated using the FR models, respectively (Table 2).

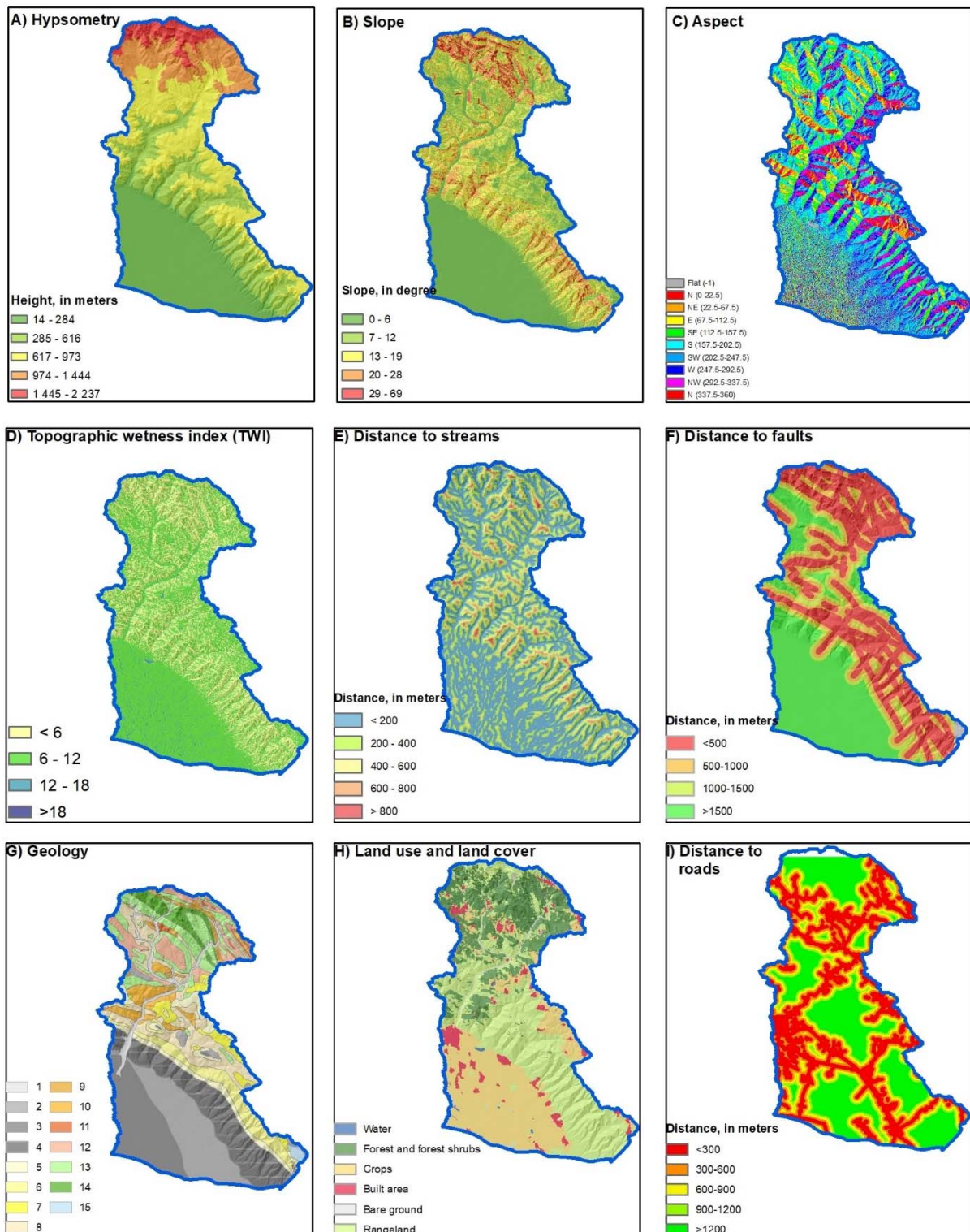


Fig. 5. Maps of landslide factors in the basin of the Agsuchay river

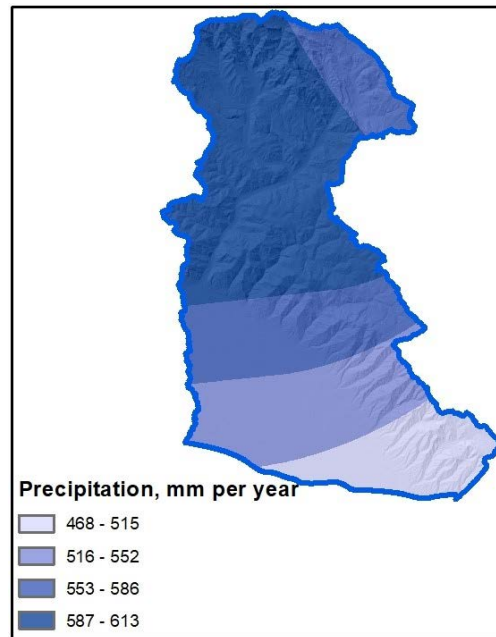


Fig. 6. Distribution map of annual precipitation in the basin Aghsuchay river

Table 2

Analysis of the relationship between factors causing landslides and landslide distribution

Factor Name	Factor classes	Class area, Pi	Landslide area, Ni	FR <sub>ij</sub>	Weight factor a, W <sub>i</sub>
Hypsometry, in meters	14-284	306323400	4993,08222	0,005907426	3,83
	284-616	203414900	1314290,198	2,341629738	
	616-973	258086400	828851,6485	1,16391537	
	973-1444	117177100	49930,8222	0,154431429	
	1444-2237	54171620	393343,9215	2,631542192	
Slope, in degrees	0-6	330906600	66019,64268	0,072005394	3,32
	6-12	227688500	841611,7475	1,334037325	
	12-19	217790500	1162278,583	1,926054587	
	19-28	121181000	483219,4015	1,439153503	
	28-69	37695560	38280,29702	0,366507096	
Aspect	flat areas	50809610	74341,44638	0,528058947	1,00
	north	26740180	110957,3827	1,497576918	
	northeast	64591080	272955,1613	1,525162171	
	east	82213330	207490,3056	0,910862518	
	southeast	131276500	357282,7722	0,982250699	
	south	173426400	601389,014	1,251519271	
	southwest	184496600	494869,9267	0,968054829	
	west	131472300	309016,3107	0,848290108	
northwest	90236100	163107,3525	0,652364743		
Geology*	1	29494140	97087,70982	1,193028445	2,86
	2	140260100	0	0	
	3	120623500	0	0	
	4	139786350	0	0	
	5	51286170	155895,1226	1,101677652	
	6	61790515	164216,9263	0,963204235	
	7	33116900	42718,59232	0,467508526	
	8	108513000	760612,8581	2,540412095	

	9	11266060	221914,7653	7,138984167	
	10	43814306	848269,1903	7,01681515	
	11	5965070	4438,295306	0,269663974	
	12	59204091,1	12760,09901	0,078113232	
	13	98113539,1	128155,777	0,473403567	
	14	31160724,2	155340,3357	1,806753797	
	Volcanic breccia	4806120	0	0	
Distance to faults, in meters	0-500	347749900	1543971,98	1,597895539	3,15
	500-1000	161212200	662415,5744	1,47879718	
	1000-1500	87413350	316783,3275	1,30424907	
	1500<	336260300	68238,79033	0,073035113	
Distance to streams, in meters	<200	469655500	1388076,857	1,067794446	2,61
	200-400	277143300	763016,9347	0,994679918	
	400-600	140608000	338604,946	0,870035199	
	600-800	44409040	101710,9341	0,827465345	
Topographic wetness index (TWI)	>800	4429420	0	0	3,73
	<6	332261900	759503,2843	0,824985585	
	6-12	563107100	1698757,529	1,088773744	
	12-18	36750760	133148,8592	1,307580313	
Distance to roads, in meters	>18	3142314	0	0	2,28
	<300	278845400	242441,8811	0,310793604	
	300-600	165115200	315673,7536	0,683406856	
	600-900	116582400	367823,7235	1,127806665	
	900-1200	84719300	378364,6748	1,596452995	
Land use and land cover	>1200	281064000	1287105,683	1,636955589	5,26
	water	2350633	554,786913	0,085643955	
	forests and forest shrubs	194466200	249654,111	0,46585411	
	crops	290814400	13869,67283	0,017306357	
	built area	50804620	21081,9027	0,150578142	
	bare ground	9854127	101526,0051	3,738647165	
Precipitation, mm per year	rangeland	392064100	2204723,193	2,040573919	8,77
	468-515	120732192,2	0	0	
	515-552	177959026	0	0	
	552-586	223405512,7	64355,28194	0,104399699	
	586-613	417074996,9	2527054,39	2,195883873	

\* geological classes: 1 - Holocene, modern alluvial deposits - pebbles, gravel, sands, sandy loams, loams; 2 - Holocene, modern deluvial-proluvial deposits - pebbles, loams, sandy loams, clays; 3 - Middle and Upper Pleistocene, alluvial-proluvial deposits - clays, loams, sandy loams, pebbles with layers of volcanic ash; 4 - Eopleistocene, Absheron marine sediments - clays, sands, sandstones, limestones with layers of volcanic ash, loams, marls, conglomerates; 5 - Upper Pliocene, Akchagyl sedimentary deposits - clays, volcanic ash, breccias, sands, sandstones, pebbles, limestones; 6 - Lower Pliocene, Balakhani sedimentary deposits - clays, loams, sands, sandstones, pebbles, gravelstones, conglomerates; 7 - Upper Miocene, Pontian sedimentary deposits - sands, sandstones, clays, limestones, conglomerates, volcanic ash; 8 - Lower Miocene, Upper Maikop sedimentary deposits - shale clays with interlayers of clayey siderite nodules, volcanic ash, sands, sandstones, gravelstones, conglomerates; 9 - Oligocene and Lower Miocene Maikop sedimentary deposits - clays, mudstones, sandstones, marls; 10 - Eocene (Govundag Formation) sedimentary deposits - clays, marls, sandstones, clayey dolomites, volcanic ash, conglomerates; 11 - Middle and Upper Paleocene (Sumgait Formation) sedimentary deposits - clays, marls, sandstones; 12 - Lower Paleocene sedimentary deposits - limestones, sandstones, marls, argillites, clays; 13 - Upper Cretaceous volcanogenic-sedimentary and sedimentary deposits - tuff sandstones, basaltic andesites, porphyrites, limestones, sandstones, marls, mudstones, clays; 14 - Lower Cretaceous volcanogenic-sedimentary and sedimentary deposits - tuff sandstones, sandstones, marls, limestones, mudstones, tuff conglomerates, tuffs, tuffites, porphyrites, andesites.

For the studied territory, the LSI values were determined using the following formula, when compi-

$$LSI = ((\text{Hypsometry} \times W_j) + (\text{Angle of gradient} \times W_j) + (\text{Exposure} \times W_j) + (\text{Geologic aspects} \times W_j) + (\text{Distance to faults} \times W_j) + (\text{Distance to watercourses} \times W_j) + (\text{Topographic Wetness Index} \times W_j) + (\text{Distance to roads} \times W_j) + (\text{Land management and vegetation cover} \times W_j) + (\text{Amount of precipitation} \times W_j)) \quad (7)$$

In this connection, a map of the landslide susceptibility of the Aghsuchay River basin was compiled in the ArcGIS software environment by

ling maps of the landslide susceptibility index:

summing up each landslide factor multiplied by its weights, using the Raster Calculator spatial analysis tool (Fig. 7).

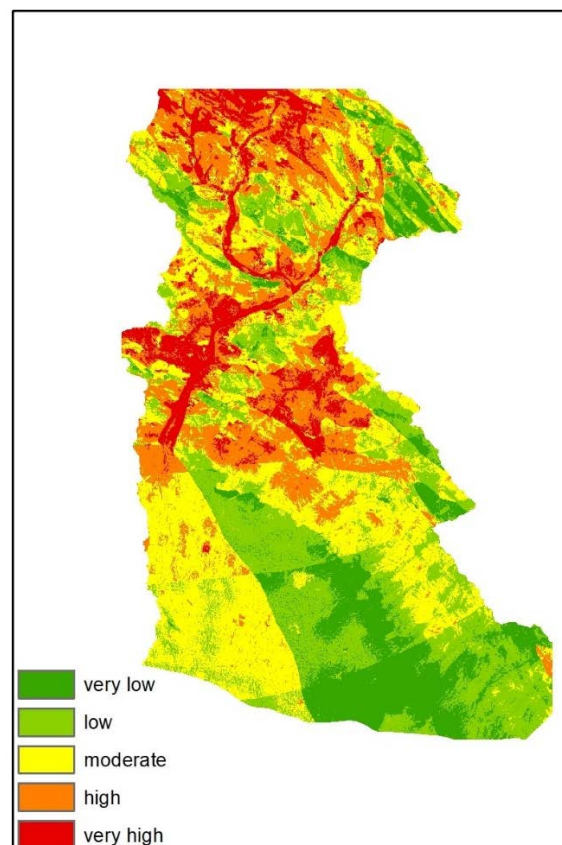


Fig. 7. Map of landslide susceptibility of the basin Aghsuchay river

Using the natural boundary classification method in the ArcGIS software environment, the studied area was divided into five potential landslide zones: very low, low, moderate, high, and very high. The analysis result showed that zones with very low, low, medium, high, and very high landslide occurrence potential make 13.75; 24.48; 31.51; 20.51, and 9.74% of the study area, respectively. Areas with high and very high landslide susceptibility mainly cover the regions towards the Nialdagh Ridge, the slopes of the Steppe (tertiary) Plateau, and Langabiz Ridge. Almost the entire highland part of the basin is located in a zone of very high and high landslide susceptibility. The areas of low and very low susceptibility cover the flat part of the basin, as well as flat areas. The AUC value (from ArcSDM tool in ArcGIS Desktop)

is 82%, showing the effectiveness of the method used for landslide susceptibility mapping and landslide development potential in the study area (Fig. 8).

The areas of distribution of Upper Cretaceous and Maikop clays, clay shales, and limestones have a high and very high potential for the development of landslides. Landslides are more common in areas with sparse vegetation, subalpine meadows, and partly in agricultural areas. Excavation work on the slopes, together with a large amount of precipitation, increases the risk of a landslide in the study area.

**Conclusion.** Landslide hazard assessment is an essential component of the national disaster prevention and mitigation strategy in Azerbaijan. The zoning of the territory, according to the potential for the development of a landslide process, is the basis for

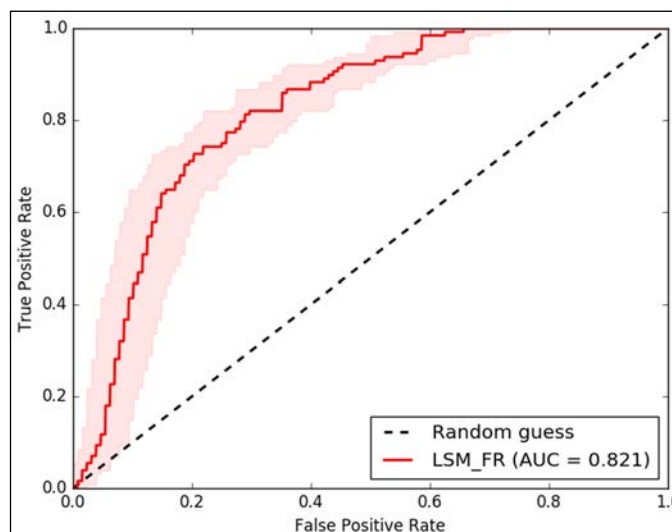


Fig. 8. Graph showing the validity of the model

assessing the landslide hazard associated with this risk and designing early warning systems.

Based on this idea, the study has made an analysis of the development potential of a landslide process in the Aghsuchay River basin on the southern slope of the Greater Caucasus. Landslide susceptibility mapping was compiled using statistical models (based on GIS), making it possible to determine the significance of each parameter influencing the development of landslide processes. Subsequently, susceptibility assessment was conducted by aggregating the result of the analysis of selected factors using spatial analytical equations. The study area was classified

into five zones based on the degree of potential development of landslides: very low, low, medium, high, and very high. The accuracy of the obtained models was estimated using the AUC ROC (area under the error curve) analysis, which showed the high performance of the method used.

The results of the research conducted are of major importance for estimating landslide hazards and risks, planning sustainable land use, and reducing damage from landslides in the area under consideration. By virtue of its high reliability, the method can be used to assess the landslide susceptibility of various regions of Azerbaijan.

### References

1. Akgun, A., Dag, S., Bulut F. (2008). Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood frequency ratio and weighted linear combination models. *Environmental Geology*. 54(6), 1127–1143.
2. Akgun, A., Needet, T. (2010). Landslide susceptibility mapping for Ayvalik (Western Turkey) and its vicinity by multi criteria decision analysis. *Environmental Earth Science*. 61, 595–611.
3. Aleotti, P., Chowdhury, R. (1999). Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and Environment*. 58, 21–44.
4. Arabameri, A., Pradhan, B., Rezaei, K., Lee, C.-W. (2019). Assessment of landslide susceptibility using statistical- and artificial intelligence-based FR–RF integrated model and multiresolution DEMs. *Remote Sensing*. 11 (9). URL: <https://doi.org/10.3390/rs11090999>.
5. Baynes, F.J., Lee, I.K., Stewart, I.E. (2002). A study of the accuracy and precision of some landslide risk analyses. *Australia: Geomech*. 37, 149–156.
6. Berhane, G., Tadesse, K. (2021). Landslide susceptibility zonation mapping using statistical index and landslide susceptibility analysis methods: a case study from Gindeberet district, Oromia Regional State, Central Ethiopia. *Journal of African Earth Sciences*. 180. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2021.104240>.
7. Brardinoni, F., Slaymaker, O., Hassan, M.A. (2003). Landslide inventory in a rugged forested watershed: a comparison between air-photo and field survey data. *Geomorphology*. 54, 179–196.
8. Cantarino, I., Carrion, M.A., Goerlich, F., Martinez Ibañez, V.A (2019). ROC analysis-based classification method for landslide susceptibility maps. *Landslides*. 16, 265–282. URL: <https://doi.org/10.1007/s10346-018-1063-4>.
9. Castellanos Abella, E.A., Van Westen, C.J. (2008). Qualitative landslide susceptibility assessment by multicriteria analysis: A case study from San Antonio del Sur, Guantánamo, Cuba. *Geomorphology*. 94, 453–466.
10. Cervi, F., Berti, M., Borgatti, L., Ronchetti, F., Manenti, F., Corsini, A. (2010). Comparing predictive capability of statistical and deterministic methods for landslide susceptibility mapping: a case study in the northern Apennines (Reggio Emilia Province, Italy). *Landslides*. 7, 433–444.
11. Chacon, J., Irigaray, C., Fernandez, T. et al. (2006). Engineering geology maps: landslides and geographical information systems. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 65 (4), 341–411.

12. Ciurleo M., Cascini L., Calvello M. (2017). A comparison of statistical and deterministic methods for shallow landslide susceptibility zoning in clayey soils. *Engineering Geology*. 223 (7), 71–81. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.04.023>.
13. Constantin, M., Bednarik, M., Jurchescu, M.C., Vlaicu M. (2011). Landslide susceptibility assessment using the bivariate statistical analysis and the index of entropy in the Sibiciu Basin (Romania). *Environmental Earth Science*. 63, 397-406. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0724-y>.
14. Corominas, J., van Westen, C.J., Frattini, P. et al. (2014). Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *B. Eng. Geol. Environ.* 73, 209-263.
15. Duong, V.B., Fomenko, I.K., Nguyen, T.K., ThiHong, L.Vi., Zerkal, O.V., Hong, D.Vu. (2022) Application of GIS-based bivariate statistical methods for landslide potential assessment in Sapa, Vietnam. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University [TPU Bulletin]. Geo Assets Engineering*. 333 (4), 126-140. URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/70765>.
16. Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W.Z. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*. 102 (3), 85–98. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.022>.
17. Froude, M.J., Petley, D.N. (2018). Global fatal landslide occurrence 2004 to 2016. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 18 (8), 2161–2181. URL: <https://doi.org/10.5194/nhess-18-2161-2018>.
18. Gaidzik, K., Ramírez-Herrera, M.T. (2021). The importance of input data on landslide susceptibility mapping. *Scientific Reports*. 11 (1). URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98830-y>.
19. Getachew, N., Meten, M. (2021). Weights of evidence modeling for landslide susceptibility mapping of Kabi-Gebro locality, Gundomeskel area, Central Ethiopia. *Geoenvironmental Disasters*. 8 (1). URL: <https://doi.org/10.1186/s40677-021-00177-z>.
20. Gokceoglu, C., Sönmez, H., Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y., Can, T. (2005). Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide susceptibility map of its near vicinity. *Engineering Geology*. 81 (1), 65-83.
21. Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M., Ardizzone, F. (2005). Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. *Geomorphology*. 72 (1), 272–299. URL: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.06.002>
22. Haque, U., Da Silva, P.F., Devoli, G., Pilz, J., Zhao, B., Khaloua, A., Wilopo, W., Andersen, P., Lu, P., Lee, J., Yamamoto, T., Keellings, D., Wu, J.-H., Glass, G.E. (2019). The human cost of global warming: deadly landslides and their triggers (1995–2014). *Science of The Total Environment*. 682, 673–684. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.415>.
23. Hong, H., Pradhan, B., Sameen, M.I. et al. (2018). Improving the accuracy of landslide susceptibility model using a novel region-partitioning approach. *Landslides*. 15 (4), 753–772.
24. Kose, D.D., Turk, T. (2019). GIS-based fully automatic landslide susceptibility analysis by weight-of-evidence and frequency ratio methods. *Physical Geography*. 40 (5), 481–501. URL: <https://doi.org/10.1080/02723646.2018.1559583>.
25. Lee, S., Pradhan, B. (2007). Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. *Landslides*. 4, 33–41.
26. Lee, S., Ryu, J.H., Min, K.D., Won, J.S. (2019). Landslide susceptibility analysis using GIS and artificial neural network. *Earth Surface Process Landforms*. 27, 1361–1376.
27. Mandal, S., Mondal, S. (2019). *Statistical approaches for landslide susceptibility assessment and prediction*. Switzerland: Springer International Publishing, 200.
28. McColl, S.T. (2015). Chapter 2. Landslide causes and triggers // *Landslide hazards, risks and disasters* (J.F. Shroder, T. Davies. Eds.). Boston: Academic Press, 17–42. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396452-6.00002-1>.
29. Mersha, T., Meten, M. (2020). GIS-based landslide susceptibility mapping and assessment using bivariate statistical methods in Simada area, northwestern Ethiopia. *Geoenvironmental Disasters*. 7 (1). URL: <https://doi.org/10.1186/s40677-020-00155-x>.
30. Nahayo, L., Mupenzi, C., Habiyaemye, G., Kalisa, E., Udaogora, M., Nzabarinda, V., Li, L. (2019). Landslides hazard mapping in Rwanda using bivariate statistical index method. *Environmental Engineering Science*. 36 (8), 892–902. URL: <https://doi.org/10.1089/ees.2018.0493>.
31. Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y., Durmaz, S. (2008). Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey). *Geomorphology*. 94 (3), 401–418. URL: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.10.036>.
32. Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C., Sonmez H. (2008). An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps. *Engineering Geology*. 97, 171–191.
33. Nefeslioglu, H.A., Sezer, E., Gokceoglu, C., Bozkir, A.S., Duman, T.Y. (2010). Assessment of landslide susceptibility by decision trees in the Metropolitan Area of Istanbul, Turkey. *Mathematical Problems in Engineering*. Article ID 901095, 15. <https://doi.org/10.1155/2010/901095>.
34. Oh, H.-J., Lee, S. (2011). Cross-application used to validate landslide susceptibility maps using a probabilistic model from Korea. *Environmental Earth Science*. 64, 395-409.
35. Oh, H.-J., Lee, S., Hong, S.-M. (2017). Landslide susceptibility assessment using frequency ratio technique with iterative random sampling. *Journal of Sensors*. URL: <https://doi.org/10.1155/2017/3730913>.

36. Ozdemir, A. (2009). Landslide susceptibility mapping of vicinity of Yaka Landslide (Gelendost, Turkey) using conditional probability approach in GIS. *Environmental Geology*. 57, 1675-1686.
37. Pourghasemi, H.R., Mohammady, M., Pradhan, B. (2012). Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood Basin, Iran. *CATENA*. 97, 71–84.
38. Pourghasemi, H.R., Moradi, H.R., Aghda, S.F. (2013). Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances. *Natural Hazards*. 69 (1), 749–779.
39. Pradhan, B. (2013). A comparative study on the predictive ability of the decision tree, support vector machine and neuro-fuzzy models in landslide susceptibility mapping using GIS. *Computer Geosciences*. 51, 350–365.
40. Ram Mohan, V., Jeyaseelan, A., Naveen Raj, T., Narmatha, T., Jayaprakash, M. (2011). Landslide susceptibility mapping using frequency ratio method and GIS in south eastern part of Nilgiri District, Tamilnadu, India. *International Journal Geomatics and Geoscience*. 1 (4), 951-961.
41. Reichenbach, P., Rossi, M., Malamud, B.D., Mihir, M., Guzzetti, F. (2018). A review of statistically-based landslide susceptibility models. *Earth-Science Reviews*. 180, 60–91. URL: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.03.001>.
42. Roccati, A., Paliaga, G., Luino, F., Faccini, F., Turconi, L. (2021). GIS-based landslide susceptibility mapping for land use planning and risk assessment. *Land*. 10, (2). URL: <https://doi.org/10.3390/land10020162>.
43. Saito, H., Nakayama, D., Matsuyama, H. (2009). Comparison of landslide susceptibility based on a decision-tree model and actual landslide occurrence: The Akaishi Mountains, Japan. *Geomorphology*. 109, 108–121.
44. Schlögel, R., Doubre, C., Maletl, J.-P. et al. (2015). Landslide deformation monitoring with ALOS/PALSAR imagery: a DInSAR geomorphological interpretation method. *Geomorphology*. 231, 314-330.
45. Sezer, E.A., Pradhan, B., Gokceoglu, C. (2011). Manifestation of an adaptive neuro-fuzzy model on landslide susceptibility mapping: Klang valley, Malaysia. *Expert Systems with Applications*. 38 (7), 8208-8219.
46. Sestras, P., Bilaşco, Ş., Roşca, S., Naş, S., Bondrea, M.V., Gâlgău, R., Vereş, I., Sălăgean, T., Spalević, V., Cîmpeanu, S.M. (2019). Landslides susceptibility assessment based on GIS statistical bivariate analysis in the hills surrounding a metropolitan area. *Sustainability*. 11 (5). URL: <https://doi.org/10.3390/su11051362>.
47. Shano, L., Raghuvanshi, T.K., Meten, M. (2020). Landslide susceptibility evaluation and hazard zonation techniques – a review. *Geoenvironmental Disasters*. 7 (1). URL: <https://doi.org/10.1186/s40677-020-00152-0>.
48. Shannon, C.E. (1950). Prediction and entropy of printed English. *The Bell System Technical Journal*. 30, 50-64.
49. Shaw, S.C., Vaugeois, L.M. (1999). Comparison of GIS-based Models of Shallow Landsliding for Application to Watershed Management. Seattle: State of Washington Timber/Fish/Wildlife Publication 118, TFW-PR10-99-001, 132.
50. Süzen, M.L., Doyuran, V. (2004). A comparison of the GIS based landslide susceptibility assessment methods: multi-variate versus bivariate. *Environmental Geology*. 45 (5), 665–679. URL: <https://doi.org/10.1007/s00254-003-0917-8>.
51. Tarikhazer, S.A. (2020). The geographical prerequisites for the identification and prevention of dangerous geomorphological processes in the mountain geosystems of the Alpine-Himalayan belt (on the example of the Major Caucasus of Azerbaijan). *Bulletin of Dnipropetrovsk University. Geology, Geography and Geoecology*, 1. 176-187. DOI <https://doi.org/10.15421/112016>
52. Tarikhazer, S.A. (2022). Assessment of ecological strength and risk of geosystems of the north-eastern slope of the Great Caucasus (within Azerbaijan). *Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv National University, series Geology. Geography. Ecology*. 56. Pp. 264-276 <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-20>
53. Tiranti, D., Cremonini, R. (2019). Editorial: landslide hazard in a changing environment. *Frontiers in Earth Science*. 7 (3). URL: <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00003>.
54. Van Westen, C.J. (1997). Statistical landslide susceptibility analysis. *ILWIS 2.1 for Windows application guide*. Enschede: ITC Publ., 73–84.
55. Van Westen, C.J., Van Asch, T.W.J., Soeters, R. (2006). Landslide hazard and risk zonation – why is it still so difficult? *Bulletin of engineering geology and the environment*. 65 (2), 167–184. URL: <https://doi.org/10.1007/s10064-005-0023-0>.
56. Van Westen, C.J., Castellanos E., Kuriakose S.L. (2008). Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. *Engineering Geology*. 102, 112-131.
57. Xiong, J., Li, J., Zhang, H., Sun, M., Cheng, W. (2019) Quantitative Hazard Assessment of Landslides Using the Levenburg–Marquardt Back Propagation Neural Network Method in a Pipeline Area. *Geosciences*. 9 (10), 1-23. URL: <https://doi.org/10.3390/geosciences9100449>.
58. Yalcin, A., Reis, S., Aydinoglu, A.C., Yomralioglu, T. A (2011). GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey. *CATENA*. 85 (3), 274–287. URL: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.01.014>.
59. Yesilnacar, E.K. (2005). The application of computational intelligence to landslide susceptibility mapping in Turkey [Candidate's dissertation]. Department of Geomatics the University of Melbourne, 423.
60. Belov A.V., Sokolova L.P. (2012). Nekotorye aspekty ekologicheskikh riskov prirodopol'zovaniya na yuge Bajkal'skoj Sibiri [Some aspects of environmental risks of nature management in the south of Baikal Siberia]. *Geografiya i prirodnye resursy [Geography and natural resources]*, 4, 90-97 [in Russian].
61. Budagov B.A., Lilienberg D.A., Shirinov N.Sh. (1960). Istoriya razvitiya gidrograficheskoy seti Yugo-Vostochnogo Kavkaza [History of the development of the hydrographic network of the South-Eastern Caucasus]. *Izv. AN Azeb. SSR, Seriya geol.-geograf. nauk [Proceedings of AS of Azerbaijan. SSR, Series geol.-geographer. Sciences]*, 1, 3-7 [in Russian].
62. Budagov, B.A. (1993). Gravitacionnaya morfoskul'ptura [Gravitational morphosculture]. V knige: "Rel'ef Azerbajdzhana" [In book: Relief of Azerbaijan]. Baku: Elm, 22-28 [in Russian].



63. Leonova, A.V., Strokova, L.A., Nikitenkov, A.N. (2021). Ocenka opolznevyh processov na territorii g. Tomsk s ispol'zovaniem GIS-tehnologij [Assessment of landslide processes on the territory of Tomsk by using GIS Technologies]. Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya: Geologiya [Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology], 1, 94–103. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2021.1/3341> [in Russian].
64. Osipov, V.I. (2001). Prirodnye katastrofy na rubezhe XXI veka. [Natural disasters at the turn of the XXI century]. Vestnik Rossijskoj Akademii nauk [Bulletin of the Russian Academy of Sciences]. M., 71 (4), 291-302 [in Russian].
65. Pozdeev, V.B. (1998). Ob opredelenii geoekologii. [On the definition of geoecology]. Geografiya i prirodnye resursy. [Geography and natural resources]. Novosibirsk, 1, 150-155 [in Russian].
66. Rustamov, S.G., Mardanov, I.E. (1986). Ob opolznevyh selyah Yugo-Vostochnogo Kavkaza [About landslide mudflows in the South-Eastern Caucasus]. V sb.: Problemy protivoselevykh meropriyatij [In: Problems of anti-mudflow measures]. Alma-Ata, 90-94 [in Russian].
67. Fomenko, I.K., Pendin, V.V., Nguyen, Ch.K. (2017). Ocenka usherba, opasnosti i riska ot opolznevyh processov (na primere Severo-Zapadnogo V'etnama) [Assessment of damage, danger and risk from landslide processes (on the example of Northwest Vietnam)] Materialy dokladov XIII Obshcherossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii i vystavki «Perspektivy razvitiya inzhenernyh izyskanij v stroitel'stve v Rossijskoj Federacii» [Proceedings of the XIII All-Russian scientific-practical conference and exhibition "Prospects for the development of engineering surveys in construction in the Russian Federation"], 27-34 [in Russian].
68. Chalkova, Yu.S., Cherepanov, B.M. (2007). Opolznevye processy, ih prognozirovaniye i bor'ba s nimi [Landslide processes, their forecasting and control]. Polzunovskiy Vestnik [Polzunovsky Bulletin], 1–2, 80-89 [in Russian].
69. Shirinov, N.Sh. (1982). Morfostrukturnye osobennosti rajona Ismailinskogo zemletryaseniya (Azerbajdzhanskaya SSR) [Morphostructural features of the area of the Ismayilli earthquake (Azerbaijan SSR)] Izv. AN Azerb. SSR, seriya nauk o Zemle [Proceedings of AS of Azerbaijan. SSR, Earth Sciences Series], 5, 9-13 [in Russian].
70. Ekologicheskij risk [Ecological risk]. Materialy Vtoroj Vseros. Konferencii [Materials of the Second All-Russian. Conferences]. Irkutsk: Publishing House of the Institute of Geography SB RAS, 2001, 262 [in Russian].

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work

## Застосування кількісних методів для оцінки стійкості до зсувів басейну річки Агсучай

Стара Таріхазер<sup>1</sup>,

д. геогр. н., доцент, гол. наук. співробітник,

<sup>1</sup> Інститут географії імені академіка Г.А. Алієва МОН Азербайджану, просп. Г. Джавіда, 115, Баку, AZ 1143, Азербайджан;

Сеймур Мамедов<sup>2</sup>,

к. геогр. н., пров. інженер, <sup>2</sup> ВП «Азнефть», SOCAR, пр. Нефтяників, 73, Баку, AZ 1000, Азербайджан;

Зернура Гамідова<sup>1</sup>,

д. філософії (географія), доцент, пров. наук. співробітник

Азербайджан робить багато зусиль для зменшення впливу небезпечних геологічних процесів на природні геосистеми, проте вони все ще завдають величезної шкоди. Більшою мірою до таких процесів схильний регіон Великого Кавказу, а саме південний схил, де зустрічається весь спектр небезпечних геологічних процесів: землетрус (7-8 б і вище), обвали, зсуви, осипи, селеві потоки та ін. Усі вони є масштабними за збитками процесами – впливають на значні площі, призводять до економічних втрат. Мета дослідження – виявити основні чинники формування та поширення зсувів у басейні однієї з найбільш селеносних річок не тільки Азербайджану, а й Південного Кавказу – р. Агсучай, виявити умови їх утворення, дати оцінку ризику вразливості території до зсувних процесів, а також способи запобігання та захисту. Для оцінки зсувної вразливості та створення карт потенційного розвитку зсувів у басейні р. Агсучай нами було використано метод співвідношення частотностей (Frequency Ratio method – FR). На прикладі басейну р. Агсучай для мінімізації збитків від зсувів було проведено детальне вивчення факторів (гіпсометрія, кути нахилу (крутість схилів), експозиція схилів, геологічна будова (літологія), відстань від розломів, середньорічна кількість опадів, відстань до ерозійної мережі, відстань до доріг та землекористування), що визначають розвиток зсувних процесів з урахуванням механізму їх розвитку, а також аналіз отриманих значень зсувної вразливості та потенційного їх розвитку. Для цього в програмному середовищі ArcGIS за допомогою інструменту просторового аналізу «Калькулятор растру» підсумувавши кожен фактор утворення зсувів, перемножені на свою вагу, була отримана карта зсувної вразливості басейну р. Агсучай. Використовуючи метод класифікації природних кордонів у програмному середовищі ArcGIS, район дослідження був поділений на п'ять зон за потенціалом розвитку зсувів: дуже низький, низький, середній, високий та дуже високий. В кінцевому підсумку достовірність отриманих моделей була оцінена із застосуванням AUC ROC (площа під кривою помилок) аналізу, який показав високу результативність (82%) методу, що використовується.

**Ключові слова:** зсув, селеносна річка, геосистема, туристично-рекреаційний потенціал, збитки, зсувна небезпека, вразливість, кількісні методи

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 10 квітня 2023 р.

Прийнята 16 травня 2023 р.

## Методика та практична імплементація дослідження зміни лісистості Волинської області із використанням методів ДЗЗ

**Василь Фесюк**<sup>1</sup>

д. геогр. н., професор, завідувач кафедри фізичної географії  
<sup>1</sup> Волинського національного університету ім. Лесі Українки,  
пр. Волі, 13, Луцьк, 43025, Україна,

e-mail: [fesyuk@ukr.net](mailto:fesyuk@ukr.net),  <https://orcid.org/0000-0003-3954-9917>;

**Ірина Мороз**<sup>2</sup>

к. хім. н., доцент, кафедра матеріалознавства

<sup>2</sup> Луцького національного технічного університету,  
вул. Львівська, 75, Луцьк, 43000, Україна,

e-mail: [moroz.irynd@gmail.com](mailto:moroz.irynd@gmail.com),  <https://orcid.org/0000-0001-9167-4876>;

**Микола Федонюк**<sup>2</sup>

к. геогр. н., доцент, кафедра екології,

e-mail: [m.fedoniuk@lntu.edu.ua](mailto:m.fedoniuk@lntu.edu.ua),  <https://orcid.org/0000-0002-4034-3695>;

**Олександр Мельник**<sup>1</sup>

к. техн. н., доцент, доцент кафедри геодезії, землевпорядкування і кадастру,

e-mail: [hockins@vnu.edu.ua](mailto:hockins@vnu.edu.ua),  <https://orcid.org/0000-0002-5429-4038>;

**Сергій Полянський**<sup>1</sup>

к. геогр. н., доцент, доцент кафедри фізичної географії,

e-mail: [polianskyi@ukr.net](mailto:polianskyi@ukr.net),  <https://orcid.org/0000-0002-8666-7695>

Ліси є невід'ємним компонентом навколишнього середовища, які виконують цілий ряд важливих екосистемних послуг. Серед них найголовнішими є підтримання рівня природності, екостабілізація, поглинання парникових газів. Проте в останні роки у Волинській області спостерігається тенденція до знеліснення. Основними причинами втрат були вирубка і знищення лісів шкідниками, хворобами і пожежами. В області відбуваються заходи лісовідновлення. Проте їх ефективність недостатня для запобігання знеліснення. За даним датасету Global Forest Watch відношення площ відновлених лісів до втрачених найменше у Маневиському (14,7%), а найвище у Луцькому (73,3%) районах. В статті виконана спроба інтеграції даних з різних відкритих джерел (державної статистичної звітності, онлайн-платформ та веб-сервісів по моніторингу лісів, супутникових знімків) з метою оцінки сучасного стану лісів, динаміки їх площ, втрат лісів та лісовідновлення. Дані про площі лісів та знеліснення у Волинській, отримані з різних джерел, порівнювані між собою. Наприклад, за даними EOS Forest Monitoring площа лісів Волинської області у 2020 р. становила 1108,3 тис.га, за даними Global Forest Watch – 733 тис. га, за результатами визначення площі лісів в Google Earth Engine – 853 тис. га. Лісистість відповідно становила 55,02%, 36,38% і 42,35%. За офіційною інформацією з Екологічного паспорту області – 34%. Такі відмінності зрозумілі і пояснюються відмінністю в методиці визначення. Зростає площа нелісових земель лісогосподарського призначення. В 2017 р. їх площа становила 1692,3 га, в 2018 р. – 32459,3 га, в 2019 р. – 34136,86 га, в 2020 р. – 42436,33 га. Очевидно, що в 2018 р. відбулись зміни в підході до визначення цих земель. Зменшується площа загиблих лісових насаджень. Якщо в 2017 р. вона становила 2915 га, то в 2018 р. зменшилась на 43,01%, в 2019 р. – ще на 22,36%, в 2020 р. – ще на 33,22%. Найбільше гинули лісові насадження від шкідників і хвороб. Згадане вище зменшення площ пояснюється ефективними і значними за площами санітарними рубками в попередні роки. Площі лісів, що знищених пожежами, незначні. Втрати лісів відбувались внаслідок екстремальних погодних умов в окремі роки (2017 р, 2019 р.). Запропоновано комплекс заходів раціонального використання і охорони лісів у Волинській області.

**Ключові слова:** ліси, площа лісів, втрати лісів, лісовідновлення, знеліснення, моніторинг лісів, динаміка площа лісів, просторовий аналіз знеліснення, застосування методів дистанційного зондування Землі для моніторингу лісів, онлайн-платформи та веб-сервіси для моніторингу лісів.

**Як цитувати:** Фесюк Василь. Методика та практична імплементація дослідження зміни лісистості Волинської області із використанням методів ДЗЗ / Василь Фесюк, Ірина Мороз, Микола Федонюк, Олександр Мельник, Сергій Полянський // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 58. – С. 274-289. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-21>

**In cites:** Fesyuk Vasyly, Moroz Iryna, Fedonyuk Mykola, Melnyk Oleksandr, Polyanskyi Serhii (2023). Methodology and practical implementation of research of changes in forest coverage of Volyn region using remote sensing. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (58), 274-289. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-21> [in Ukrainian]

**Вступ.** Останнім часом міжнародні наукові, природоохоронні та політичні спільноти дуже багато уваги приділяють питанням стійкого екологічно безпечного розвитку, екологічної безпеки території, протидії глобальним змінам клімату. В

цьому контексті для розвитку Волинської області надзвичайної важливості набувають питання стану лісових ресурсів, площі лісів та її динаміки, заходів охорони та раціонального використання лісів. Адже ліс зменшує забруднення довкілля,

© Фесюк Василь, Мороз Ірина, Федонюк Микола, Мельник Олександр, Полянський Сергій, 2023

затримує вологу на полях, поліпшує гідрологічний режим території, сприяючи переведенню поверхневого стоку в підземний. Окрім того, лісові ландшафти – чи не найбажаніші для створення нових та розширення мережі існуючих об'єктів і територій природно-заповідного фонду, розвитку екологічної мережі. Коефіцієнт заповідності України – 6,77% (Волинської області – 10,96%). Україна прагне стати повноцінним членом ЄС, хоча ще дуже далека за цим показником від європейських вимог. Аналогічна ситуація і у Волинській області.

Зміни лісистості тієї чи іншої території можливо ідентифікувати з використанням багатьох джерел інформації, в т.ч. статистичних матеріалів, багатоспектральних супутникових знімків, інтернет-сервісів, які дають змогу відслідкувати стан лісів території в режимі реального часу, а також проаналізувати інформацію про зміни за попередні періоди.

Тому проблема знеліснення території є дуже важливою і вимагає ґрунтовних наукових досліджень, які могли б лягти в основу розробки ефективних загальнонаціональних та регіональних програм розвитку лісового господарства, охорони і раціонального використання лісових ресурсів.

Актуальність дослідження знеліснення території підвищується у зв'язку із урбанізацією, трансформацією довкілля внаслідок розвитку промисловості, сільського господарства, транспорту та інфраструктури, а також глобальних змін клімату й підвищення інтересу громадян до якості середовища їх життя.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема знеліснення (deforestation) турбує закордонних і вітчизняних вчених давно. У зв'язку із цим розвиваються методичні і прикладні засади оцінки втрати лісів, лісовідновлення, екосистемних послуг лісів тощо. Серед західних робіт в цьому напрямку варто відмітити праці Hansen M. et al. 2013 [15, 21], Olofsson P. et al. 2014 [22], Weisse M. & Goldman L. 2021 [23]. Серед українських робіт слід згадати, напевно, найфундаментальнішу працю, присвячену лісам України, авторства Генсірука С.А. [3], статтю Геника Я.В. про причини та наслідки знеліснення і деградації лісових екосистем в Україні [2]. Для умов Волинської області ці питання розглянуті в монографіях [4, 5, 13]. Методика застосування ДЗЗ для вирішення задач лісового моніторингу, зокрема, для оцінки площі лісів та знеліснення розглядається в роботах [1, 9]. Найбільш детально в Україні розроблені регіональні оцінки для Українських Карпат в роботах Часковського О.Г. із співавторами, зокрема, в статті [14]. По Волинській області такі дослідження теж розпочаті в статтях [6, 7, 18], в яких розглядаються результати проведених кла-

сифікацій лісових масивів Волині за даними багатоспектральних супутникових знімків.

**Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми.** Стаття присвячена оцінці зміни лісистості Волинської області. Існує багато способів такої оцінки: за статистичними матеріалами (Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища, Екологічний паспорт області), за фондовими матеріалами лісокористувачів, за матеріалами інтернет-сервісів, які дають змогу відслідкувати стан заліснення території в режимі реального часу, а також проаналізувати інформацію про зміни за попередні періоди (EOS Forest Monitoring, GlobalForestWatch), за супутниковими знімками тощо. Проте кожна із таких оцінок не буде абсолютно об'єктивною. Наприклад, за інформацією лісокористувачів площі лісовідновлення завжди більші, ніж площі вирубок. Використання різних інтернет-сервісів дає різні результати оцінок, що буде показано нижче. Окремі інтернет-сервіси на сьогодні не доступні у зв'язку із військовим станом. Global Forest Watch, наприклад, враховує під час оцінки лісовкриті площі із висотою дерев більше 5 м. Оцінка за супутниковими знімками накладає свої обмеження. Наприклад, до лісів відносяться не лише лісові масиви, але й інші лісовкриті площі, які, за цільовим призначенням, не є землями лісового фонду. В нашій роботі виконана спроба «звести» до єдиного знаменника різні за способами оцінки для чіткого визначення сучасного стану лісистості Волинської області та тенденції її зміни.

**Формулювання мети статті.** Метою дослідження є напрацювання методики оцінки лісистості Волинської області, її верифікація, оцінка сучасного стану лісистості Волинської області, визначення тенденції її зміни та окреслення основних заходів для поліпшення охорони і раціонального використання лісових ресурсів.

**Матеріали та методи.** Під час підготовки статті використані матеріали Управління екології і природних ресурсів Волинської ОДА (Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища, Екологічні паспорти області), власних досліджень, інтернет-сервісів, які дають змогу відслідкувати стан заліснення території в режимі реального часу, а також проаналізувати інформацію про зміни за попередні періоди (EOS Forest Monitoring, Global Forest Watch) і супутникові знімки місії Sentinel-2, проаналізовані в GoogleEarthEngine.

**Методи дослідження** – експедиційний (для дослідження стану лісистості конкретної території інтересу), математичної статистики (для статистичної обробки результатів моніторингу), експертної оцінки (для встановлення причин зміни лісистості), дистанційного зондування Землі (для

оцінки масштабів зміни лісистої).

#### Виклад основного матеріалу дослідження.

Для проведення дослідження знеліснення Волинської області запропоновано авторську методику, суть якої полягає у наступному: для початку ситуація із зміною лісистої була оцінена за матеріалами Регіональних доповідей про стан навколишнього природного середовища у Волинській області за 2017-2020 р.р., Екологічних паспортів Волинської області за ті ж роки (рис. 1). Після цього для оцінки масштабів знеліснення використані матеріали аналітичної обробки супутникових знімків веб-сервісами EOS Forest Monitoring, GlobalForestChange, GlobalForestWatch. Зокрема, за до-

помогою цих сервісів проаналізована динаміка зміни лісистої території області, просторовий розподіл лісистої, зменшення площі лісів та відтворення лісів по районах області. Результати співставлялись із матеріалами державної статичної звітності. Ми зіткнулись з ситуацією, коли окремі сервіси у період військового стану надають функціонал частково обмежений з міркувань конфіденційності, або повністю недоступні (Deep Green Ukraine, Український державний портал дистанційного зондування). У зв'язку із цим, а також для уточнення й верифікації оцінок, проведено підрахунок площі лісів в Google Earth Engine з використанням знімків місії Sentinel-2.

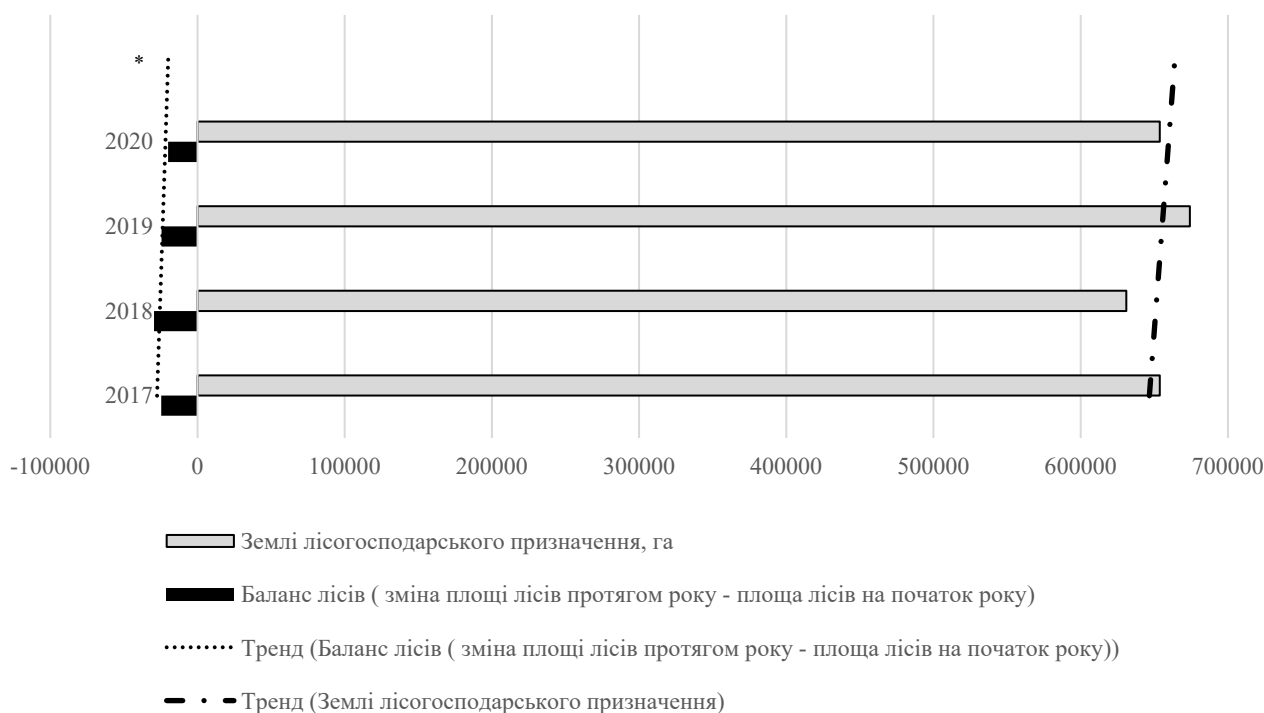


Рис. 1. Зміна лісистої Волинської області за матеріалами Регіональних доповідей про стан навколишнього природного середовища у Волинській області, Екологічних паспортів Волинської області за 2017-20 р.р. (\* – у зв'язку із введенням військового стану Екологічний паспорт за 2021 р. не оприлюднюється) /

Fig. 1 Changes in the forest cover of Volyn Oblast based on the materials of the Regional Reports on the State of the Environment in Volyn Oblast, Environmental Passports of Volyn Oblast for 2017-20

Як видно з рис. 1 чітка тенденція відсутня. Площі лісів змінювались з року в рік в інтервалі від 630952,3 га до 674202,5 га. Найбільша зміна зафіксована в 2019 р. у порівнянні із 2018 р. – на 6,85%, найменша – у 2018 р. порівняно із 2017 р. – 3,6%. Найважливішим чинником зміни площі лісів були рубки. Площа їх змінювалась з 2017 р. по 2020 р. в інтервалі 24732,52-30339,3 га, досягши максимальних значень у 2019 р., а мінімальних – у 2020 р. (табл. 1).

Аналізуючи структуру рубок за 2017-20 р.р. (рис. 2), слід відмітити, що найбільша частка припадала на санітарні рубки: 70% у 2017 р., 71% у

2019 р., 73% у 2018-19 р.р. На рубки догляду припадало від 18% (2018-19 р.р) до 20% (2020 р.). Найменша частка рубок головного користування: 9% (11 % у 2017 р.).

Стійкою тенденцією є зростання площі нелісових земель лісогосподарського призначення. Так в 2017 р. їх площа становила 1692,3 га, в 2018 р. – вже 32459,3 га, в 2019 р. – 34136,86 га, в 2020 р. – 42436,33 га. Очевидно, що в 2018 р. відбулись зміни в підході до визначення цих земель, а з 2018 р. площа їх зростає від 5,16% у 2019 р. до 24,31% у 2020 р. Навпаки, з року в рік зменшується площа загиблих лісових насаджень. Якщо в 2017 р. вона

Основні показники лісокористування по Волинській області [8] /  
Main indicators of forest use in the Volyn region [8]

Показник	Роки*			
	2017	2018	2019	2020
Землі лісогосподарського призначення, га	653688	630952,3	674202,5	653688
Землі природно-заповідного та іншого природоохоронного призначення, га	99618	35866,4	29357,2	99618
Нелісові землі, землі лісогосподарського призначення, га	1692,3	32459,3	34136,86	42436,3
Усього рубок, га	27835	28252,98	30339,3	24732,52
в т.ч. рубки головного користування	3145,90	2681,18	2669,5	2270
рубки догляду	5715	5479	5428,1	5355,82
санітарні рубки	20728	22767,2	25037	18474,6
Усього загиблих лісових насаджень, га	2981	1661	1463,6	867,8
в т.ч. від пожеж, га	0	0	0	4
несприятливих погодних умов, га	66	0	174	2,6
хвороб та шкідників лісу, га	2915	1661	1289,6	861,2
Лісовідновлення, га	6212,9	365,5	7348,4	5634,1
в т.ч. посадка лісу, га	2674,2	173,7	2873,9	3139,2
природне відновлення лісу, га	3535,7	191,8	4474	3133,1
Зміна площі лісів протягом року (площа лісів - усього рубок - усього загиблих лісових насаджень + лісовідновлення), га	629085	601403,8	649748	633721,8
Баланс лісів (зміна площі лісів протягом року - площа лісів на початок року)	-24603	-29548,5	-24454,5	-19966,2

\* – у зв'язку із введенням військового стану Екологічний паспорт за 2021 р. не оприлюднюється

становила 2915 га, то вже в 2018 р. зменшилась на 43,01%, в 2019 р. – ще на 22,36%, в 2020 р. – ще на 33,22%. Найбільше гинули лісові насадження від шкідників і хвороб, а згадане вище зменшення площі пояснюється ефективними і значними за площами санітарними рубками в попередні роки. Площі лісів, загиблих від пожеж незначні. Проте також втрати лісів зумовлювались екстремальними погодними умовами в окремі роки (2017 р, 2019 р.).

Аналізуючи заходи лісовідновлення, слід відмітити, що їх масштаби, а також співвідношення між посадкою та природним відновленням лісу в різні роки були різними (табл. 1). Так в 2017 р. 43,04% припадало на посадку лісу, а 56,96% – на природне відновлення. В 2018 р. співвідношення приблизно таке ж, (47,53% і 52,47% відповідно), проте масштаби лісовідновлення менші в 17 разів. В 2019 р. на посадку лісу припадало 39,11%, а на природне відновлення – 60,89%, масштаби лісовідновлення зросли на 18,27% порівняно із 2017 р. В 2020 р. відповідно 55,18% і 44, 82% відповідно, масштаби лісовідновлення зменшились на 10% порівняно із 2017 р.

Насамкінець найцікавіше: згідно державної статистичної звітності протягом 2017-21 р.р. зміна площі лісів, розрахована за методикою: площа лісів на початок року – усього рубок – усього загиблих лісових насаджень + лісовідновлення, мала

негативну динаміку. Зменшення площі лісів становило в 2017 р. – 24603,1 га, в 2018 р. – 29548,5 га, в 2019 р. – 24454,5 га, в 2020 р. – 19966,2 га. Звісно ж така ситуація пояснюється багатьма причинами – змінами в призначенні тих чи інших ділянок, змінами в статистичній звітності тощо. Проте чітко можна говорити, що в усі роки площі рубок лісу переважали над лісовідновленням.

Спробуємо перевірити висловлену вище гіпотезу, використавши інші відкриті дані, зокрема, матеріали аналітичної обробки супутникових знімків веб-сервісом EOS Forest Monitoring. Це програмне забезпечення для управління лісовим господарством на основі супутникових даних розроблене компанією EOS Data Analytics із застосуванням штучного інтелекту. За допомогою супутникових зображень ПЗ дозволяє віддалено контролювати стан лісу, мати доступ до найактуальніших даних по лісових активах онлайн з метою зручного та сталого управління лісом [10].

EOS Forest Monitoring оцінює загальну площу лісового покриву Волинської області станом на 2020 р. – 1,1 млн.га, а втрати лісового покриву в 2020 р. у порівнянні із 2019 р. – 2,7 тис. га або 0,25% всіх лісів (рис. 4). Для порівняння – за матеріалами Екологічного паспорта Волинської області площа лісів у 2020 р. становить 653,688 тис.га, а втрати лісового покриву – 19, 966 тис. га. Причина такої розбіжності полягає, на нашу думку,

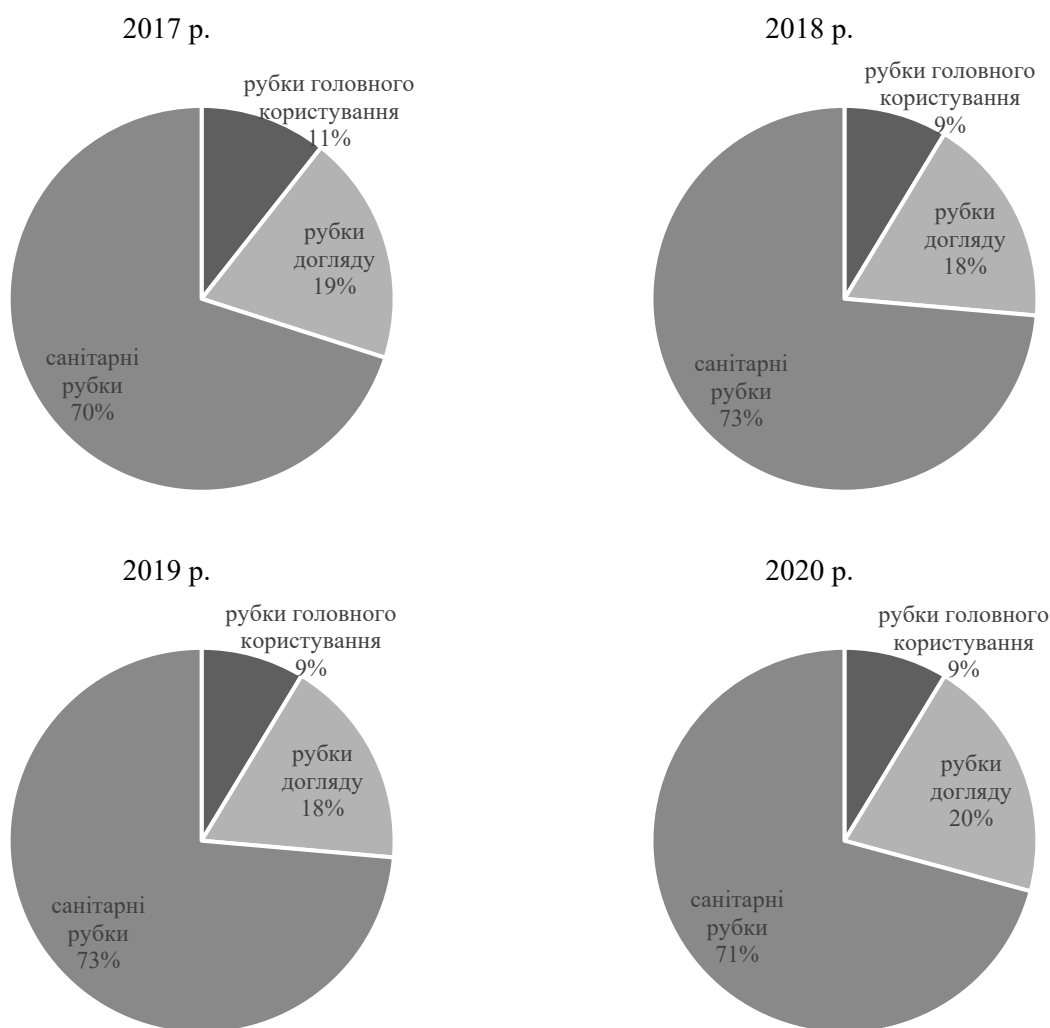


Рис. 2. Структура рубок в лісах Волинської області за 2017-20 р.р. [8] /  
 Fig. 2. The structure of logging in the forests of Volyn region in 2017-20 [8]

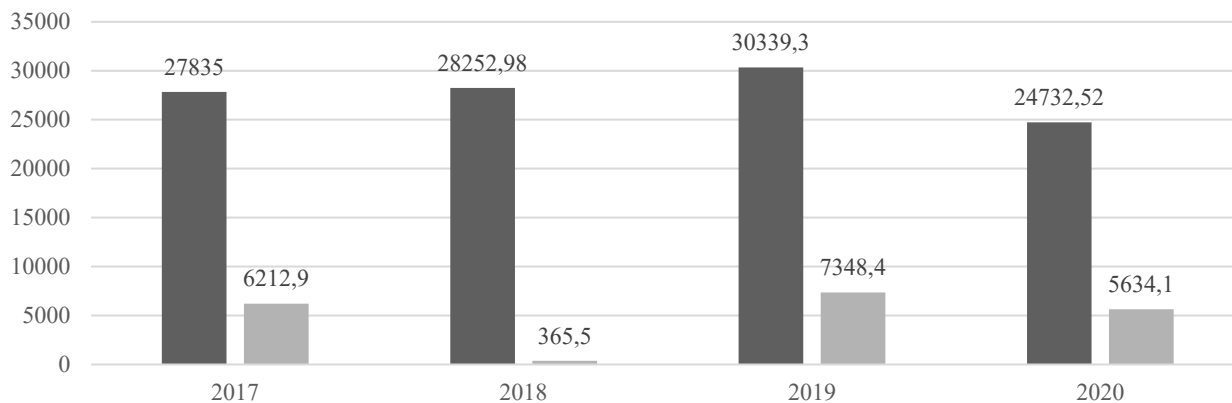


Рис. 3. Співвідношення між площами рубок лісу (га) та лісовідновленням (га) у Волинській області за 2017-20 р.р. [8] /  
 Fig. 3. Correlation between the area of deforestation (ha) and reforestation (ha) in Volyn region in 2017-20 [8]

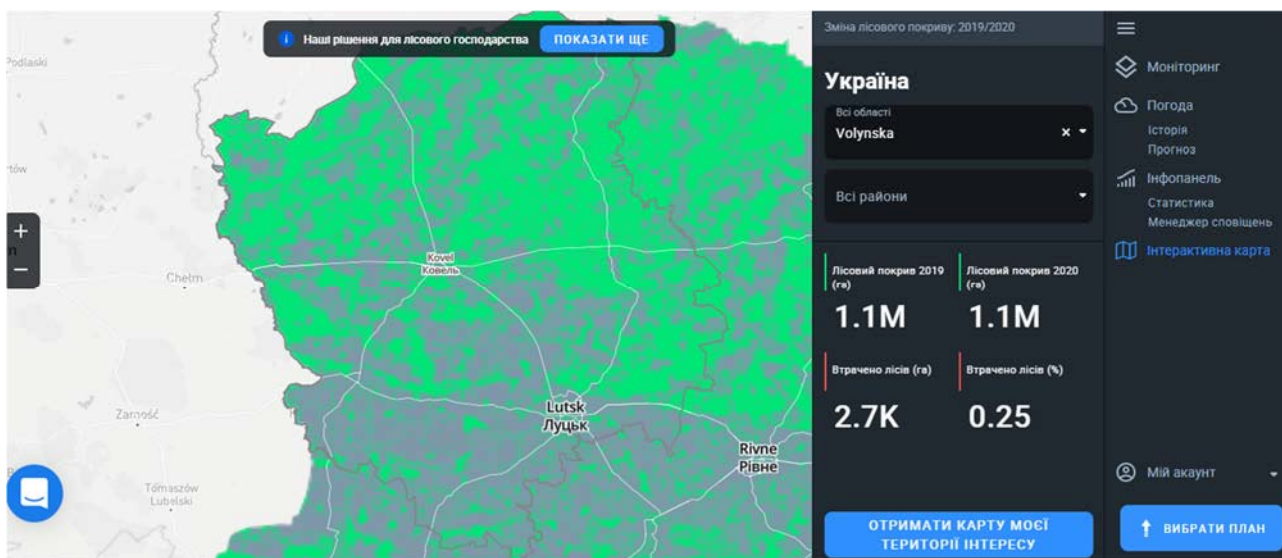


Рис. 4. Зміна лісового покриття території Волинської області за даними EOS Forest Monitoring /  
Fig. 4. Change in forest cover in Volyn region according to EOS Forest Monitoring

в тому, що в Екологічному паспорті звітність подається для земель лісгосподарського призначення, а веб-сервіс оцінює за результатами обробки супутникових знімків зміну всіх площ із деревним покривом.

При аналізі просторового розподілу стану лісів, їх втрат та лісовідновлення по адміністративних районах будемо використовувати старий адміністративний устрій. Згідно нього у Волинській області виділялось 16 адміністративних районів (нині 4). По-перше, старий устрій з більшою кількістю районів дозволяє детальніше оцінити особливості просторового розподілу втрат лісів, а по-друге, він був актуальним упродовж періоду, що аналізується (2017-20 р.р.).

Прогнозовано виглядає просторовий розподіл лісистої та втрат лісів за даними EOS Forest Monitoring (рис. 5). Найбільші площі лісів станом на 2020 р. у Маневицькому (166,4 тис.га), Камінь-Каширському (122,1 тис.га), Шацькому (96,3 тис.га), Любомльському (96,3 тис. га), Любешівському (95,9 тис.га), Ковельському (96,2 тис.га). Отже, найбільші площі лісів у Волинській області у північно-поліських районах, які характеризуються порівняно нижчою господарською освоєністю, заболоченістю, залісненістю, кращою збереженістю природного середовища, більшою часткою об'єктів і територій природно-заповідного фонду і екологічної мережі.

Втрати лісів в абсолютних показниках найвищі в тих же ж районах: Маневицькому (640,12 га), Камінь-Каширському (256,78 га), Любешівському (204,26 га), Ковельському (176,58 га). Шацький район випав з цього переліку тому, що більшу його частину займає Шацький національний природний парк, де рубки або заборонені або дуже обмежені у зв'язку із природоохоронним

статусом.

А от втрати лісів у відносних показниках (по відношенню до площі лісів станом на 2020 р.) вже мають зовсім інший просторовий розподіл. Зокрема, найвищі втрати лісів в Луцькому (0,61%), Володимир-Волинському (0,38%) Маневицькому (0,38%), Рожищенському (0,37%), Локачинському (0,34%), Іваничівському (0,26%), Турійському (0,25%) районах. Тобто в південних районах області, в т.ч. і лісостепових, які характерні високим ступенем господарської освоєності, значною часткою сільськогосподарських земель, надмірною розораністю та вищим розвитком селитебної мережі, в той же ж час відносно низькою лісистою та часткою об'єктів і територій природно-заповідного фонду і екологічної мережі. Тому знеліснення таких районів має дуже негативні наслідки і загострює й так напружену тут екологічну ситуацію.

Окрім природоохоронної і екостабілізуючої функції, ліси мають також значне господарське значення, особливо у північних районах області. І це стосується не тільки лісозаготівлі, але й використання недревних ресурсів лісу (ягід, грибів), які є джерелом доходів місцевого населення.

Датасет Global Forest Change розроблений лабораторією Global Land Analysis & Discovery кафедри географічних наук Університету Меріленду (США). В основі його лежать результати аналізу часових рядів супутникових знімків Landsat, що характеризують площу та зміни лісу. Деревна висота визначається як рослинність висотою > 5 м і виражаються у % на клітинку вихідної сітки. Втрата лісового покриття визначається як порушення заміщення деревостану або зміна лісу до нелісового стану протягом 2000-21 р.р.

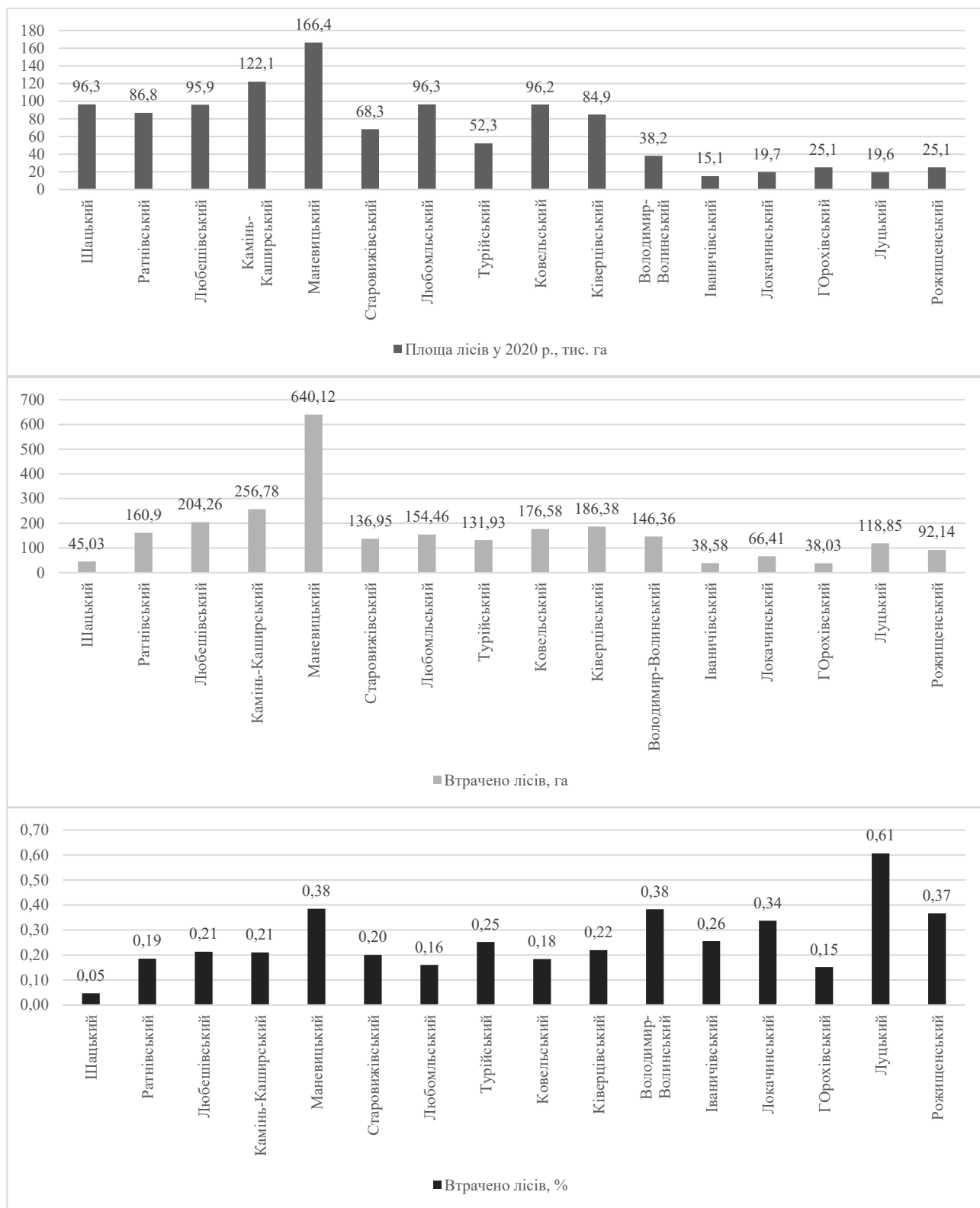


Рис. 5. Оцінка площі лісів станом на 2020 р. та втрати лісів в 2020 р. у порівнянні із 2019 р. в розрізі адміністративних районів Волинської області за даними EOS Forest Monitoring / Fig. 5. Estimation of forest area as of 2020 and forest loss in 2020 compared to 2019 by administrative districts of Volyn region according to EOS Forest Monitoring



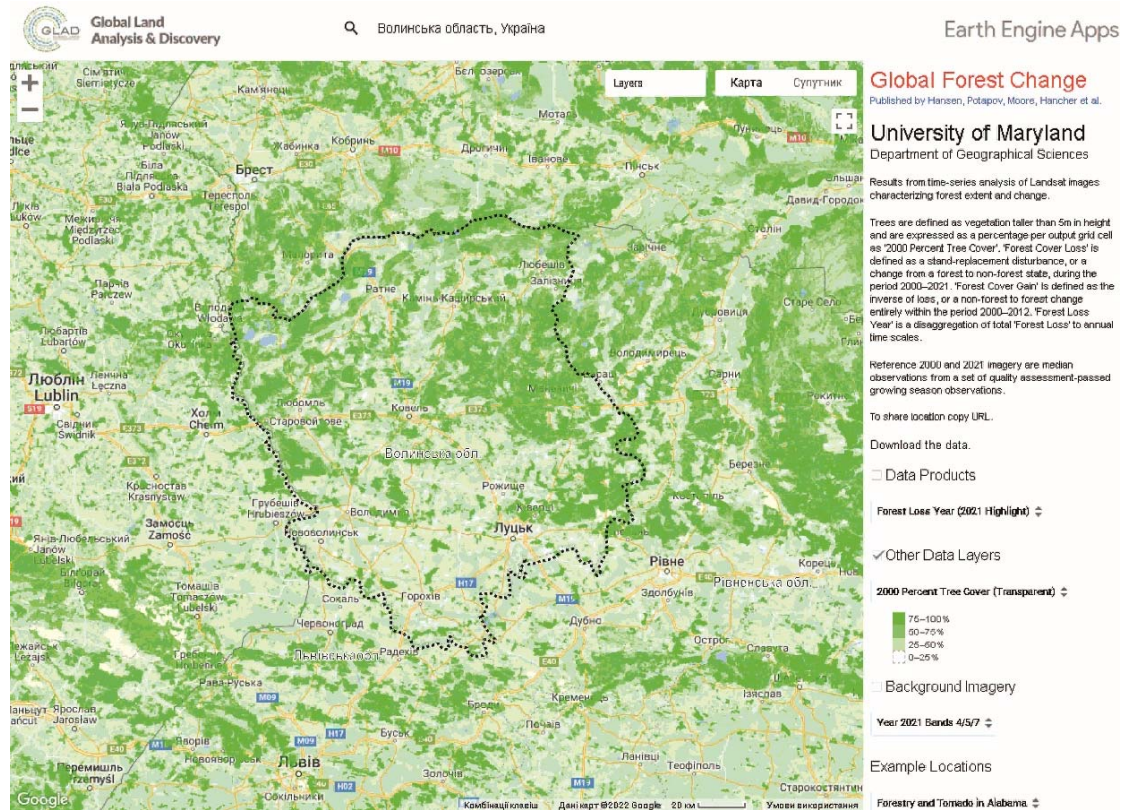


Рис. 6. Лісистість Волинської області станом на 2000 р. за матеріалами датасету Global Forest Change лабораторії Global Land Analysis & Discovery [11] / Fig. 6. Forest cover of Volyn region as of 2000 according to the dataset Global Forest Change laboratory of Global Land Analysis & Discovery

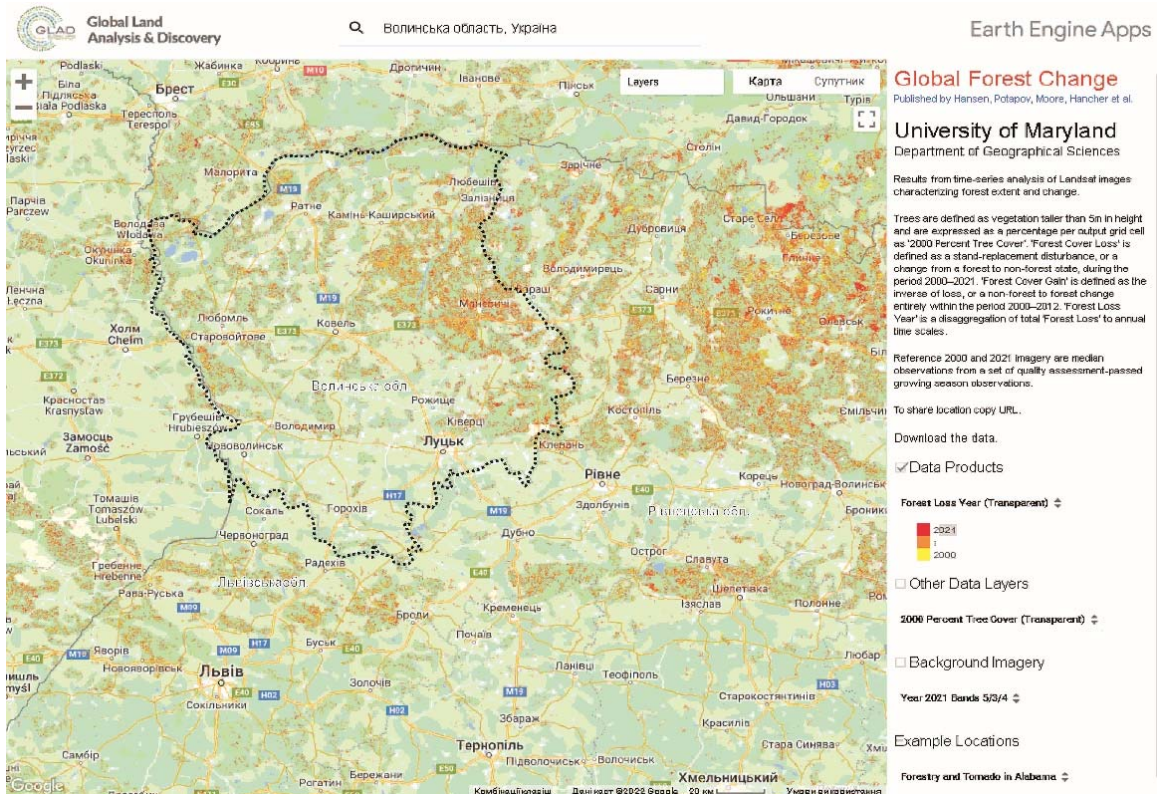


Рис. 7. Втрати лісів за 2000-21 р.р. за матеріалами датасету Global Forest Change лабораторії Global Land Analysis & Discovery [11] / Fig. 7. Forest loss in 2000-21 according to the dataset Global Forest Change laboratory of Global Land Analysis & Discovery [11]

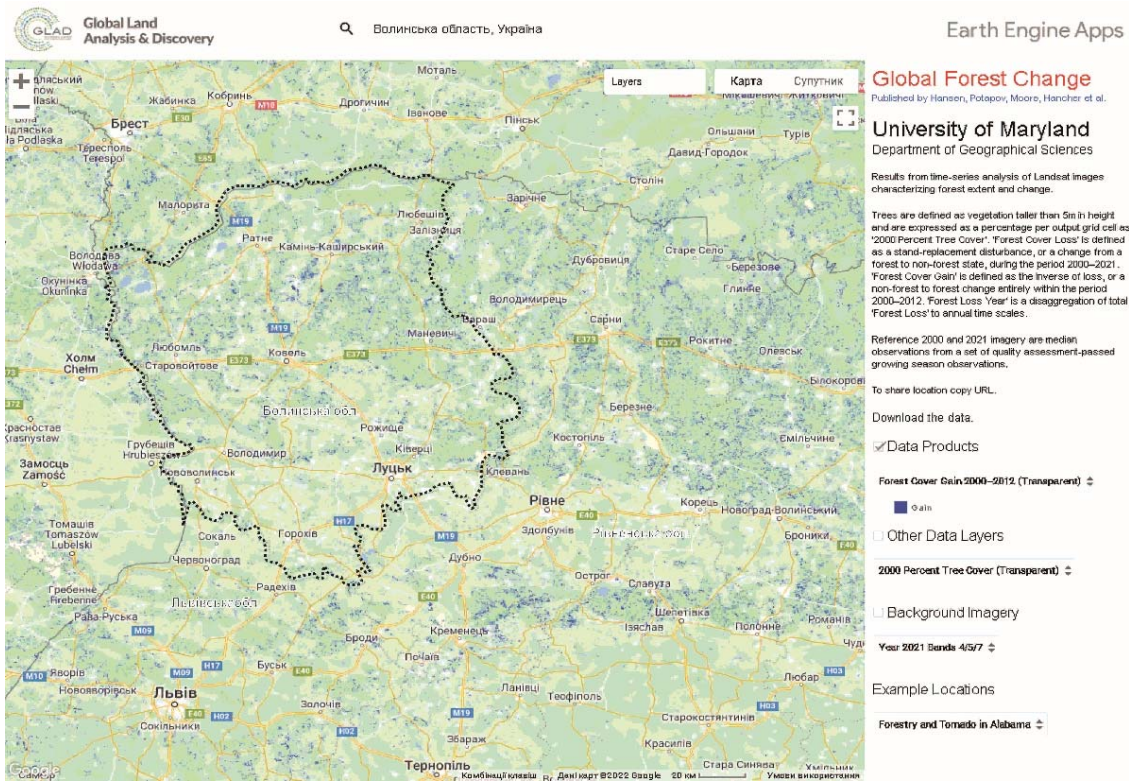


Рис. 8. Відновлення лісів в межах Волинської області за матеріалами датасету Global Forest Change лабораторії Global Land Analysis & Discovery [11] / Fig. 8. Restoration of forests within Volyn region based on dataset materials Global Forest Change laboratory of Global Land Analysis & Discovery

Відновлення лісового покриття – величина, обернена втраті, або повна зміна нелісового покриття протягом 2000-12 р.р. Рік втрати лісу – це розбивка загальних втрат лісу на річні часові проміжки. Еталонні зображення 2000 р. і 2021 р. – це медіанні значення з набору спостережень за вегетаційний період. На жаль, ресурс Global Forest Change не передбачає отримання статистичних

характеристик змін площі лісів, а лише дозволяє проаналізувати ці зміни за результатами візуалізації аналізу часових рядів супутникових знімків Landsat (рис. 6-8) [20].

Натомість проаналізувати такі зміни дає можливість онлайн-платформа даних та інструментів для моніторингу лісів Global Forest Watch (GFW).

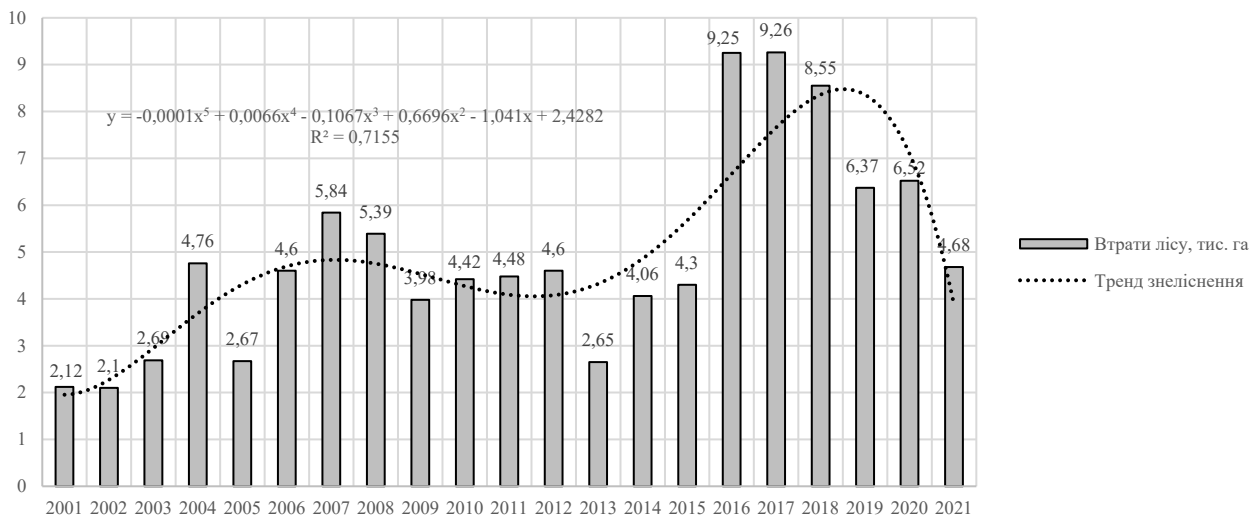


Рис. 9. Втрати лісів Волинської області протягом 2001-21 р.р. за даними датасету Global Forest Watch [12] / Fig. 9. Forest loss in Volyn region during 2001-21 according to the Global Forest Watch dataset [12]

Global Forest Watch (GFW) – онлайн-платформа із доступними для аналізу просторовими даними про зміну лісів в усьому світі на основі роботи Hansen et al. 2013 [21]. Цей ресурс є найпотужнішим із відкритих джерел за глобальним покриттям, проміжком часу моніторингу, щорічною частотою оновлення та 30-метровою просторовою роздільною здатністю. А тому він широко використовується органами державної влади, науковими колами, приватним сектором та громадянсь-

ким суспільством для виявлення та вирішення проблем з вирубкою лісів. Окрім того, постійно удосконалюється алгоритм відображення втрати деревного покриву за супутниковими знімками протягом 2000-21 р.р. Він використовує кожне доступне зображення Landsat (Landsat-5, 7 і з 2013 р. Landsat-8) для виявлення втрати деревного покриву. Кількість зображень Landsat, доступних за рік, з часом розширює можливості локального моніторингу лісів.

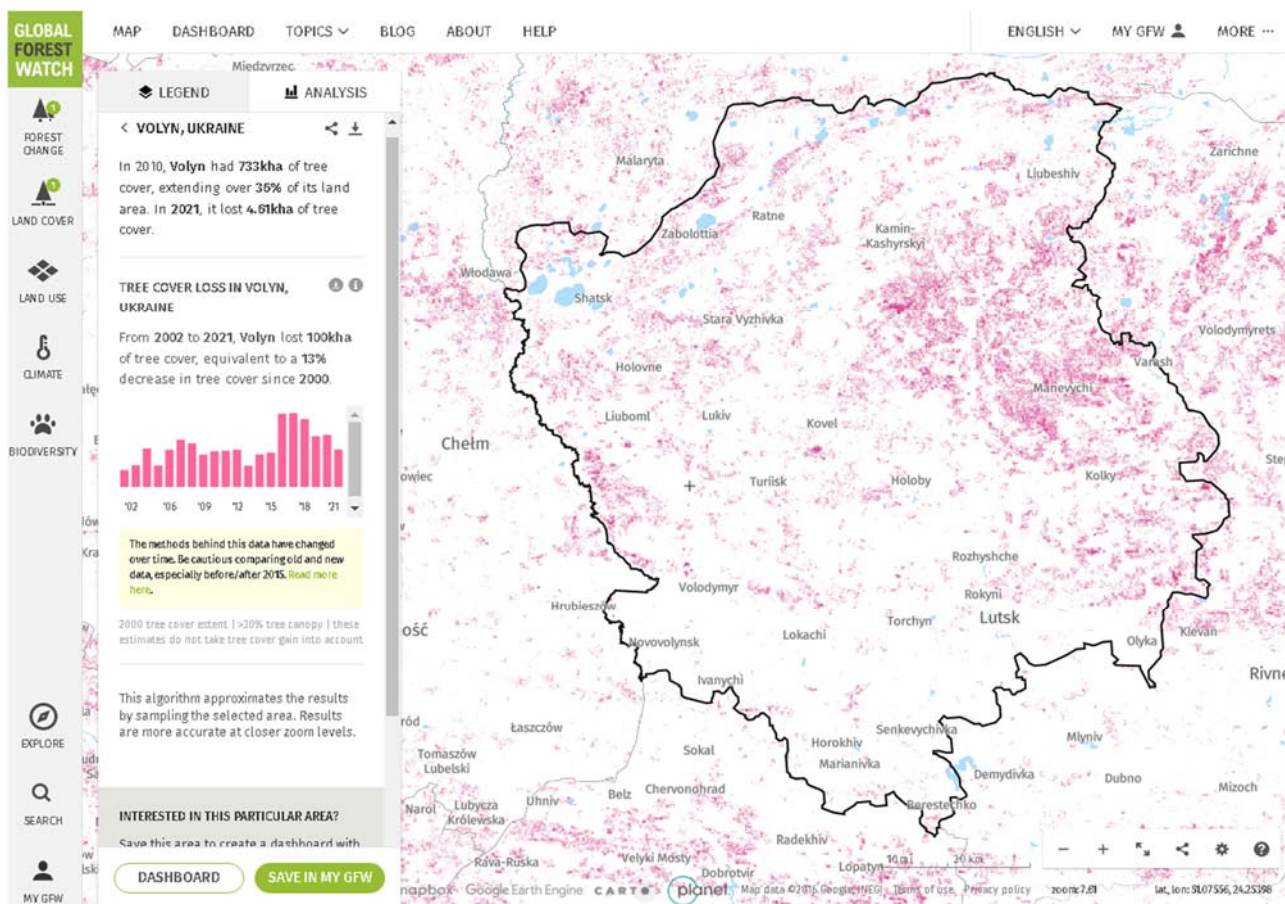


Рис. 10. Просторовий розподіл втрати лісів Волинської області протягом 2000-21 р.р. за даними датасету Global Forest Watch [12] /

Fig. 10. Spatial distribution of forest loss in Volyn oblast during 2000-21 according to the Global Forest Watch dataset [12]

За даними GFW протягом 2000-21 р.р. Волинська область втратила 103 тис. га деревного покриву, що еквівалентно зменшенню його на 13% порівняно з 2000 р. (рис. 9-10). Станом на цей базовий рік в межах Волинської області за даними GFW площа лісів становила 753 тис. га (37% площі області). Тут важливо зробити декілька ремарок. По-перше, вищенаведені цифри стосуються ділянок, зайнятих деревною рослинністю з проєктивним покриттям >30%. По-друге, алгоритм GFW апроксимує результати аналізу шляхом вибірки певної області (AoI – Area of interest). Точність результатів звісно ж підвищується із збільшенням масштабу.

За роками (рис. 9) найбільші втрати відбулись у 2016 р. (9,25 тис. га), 2017 р. (9,26 тис. га), 2018 р. (8,55 тис. га), 2019 р. (6,37 тис. га), 2020 р. (6,52 тис. га). В 2021 р. (4,68 тис. га) втрати зменшилися до рівня нижче середньої багаторічної втрати, яка становить за період 2000-21 р.р. 4,92 тис. га.

В просторовому розподілі втрат лісів (рис. 10) 53% припадає на 5 адміністративних районів, де втрати найбільші: Маневицький (27,6 тис.га), Камінь-Каширський (17,6 тис. га), Ковельський (8,8 тис. га), Ківерцівський (8,51 тис. га), Любомльський (8,41 тис. га).

Це свідчить, що у Волинській області в ос-

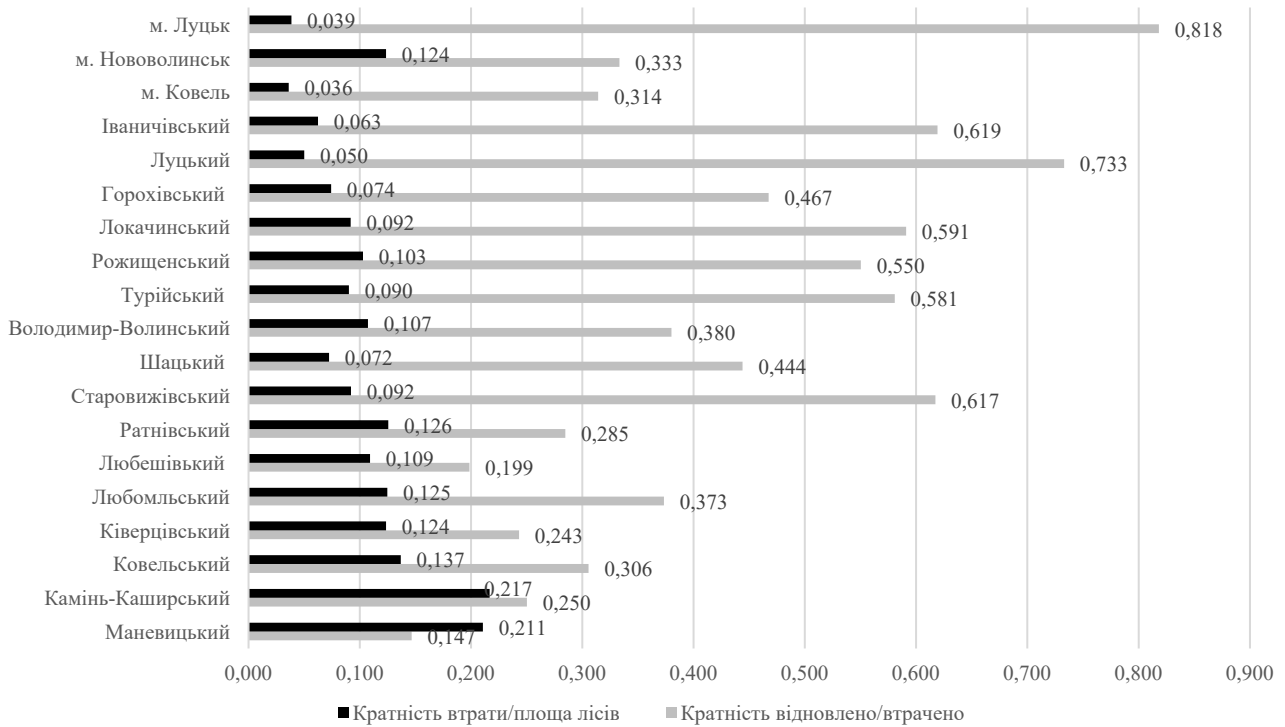


Рис. 11. Оцінка кратності втрати лісів Волинської області протягом 2000-21 р.р. за даними датасету Global Forest Watch [12] /  
 Fig. 11. Estimation of the multiplicity of forest loss in Volyn region during 2000-21 according to the Global Forest Watch dataset [12]

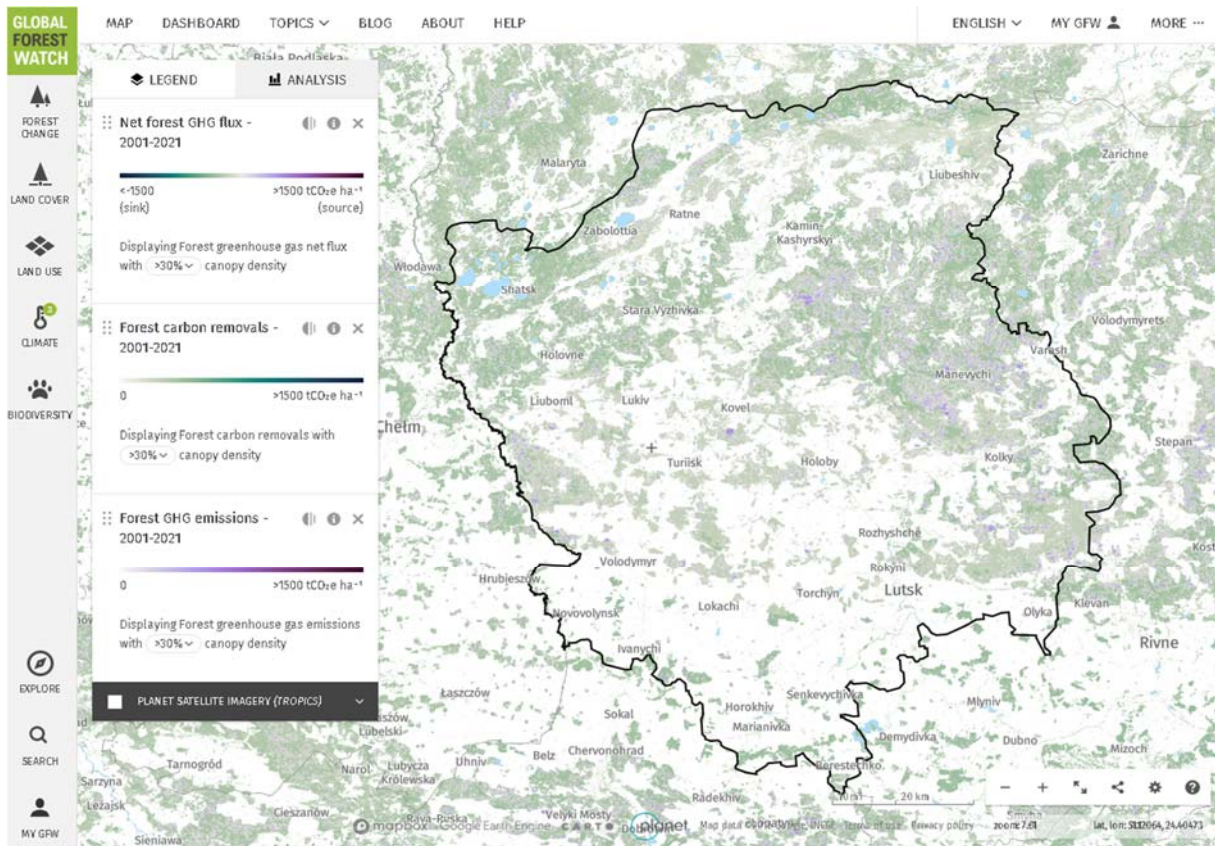


Рис. 12. Просторовий розподіл емісії та поглинання CO<sub>2</sub> лісами Волинської області протягом 2000-21 р.р. за даними датасету Global Forest Watch [12] /  
 Fig. 12. Spatial distribution of CO<sub>2</sub> emissions and sequestration by forests in Volyn region during 2000-21 according to the Global Forest Watch dataset

танні роки активно відбувається знеліснення. Причому пов'язане воно не лише з заготівлею деревини, але й санітарними рубками для протидії поширенню шкідників лісу, які теж активізувались в останні роки внаслідок зміни клімату.

За просторовим розподілом відновлення лісів у Волинській області схожа тенденція – 58% приросту в 5 адміністративних районах: Камінь-Каширський (4,33 тис.га), Маневицький (4,05 тис.га), Ковельський (2,69 тис. га), Старовижівський (2,34 тис. га), Любомльський (3,14 тис. га).

Цікаво виглядає аналіз співвідношення втрат лісів до площі лісів, а також втрат лісів до обсягів лісовідновлення (рис. 11). Вище середньообласного показника (0,112) за кратністю втрат лісів до площі лісів Маневицький (0,211), Камінь-Каширський (0,217), Ковельський (0,137), Ківерцівський (0,124), Любомльський (0,125), Ратнівський (0,126) райони. Тобто, не дивлячись на те, що в

цих районах найбільші площі лісів, вони ж їх і найбільш інтенсивно втрачають. За кратністю втрат лісу до обсягів лісовідновлення вищий за середньообласний показник (0,424) мають: Луцький (0,733), Іваничівський (0,619), Старовижівський (0,617), Локачинський (0,591), Рожищенський (0,55), Горохівський (0,467), Шацький (0,444) райони. Іншими словами – це південні, частково лісостепові райони області, а вищезгадані північні поліські райони мають суттєво нижчі показники лісовідновлення по відношенню до втрат лісів.

Також дуже цікавим є просторовий розподіл емісії та поглинання CO<sub>2</sub> лісами Волинської області (рис. 12). Протягом 2000-21 р.р., за даними Global Forest Watch, ліси області були джерелом атмосферної емісії 1,68 млн. т CO<sub>2</sub>. В той ж час вони асимілювали 5,26 млн. т CO<sub>2</sub>, баланс становить -3,58 млн. т CO<sub>2</sub> [12].

Отже, підсумовуючи, за темпами знеліснен-

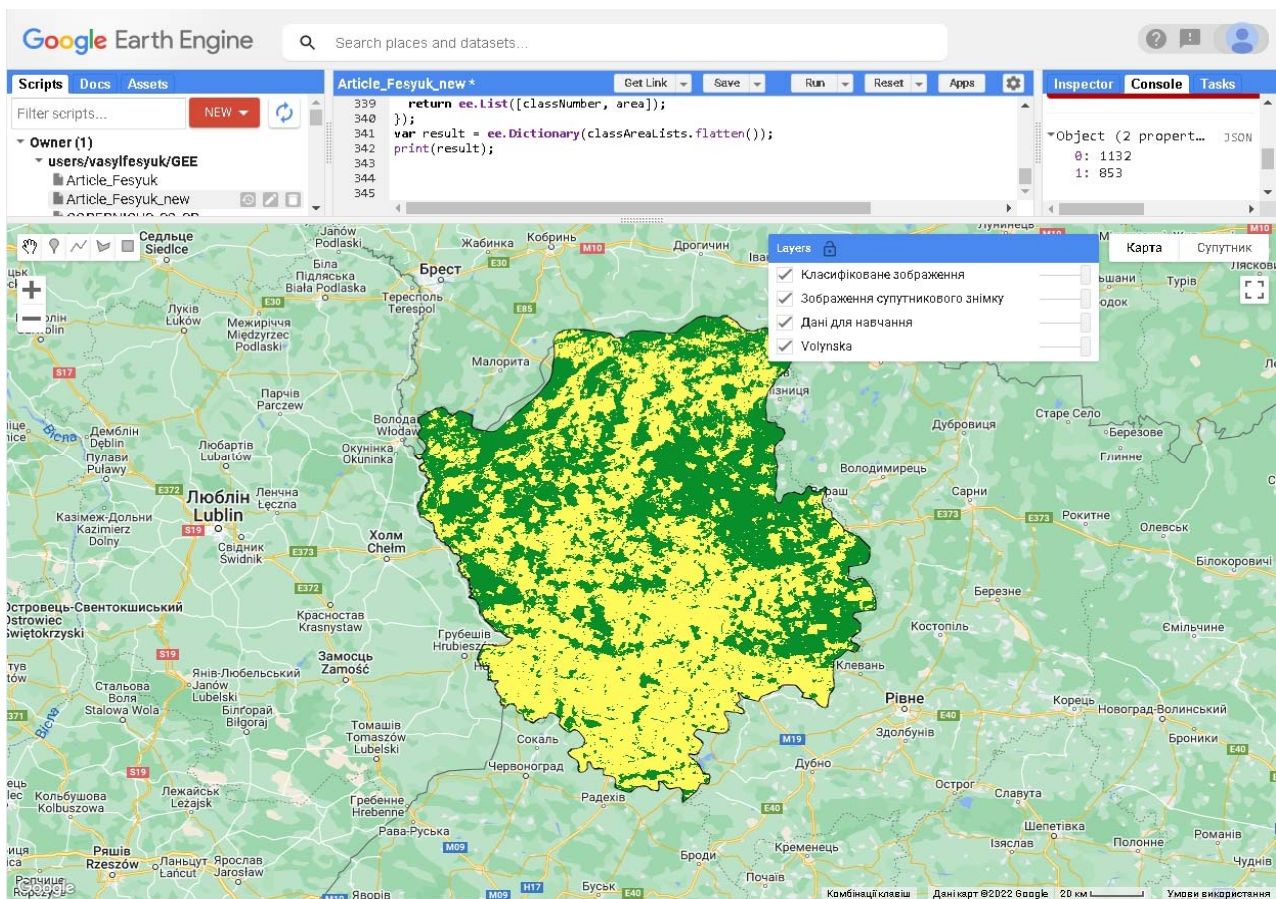


Рис. 13. Результати визначення площі лісів Волинської області у 2021 р. методом машинного навчання Random Forest в Google Earth Engine / Fig. 13. Results of determining the forest area of Volyn region in 2021 using Random Forest machine learning in Google Earth Engine

ня серед областей України Волинь займає четверте місце, поступаючись Житомирській, Рівненській і Київській областям, а за масштабами лісовідновлення – п'яте, поступаючись згаданим областям і Чернігівській області. Не слід забувати, що Волинська область – одна з найменших в

Україні за площею (20144 км<sup>2</sup>). Вона перебуває на 20 з 25 місці за площею серед адміністративних областей [12].

Спробуємо верифікувати дані про лісистість Волинської області, отримані з різних відкритих джерел. Вони дещо відрізняються, як було

показано вище по тексту статті. Для верифікації використано дані ще з одного джерела – результати обробки супутникових знімків в Google Earth Engine з метою класифікації земного покриття методом машинного навчання Random Forest. Згаданий алгоритм розмежує об'єкти на класи за умови їх відмінності від інших об'єктів за фізичними характеристиками. Він працює шляхом побудови дерев прийняття рішень під час тренування моделі й продукує моду для класів (класифікацій) або усереднений прогноз (регресію) побудованих дерев [6]. Для аналізу були обрані супутникові знімки місії Sentinel-2 за період 2016-21 р. р., оскільки ця місія започаткована Європейським космічним агентством саме для дистанційного моніторингу лісів, фіксування змін покриття Землі, відстеження наслідків стихійних лих.

Отримані цим методом значення площі лісів та лісистості Волинської області порівнювані з отриманими з інших джерел. Наприклад, за даними EOS Forest Monitoring площа лісів Волинської області у 2020 р. становила 1108,3 тис. га (рис. 4), за даними Global Forest Watch – 733 тис. га (рис. 11), за результатами визначення площі лісів в Google Earth Engine – 853 тис. га. Лісистість відповідно становила 55,02%, 36,38% і 42,35%. За офіційною інформацією з Екологічного паспорту області – 34%. Такі відмінності зрозумілі і пояснюються відмінністю в методиці визначення. Так EOS Forest Monitoring використовує елементи штучного інтелекту для розробки своїх алгоритмів аналізу, Global Forest Watch базується на алгоритмі, запропонованому в роботі Hansen M. et al. 2013 [21] і використовує супутникові знімки місії Landsat-5,7,8, а в Google Earth Engine використані стандартний і відомий метод машинного навчання Random Forest, запропонований Breiman L. 2001 в роботі [17], а також супутникові знімки місії Sentinel-2.

**Висновки.** Отже, підсумовуючи вищевикладене можна зробити висновки, що Волинська область останнім часом зазнає значної втрати лісів. Це підтверджують і дані офіційної статистики лісокористування і результати моніторингу з використанням методів дистанційного зондування Землі. Схиляємось до думки що найбільш реалістично втрати лісового покриття Волинської області описує датасет Global Forest Watch, розроблений лабораторією Global Land Analysis & Discovery кафедри географічних наук Університету Меріленду (США). За даними цього датасету протягом 2001-21 р.р. Волинська область втратила 103 тис. га деревного покриття, що еквівалентно зменшенню його на 13% порівняно з 2000 р.

Основними причинами втрат були вирубка і знищення лісів шкідниками, хворобами, пожежами. Заради справедливості варто зазначити, що в області відбуваються заходи лісовідновлення. Проте їх ефективність недостатня для запобігання знелісненню. Відношення площ відновлених лісів до втрачених найменше у Маневицькому (14,7%), а найвище у Луцькому (73,3%) районах.

Для поліпшення ситуації необхідна реалізація комплексу заходів раціонального використання і охорони лісів:

- завершення національної інвентаризації лісів відповідно до «Порядку проведення національної інвентаризації лісів», затвердженого Постановою КМУ №392 від 21.04.2021 р.;
- забезпечення відкритості наборів даних, пов'язаних з використанням лісів, розробка спеціалізованих датасетів, що дозволить залучити до процесу моніторингу лісів громадські організації та громадян;
- ефективний моніторинг лісів з використанням методів ДЗЗ, спеціалізованих онлайн-платформ та веб-сервісів;
- інтенсифікація робіт по створенню нових та розширенню мережі існуючих об'єктів і територій природно-заповідного фонду в лісових масивах; особливу увагу тут слід акцентувати не лише на масивах держлісфонду, але й на землях, зайнятих самосівом лісових культур;
- розширення екологічної мережі, особливо на локальному рівні, максимальне включення до неї масивів лісів, в т.ч. і самосіву;
- інвентаризація осушувальних систем (їх на Волині налічується 196), визначення ділянок, які надалі недоцільно використовувати для землеробства в межах систем, часткова ренатуралізація цих ділянок із залісненням;
- відновлення або створення полезахисних лісосмуг в межах системи контурно-меліоративного землеробства;
- розширення масштабів рекультивациі вироблених кар'єрів (в т.ч. і нелегальних), місць незаконного добування бурштину, стихійних сміттєзвалищ, малопродуктивних і деградованих земель (в т.ч. на схилах) із використанням заходів заліснення;
- забезпечення ефективної профілактики пожеж лісових та торфових масивів, хвороб та розвитку шкідників лісу;
- під час заходів лісовідновлення надавати перевагу природному поновленню, оскільки такі ліси стійкіші до шкідників і хвороб.

## Список використаної літератури

1. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / за ред. В.І. Лялька. – К.: Наукова думка, 2006. – 360 с.
2. Генік Я.В. Причини та наслідки знеліснення і деградації лісових екосистем в Україні / Я.В. Генік // Науковий вісник НЛТУ України, 2011. – Вип. 21. – С. 118-122.
3. Генсірук С.А. Ліси України / С.А. Генсірук. – Львів: Видавництво Наукового товариства ім. Шевченка, 2002. – 495 с.
4. Карпюк З.К. Природо-заповідний фонд Волинської області. Альбом-каталог / З.К. Карпюк, В.О. Фесюк, О.В. Антипюк // К.: ТОВ «Підприємство «Ві Ен Ей», 2018. – 140 с.
5. Карпюк З.К. Природно-заповідна і екологічна мережі Волинської області: монографія / З.К. Карпюк, В.О. Фесюк // – Луцьк: Терен, 2021. – 212 с.
6. Мельник О.В. Класифікація лісових масивів Волині за даними багатоспектральних супутникових знімків / О.В. Мельник, П.В. Манько // Міжнародний научний журнал "ScienceRise". – 2018. – Вип. 9 (50). – С.25-30. <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2018.143139>
7. Мельник О.В. Класифікація лісовкритих територій за мультиспектральними даними / О.В. Мельник, П.В. Манько // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. – 2019. – Вип. 12. – С.112-122. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2019-2\(12\)-14](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2019-2(12)-14)
8. Екологічні паспорти Волинської області за 2017-20 р.р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://voladm.gov.ua/category/ekologichni-pasporti/1/>
9. Миронюк В.В. Узгодженість оцінок площі лісів за даними глобальної карти змін лісового покриву і мультиспектральних супутникових знімків / В.В. Миронюк, А.М. Білоус // Науковий вісник НЛТУ України. – 2017. – №5. – С. 38-42.
10. Про продукт EOS Forest Monitoring. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eos.com/uk/blog/eosda-zapuskaye-novij-servis-eos-forest-monitoring/>
11. Результати візуалізації стану лісів Волинської області з датасету Global Forest Change. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://glad.earthengine.app/view/global-forest-change#dl=3;old=off;bl=off;lon=24.34126769060863;lat=51.76370582012041;zoom=8>
12. Результати візуалізації стану лісів Волинської області на онлайн платформі Global Forest Watch. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/cikpl>
13. Сучасний екологічний стан та перспективи екологічно безпечного стійкого розвитку Волинської області: колективна монографія / за ред. В.О. Фесюка. – К.: ТОВ «Підприємство Ві Ен Ей», 2016. – 316 с.
14. Часковський О.Г. Оцінювання втрат лісового покриву Українських Карпат дистанційними методами за матеріалами відкритих джерел супутникової інформації / О.Г. Часковський, Г.Г. Гриник // Науковий вісник НЛТУ України. – 2020. – Т. 30, № 1. – С. 66-73. <https://doi.org/10.36930/40300111>
15. Assessing Trends in Tree Cover Loss Over 20 Years of Data. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www-globalforestwatch-org.translate.goog/blog/data-and-research/tree-cover-loss-satellite-data-trend-analysis=uk&x=uk>
16. Boisvenue C. Integration of Landsat time series and field plots for forest productivity estimates in decision support models. / C. Boisvenue, B.P. Smiley, J.C. White, W.A. Kurz & M.A. Wulder // Forest Ecology and Management. – 2016. – Vol. 376. – P. 284–297. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.06.022>
17. Breiman L. Random Forests / L. Breiman // Machine Learning. – 2001. – Vol. 45 (1). – P. 5-32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
18. Fedoniuk M.A. Differences in the assessment of vegetation indexes in the EO-Browser and EOS LandViewer services (on the example of Lutsk district lands) / M.A. Fedoniuk, I.P. Kovalchuk, V.O. Fesyuk, R.V. Kirchuk, I.M. Merlenko, S.P. Bondarchuk // Conference Proceedings, International Scientific Conference “Geoinformatics–2021”, May 2021. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://eage.in.ua/?page\\_id=2414](https://eage.in.ua/?page_id=2414)
19. Global Forest Watch. “Fires in Volyn, Ukraine”. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.globalforestwatch.org](http://www.globalforestwatch.org)
20. Hansen Global Forest Change v 1.9 (2000-2021). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/UMD\\_hansen\\_global\\_forest\\_change\\_2021\\_v1\\_9](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/UMD_hansen_global_forest_change_2021_v1_9)
21. Hansen M.C. Supplementary Materials for High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. / M.C. Hansen, P.V. Potapov, R. Moore, M.Hancher, S.A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S.V. Stehman, S.J. Goetz, T.R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C.O. Justice // Science. – Vol. 342. – P. 850-853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>
22. Olofsson P. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change / P. Olofsson, G. Foody, M. Herold, S.V. Stehman, C.E. Woodcock, M.A. Wulder // Remote Sensing of Environment. – 2014. – Vol. 148. – P. 42-57.
23. Weisse M. Forest Loss Remained Stubbornly High in 2021. / M. Weisse, L. Goldman // Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.Globalforestwatch.org/blog/data-and-research/global-tree-cover-loss-data-2021/>

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

## Methodology and practical implementation of research of changes in forest coverage of Volyn region using remote sensing

Vasyl Fesyuk<sup>1</sup>,

DSc (Geography), Professor, Head of Department of Physical Geography,  
<sup>1</sup>Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voly Av., Lutsk, 43000, Ukraine;

Iryna Moroz<sup>2</sup>,

PhD (Chemistry), Associate Professor, Department of Material Science,  
<sup>2</sup>Lutsk National Technical University, 75 Lvivska St., Lutsk, 43018, Ukraine;

Mykola Fedonyuk<sup>2</sup>,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Ecology;

Oleksandr Melnyk<sup>1</sup>,

PhD (Technical), Associate Professor, Department of geodesy, land management and cadaster;

Serhii Polyanskyi<sup>1</sup>,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Physical Geography

### ABSTRACT

**Introduction.** Forests are an integral component of the environment. However, in recent years, there has been a trend towards deforestation in the Volyn region. The main causes of losses were felling and destruction of forests by pests, diseases and fires.

**The purpose of the article.** The purpose of the study is to develop a methodology for assessing the forest cover of the Volyn region, its verification, assessment of the current state of the forest cover, determination of the trend of change and outline of the main measures to improve the protection and rational use of forest resources.

**Methods.** Research methods: expeditionary (to study the state of forest cover in a specific area of interest), mathematical statistics (for statistical processing of monitoring results), expert evaluation (to establish the reasons for changes in forest cover), remote sensing (to assess the extent of change in forest cover). Used Ecological passports of the Volyn region for 2017-20, materials of own research, data from web services for monitoring the forests, Sentinel-2 satellite images.

**Results.** Data on the area of forests and deforestation in the Volyn region, obtained from various sources, are compared with each other. For example, according to EOS Forest Monitoring data, the area of forests in the Volyn region in 2020 was 1,108 million ha, according to Global Forest Watch – 0,733 million ha, according to the results of determining the area of forests in Google Earth Engine – 0,853 million ha. Forest cover was 55,02%, 36,38% and 42,35%, respectively. According to official information from the Ecological Passport of the region – 34%. Such differences are understandable and are explained by the difference in the method of definition. For the period 2001-21 forest losses amounted to 0,103 million ha. The area of non-forest land for forestry purposes is growing. In 2017, their area amounted to 1692.3 ha, in 2018 - 32459.3 ha, in 2019 - 34136.86 ha, in 2020 - 42436.33 ha. Evidently, in 2018, there were changes in the approach to defining these lands. The area of dead forest plantations is decreasing. If in 2017 it amounted to 2915 ha, then in 2018 it decreased by 43.01%, in 2019 - by another 22.36%, in 2020 - by another 33.22%. Most of the forest plantations died from pests and diseases. The above-mentioned decrease in the area is explained by effective and large-scale sanitary felling in previous years. The area of forests destroyed by fires is insignificant. Forest losses were caused by extreme weather conditions in some years (2017, 2019).

Measures for the rational use and protection of forests in the Volyn region are proposed.

**The scientific novelty** consists in an attempt to compare different assessment methods for a definition of the current state of forest cover in the Volyn region and the trend of its change.

**Practical significance** is determined by the possibility of using the obtained results for the development of a set of measures for the rational use and protection of forests in the Volyn region.

**Keywords:** forests, forest area, forest loss, reforestation, deforestation, forest monitoring, forest area dynamics, spatial analysis of deforestation, use remote sensing for forest monitoring, online platforms and web services for forest monitoring.

### References

1. *Multispectral methods of remote sensing of the Earth in the problems of nature management (2006)*. Ed. V.I. Lyalko. Kyiv, Naukova dumka, 360. [in Ukrainian]
2. Genyk, Y.V. (2011). *Causes and consequences of deforestation and degradation of forest ecosystems in Ukraine. Scientific Bulletin of UNFU*, 21, 118-122. [in Ukrainian]
3. Gensiruk, S.A. (2002). *Forests of Ukraine*. Lviv: Publishing House of the Scientific Society named after Shevchenko, 495. [in Ukrainian]
4. Karpyuk, Z.K., Fesyuk, V.O., Antipyuk, O.V. (2018). *Nature reserve fund of the Volyn region. Catalog album*. Kyiv: TOV Pidpryjemstvo VNA, 140. [in Ukrainian]
5. Karpyuk, Z.K., Fesyuk, V.O. (2021). *Nature reserve and ecological network of the Volyn region: monograph*. Lutsk: Teren, 212. [in Ukrainian]



6. Melnyk, O.V., Manko, P.V. (2018). Classification of forests in Volyn based on multispectral satellite images. *International scientific journal "ScienceRise"*, 9(50), 25-30. <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2018.143139> [in Ukrainian]
7. Melnyk, O.V., Manko, P.V. (2019). Classification of forested areas based on multispectral data. *Modern technologies and calculation methods in construction: collection of scientific works*, 12, 112-122. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2019-2\(12\)-14](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2019-2(12)-14). [in Ukrainian]
8. *Ecological passports of the Volyn region for 2017-20*. Electronic resource. Available at: <https://voladm.gov.ua/category/ekologichni-pasporti/1/> [in Ukrainian]
9. Myronyuk, V.V., Bilous, A. M. (2017). Consistency of forest area estimates according to global forest change data and multispectral satellite image. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(5), 38-42. <https://doi.org/10.15421/40270507> [in Ukrainian]
10. *About the EOS Forest Monitoring product*. Electronic resource. Available at: <https://eos.com/uk/blog/eosda-zapuskaye-novij-servis-eos-forest-monitoring/> [in Ukrainian]
11. *Results of visualization of the state of the forests of the Volyn region from the Global Forest Change dataset*. Electronic resource. Available at: <https://glad.earthengine.app/view/global-forest-change#dl=3;old=off;bl=off;lon=24.34126769060863;lat=51.76370582012041;zoom=8> [in Ukrainian]
12. *Results of visualization of the state of the forests of the Volyn region on the GFW online platform*. Electronic resource. Available at: <http://surl.li/cikpl> [in Ukrainian]
13. *Current ecological condition and prospects of ecologically safe sustainable development of Volyn region: collective monograph*. (2016). Ed. V.O. Fesyuk. Kyiv, TOV Pidprijemstvo VNA, 316. [in Ukrainian]
14. Chaskovskiy, O.H., Hrynyk, H. G. (2020). Assessment of the loss of forest cover of the Ukrainian Carpathians by remote methods based on the materials of open sources of satellite information. *Scientific Bulletin of UNFU*, 30 (1), 66-73. <https://doi.org/10.36930/40300111> [in Ukrainian]
15. *Assessing Trends in Tree Cover Loss Over 20 Years of Data*. Electronic resource. Available at: [https://www-global-forestwatch-org.translate.goog/blog/data-and-research/tree-cover-loss-satellite-data-trend-nalysis/?\\_x\\_tr\\_sl=aur=uk&\\_x\\_ul=uk](https://www-global-forestwatch-org.translate.goog/blog/data-and-research/tree-cover-loss-satellite-data-trend-nalysis/?_x_tr_sl=aur=uk&_x_ul=uk)
16. Boisvenue, C., Smiley, B. P., White, J. C., Kurz, W. A., & Wulder, M. A. (2016). Integration of Landsat time series and field plots for forest productivity estimates in decision support models. *Forest Ecology and Management*, 376, 284-297. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.06.022>
17. Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45, 5-32 <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
18. Fedoniuk, M.A., Kovalchuk, I.P., Fesyuk, V.O., Kirchuk, R.V., Merlenko, I.M., Bondarchuk, S.P. (2021). Differences in the assessment of vegetation indexes in the EO-Browser and EOS LandViewer services (on the example of Lutsk district lands). *Conference Proceedings, International Scientific Conference "Geoinformatics-2021"*, May 2021. Electronic resource. Available at: [https://eage.in.ua/?page\\_id=2414](https://eage.in.ua/?page_id=2414).
19. *Global Forest Watch. "Fires in Volyn, Ukraine"*. Electronic resource. Available at: [www.globalforestwatch.org](http://www.globalforestwatch.org).
20. *Hansen Global Forest Change v1.9 (2000-2021)*. Electronic resource. Available at: [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/UMD\\_hansen\\_global\\_forest\\_change\\_2021\\_v1\\_9](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/UMD_hansen_global_forest_change_2021_v1_9)
21. Hansen, M.C., Potapov, P.V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O. (2013). *Supplementary Materials for High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change*. *Science*, 742, 850-853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>
22. Olofsson, P., Foody, G. M., Herold, M., Stehman, S.V., Woodcock, C.E., Wulder, M.A. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*, 148, 42-57. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015>
23. *Weisse, M., Goldman, L. Forest Loss Remained Stubbornly High in 2021 (2021)*. Electronic resource. Available at: <https://www.globalforestwatch.org/blog/data-and-research/global-tree-cover-loss-data-2021/>

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work

Received 7 July 2022  
Accepted 25 November 2022

## Алгоритм опрацювання тижневих бланків термографа М-16АН Розтоцького ландшафтно-геофізичного стаціонару, як резервного джерела даних щодо температури повітря

*Богдан Яворський*<sup>1,2</sup>

к. геогр. н., доцент кафедри геоєкології і фізичної географії  
<sup>1</sup> Львівського національного університету імені Івана Франка,

вул. Дорошенка, 41, м. Львів, 79000, Україна,  
науковий керівник <sup>2</sup> Розтоцького ландшафтно-геофізичного стаціонару,  
вул. Нова, 7, смт. Брюховичі, 79491, Україна;

e-mail: [yavorskyu\\_bogdan@yahoo.com](mailto:yavorskyu_bogdan@yahoo.com),  <https://orcid.org/0000-0001-8552-8418>;

*Вікторія Чепурко*<sup>2</sup>

лаборант,

e-mail: [vicachepurko@gmail.com](mailto:vicachepurko@gmail.com),  <https://orcid.org/0009-0006-7944-0472>

Зроблено спробу застосувати записи термографа М-16АН із тижневим періодом обертання барабана для заповнення пропусків у базі даних щодо температури повітря на Розтоцькому ландшафтно-геофізичному стаціонарі (РЛГС) у смт. Брюховичі, Львів. Виявлено, що деякі з даних, зафіксованих як показники сухого психрометричного термометра у червні 1991 року, насправді є величинами температури повітря, зчитаними із тижневих стрічок термографа, проте у які не внесено коректуючі поправки, через що значення температури повітря може відрізнятись на цілий градус і більше. Порівняно з існуючими просторовими і часовими методиками відновлення пропусків у часових рядах метеорологічних показників, які дають змогу отримати відновлені значення температури повітря для шуканого строку спостережень з точністю близько 1,0°C чи з дещо меншою, нами отримано відновлені дані щодо температури повітря з точністю близько 0,8°C. При обробці тижневих бланків термографа для обчислення поправки на температуру найкраще обирати доби із дощовою і/або похмурою погодою, коли зміна температури у часі нешвидка. При опрацюванні стрічок термографа із тижневим періодом обертання барабана необхідно виявити реперні точки фіксації часу, до яких необхідно долучати й моменти закладання й зняття стрічки з барабану спостерігачем. Вони дозволяють виявити зміщення "вліво" чи "вправо" точок на кривій, що відповідають значенням температури саме у строк спостережень, із подальшим обчисленням поправки до температури, що компенсує пришвидшене чи сповільнене обертання барабана. Лише після цього виникає можливість встановити значення температури повітря у нічні години, зафіксованих термографом, що й було метою даного дослідження. Для коректування положення у часі точок на температурній кривій, що відповідають строкам вимірювання, найдоцільніше обирати точки початку і кінця запису температурної кривої, а також вертикальні риси, прорисовані пером термографа за участю спостерігача. Можливо, запропонований алгоритм буде корисним і при усуненні пробілів у даних щодо температури на інших пунктах спостережень, де термограф слугував резервним приладом фіксації температури повітря. Проведене дослідження додає нових штрихів до історії роботи РЛГС.

**Ключові слова:** температура повітря, термограф, тижневий бланк, сухий психрометричний термометр, поправка, база даних.

**Як цитувати:** Яворський Богдан. Алгоритм опрацювання тижневих бланків термографа М-16АН Розтоцького ландшафтно-геофізичного стаціонару, як резервного джерела даних щодо температури повітря / Богдан Яворський, Вікторія Чепурко // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 58. – С. 290-301. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-22>

**In cites:** Yavorskyu Bohdan, Chepurko Viktorija (2023). Processing algorithm of weekly records of the Roztochia landscape-geophysical station thermograph M-16AN as a response source of air temperature data. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (58), 290-301. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-22> [in Ukrainian]

**Постановка проблеми.** Розтоцький ландшафтно-геофізичний стаціонар (РЛГС) Львівського національного університету імені Івана Франка розташований у північно-західній частині міста Львова, у смт. Брюховичі. Тут вже більше, ніж пів сторіччя ведуть метеорологічні та інші спостереження [3, 5, 6, 8, 19], за результатами яких зібрана цифрова база даних. У ході її опрацювання виявлено недостачу частини метеоданих за 1990–1991 роки. Відсутність достовірних температурних даних за кожен строк спостережень протягом доби унеможливує обчислення середньодобових, а далі середньодекадних, середньомісячних і серед-

ньорічних значень температури повітря – базової метеорологічної величини. У свою чергу, брак усереднених даних за 1990–1991 роки не дає змоги опрацювати весь п'ятдесятирічний ряд безперервних спостережень, виявити ритміку, тренди і метеорологічну норму температури повітря на РЛГС.

Вимірювання і запис метеорологічних величин (в тому числі, температури повітря) і явищ не було здійснено у кожен строк спостережень, яких в той час було 4 на добу. Причиною цього могла бути важка тогочасна економічно-соціальна ситуація, адже в реальності виміри здійснювали всьо-

го один чи двоє штатних спостерігачів РЛГС, а також студенти-географи (прізвища і підписи спостерігачів Ліскевича Ю. І. та Федечко Л. Т., студентів Дзюбик і Ліницької значаться на титульних сторінках "Книжок" КМ-1 і на зворотному боці стрічок термографа за червень 1991 року).

Отож, завданням дослідження стало віднайти ті джерела інформації про температуру повітря на РЛГС, які б дозволили заповнити пробіли у нічні години доби, коли спостерігачами вимірювання, на жаль, не проведено.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Проблема пропусків у рядах даних метеостанцій є доволі поширеною як в Україні, так і закордоном. Існує низка методик відновлення пропусків у часових рядах метеорологічних показників, які можна розділити на дві групи: просторові, коли використовують дані сусідніх метеостанцій, і часові (див. [11, 12, 14] та літературу, що там наведена). Корисними можуть бути й Інтернет-ресурси, наприклад [20]. Подібні методи дають змогу отримати відновлені значення температури повітря для шуканого строку спостережень з точністю близько  $1,0^{\circ}\text{C}$  чи з дещо меншою.

У даному дослідженні джерелом для відновлення даних стали тижневі стрічки термографа М-16АН, що вимірював температуру повітря безпосередньо на РЛГС, зокрема, й і у ті моменти часу, коли спостерігач мав би здійснювати (але не здійснював) виміри температури повітря за сухим термометром психрометра. Розташування термографа на одному метеомайданчику із сухим психрометричним термометром дозволяє вважати синхронно виміряні обома приладами величини температури повітря дуже близькими (в межах похибок роботи приладів). Тому застосування даних із термографа, як резервного джерела даних щодо температури на РЛГС, у випадку заповнення пропусків у вимірах, має суттєві переваги над методами, коли з цієї метою до уваги беруть віддалені щодо досліджуваного у просторі пункти спостережень. Наприклад, у публікації [17] дані вимірів термографа також послужили для реконструкції добових значень температури повітря. Як зазначено у "Керівництві", опублікованому Всесвітньою Метеорологічною Організацією [15], термографи були і будуть застосовувати внаслідок їх відносної дешевизни, надійності і портативності.

Методики опрацювання паперових бланків термографів, що були чинні на початку 1990-их років, і які діють тепер [10, 11], по-суті не відрізняються. Згідно з ними, для опрацювання бланків термографа передбачено застосування наявних показів сухого психрометричного термометра з усіх строків спостережень. У нашій ситуації, вимірів температури термометром у нічні години доби не було здійснювано, що ускладнювало нам

завдання. Крім цього, стрічки термографа, які були записані на РЛГС, носять ознаки їх невчасного закладання і зняття з барабану приладу. Це вимагало удосконалити існуючу методику їх опрацювання, адаптувати її до реалій роботи РЛГС шляхом виявлення поправок і внесення їх у зчитані значення з температурної кривої.

Дане дослідження є продовженням подібного [13], у якому до розгляду брали добові стрічки термографа РЛГС за січень 1990 року. Як встановлено авторами, в архіві РЛГС збереглися усі стрічки термографа та "Книжки для запису метеорологічних спостережень" КМ-1 за січень 1990 року та червень 1991 року із записами ходу температури на них, вони були опрацьовані в ході дослідження.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Цінність метеорологічних даних, виміряних на одному місці, зростає залежно від повноти і тривалості рядів. У випадку з РЛГС, встановлено пробіли у даних щодо температури повітря в 1990–1991 роках, що унеможливило статистично опрацьовувати весь ряд із 1969 року і до тепер. Настанова [11] дозволяє застосовувати дані з термографа з метою заповнення пропусків спостережень за сухим психрометричним термометром. Однак, ця ж настанова [11, пункт 5.8.4] не дозволяє обчислювати середні добові значення температури за наявності пропусків під час 4-строкових спостережень (як у даному випадку). У вказівках Всесвітньої Метеорологічної Організації [16] вказано, що навіть сумнівні чи підозрілі значення вимірів потрібно зберігати і вони можуть бути використані для усунення проблем із вимірами. Пошук алгоритму опрацювання тижневих стрічок термографа для заповнення пробілів щодо даних температури повітря у нічні години стало основним завданням даного дослідження.

Вибір для аналізу у нашому попередньому [13] і даному дослідженнях місяців із холодного і теплого сезонів було зроблено для порівняння даних із різних джерел (сухого термометра і термографа) в умовах як від'ємних температур, так і високих літніх значень. У цьому ж дослідженні проаналізовано тижневі стрічки, записані у червні 1991 року (5 штук). У порівнянні із прийнятою в Україні методикою опрацювання стрічок тижневого термографа [10, 11], у даному дослідженні запропоновано під час їх опрацювання вносити поправку у значення температури повітря, яка компенсує пришвидшене чи сповільнене обертання тижневого барабана термографа. Також для обчислення поправок щодо величини температури повітря запропоновано застосовувати не всі виміри за сухим термометром, а лише ті, які були здійснені у доби із похмурою чи дощовою погодою, коли зміни у часі температури повітря

повільні і на термограмах відображені плавною лінією. Прийоми зчитування інформації стрічок, які описані в даній публікації, вважаємо, допоможуть в опрацюванні стрічок термографа РЛГС, або й інших метеостанцій.

**Метою** таких пошуків стало створення алгоритму опрацювання тижневих стрічок термографа, специфіка цього алгоритму обумовлена особливостями функціонування РЛГС у 1990–1991 роках. Опрацювання стрічок термографа необхідне для заповнення пробілів у базі даних у 1990–1991 роках щодо температури повітря на РЛГС. Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити проблему відсутності вимірів температури повітря спостерігачем у нічні години на РЛГС, адже й ці величини необхідні для очислення поправок термографа [10, 11]. Наступним завданням було виявити, оцінити і компенсувати пришвидшене чи сповільнене обертання тижневого барабана у спосіб внесення поправок до значень температури, записаної термографом. Також необхідно було протестувати, чи всі виміри сухого термометра придатні для обчислення поправок до температур, виміряних термографом.

**Методика досліджень.** Отримані нами на опрацювання стрічки тижневого термографа М-16АН за 1990–1991 роки, записані на РЛГС, та "Книжки для запису метеорологічних спостережень" КМ-1 мають свою специфіку. Робимо спробу виявити недостовірні (тобто ті, які не отримані шляхом безпосередніх вимірювань) записи температури повітря у "Книжках" КМ-1. Вважаємо, що у цьому може допомогти аналіз стрічок термографа, що працював на РЛГС. Припускаємо, що технічні стани термографа, який працював із застосуванням добового [13] і тижневого барабанів, а також сухого психрометричного термометра у дані два досліджувані місяці (січень 1990 року [13] і червень 1991 року) були задовільними і характерними для інтервалу 1990–1991 років.

Величини температури повітря, що припадають на строки вимірювань, зчитували із стрічок термографа, формували електронну таблицю і порівнювали значення температури (обчислення різниці) із відповідними їм, що були записані у "Книжках" КМ-1. Водночас, для отримання достовірної інформації про температуру повітря, записаної термографом з тижневим барабаном, необхідно було внести дві поправки. Перша поправка буде вноситись по осі ординат, збільшуючи чи зменшуючи значення температури, записаної термографом, порівняно з величинами температури виміряної сухим психрометричним термометром. Останнє значення вважаємо за базове. Другу поправку вносили по осі абсцис, яка компенсувала сповільнене або пришвидшене повертання бара-

бана, яке можна виявити відносно реперних точок фіксації часу на стрічці. Згідно з [1], за тиждень роботи термографа допустима основна похибка реєстрації часу до  $\pm 30$  хвилин.

**Виклад основного матеріалу.** В архівних "Книжках" КМ-1 РЛГС у колонці, що призначена для запису даних у строк вимірів 03 год., зафіксовано значно менше метеорологічних величин і явищ, ніж у колонках за інші строки термінових спостережень. Дані записані лише у комірках "відлік за сухим термометром у психрометричній будці", "гігрометр", "барометрична тенденція", і зрідка в "атмосферні явища" і "опаді" (рис. 1).

Відсутність записів в інших комірках, а саме тих, які вимагають безпосередньої участі на вимірах спостерігача і описують хмарність, вітер, температуру ґрунту, викликає підозру, чи ці спостереження були проведені, а записи, які такі зроблені, мабуть, були здійснені за показниками самописців, тобто у комірці "сухий термометр" насправді міг бути запис температури, отриманої шляхом зчитування із стрічки термографа.

Як видно із таблиці 1, у переважній більшості випадків різниця між величинами, записаними у КМ-1 ніби-то як значення сухого психрометричного термометра, і значеннями температури, отриманої зчитуванням із стрічок термографа, попередньо необроблених (!), становить  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , зрідка  $\pm 0,1\text{--}0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Це нас переконує, що маємо справу не з вимірюваними сухим психрометричним термометром величинами температури, а це – дані, зчитані зі стрічок термографа. Різниця більше  $\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , яка зрідка виникала, пов'язана з відмінностями у зчитуванні стрічок різними особами. Звідси можна робити висновок, що значення температури, записані у КМ-1 у строк 03 год, є неопрацьовані і їх не можна використовувати для обчислення поправок до величин температури (за віссю ординат) для стрічок термографа.

На тижневих стрічках термографа бачимо вертикальні риси, зроблені олівцем у місцях, які відповідають строкам спостереження (03, 09, 15 і 21 год.) згідно з маркуванням часу на стрічці (рис. 2). Виявлена особливість походження записів температури в КМ-1 дозволяє засумніватись у об'єктивності записів температури повітря і в інші строки спостережень. Це вимагає більш ретельного ставлення до даної інформації.

Наступним кроком нашого аналізу було порівняти записи спостережень за сухим термометром у строкові виміри у 09, 15 і 21 годинах, зроблені у КМ-1, із відповідними цим термінам значеннями температури, зчитаними із тижневих стрічок термографа (таблиця 2).

Як видно з таблиці 2, різниці між згаданими величинами групуються у три діапазони: 1) 0 –

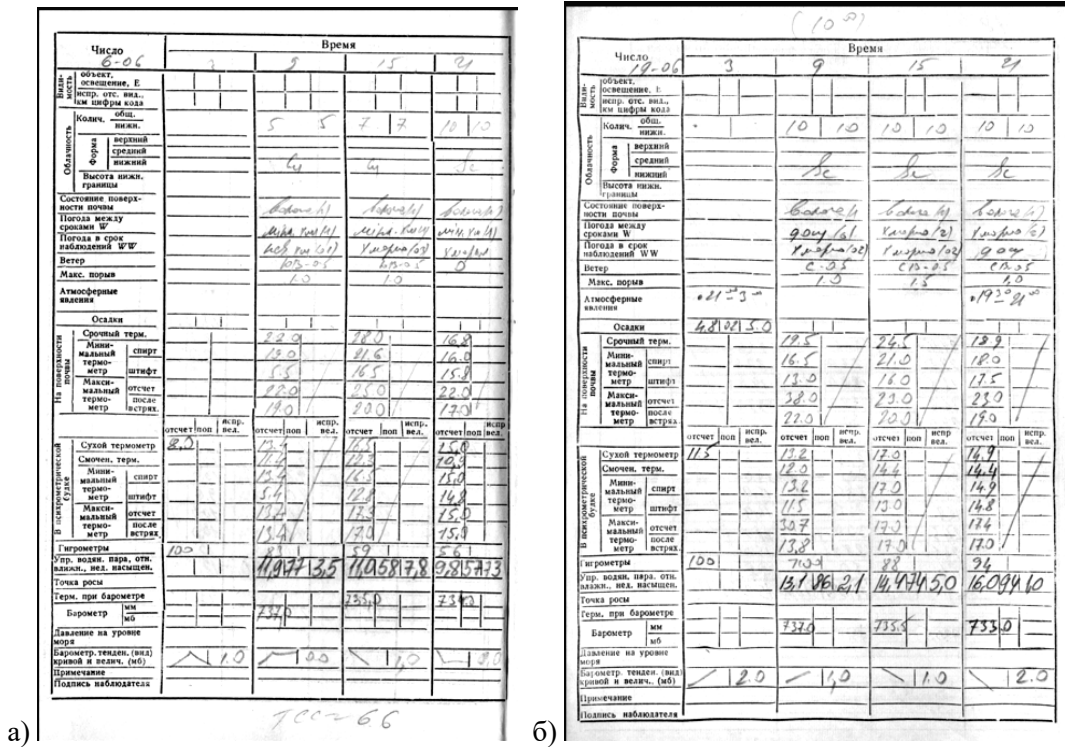


Рис. 1. Сторінки "Книжки" КМ-1 РЛГС за 06 (а) і 19 (б) червня 1991 року  
 Fig. 1. Pages of the "Book" КМ-1 of the RLGS for June 6 (a) and 19 (b), 1991

Таблиця 1 / Table 1

Порівняння величин температури повітря, зафіксованих у строк 03 год., записаних у журналі КМ-1, із величинами температури, зчитаними з тижневих стрічок термографа, червень 1991 р., °С / Comparison of air temperature values, recorded in the 03-hour term and written in the КМ-1 journal, with temperature values read from weekly thermograph tapes, June 1991, °С

дата	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
t03, т-р	7,5	10,2	7,0	12,8	11,2	8,0	11,0	13,5	13,0	11,0	13,0	12,9	10,0	13,5	10,8
t03, т-ф	7,5	10,2	6,9	12,8	11,2	8,0	11,0	13,5	13,0	11,0	13,8	12,9	9,8	13,7	10,8
Δt03	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	-0,8	0	0,2	-0,2	0

дата	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
t03, т-р	15,0	19,7	19,0	11,5	14,0	10,0	11,0	12,4	12,8	17,0	13,5	15,0	19,0	12,0	11,0
t03, т-ф	15,0	19,8	19,0	11,5	13,5	10,2	11,0	12,5	12,8	17,0	13,5	15,0	19,0	12,1	11,0
Δt03	0	-0,1	0	0	0,5	-0,2	0	-0,1	0	0	0	0	0	-0,1	0

де "t03, т-р" – величина температури, записана у журналі КМ-1, "t03, т-ф" – величина температури, зчитана з тижневих стрічок термографа, Δt03 – різниця між "t03, т-р" і "t03, т-ф" / where "t03, т-р" – temperature value, written in the КМ-1 journal, "t03, т-ф" – temperature value, read from weekly thermograph tapes, Δt03 – the difference between "t03, т-р" and "t03, т-ф".

±0,1–0,2 °С, виділені курсивом; 2) ±0,3–0,8 °С, звичайним шрифтом; 3) ±1,0 °С і значно більше, виділені жирним шрифтом. Різницю 0 – ±0,1–0,2 °С можна пояснити, як і у випадку з записами за 3 год., тим, що деякі записи у КМ-1 також є зчитаними з стрічок термографа, або ж тим, що показники, зчитані спостерігачем із термометра, і зчитані нами із стрічки термографа, співпали. Коли між значеннями температур за сухим термометром і термографом різниця становить аж 1,0 °С або й значно більше, то це свідчить, що, з одного боку, температура була виміряна термометром і зафіксована спостерігачем, а з другого, що маємо

справу з тими інтервалами доби, коли відбувалася швидка зміна температури повітря за одиницю часу (рис. 2а).

Такий процес є природним вліті для відрізків часу близько до 09 год., коли зранку температура повітря швидко зростає, в обідню пору, близько до 15 год. температура зазнає швидких стрибкоподібних коливань, а ввечері, близько до 21 год. часто спостерігаємо швидке зниження значень температури. Найплавнішою, і тому найпридатнішою для обчислення поправок на температуру термографа, крива зміни температури повітря є вночі, близько до строку вимірів о 03 год, проте,

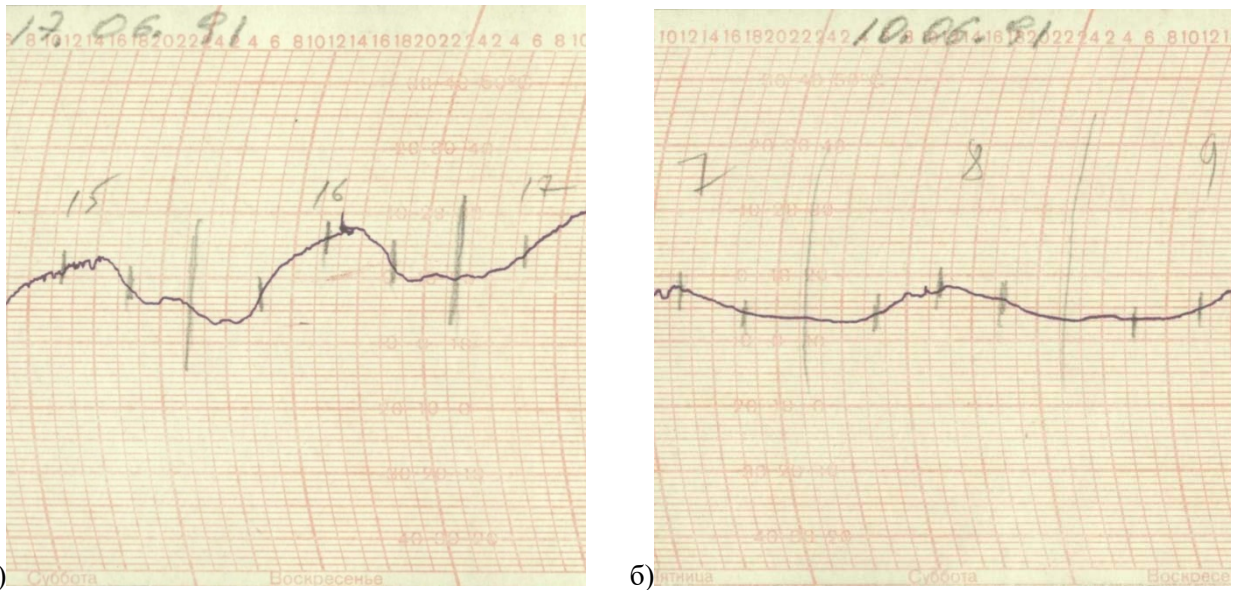


Рис. 2. Зображення на тижневих стрічках термографа добових коливань температур повітря двох видів: а) значної амплітуди і швидкої її зміни у сонячний день 16.06.1991 р., що мало придатне для обчислення поправок до температури, виміряної термографом і б) невеликої амплітуди 08.06.1991 р. у хмарний (10 балів) і дощовий день, що придатне для обчислення поправок до температури, виміряної термографом. Вертикальні риси, прорисовані олівцем – механічна (?) інтерполяція постфактум спостерігачем точок на кривій температури, що відповідають термінам спостережень 03, 09, 15 і 21 год. Записи термографом температури у точках, що відповідають 03 годині, можливо й інших (?) точок, без внесення поправки на час, використовувались для фіксації у журналах КМ–1 як показник сухого психрометричного термометра /

Fig. 2. Drawing on weekly tapes of the thermograph daily fluctuations of air temperatures of two types: a) a significant amplitude and its rapid change on a sunny day 16.06.1991, which is not suitable for calculating corrections to the measured by the thermograph temperature and b) a small amplitude on 06.08.1991 on a cloudy (10 points) and rainy day, which is suitable for calculating corrections to the measured by the thermograph temperature. Vertical lines drawn with a pencil are mechanical (?) interpolations after the fact by the observer of the points on the temperature curve that corresponds to the observation periods of 03, 09, 15, and 21 hours. Thermograph records of temperature at points corresponding to 03 o'clock, possibly and other (?) points, without making time corrections, were used for taping in KM-1 journals to measure a dry psychrometric thermometer

як було вказано вище, вимірювання температури повітря сухим термометром на РЛГС, на жаль, не проводили, що унеможливило визначення поправок простим шляхом.

Тому використовувати ті величини температури, поміряні сухим термометром, які припадають на вимір, коли відбувалася швидка зміна температури, для обчислення поправки термографа на температуру також не можна. Проте, якщо протягом тривалого часу на РЛГС фіксувалася похмура або дощова погода (це можна вияснити із записів КМ–1, наприклад, як на рис. 16, рис. 26), то різниці між сухим термометром і показом термографа зменшуються [7, 9, 15] і потрапляють у діапазон  $0 - \pm 0,3 - 0,8$  °C. Саме ці різниці придатні для обчислення поправок. Вони відображають точність вимірювання температури термографом, яка становить  $\pm 1,0$  °C [1]. Такий діапазон різниць між показниками сухого термометра і термографа можливий у випадку, якщо тижнева стрічка термо-

графа була закладена правильно, горизонтально, до того ж місце запису термографом на стрічці температури було відрегульоване по вертикалі, і місце початку кривої температури співпадало із показниками сухого термометра. За всіма ознаками, цих вимог було дотримано у всіх аналізованих стрічках за червень 1991 року.

Інша проблема, яку потрібно було вирішити у даному дослідженні – це встановити справжнє положення хоча б кількох точок на кривій запису термографом температури у межах кожної стрічки, щодо положення яких у часі (вісь абсцис) викликає найменше сумнівів. Ці точки можуть слугувати часовими реперами, від яких будуть розраховуватись поправки на зміщення у часі для різних відрізків тижневої стрічки термографа. Як про це скажемо далі, точки на лінії запису температури, що відповідають часу строкових вимірів, насправді можуть бути зміщеними стосовно їх місця запису на стрічці вліво або вправо, що суттєво

Таблиця 2 / Table 2

Порівняння величин температури, записаних у журналі КМ–1 за 09, 15, 21 год.,  
із величинами температури, зчитаними з тижневих стрічок термографа, червень 1991 року, °С /  
Comparison of temperature values, written in the КМ–1 journal in the observation periods of 09, 15,  
and 21 hours, with temperature values read from weekly thermograph tapes, June 1991, °С

дата	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
t09, т-р	10,0	9,0	10,0	14,0	8,8	13,4	11,5	14,6	13,5	17,2	16,5	12,5	15,0	16,6	14,5
t09, т-ф	10,0	9,2	10,0	14,0	8,8	8,5	11,5	14,0	13,3	10,0	16,5	12,5	15,0	16,6	14,5
Δt09	0	-0,2	0	0	0	4,9	0	0,6	0,2	7,2	0	0	0	0	0
t15, т-р	18,0	15,8	20,4	19,0	9,6	16,5	18,6	18	16,6	21	20,2	18,7	22,2	15,0	21,0
t15, т-ф	18,0	14,2	20,8	18,0	9,0	16,0	18,0	17,5	15,0	21	18,5	18,0	22,2	15,0	21,0
Δt15	0	1,6	-0,4	1,0	0,6	0,5	0,6	0,5	1,6	0	1,7	0,7	0	0	0
t21, т-р	16,5	12,0	17,0	14,2	10,0	15,0	14,0	16,0	16,0	17,5	17,3	16,0	20,2	15,3	18,0
t21, т-ф	16,0	11,8	17,2	14,0	10,0	15,2	14,5	16,5	16,5	17,5	17,5	16,0	20,2	16,5	18,2
Δt21	0,5	0,2	-0,2	0,2	0	-0,2	-0,5	-0,5	-0,5	0	-0,2	0	0	-1,2	-0,2
дата	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
t09, т-р	17,5	24,0	24,4	13,2	13,4	16,0	14,5	17,5	21,2	17,5	16,2	20,4	12,8	13,3	13,8
t09, т-ф	17,5	24,0	24,8	13,0	13,0	16,0	14,5	17,5	18,0	17,5	16,0	20,0	13,0	13,0	11,0
Δt09	0	0	-0,4	0,2	0,4	0	0	0	3,2	0	0,2	0,4	-0,2	0,3	2,8
t15, т-р	28,0	31,0	27,5	17,0	16,8	21	23,4	24	25,2	18,6	22,2	25	17,4	18,8	15,4
t15, т-ф	27,0	30,5	28	17,0	15,8	20,8	22,9	23,7	25,0	17,5	22,5	24,5	14,0	18,0	15,2
Δt15	1,0	0,5	-0,5	0	1,0	0,2	0,5	0,3	0,2	1,1	-0,3	0,5	3,4	0,8	0,2
t21, т-р	21,5	22,5	15,0	14,9	14,0	13,0	16,5	17,4	19,0	15,0	19,4	22,0	15,5	14,2	14,2
t21, т-ф	21,5	21,7	14,5	14,9	14,2	13,7	17	18,5	18,5	15	19	21,5	15,2	14,5	13,9
Δt21	0	0,8	0,5	0	-0,2	-0,7	-0,5	-1,1	0,5	0	0,4	0,5	0,3	-0,3	0,3

де "t09, т-р", "t15, т-р", "t21, т-р" – величини температури, записані у журналі КМ–1 як покази сухого термометра у строки вимірів, відповідно, 09, 15 і 21 год, "t09, т-ф", "t15, т-ф", "t21, т-ф" – величини температури, зчитані з тижневих стрічок термографа для точок кривої, що припадають на, відповідно, 09, 15 і 21 год часової шкали стрічки, Δt09, Δt15 і Δt21 – різниці, відповідно, між "t09, т-р" і "t09, т-ф", "t15, т-р" і "t15, т-ф", "t21, т-р" і "t21, т-ф" /

where "t09, т-р", "t15, т-р", "t21, т-р" – temperature value, written in the КМ–1 journal as a dry psychrometric thermometer measurements respectively, at 09, 15 and 21 h, "t09, т-ф", "t15, т-ф", "t21, т-ф" – temperature value, read from weekly thermograph tapes for the points of the curve falling on, respectively, 09, 15 and 21 h of the tape time scale, Δt09, Δt15 і Δt21 – differences between respectively, "t09, т-р" and "t09, т-ф", "t15, т-р" and "t15, т-ф", "t21, т-р" and "t21, т-ф".

впливає на величину температури, приведеної до моменту строкових спостережень.

Першою такою реперною точкою може бути початок запису кривої температури [10, с. 51–52], що припадає на 15 год. понеділка (хоч на стрічках РЛГС – не завжди), і це місце відповідає фактичному часовому положенню на стрічці. Вважаємо, що спостерігач, змінюючи стрічку, закладав нову і запускав термограф у строк спостережень.

Другою точкою слугує момент закінчення запису кривої температури, що мало би відбутись також в 15 год. наступного понеділка, проте, часто це було не так. Запис міг бути зупинений в інший час, наприклад, о 10 годині 10.06., про що свідчить запис у КМ–1 (рис. 3).

Ще одними точками на стрічці тижневого термографа, які слугують часовими реперами, є точки, через які прорисовані вертикальні риски (рис. 26). Ці риски зобов'язаний відзначати спостерігач, натискаючи кнопку позначання часу термографа у строк спостережень. Прорисована

риска також дозволяє впевнитись у присутності спостерігача на вимірах на метеомайданчику і вважати значення температури повітря за сухим термометром достовірним.

Проте, інколи буває, що значення температури в місці до прорисовування риски і після неї суттєво відрізняється. Такий стрибок може сягати 1 °С (у випадку за 16.06.1991 року, що на рис. 26, коли до прорисовування риски крива температури була на 26,9°С, а після – 27,9 °С) і більше, і він обумовлений надмірним тертям стрілки самописця об барабан [15]. Після прорисовування вертикальної риски, вважаємо, термограф продовжив запис температури вже без цього надмірного тертя, і до уваги брали те значення температури, яке записане одразу після прорисовування вертикальної риски (правіше від неї).

Отож, на тижневій стрічці термографа можна виявити кілька реперних точок, фіксація яких відбувалась за участю спостерігача у відомий нам час. Це дає змогу розбити тижневу стрічку на кі-

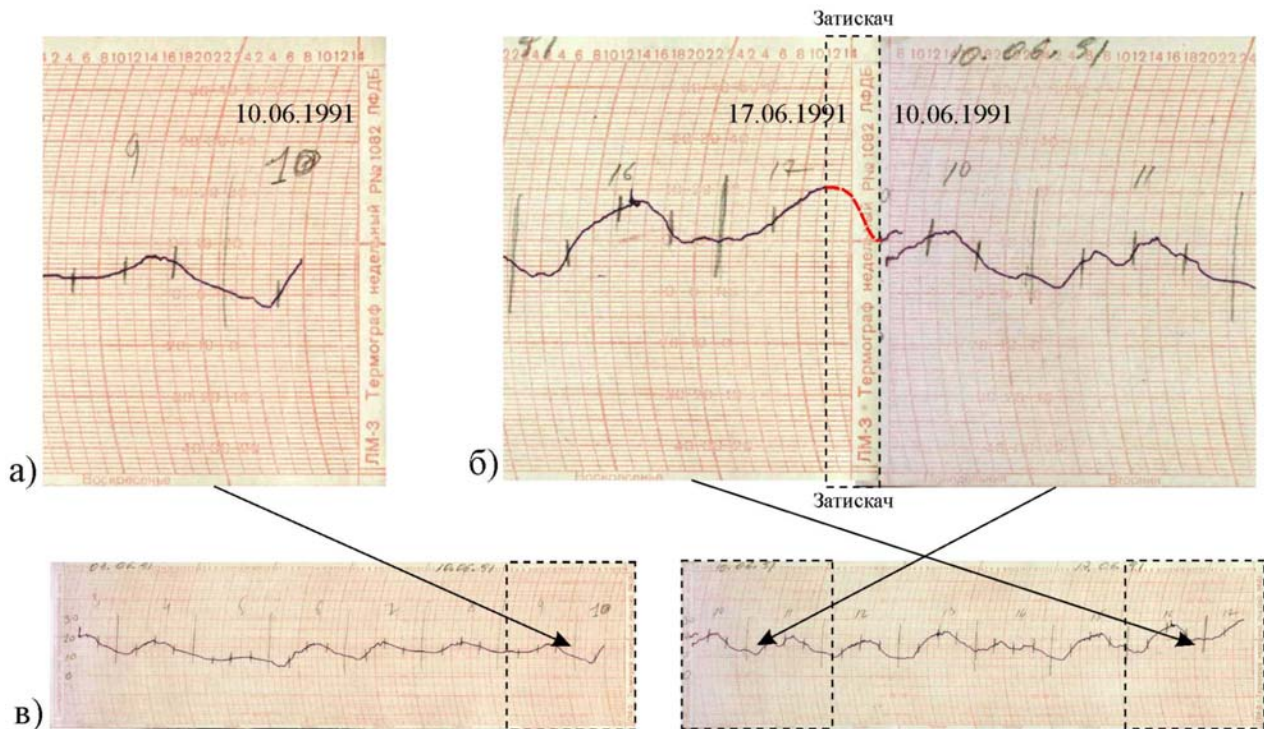


Рис. 3 Реперні точки фіксації часу на кривій запису температури повітря термографом на тижневій стрічці. Запис на стрічці за 10.06.1991 року (а) припинено в 10 годині, що відповідає положенню на стрічці 11 год. 50 хв. і вимагає внесення поправки на час "вліво". Запис на стрічці за 17.06.1991 року (б) не був зупинений вчасно у 15 годині, перо прокрутилось через затискач (пунктир), і крива температури почала прорисовуватись на початку стрічки (за 10.06). Сказати впевнено про час закінчення запису температури важко. Розташування початкових і прикінцевих фрагментів (а) і (б) на тижневих стрічках термографа (в) /

Fig. 3. Reference points of time fixation on the air temperature recording curve on a weekly thermograph tape. The recording line on the tape for 10.06.1991 (a) was stopped at 10 o'clock, which corresponds to the position on the tape at 11 h 50 min. And requires a time amendment to the "left". The recording on the tape for 06.17.1991 (b) was not stopped in time at 15 h, the pen scrolled through the clamp (dashed), and the temperature curve began to be drawn at the beginning of the tape (for 06.10). It is difficult to say with certainty about the end time of the temperature recording. The location of the initial and final fragments (a) and (b) on the weekly thermograph tapes (v) /

лька частин, для кожної з яких можна визначати способом лінійної інтерполяції поправку на час (зміщення по осі абсцис вліво або вправо) і локалізацію тих точок, що відповідають строковим вимірам, які потрапляють поміж дві реперні точки.

Величини температури на тижневих стрічках термографа для точок, які відповідають строкам вимірів, будуть суттєво відрізнятись між випадків: а) механічним зчитуванням температури у цих точках на кривій, коли до уваги взято лише часову шкалу стрічки (місця, прокреслені олівцем, рис. 2) і б) коли внесено поправку на локалізацію цих точок на кривій температури. Результати такого порівняння наведено у таблиці 3.

Як видно з порівняння величин температури, які механічно зчитані зі стрічки тижневого термографа (місця, прокреслені олівцем), і тих величин, які виникають після внесення поправки на час, різниці можуть становити  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  і більше.

Проте, саме ці величини температури, у які внесені поправки на час, лише можна застосовувати для подальшого обчислення поправок на температуру у точках, для яких вимірювання температури повітря сухим термометром викликає найменше сумнівів.

Таким чином, кожна з тижневих стрічок термографа отримує індивідуальний набір точок, для яких можна обчислити поправку на температуру, віднявши від температури за сухим термометром значення температури за записом термографа. Поправки, що виникають, як це виявилось після проведеного аналізу, взаємно підтверджують одна одну, оскільки відрізняються між собою в межах  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ . Такий результат закономірний, адже початок запису кривої температури завжди співпадав з показом сухого термометра, а точність термографа становить  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  [1]. Відрізок тижневої стрічки термографа між двома точками, для яких



обчислена поправка на температуру, опрацьовували за методикою обробки стрічки добового термографа [10].

З досвіду опрацювання тижневих стрічок термографа за червень 1991 року, можемо сформулювати алгоритм для опрацювання подібних стрічок за інші місяці. В електронну таблицю в окремі колонки записуємо величини температури у строки спостережень: а) за сухим термометром, б) за термографом у точках, що відповідають строкам спостереження. Віднявши значення колонок (а) і (б), визначаємо ті значення темпера-

тури за сухим термометром, які придатні для обчислення поправок. Відкидаємо занадто великі величини різниць, які виникають під час швидкої зміни температури. Значення, близькі до 0, можуть бути не міряні термометром, а зчитані з стрічки термографа (хоч і не завжди). Рішення щодо їх залучення до аналізу потрібно приймати індивідуально, наприклад, звертаючи увагу у записи в КМ-1, які можуть дати аргументи щодо реального проведення вимірів спостерігачем. Наступним кроком стає відшукування на кожній із стрічок термографа точок, які служать часовими

Таблиця 3 / Table 3

Оцінка зміни значення температури повітря при внесенні поправки на локалізацію точок кривої на тижневій стрічці термографа, що відповідають строкам вимірів 03, 09, 15 і 21 год, червень 1991 року, °С / The air temperature value change evaluation in the localization of the curve points on the weekly tape of the thermograph making a correction, corresponding to the measurement periods of 03, 09, 15 and 21 hours, June 1991, °С

Дата	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
t03, т-ф	7,5	10,2	6,9	12,8	11,2	8,0	11,0	13,5	13,0	11,0	13,8	12,9	9,8	13,7	10,8
t'03, т-ф	7,5	10,0	7,0	13,0	11,5	8,0	11,0	13,5	13,0	10,0	13,5	12,5	10,0	13,5	10,0
Δt03	0	0,2	-0,1	-0,2	-0,3	0	0	0	0	1,0	0,3	0,4	-0,2	0,2	0,8
t09, т-ф	10,0	9,2	10,0	14,0	8,8	8,5	11,5	14,0	13,3	17,0	16,5	12,5	15,0	16,6	14,5
t'09, т-ф	11,0	10,0	13,0	14,0	9,0	8,0	11,0	13,0	13,5	17,0	16,5	13,0	15,0	17,0	15,0
Δt09	-1,0	-0,8	-3	0	-0,2	0,5	0,5	1,0	-0,2	0	0	-0,5	0	-0,4	-0,5
t15, т-ф	18,0	14,2	20,0	18,0	9,0	16,0	18,0	17,5	15,0	21,0	18,5	18,0	22,2	15,0	21,0
t'15, т-ф	18,0	15,8	20,5	18,5	9,5	14,5	18,0	17,5	14,0	21,0	18,0	18,0	22,0	15,0	21,0
Δt15	0	-1,6	-0,5	-0,5	-0,5	1,5	0	0	1,0	0	0,5	0	0,2	0	0
t21, т-ф	16,0	11,8	17,2	14,0	10,0	15,2	14,5	16,5	16,5	17,5	17,5	16,0	20,2	16,5	18,2
t'21, т-ф	14,5	9,0	17,0	14,0	10,0	15,0	14,5	16,5	16,0	17,5	17,0	16,0	21,0	15,0	17,0
Δt21	1,5	2,8	0,2	0	0	0,2	0	0	0,5	0	0,5	0	-0,8	1,5	1,2

Дата	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
t03, т-ф	15,0	19,8	19,0	11,5	13,5	10,2	11,0	12,5	12,8	17,0	13,5	15,0	19,0	12,1	11,0
t'03, т-ф	14,5	20,0	19,0	11,5	14,0	10,0	11,0	12,5	13,0	17,0	13,5	15,0	19,0	12,0	11,0
Δt03	0,5	-0,2	0	0	-0,5	0,2	0	0	-0,2	0	0	0	0	0,1	0
t09, т-ф	17,5	24,0	24,8	13,0	13,0	16,0	14,5	17,5	18,0	17,5	16,0	20,0	13,0	13,0	11,0
t'09, т-ф	19,0	25,0	25,0	12,0	13,0	16,0	15,0	17,0	18,0	17,5	16,0	19,0	14,0	13,0	11,0
Δt09	-1,5	-1,0	-0,2	1,0	0	0	-0,5	0,5	0	0	0	1,0	-1,0	0	0
t15, т-ф	27,0	30,5	28,0	17,0	15,8	20,8	22,9	23,7	25,0	17,5	22,5	24,5	14,0	18,0	15,2
t'15, т-ф	28,0	30,5	28,0	17,0	15,8	21,0	23,0	23,7	25,0	17,5	22,5	24,5	13,5	18,0	15,2
Δt15	-1,0	0	0	0	0	-0,2	-0,1	0	0	0	0	0	0,5	0	0
t21, т-ф	21,5	21,7	14,5	14,9	14,2	13,7	17,0	18,5	18,5	15,0	19,0	21,5	15,2	14,5	13,9
t'21, т-ф	20,0	22,0	15,0	15,0	14,0	13,0	17,0	18,0	18,0	15,0	19,0	22,5	15,5	15,0	14,0
Δt21	1,5	-0,3	-0,5	-0,1	0,2	0,7	0	0,5	0,5	0	0	-1,0	-0,3	-0,5	-0,1

де "t03, т-ф", "t09, т-ф", "t15, т-ф", "t21, т-ф" – величини температури, зчитані з тижневих стрічок термографа для точок кривої, що припадають на, відповідно, 03, 09, 15 і 21 години часової шкали стрічки, "t'03, т-ф", "t'09, т-ф", "t'15, т-ф", "t'21, т-ф" – величини температури повітря, отримані для точок кривої, що відповідають строкам вимірів 03, 09, 15 і 21 годин, але при внесенні поправки на локалізацію точок в часі, Δt03, Δt09, Δt15 і Δt21 – різниці, відповідно, між "t03, т-ф" і "t'03, т-ф", "t09, т-ф" і "t'09, т-ф", "t15, т-ф" і "t'15, т-ф", "t21, т-ф" і "t'21, т-ф" /

where "t<sub>03</sub>, т-ф", "t<sub>09</sub>, т-ф", "t<sub>15</sub>, т-ф", "t<sub>21</sub>, т-ф" – temperature value, read from weekly thermograph tapes for the points of the curve falling on, respectively, 03, 09, 15 and 21 h of the tape time scale, "t'03, т-ф", "t'09, т-ф", "t'15, т-ф", "t'21, т-ф" – air temperature values obtained for the curve points corresponding to the measurement periods of 03, 09, 15 and 21 hours, but with a time correction for the localization, Δt<sub>03</sub>, Δt<sub>09</sub>, Δt<sub>15</sub> і Δt<sub>21</sub> – differences between respectively, "t<sub>03</sub>, т-ф" and "t'03, т-ф", "t<sub>09</sub>, т-ф" and "t'09, т-ф", "t<sub>15</sub>, т-ф" and "t'15, т-ф", "t<sub>21</sub>, т-ф" and "t'21, т-ф".

реперами (початкова і кінцева точки температурної кривої, а також місця прокреслювання вертикальних рисок спостерігачем). Ці точки дають змогу внести поправки, щоб компенсувати пришвидшене чи сповільнене прокручування барабана термографа, а також упевнитись у значеннях температури за сухим термометром у відповідні їм строки спостережень. Ці значення температури будуть формувати колонку (в). У неї додатково увійдуть значення температури, отримані шляхом зчитування температури із стрічки для дощових і/або похмурих днів, для точок, у локалізацію яких внесено поправку на час. Різниця між колонкою (а) і колонкою (в) буде давати поправку на температуру для кількох строків спостережень на кожній тижневій стрічці, окремо взятій. Останнім кроком стає лінійна інтерполяція поправок на температуру між сусідніми точками, для яких обчислено цю поправку, на проміжні строки спостережень.

**Висновки.** Отже, у записах книг КМ–1 за 1990–1991 роки на РЛГС далеко не всі величини температури повітря були міряні спостерігачем, а насправді зчитані із добових і тижневих стрічок термографа. Причому ці зчитані величини температури не можна брати в обробку для обчислення середньодобових і інших усереднених величин, бо у них не внесено поправку на час, через що значення температури повітря може відрізнятись на цілий градус і більше.

Як встановлено у ході даного дослідження, не всі виміри сухого психрометричного термометра придатні для обчислення поправок для термографа. Найкраще для цієї мети підходять виміри, які припадають на дощову і/або похмуру погоду, коли зміни температури повітря сповільнюються у часі. При опрацюванні стрічок термографа із тижневим періодом обертання барабана необхідно виявити реперні точки фіксації часу, до яких необхідно долучати й моменти закладання й зняття стрічки з барабану спостерігачем. Вони дозволяють виявити зміщення "вліво" чи "вправо" точок на кривій, що відповідають значенням температури саме у строк спостережень, із подальшим обчисленням поправки до температури, що компенсує пришвидшене чи сповільнене обертання барабана. Лише після цього виникає можливість встановити значення температури повітря у нічні години, зафіксованих термографом, що й було метою даного дослідження.

На прикладі досліджуваного інтервалу протягом червня 1991 року авторами запропоновано алгоритм опрацювання тижневих стрічок термографа, що функціонував на РЛГС у 1990–1991 роках. Це дозволить заповнити пропуски у значеннях нічних строків вимірів температури, обчислити середньодобові, середньомісячні та інші значення температури повітря на РЛГС, і, в результаті, опрацювати весь п'ятдесятирічний ряд даних щодо температури повітря. Можливо, запропонований алгоритм буде корисним і при усуненні пробілів у даних щодо температури на інших пунктах спостережень, де термограф слугував резервним приладом фіксації температури повітря.

Порівнюючи дане дослідження з попереднім [13], можемо стверджувати, що тижневі і добові стрічки термографа РЛГС відрізняються алгоритмом їх опрацювання. У тижневих стрічках не виявлено ознак негоризонтального закладання. Проте, крива запису температури повітря протягом однієї доби на стрічці тижневого термографа коротша у сім разів ніж та сама крива, записана на стрічці добового термографа. Тому для відрізків доби, коли відбувалась швидка зміна температури повітря, порівнювати значення температури за термографом із тижневим барабаном і сухим термометром не завжди є змога. Придатними для такого порівняння і відповідно обчислення поправок можуть бути доби, коли була дощова і/або похмура погода. Виявлення таких діб, які придатні для обчислення поправок на температуру термографа, можна візуально із стрічок термографа, звертаючи увагу на доби з мінімальною амплітудою температури, а також за допомогою книжок КМ–1, у яких знаходимо інформацію про стан неба і опади в дану добу.

Як виявилось для червня 1991 року, поправки на температуру повітря не перевищували  $\pm 0,8$  °С, що з одного боку пояснюється точністю роботи термографа  $\pm 1$  °С, а з іншого боку є свідченням задовільної роботи самописця і можливості заповнення відсутніх даних щодо температури повітря у ті строки спостереження коли вони не були міряні сухим термометром. Як впливає із результатів даного дослідження, застосування тижневих стрічок термографа для реконструкції значень температури у строки вимірів дозволяє це здійснювати з точністю  $\pm 1,0$  °С, і дещо точніше, що є конкурентним порівняно з іншими методами

[12, 14].

Перспективним продовженням даного дослідження вбачається порівняння отриманих реконструйованих значень температури у строки вимірів на РЛГС у 1990–1991 роках із даними з джерела [20], а також із сусідньої до РЛГС метеостанції аеропорту "Львів", оскільки вони розташовані в подібних фізико-географічних умовах [4, 18]. Дотепер дані щодо температури повітря на

РЛГС не були залучені до складання бази даних із рядів середніх місячних значень температури повітря в охопленні всієї території України [2]. У майбутньому дані РЛГС та інших сусідніх метеостанцій можна використати для кліматологічних досліджень, зокрема оцінювання регіональних кліматичних змін.

Проведене дослідження додає нових штрихів до історії роботи РЛГС [3, 5, 6, 8].

#### Список використаної літератури

1. Вінчук М. М. "Метеорологія та кліматологія". Практикум / М. М. Вінчук. – Житомир, 2019. – 99 с. <http://eztuir.ztu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/7941/2/Вінчук.pdf>
2. Гомогенізована база даних довгих рядів середньої місячної температури повітря / В. І. Осадчий, О. А. Скриник, В. П. Сіденко, та ін. // Геоінформатика. – 2018. – № 1 (65). – С. 3–17. ISSN 1684-2189. <http://www.geology.com.ua/wp-content/uploads/2021/06/Osadchiv.pdf>
3. Довготермінові спостереження довкілля: досвід, проблеми, перспективи : матеріали Міжнародного наукового семінару, присвяченого 75-річчю з дня народження Б. П. Мухи і 50-річчю роботи Розтоцького ландшафтно-геофізичного стаціонару Львівського національного університету імені Івана Франка (Львів–Брюховичі, 10–12 травня 2019 р.). – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2019. – 236 с. [https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/01/Seminar\\_Zbirnyk\\_2019.pdf](https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/01/Seminar_Zbirnyk_2019.pdf)
4. Клімат Львова / [за ред. В. М. Бабіченко, Ф. В. Зузка]. – Луцьк, 1998. – 188 с.
5. Муха Б. П. Розтоцький ландшафтно–геофізичний стаціонар / Б. П. Муха // Вісник Львівського університету. Серія географічна. – 1980. – Вип. 12. – С. 80–84.
6. Муха Б. Кафедра фізичної географії Львівського національного університету імені Івана Франка (1944–2004). Історія та персоналії. Збірник / Б. Муха. – Львів : Видавничий центр Львівського національного університету імені Івана Франка, 2004. – 248 с. + додатки 249–345 + фотоальбом 88 с.
7. Муха Б. П. Мікрокліматичні особливості Дубровицького ландшафту Південного Розточчя / Б. П. Муха, О. М. Руда // Вісник Львівського університету. Серія географічна. – 2009. – Вип. 37. – С. 129–135.
8. Муха Б. Розтоцький ландшафтно–геофізичний стаціонар: формування, розвиток, наукові надбання: моногр. / Б. Муха. – Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2010. – 126 с. <https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/02/монографія-РЛГС.pdf>
9. Муха Б. Топотермічні властивості території Львова / Б. Муха // Вісник Львівського університету. Серія географічна. – 2010. – Вип. 38. – С. 221–237.
10. Настанова гідрометеорологічним станціям і постам. Випуск 3. Частина 1. Метеорологічні спостереження на станціях. м. Київ. Державна гідрометеорологічна служба. 2011. – 280 с. <http://www.cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/images/PraciSpivrobotnikov/mastanovy-3.pdf>
11. Настанова гідрометеорологічним станціям і постам. Випуск 3. Частина 2. Опрацювання матеріалів метеорологічних спостережень. – УкрГМЦ, 2018. – 88 с. <http://ndr.dsns.gov.ua/wp-content/uploads/delightful-downloads/2018/07/Основна-част-3.pdf>
12. Скриник О. А. Відновлення пропусків у часових рядах метеорологічних показників / О. А. Скриник, О. Я. Скриник // Наукові праці УкрНДГМІ. – 2011. – Вип. 260. – С. 46–53. [https://uhmi.org.ua/pub/np/260/Skrynyk\\_260.pdf](https://uhmi.org.ua/pub/np/260/Skrynyk_260.pdf)
13. Яворський Б. Дослідження записів термографа РЛГС як резервного джерела даних щодо температури повітря / Б. Яворський, В. Чепурко // Реалії, проблеми та перспективи розвитку географії, екології, туризму та сфери гостинності в Україні : матеріали XXIII-ої Всеукраїнської студентсько-аспірантської наукової конференції (м. Львів, 19–20 травня 2022 року). – Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, 2022. – С. 58–62. [https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/11/2022\\_Stud-konf23-Realiyi-persp.pdf](https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/11/2022_Stud-konf23-Realiyi-persp.pdf)
14. Filling Gaps in Hourly Air Temperature Data Using Debaised ERA5 Data / Lompar M, Lalić B., Dekić L., [et al.]. // Atmosphere. – 2019. – 10. – no. 1: 13. – PP. 1–24. <https://www.mdpi.com/2073-4433/10/1/13> <https://doi.org/10.3390/atmos10010013>
15. Guide to Instruments and Methods of Observation. Volume I – Measurement of Meteorological Variables // WMO. – 2021. – No. 8. – PP. 114–116. [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=11386](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11386)
16. Guidelines on Surface Station Data Quality Control and Quality Assurance for Climate Applications // WMO. – 2021. – No. 1269. – P. 4. [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=11019](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11019)
17. Insights from 20 years of temperature parallel measurements in Mauritius around the turn of the 20th century / S. O. Awe, M. Mahony, E. Michaud [et al.] // Climate of the Past. – 2022. – 18. – PP. 793–820. <https://cp.copernicus.org/articles/18/793/2022/cp-18-793-2022.pdf> <https://doi.org/10.5194/cp-18-793-2022>
18. Klimat / Roztocze. Przyroda i człowiek / [Kaszewski B. M., Siwek K., Gluza A. i in.] ; red. nauk. Grabowski T., Harasimiuk M., Kaszewski B. M., i in. – Zwierzyniec, Roztoczański Park Narodowy, 2015. – S. 123–135.
19. Mucha B. Badania na stacji terenowej Wydziału Geografii Uniwersytetu Lwowskiego na Roztoczu Południowym / B. Mucha // Regionalne Studia Ekologiczno–Krajobrazowe. Problemy Ekologii Krajobrazu. – 2006. – T. XVI. – S. 283–295.
20. Режим доступу: <https://www.ventusky.com/?p=49.839;24.061;10&l=temperature-2m>

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

## Processing algorithm of weekly records of the Roztochia landscape-geophysical station thermograph M-16AH as a response source of air temperature data

Bohdan Yavorskyi<sup>1,2</sup>,

PhD (geography), Associate Professor of Department of Geoecology and Physical Geography,

<sup>1</sup> Ivan Franko National University of Lviv, 41 Doroshenka St., 79000 Lviv, Ukraine,

Scientific supervisor of the <sup>2</sup> Roztochia Landscape-Geophysical Station,

7 Nowa St., Bryuhovychi, Lviv, 79491, Ukraine;

Viktorija Chepurko<sup>2</sup>,

Laboratory Assistant

### ABSTRACT

**Formulation of the problem.** During the database processing of the Roztochia landscape-geophysical station (RLGS), located in the village of Bryukhovychi, Lviv, an air temperature data gap for 1990–1991 was found. The task of the research was to find those sources about air temperature at RLGS, which would allow us to fill in the gaps during the night hours when, unfortunately, observers did not make measurements.

**Problems of further research.** In comparison with the method adopted in Ukraine for processing weekly thermograph tapes, in this study, it is proposed to correct the air temperature value during their processing, compensating for accelerated or slowed rotation of the weekly thermograph drum. It is suggested to use only those dry bulb measurements carried out on days with cloudy or rainy weather.

**The purpose.** The main goal was to find an algorithm for processing weekly thermograph tapes under the conditions of a partial absence of temperature measurements using a dry thermometer by an observer to fill in the gaps regarding night air temperature data.

**Research methods.** The air temperature values falling during the measurement period were read from the thermograph tapes, and an electronic table was formed. The temperature values (difference estimation) were compared with the corresponding ones recorded in the "Books" of KM-1. At the same time, it was necessary to make two new corrections. The first correction will be made along the ordinate axis, changing the value of the temperature recorded by the thermograph compared to the values of the temperature measured by the dry thermometer. The second correction was made along the abscissa axis, compensating for the drum's slowed down or accelerated rotation.

**Presentation of the main research material.** A brief description of the proposed algorithm for thermograph tape processing is as follows. In the spreadsheet, in separate columns, we record the temperature values during the observation periods: a) by dry thermometer and b) by thermograph at the points corresponding to the observation periods. Subtracting columns (a) and (b) values, we determine those dry bulb temperature values suitable for calculating corrections. We reject too significant differences that occur during rapid temperature changes. Next, we look for points on the thermograph tape that serve as time benchmarks (the starting and ending points of the temperature curve and the places where the observer draws vertical lines). These temperature values will form column (c). It will additionally include the temperature values obtained by reading the temperature from the tape for rainy and/or overcast days for points whose localization is corrected for time. The difference between column (a) and column (c) will give the temperature correction for several observation periods on each weekly strip taken separately. The last step is the linear interpolation of temperature corrections between neighbouring points of intermediate observation periods.

**Practical value.** The proposed algorithm may help eliminate gaps in temperature data at other observation points, where the thermograph served as a backup device for recording air temperature.

**Research results.** The measurements that fall on rainy and overcast weather are best suited for calculating thermograph corrections when air temperature changes slow down. It is necessary to identify benchmark points of time fixation, to which the observer must add the moments of putting on and removing the tape from the drum.

**Keywords:** air temperature, thermograph, weekly form, dry psychrometric thermometer, correction, database.

### References

1. Vinichuk, M. M. (2019) "Meteorology and climatology": Practicum. <http://eztui.r.ztu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/7941/2/Bini%20.pdf> [in Ukrainian]
2. Osadchyi, V. I., Skrynyk, O. A., Sidenko, V. P., Boichuk, D. O., Oshurok, D. O., & Skrynyk O. Y. (2018). Homogenized database of long monthly mean air temperature time series. *Geoinformatika*, 1 (65), 3–17. <http://www.geology.com.ua/wp-content/uploads/2021/06/Osadchiv.pdf> [in Ukrainian]
3. Long-term environmental observations: experience, problems and perspectives. *Proceedings of the international workshop dedicated to the 75th anniversary of prof. Bohdan Mukha, and 50th anniversary of establishment of the Roztochia Landscape-Geophysical Station of Ivan Franko National University of Lviv Lviv – Bryukhovychi, May 10-12, 2019. Ivan Franko National University of Lviv.* [https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/01/Seminar\\_Zbirnyk\\_2019.pdf](https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/01/Seminar_Zbirnyk_2019.pdf) [in Ukrainian]
4. Babichenko, V. M. & Zuzuk, F. V. (Eds.). (1998) *The climate of Lviv.* [in Ukrainian]
5. Mukha, B. P. (1980) *The Roztochia Landscape-Geophysical Station.* *Journal of the Lviv University. Series Geography*, 12, 80–84. [in Ukrainian]

6. Mukha, B. Department of Physical Geography at Ivan Franko National University of Lviv (1944–2004). *History and Personalia. Collection (2004) Publishing centre at Ivan Franko Lviv National University.* [in Ukrainian]
7. Mukha, B. P. & Ruda, O. M. (2009) Microclimatic conditions of the Southern Roztochia Dubrovtsky Landscape. *Journal of the Lviv University. Series Geography*, 37, 129–135. [in Ukrainian]
8. Mukcha, B. P. (2010) *The Roztochia Landscape–Geophysical Station: formation, development, scientific assets.* Publishing centre at Ivan Franko Lviv National University. <https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/02/монографія-РЛГС.pdf> [in Ukrainian]
9. Mukha, B. (2010) Topothermal conditions of the territory of Lviv. *Journal of the Lviv University. Series Geography*, 38, 221–237. [in Ukrainian]
10. Instructions for hydrometeorological stations and posts. *Meteorological observations at stations (2011). Issue 3. Part 1. State Hydrometeorological Service.* <http://www.cgo-sreznovskyi.kyiv.ua/images/PraciSpivrobitnikiv/mastanovy-3.pdf> [in Ukrainian]
11. Instructions for hydrometeorological stations and posts. *Materials of meteorological observations processing (2018). Issue 3. Part 2. State Hydrometeorological Service.* <http://ndr.dsns.gov.ua/wp-content/uploads/delightful-downloads/2018/07/Основна-част-3.pdf> [in Ukrainian]
12. Skrynyk, O. A. & Skrynyk, O. Y. (2011) Complementing of missing data in meteorological time series. *Scientific Works of The Ukrainian Scientific and Research Hydrometeorological Institute*, 260, 46–53. [https://uhmi.org.ua/pub/np/260/Skrynyk\\_260.pdf](https://uhmi.org.ua/pub/np/260/Skrynyk_260.pdf) [in Ukrainian]
13. Yavorsky, B., & Chepurko, V. (2022) Investigation of RLGs thermograph records as a back-up source of air temperature data. *The XXIII-st student scientific conference “Realities, problems and perspectives of geography, ecology, tourism and hospitality sphere development in Ukraine” [Conference presentation abstract] Ivan Franko National University of Lviv*, 58–62. [https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/11/2022\\_Stud-konf23-Realiv-persp.pdf](https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/11/2022_Stud-konf23-Realiv-persp.pdf) [in Ukrainian]
14. Lompar, M., Lalić B., Dekić L., & Petrić M. (2019). Filling Gaps in Hourly Air Temperature Data Using Debaised ERA5 Data. *Atmosphere*, 10(1):13. <https://www.mdpi.com/2073-4433/10/1/13>. <https://doi.org/10.3390/atmos10010013>
15. *Guide to Instruments and Methods of Observation. Volume I–Measurement of Meteorological Variables (2021).* World Meteorological Organization, 8, 114–116. [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=11612](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11612)
16. *Guidelines on Surface Station Data Quality Control and Quality Assurance for Climate Applications (2021)* World Meteorological Organization, 1269, 4. [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=11019](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11019)
17. Awe, S. O., Mahony, M., Michaud, E., Murphy, C., Noone, S. J., Venema, V. K. C., Thorne, T. G., & Thorne, P. W. (2022). Insights from 20 years of temperature parallel measurements in Mauritius around the turn of the 20th century. *Climate of the Past*, 18, 793–820. <https://cp.copernicus.org/articles/18/793/2022/cp-18-793-2022.pdf>. <https://doi.org/10.5194/cp-18-793-2022>
18. Kaszewski, B.M., Siwek, K., Gluza, A., & Shuber, P. (2015). *Klimat.* In Grabowski T., Harasimiuk M., Kaszewski B. M., Kravchuk Y., Lorens B., Michalczyk Z., & Shabliy O. (Eds.) *Roztochia. Nature and man* (pp. 123–135). *Roztochia National Park.*
19. Mucha B. (2006). *The Roztochia Field Station of the Faculty of Geography of the University of Lviv in Southern Roztochia investigations. Regional Ecological and Landscape Studies. Problems of Landscape Ecology*, 16, 283–295.
20. Available at: <https://www.ventusky.com/?p=49.839;24.061;10&l=temperature-2m>

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work

Received 14 December 2022


Accepted 7 May 2023

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-23>  
УДК 504:001.8; 504:1

Надійшла 9 березня 2023 р.  
Прийнята 20 квітня 2023 р.

## Використання ентропійного підходу в системах моніторингу водних ресурсів

*Віталій Безсонний*

к. техн. н., доцент, кафедра екологічної безпеки та екологічної освіти  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, м. Свободи, 4, Харків, 61022, Україна,  
e-mail: [bezsonny@gmail.com](mailto:bezsonny@gmail.com),  <https://orcid.org/0000-0001-8089-7724>

Ефективне управління водними ресурсами можливе тільки при ефективно організованій системі моніторингу. З появою та розвитком теорії інформації концепція інформаційної ентропії знайшла своє місце і в галузі розробки мереж моніторингу вод. В статті проведено аналіз досліджень прикладів реалізації побудови систем моніторингу вод на основі ентропії. Продемонстровано використання різних методів теорії інформації та їх адаптації для використання в проектуванні систем моніторингу, при чому метою методів проектування є вибір пунктів моніторингу, які надають найбільше інформації для мережі моніторингу. Завдяки ретельному тестуванню теорія інформації виявилася надійним інструментом для оцінки та проектування оптимальних систем моніторингу вод. Узагальнено терміни ентропії, що використовувалися при побудові систем моніторингу вод. Розглянуто останні застосування концепції ентропії для проектів систем моніторингу води, які класифікуються на опади; стік і рівень води; якість води; вологість ґрунту та підземні води. Також висвітлено інтегрований метод проектування багатфакторних систем моніторингу. Перевага ентропійного підходу полягає в тому, що систему моніторингу водних ресурсів можливо побудувати на підставі контрольованої мережі інформації. Це може відрізнитися від заданої щільності станцій, запропонованої в керівних нормативних документах. Мережа може бути краще пристосована до конкретного використання або оптимізована для забезпечення найбільшої ефективності при щільності, нижчій від тієї, що пропонується в нормативних рекомендаціях. Висвітлено проблеми, що стосуються оцінки оптимального дизайну мережі, зокрема, оптимальний дизайн мережі моніторингу можна побудувати на основі заданих критеріїв проектування, однак практичне застосування нової оптимальної мережі моніторингу рідко оцінюється в гідрологічній чи іншій моделі. Також, важливо обґрунтувати переваги проектування мереж на основі ентропії, щоб переконати осіб, які приймають рішення, у важливості застосування ентропійних підходів. Інша проблема полягає в тому, мережа може бути суб'єктивною, ґрунтуючись на виборі, зробленому під час обчислення ентропії, і обраному методі проектування, особливо коли в проекті враховуються додаткові цільові функції. Незважаючи на наявні джерела суб'єктивності, ентропійні методи залишаються одним із найбільш об'єктивних підходів до проектування мережі.

**Ключові слова:** інформаційна ентропія; моніторинг вод; гідрометрична мережа; теорія інформації; система моніторингу.

**Як цитувати:** Безсонний Віталій. Використання ентропійного підходу в системах моніторингу водних ресурсів / Віталій Безсонний // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 58. – С. 302-320. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-23>

**In cites:** Vitalii Bezsonnyi (2023). Use of the entropy approach in water resource monitoring systems. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (58), 302-320. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-23> [in Ukrainian]

### Постановка проблеми.

Будемо розглядати системи моніторингу вод як такі, що враховують усі аспекти вимірювально-дослідницьких систем та процесів, пов'язаних з водою, включаючи опади, стік, якість води, підземні води, вологість ґрунту тощо. [1–3]. Адекватні, оптимально спроектовані системи моніторингу вод та отримана із них інформація стосовно якості є одним головних кроків на шляху до ефективного інтегрального управління водними ресурсами. Базовими принципами проектування систем моніторингу вод є: визначена кількість пунктів спостереження, місця розташування цих пунктів та періодичність передавання інформації [4,5]. Можна очікувати, що чим більше даних ми збираємо, тим більше проблем з водними ресурс-

ами вирішується ефективно. Однак, це не завжди вірно, тому що нерепрезентативні дані можуть не відображати реального стану вод [1 – 9]. На сьогодні скорочення пунктів спостереження за водними ресурсами є досить поширеним явищем як через фінансові питання, так і через коригування пріоритетів моніторингу [10 – 12]. Тому визначення адекватної кількості пунктів спостережень, їх місць розташування є актуальним при побудові мережі моніторингу вод. Але на сьогодні ще не створено стандартизованих підходів щодо побудови систем моніторингу вод через соціально-економічні питання та неузгодженість взаємодії різних суб'єктів моніторингу [1,13].

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

В існуючих оглядах досліджувався широкий

спектр методологій побудови систем моніторингу води, таких як статистичний аналіз, просторова інтерполяція, застосування теорії інформації, методи оптимізації, експертні методи та ін. [4,6,12 – 21]. У роботі [12] розглянуто аспекти щодо зниження гідрометричної щільності мережі пунктів спостережень, наголошується на важливості репрезентативної інформації від мереж моніторингу, розглядаються різні підходи до побудови мереж моніторингу. Авторами також порівняно різні підходи до побудови систем моніторингу: просторовий інтерполяційний, статистичний, вибірковий, фізіографічний і ентропійний та зробили кілька висновків про важливість високоякісних гідрометричних даних для управління водними ресурсами, які є актуальними понині. Вони також прийшли до висновку, що одним з найбільш перспективних підходів до проектування мереж було застосування методів ентропії, що виділяють ранні дослідження з використанням принципу максимальної ентропії і передачі інформації.

#### **Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми**

У цьому огляді розглядаються дослідження, в яких для побудови мереж та систем моніторингу було застосовано теорію інформації або інформаційну ентропію. Теорію інформації започатковано Клодом Шенном 1948 року [20] для вимірювання вмісту інформації в наборі даних і згодом була застосована для вирішення проблем водних ресурсів. На сьогодні відсутні оглядові дослідження стосовно проектування мереж моніторингу вод що базуються на концепції, згідно з якою ентропія зможе охарактеризувати властиву для станції моніторингу або мереж моніторингу інформацію. Основна мета при цьому – мати максимальну кількість інформації.

#### **Формулювання мети статті**

Метою цієї роботи є огляд досліджень стосовно побудови систем та мереж моніторингу вод, що застосували теорію ентропії в процесі проектування.

Для цього необхідно розглянути:

- поняття ентропії та терміни, що використовуються при проектуванні мереж моніторингу.
- узагальнення досліджень за категорією типу мережі: опади, стоки і рівень води, вологість

$$H(Y_1, Y_2, \dots, Y_N) = - \sum_{j_1=1}^{n_1} \sum_{j_2=1}^{n_2} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} p(x_{1,j_1}, x_{2,j_2}, \dots, x_{N,j_N}) \log_2 p(x_{1,j_1}, x_{2,j_2}, \dots, x_{N,j_N}) \quad (1)$$

де  $H(X_1, X_2, \dots, X_N)$  – спільна ентропія  $N$  змінних;

$p(x_{1,j_1}, x_{2,j_2}, \dots, x_{N,j_N})$  – спільна ймовірність  $N$  змінних;

$n_1, n_2, \dots, n_N$  – номери класових інтервалів відповідних розподілів змінних [25].

Якщо всі змінні стохастично незалежні, спільна ентропія з рівняння (1) дорівнюватиме сумі

грунту і підземних вод та мережі моніторингу якості води.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження**

В подальшому при розгляді систем моніторингу термін «оцінка мережі» використовується, коли якість мережі оцінюється без зміни (вилучення або додавання) будь-якої станції спостереження, тоді як «дизайн мережі» є загальним терміном, який передбачає деякі зміни в кількості станцій. Зокрема, проектування мережі включає в себе скорочення мережі, розширення мережі та перепроєктування мережі. Зменшення мережі застосовується там, де деякі станції моніторингу необхідно видалити з мережі. З іншого боку, якщо фінансова гнучкість відповідає потребам моніторингу, додаткові станції можна додати до існуючої мережі, що називається розширенням мережі. Редизайн мережі передбачає перегрупування станцій без зміни кількості станцій. Термін «оптимальна мережа» слід використовувати лише в тому випадку, якщо мережа складається з оптимальних місць розташування станцій, ідентифікованих за допомогою фактичного використання методу оптимізації.

#### **Визначення ентропії стосовно мереж моніторингу води.**

У класичній термодинаміці ентропію розуміють як міру випадковості або неупорядкованості складних систем. Шеннон [20] розширив концепцію ентропії до теорії інформації, визначивши, що невизначеність у системі буде зменшена, коли інформація додається до системи. Тому термін ентропія в теорії інформації, введений Шенном [20] 1948 року, описує кількість інформації у випадковій величині. За умови високої ймовірності події, наприклад 0.99 чи 1.00, вона не буде несподіваною, відповідно результат є передбачливим. Відповідно, подія із низьким значенням ймовірності буде характеризуватися високим значенням ступеню невизначеності, і, відповідно, при її виникненні буде отримано велику кількість нової інформації. Звідси, інформація стосовно події, що вже трапилася, буде обернено пропорційної її ймовірності,  $1/p$  [21 – 24].

Загальний вміст інформації з  $N$  змінних можна обчислити, використовуючи спільну ймовірність, яка буде задаватися формулою:

граничних ентропій, яка стає максимальним значенням спільної ентропії. Тому спільна ентропія обмежена [25]:

$$0 \leq H(X_1, X_2, \dots, X_N) \leq \sum_{i=1}^N H(X_i) \leq N \log_2 N \quad (2)$$

Умовна ентропія пояснює міру інформаційного вмісту однієї змінної, яка не може бути передана іншими змінними. Якщо дві випадкові змін-

ні,  $A$  і  $B$ , корельовані, надання інформації від однієї змінної може усунути деяку невизначеність, яку має інша змінна. У випадку відсутності кореляції між змінними умовна ентропія дорівнює граничній ентропії. Тобто:

$$H(A|B) = H(A, B) - H(B) \leq H(A) \quad (3)$$

де  $H(A|B)$  – умовна ентропія змінної  $A$ , при

$$H(A|B) = - \sum_{i=1}^{N_A} \sum_{j=1}^{N_B} p(a_i, b_j) \log p(a_i|b_j) = - \sum_{i=1}^{N_A} \sum_{j=1}^{N_B} p(a_i, b_j) \log \frac{p(a_i, b_j)}{p(b_j)} \quad (5)$$

Дві змінні,  $A$  і  $B$ , описані вище, матимуть певну спільну або сумісно використовувану інформацію, яка називається трансінформацією або взаємною інформацією, оскільки вони корельовані.

$$\begin{aligned} T(A, B) &= H(A) - H(A|B) = \\ &= H(B) - H(B|A) = T(B, A) \end{aligned} \quad (6)$$

$$T(A|B) = - \sum_{i=1}^{N_A} \sum_{j=1}^{N_B} p(a_i, b_j) \log \frac{p(a_i, b_j)}{p(a_i)} = \sum_{i=1}^{N_A} \sum_{j=1}^{N_B} p(a_i, b_j) \log \frac{p(a_i, b_j)}{p(a_i)p(b_j)} \quad (7)$$

Трансінформація зазвичай використовується для вимірювання взаємної інформації між двома змінними або двома групами змінних, оскільки

$$T[(X_1, X_2, \dots, X_k); (X_{k+1}, X_{k+2}, \dots, X_N)] = H(X_1, X_2, \dots, X_k) - H[(X_1, X_2, \dots, X_k)|(X_{k+1}, X_{k+2}, \dots, X_N)] \quad (8)$$

Хоча трансінформація та взаємна інформація мають однакове визначення, повна кореляція не є еквівалентом їм, оскільки повна кореляція є простою оцінкою, яка визначає кількість спільної інформації, як правило, кількох змінних. Простіше кажучи, повна кореляція визначається різницею між сумою граничної ентропії  $N$  змінних та їх спільною ентропією [26, 27], яка визначається як:

$$C(X_1, X_2, \dots, X_N) = \sum_{i=1}^N H(X_i) - H(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad (9)$$

Якщо  $N=2$  у рівнянні (9), загальна кореляція буде дорівнювати трансінформації або взаємній інформації. Однак трансінформація має значення лише для двох випадкових змінних, як показано в рівняннях (5) – (8); отже, загальна кореляція та значення трансінформації будуть різними, якщо  $N > 2$ .

Спільна ентропія, умовна ентропія, трансінформація та повна кореляція є основними показниками, які зазвичай використовуються при застосуванні ентропії для проектування мережі водного моніторингу. У той час як у багатьох дослідженнях розроблено конкретні підходи при застосуванні у тематичних дослідженнях з використанням основних термінів ентропії, деякі дослідження розширили терміни за їх межі, вводячи або комбінуючи основні показники.

**Застосування ентропії до побудови систем моніторингу вод.**

заданому інформаційному вмісті змінної  $B$ .

Рівняння (3) можна переписати так:

$$H(A, B) = H(A|B) + H(B) = H(B|A) + H(A) \quad (4)$$

Крім того, умовну ентропію також можна представити математично за допомогою спільних і умовних ймовірностей і теореми Байєса як:

де  $T(A, B)$  – трансінформація між змінними  $A$  і  $B$ .

Чим більша трансінформація, тим сильніше ці змінні залежать одна від одної. Іншими словами, трансінформація вказує, скільки інформаційного вмісту можна перенести з інших змінних. Подібно до рівняння (5), трансінформацію слід записати як [23]:

узагальнена форма багатofакторної трансінформації дається як:

Узагальнимо використання теорії ентропії для розробки мереж водного моніторингу. Було проведено класифікацію за типами мереж спостереження, таких як опади, стік або рівень води, вологість ґрунту або ґрунтові води та мережі якості води. У таблиці 1 представлені короткі узагальнення, включаючи типи мереж, методи та ключові висновки вибраних дослідницьких статей, які застосовували теорію ентропії для побудови систем моніторингу водних ресурсів [12].

**Мережі моніторингу опадів.** Розробка репрезентативної мережі моніторингу опадів є важливим і все ще складним завданням, для вирішення якого добре підходить ентропійний підхід. Достовірна та повна інформація про опади необхідна для прогнозування потоків і повеней, управління поверхневими водами, управління сільським господарством, розуміння кліматичних процесів і багатьох інших завдань. Проте добре відомо, що кількість опадів сильно змінюється як у просторі, так і в часі [63] і часто статистично представлено досить викривленими розподілами [64], що ускладнює застосування методів параметричного аналізу. Ці проблеми також поширюються на ентропійні підходи до моніторингу опадів. Наприклад, було виявлено, що гранична ентропія добре корелює із загальною кількістю опадів у північній Бразилії, оскільки розподіл ймовірностей у регіонах із більшою кількістю опадів мав тенденцію бути більш однорідним і менш



Узагальнена інформація щодо використання ентропійного підходу при побудові систем моніторингу водних ресурсів /  
The information about the selection of the entropy approach for the development of systems for monitoring water resources has been updated

Автори	Типи мереж	Області дослідження	Ключові висновки
[28]	Вологість ґрунту	Басейн Великих озер, Канада-США	Оптимальні мережі були різні для підйому і спуску шляхопроводів. Об'єднання даних естакади призвело до безкоштовного просторового розподілу станцій
[29]	Інтегрований	Південне Онтаріо, Канада	Одночасно проектувалися опадові та стокові мережі. -Були порівняні методи групування та зроблено висновок, що оптимальні мережі можна змінити за допомогою методів групування
[30]	Опади	Континентальні Сполучені Штати	Ідентифіковані області часового масштабування синоптичні, від місячних до рокових, міжрокові моделі. Невелика кореляція між відносною ентропією та річною кількістю опадів, за винятком точки перериву на 95° з.д.
[31]	Опади	Кархе, Іран	Розгляд помилки просторового аналізу та трансінформаційної ентропії покращив дизайн мережі
[32]	Опади	Португалія	Порівняно три методи кластеризації для зменшення щільності станцій. Найкращий метод залежав від регістру. Усі підмножини мереж відтворювали просторову картину опадів
[33]	Опади	Водосховище Шимен Тайвань	Мережа розроблена шляхом максимізації додаткової інформації, наданої станцією, з урахуванням регіональної трансінформації. Часовий масштаб має значний вплив на доставку інформації
[34]	Опади	Експериментальний ліс Тайванського університету, Тайвань	Пріоритет станції змінюється в різних просторово-часових масштабах. Часові масштаби мають більш значні зміни у значеннях спільної ентропії, ніж просторові масштаби. Довгі часові та короткі просторові масштаби вимагають меншої кількості станцій для стабільної спільної ентропії
[35]	Опади	Басейн річки Сянцзян, Китай	Продуктивність зосередженої моделі була стабільною з різними. Оптимальні мережі Парето Продуктивність розподіленої моделі покращується з кількістю станцій
[36]	Опади / потік	Басейн річки Колумбія, Південне Онтаріо, Канада	Виявлено, що мережі отримують значну кількість інформації за 5-10-річний період даних, і загальна кореляція має тенденцію стабілізуватися протягом 5 років шляхом застосування щоденних часових рядів. Рекомендовані мінімальні 10-річні періоди даних для проектування мереж опадів або потоку з використанням щоденних часових рядів
[37]	Потік	Річка Магдалена, Колумбія	Ранговий метод корисний для пошуку екстремумів на фронті Парето. При ітеративному виборі станцій інформаційний вміст мережі не гарантовано буде максимальним, якщо мережа містить станцію з найбільшою кількістю інформації
[38]	Потік	Басейн річки Колумбія, Канада	Виявлено, що включення сигнатур потоку як мети проектування збільшує покриття мережі у верхів'ях. -Знайдено, що включення ПЗ збільшує покриття мережі в нижньому за течією та міських районах.
[39]	Потік	Вибрані басейни по всій Канаді	Використовував теорію інформації, щоб висвітлити критичні області по всій Канаді, які потребують моніторингу. -Виявлено, що кілька водозборів мають дефіцит інформації, і посилення моніторингу було б корисним
[40]	Потік	Вибрані басейни по всій Канаді	Оцінено та виділено вплив сезонного клімату на дизайн мережі потоку
[41]	Потік	Басейни річок Св. Джона та Св. Лаврентія, Канада	Запропонований підхід комбінованої регіоналізації, подвійної ентропії та багатоцільової оптимізації до розробки мінімальної оптимальної мережі, яка відповідає рекомендаціям Всесвітньої

			метеорологічної організації. Виявлено, що розташування нових станцій моніторингу, доданих до мережі, залежить від поточної щільності мережі
[42]	Потік	Річка Бразос, Техас, США	Використана ентропія спільної перестановки для впорядкування даних часових рядів для кращого врахування інформації станції. -Виявлено, що найефективнішим вікном вимірювання було сім днів у порівнянні з щоденним і місячним
[43]	Потік	Басейн річки Оттава, Канада	Порівняно регіональні дані від University-Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning і зворотне зважування відстані — коефіцієнт площі дренажу. Критичні зони, виділені методом індексу ТІ, були тими самими областями, куди було додано додаткові станції за допомогою методу DEMO
[44]	Потік	Басейн річки Оттава, Канада	Масштабування суттєво не впливає на аналіз індексу трансформації. Ефекти масштабування помітні при застосуванні методу ПЕБО
[45]	Потік/Рівень води	Басейн річки Бразос, США. Пійнакер, Нідерланди	Розроблений метод мінімальної надмірності максимальної інформації. Виявлено, що це краще для визначення місцезнаходження станцій із високим вмістом інформації для мережі моніторингу
[46]	Рівень води	Регіон Пійнакер, Нідерланди	Впроваджено повну кореляцію для визначення багатофакторної залежності при проектуванні мережі моніторингу води. Вміст інформації та надмірність залежать від НПП між станціями моніторингу
[47]	Рівень води	Регіон Пійнакер, Нідерланди	Повна кореляція повинна поєднуватися зі спільною ентропією, щоб отримати більше інформації з мережі моніторингу
[48]	Рівень води	Північне море, Нідерланди	Створюючи ансамбль рішень шляхом зміни розміру осередка початкового набору оптимальних рішень за Парето, автори підкреслюють невизначеність, пов'язану з вибором розміру осередка.
[49]	Рівень води/ Грунтові води	Регіон Шпревальд, Німеччина	Виявлено з використанням підмножин доступних даних часового ряду, які можуть краще ідентифікувати важливі станції. Показані рівні води в мережі реагують однаково під час сильних опадів і є більш унікальними в посушливі періоди. Метод може дозволити розробити мережу, яка зосереджена на повенях або посухах
[50]	Рівень ґрунтових вод	Деголанська рівнина, Іран	Зменшення мережі з 52 до 42 (35 високо- і 7 низькопріоритетних) станцій, тоді як стандартне відхилення середньої дисперсії помилки оцінки залишилося незмінним. Знайдена частота вибірки високопріоритетних станцій має бути кожні 20 днів, а низькопріоритетних – кожні 32, на основі аналізу станцій, відібраних за допомогою методу цінності інформації
[51]	Рівень ґрунтових вод	Деголанська рівнина, Іран	Зменшення мережі з 52 до 33 станцій, тоді як стандартне відхилення дисперсії помилок середньої оцінки залишилося незмінним. Частоту вибірки збільшено з 4 тижнів до 5 тижнів
[52]	Рівень ґрунтових вод	Південне Онтаріо, Канада	Виявлено, що врахування просторового розподілу річної зарядки може покращити покриття мережі
[53]	Рівень ґрунтових вод	Басейн річки Кодаганар, Індія	Визначено високопріоритетні станції моніторингу з використанням граничної ентропії. ПІ використувався для оцінки мережі моніторингу, показав, що її можна зменшити
[54]	Рівень ґрунтових вод	Округ Вікторія Район збереження підземних вод, Техас, США	Порівняння ІПМ, отриманого за допомогою крігінгу, з ІПМ, знайденим за допомогою граничної ентропії. Показано, що виведений з ентропії ІПМ є більш консервативним показником
[55]	Якість води	Естуарій річки Нойс, Північна Кароліна, США	Мережі, розроблені з використанням загальної ентропії системи та ентропії порушення розчиненого кисню, були подібними. Коли вимірювані параметри якості води мають низьку ймовірність порушення стандартів якості води, ентропія їх порушення є менш інформативною
[56]	Якість води	Затока Сан-	Використовуючи криву ТВ, вони змогли скоротити мережу з 37

		Франциско, Каліфорнія, США	до 21 станції моніторингу. Нова мережа охоплювала всю досліджувану область без надлишкових даних
[57]	Якість води	Басейн Хаге, Південна Корея	Розроблено обчислювально ефективний спосіб проектування мережі моніторингу в незаміряному басейні
[58]	Якість води	Басейн Санганмі, Південна Корея	Розроблено метод, заснований на максимізації інформаційного наповнення, для проектування мережі моніторингу якості води в каналізаційній системі
[59]	Якість води	Річка Джаджруд, Іран	MGA використовувався для пошуку оптимальної комбінації станцій моніторингу, які мінімізують часові та просторові ІТІ. Виявлено, що частоту вибірки та кількість станцій можна збільшити в мережі моніторингу
[60]	Якість води	Річка Карун, Іран	Розширена мережа моніторингу без збільшення надлишкової інформації
[61]	Якість підземних вод	Тегеран, Іран	Розроблено різні криві ТВ на основі однорідних кластерів існуючих станцій моніторингу. Використовується ГГА для пошуку оптимальної мережі з максимальним просторовим покриттям і мінімальною трансінформацією. Показано, що частоту дискретизації можна оптимізувати таким же чином
[62]	Якість підземних вод	Дослідницький сайт ОРЕЗ, Меріленд, США	Використовуючи ПМPE з двома варіантами Hydrus-3D, були додані додаткові станції моніторингу, де різниця між моделями була найбільшою

спотвореним [65]. На відміну від цього, у роботі [63] показано, що індекс граничного безладу (ІГБ), який є відношенням спостережуваної ентропії до максимально можливої ентропії на даному місці, був обернено пропорційний середній річній кількості опадів у американському штаті Техас, де було виявлено, що ІГБ змінюється сезонно. У роботі [58] вивчено ентропію на станціях моніторингу в Сполучених Штатах, де була виявлена незначна кореляція між опадами та граничною ентропією, за винятком точки розриву ентропії на  $95^\circ$  довготи, що відповідає високій часовій мінливості моделей опадів. Кілька досліджень також відзначили, що часовий відбір опадів є важливим моментом для розрахунку ентропії та для проектування мереж моніторингу опадів [44, 63]. У менш тривалих часових масштабах (від години до дня) кількість опадів сильно змінюється, що призводить до більш високої загальної ентропії, тоді як більш тривалі періоди часу (від місяця до року) мають меншу мінливість, що призводить до нижчої граничної ентропії [33, 58, 63]. Залежність від просторових і часових масштабів також була виявлена в задачах проектування мережі. Дослідниками [44] визначено пріоритет потенційних станцій у Центральному Тайвані, щоб максимізувати спільну ентропію мережі в годинному, місячному та річному часових масштабах, а також у просторових масштабах 1, 3 та 5 км. Вони виявили, що пріоритетні станції змінювалися як у просторовому, так і в часовому масштабі, причому зміни в часовому масштабі призводили до більш значних змін у пріоритеті станції, ніж просторове масштабування. Зменшення ентропії на довших часових масштабах також вплинуло на

щільність станцій, оскільки для досягнення стабільного спільного значення ентропії для більших часових масштабів потрібна була менша кількість станцій [44]. Ці результати демонструють важливість першого розгляду цілей мережі під час визначення просторової та часової вибірки, яка використовується для обчислення ентропії. Однак дослідження на цю тему все ще обмежені, і для забезпечення надійних рекомендацій щодо стратегій вибірки потрібна додаткова робота.

Декілька підходів було запропоновано до проектування або перепроєктування мережі моніторингу опадів з використанням одного або кількох ентропійних заходів. Багато з цих підходів ініціалізуються шляхом побудови мережі навколо центральної станції, яка зазвичай вибирається як станція з найвищою граничною ентропією [30, 66 – 68]. У Римі дослідниками [66] вибралися станції для мережі опадів, послідовно знаходячи наступну станцію, яка мінімізувала умовну ентропію мережі, і додаючи цю станцію до мережі. Подібний підхід застосовано у [67] для розширення мережі моніторингу опадів на Тайвані. Дані про погодинну кількість опадів були нормалізовані за допомогою перетворення Бокса-Кокса та крігінгу, які використовувалися для інтерполяції кількості опадів у комірниці мережі. Спільна ентропія мережі була розрахована за допомогою аналітичного рівняння для спільної ентропії, дійсного для нормальних даних [69], і послідовно до мережі додавалися станції, які мали найнижчу умовну ентропію відносно решти станцій мережі. Остаточна кількість станцій, необхідних для мережі, була прийнята, коли було зібрано 95% інформації мережі [67]. У дослідженні [68] послідовно застосо-

вано декілька ентропійних мір, щоб додати станції до мережі моніторингу опадів. Перші нові станції були обрані як станції з найвищою ентропією. Друга станція була обрана для мінімізації взаємної інформації, а третя як станція, яка максимізувала умовну ентропію.

Всі вищезазначені підходи послідовно додають окремі станції до мережі моніторингу на основі єдиного критерію. Авторами [30] представлено методологію додавання станцій до мережі на основі багатовимірної функції вартості. Дані про опади були просторово інтерпольовані з існуючих станцій з використанням підходу крігінгу, де помилка крігінгу, пов'язана з оцінкою кількості опадів, обчислюється як дисперсія помилки крігінгу. Цим методом було обрано станцію, яка максимізувала ентропію трансінформації та мінімізувала дисперсію помилок, використовуючи як ціль зважене середнє значення обох показників [30]. Такий підхід збалансував вміст інформації в мережі з похибками методу інтерполяції. Дослідниками [48] використано багатоцільовий підхід для одночасного вибору підмножини станцій, які мінімізували суму попарної взаємної інформації, мінімізували зміщення та максимізували ефективність Неша–Саткліффа. Рішення були згенеровані за допомогою вибірки Монте-Карло, а мережеві рішення, що попадають уздовж фронту Парето, були знайдені як компромісні рішення. У дослідженнях [70] і [71] також використано багатоцільовий підхід для додавання станцій до мереж моніторингу снігу в Канаді. Цей підхід використовував генетичний алгоритм для пошуку мереж, які максимізували спільну ентропію та мінімізували загальну кореляцію мережі для формування фронту Парето оптимальних проектів мереж, деякі з яких також включали вартість мережі в оптимізацію [50, 71].

Важливою вимогою при додаванні станцій до мережі опадів при реалізації підходу, заснованого на ентропії, є наявність доступності даних для точок-кандидатів. Для опадів це може бути складно, оскільки дані в більш коротких часових масштабах не є нормально розподіленими. Більшість досліджень використовують підхід крігінга для інтерполяції [30, 67, 68] і вирішують потребу в нормально розподілених даних за допомогою перетворення Бокса-Кокса. У [71] вирішено проблему інтерполяції, використовуючи зовнішні дані з системи асиміляції даних про сніг (SNODAS) для станцій-кандидатів. Автори [33] представили унікальний підхід до додавання станцій, який максимізував інформаційний вміст мережі. У більшості літературних випадків ентропійні показники на ділянках, де не можливо провести вимірювання, визначаються шляхом інтерполяції спостережень за опадами на вододілі.

Дослідники [33] розраховували трансінформацію між сусідніми станціями, щоб розробити двомірне співвідношення трансінформація-відстань. На відміну від передачі даних на станції, де не можливо провести вимірювання, цей підхід передає трансінформацію на ці станції та вибирає місце з максимальною трансінформацією. Цей підхід потребує додаткової перевірки та порівняння з підходом до передачі даних.

Як зазначалося вище, дані про опади мають важливе значення для різноманітних прикладних задач. Незважаючи на це, небагато дослідників вивчали вплив мереж моніторингу опадів, розроблених із застосуванням ентропійного підходу, для реального впровадження у використанні водних ресурсів. У випадках, знайдених в літературі, застосовано обґрунтований підхід до використання ентропії для зменшення щільності мережі порівняно з мережею, яка включала всі станції. У Португалії [57] порівнювали штучні нейронні мережі, кластеризацію K-середніх і критерії взаємної інформації для зменшення щільності мережі опадів для моніторингу посухи в різних часових масштабах. Виявлено, що найефективніший метод зменшення залежить від регіону та застосованого масштабу часу, але зауважили, що всі методи показали хороші результати. Вони також виявили, що всі підмножини мереж можуть надійно відтворювати просторову картину опадів. Дослідниками [48] використано багатокритеріальний підхід, описаний раніше, щоб вибрати підмножину станцій опадів із густої мережі в басейні річки Сянцзян у Китаї. Дані про опади з підмножини мереж моніторингу використовувалися для формування зосередженої гідрологічної моделі Сянцзян [72] і розподіленої гідрологічної моделі SWAT [73]. Автор виявив, що продуктивність зосередженої моделі стала стабільною з підмножиною від 20 до 25 станцій, тоді як продуктивність розподіленої моделі продовжувала зростати, оскільки до мережі додавалося більше станцій [48]. Ці результати важливі для демонстрації корисності мереж моніторингу опадів і переваг ентропійних підходів у проектуванні мереж моніторингу опадів.

**Мережі моніторингу річкового стоку та рівня води.** Моніторинг гідрологічних показників, зокрема таких, як швидкості течії та рівень води – є одним із важливих завдань управління водними ресурсами в частині запобігання шкоди довкіллю та людям від повеней. Ефективна система управління заплавою чи прогнозування та попередження про повені може бути реалізована за допомогою експертів-прогнозистів, що впроваджують добре відкалібровані моделі та надійні інструменти з використанням якісних даних [74]. Схема мережі моніторингу кількості води була

добре реалізована завдяки не лише хорошій продуктивності ентропійних методів, але і відсутності впливу нульового ефекту, що спричинений розривом функції щільності ймовірності через нульові значення в даних, за винятком ефемерних або переривчастих потоків. Для подолання нульового ефекту в обчисленнях ентропії у [75] та [64] розділено рівняння граничної ентропії (3) на ненульові члени та нульові значення, які є визначеними. Тоді як у [64] узагальнено можливі проблеми в обчисленнях ентропії на основі гідрологічних даних такі як: ефекти, обумовлені нульовими значеннями, бінування гістограм, включаючи врахування асиметрії та помилки вимірювань. У деяких дослідженнях відмічається, що довжина та розташування часового вікна також впливають на обчислення ентропії та відповідну структуру дизайну моніторингової мережі. Дослідники [61] спостерігали часову мінливість рейтингу станцій шляхом зміщення часового вікна для проектування мережі моніторингу рівня води системи каналів у Німеччині. Автори [37] також виявили залежність сезонності від ефективності гідрометричних мереж. У [28] виявлено обернену залежність між щільністю мережі та часовим інтервалом вибірки, оскільки потрібна більша кількість станцій моніторингу, якщо інтервал часу коротший, і навпаки. Дослідники [41] проаналізували часові зміни показників ентропії оптимальних мереж, застосовуючи щоденні часові ряди для проектування мережі потоку. Вони виявили, що інформаційний приріст мережі моніторингу незначний, якщо тривалість часового ряду перевищує 10 років, а загальна кореляція має тенденцію стабілізуватися протягом п'яти років даних. Оптимальні мережі, що використовують довжину даних 5, 10, 15 і 20 років, також показують, що немає суттєвих відмінностей у результатах від 10 років або довше, тоді як оптимальна мережа, яка використовує дані за п'ять років, явно відрізняється від інших. Автори [49] проаналізували ефекти масштабування, розглянувши дві досліджувані області. Зокрема, одна досліджувана територія є малим вододілом, який є частиною іншої досліджуваної території. Після застосування аналізу трансінформації та багатоцільової оптимізації вони дійшли висновку, що на оптимальні мережі, як правило, впливає масштабування, а на індекс трансінформації – ні.

У роботі [36] оцінено вплив інтервалів класів і заповнення відсутніх даних шляхом застосування методу лінійної регресії до щоденних часових рядів і отримано висновок, що рейтинги станцій на основі значень трансінформації суттєво не змінилися. Автори [45] також досліджували зміни в рейтингах станцій на основі підходу максимальної інформативності мінімальної надлиш-

ковості (МІМН) і отримали аналогічний висновок. Однак дослідники [61], та [50] висловили протилежну думку про те, що на рейтинги станцій може вплинути метод групування, який визначає інтервали класів. Конфлікт виникає через вибір порівнюваних методів групування. Перша група застосувала різні параметри до одного методу бінінгу з використанням математичної функції підлоги. Однак остання група порівнювала інші методи групування з функцією підлоги. Враховуючи, що у дослідженні [39] виявлено, що конструктивні рішення не були загальними в деяких випадках аналізу чутливості параметра математичної функції підлоги, не рекомендується використовувати конкретний метод бінінгу без будь-якого попереднього розгляду.

Як зазначалося вище в огляді мереж моніторингу опадів, для перепроєктування та розширення мережі потрібні дані з потенційних місць, де відсутні вимірювання. Дослідники [47] застосували одновимірну гідродинамічну модель для створення часових рядів стоку. Модель оцінила витрати на кожному сегменті, який розділяє річки з кроком приблизно 200 м поздовжньо. Використання гідродинамічної моделі дозволило визначити критичні місця моніторингу в основному руслі та його притоках. З іншого боку, автори [52] поєднали методи районування з обчисленням ентропії, щоб оцінити викид у потенційних місцях. Вони порівнювали ефективність різних методів районування, включаючи не лише концептуальну гідрологічну модель, але й просторову близькість, фізичну подібність та їх комбінації з співвідношенням площі дренажу. Грунтуючись на статистиці продуктивності за допомогою застосування кількох басейнів, обернене зважування відстані в поєднанні з відношенням площі дренажу показали найкращі результати, і цей висновок було прийнято в кількох дослідженнях [41, 50, 53, 46].

Деякі дослідження розширили застосування ентропії для проектування мережі моніторингу потоку. У роботі [28] запропоновано концепцію перестановочної ентропії, яка здатна диференціюватися на основі порядку послідовних спостережень, а також частоти гістограм в основних мірах ентропії Шеннона. Незважаючи на те, що гістограми з двох різних спостережень однакові, значення ентропії перестановки має тенденцію бути вищим, якщо існує більше варіацій між часовими кроками. Однак дослідження проектування мереж з використанням ентропії перестановки все ще обмежені. З іншого боку, дослідниками [53] застосовано додаткові функції до дизайну мережі. Хоча загальними цілями проектування мереж моніторингу вод з використанням техніки оптимізації є максимізація інформації та мінімізація надмірності в мережі, вони додатково

враховують фізичні властивості вододілів, такі як характеристики потоку [76, 77] та індикатори гідрологічних змін (ІГЗ) [79, 80]. Після порівняння оптимальних мереж моніторингу потоку з урахуванням і без урахування характеристик потоку та ІГЗ було зроблено висновок, що включення фізичних характеристик басейну дає краще охоплення вибраних місць розташування оптимальних мереж.

**Мережі моніторингу зволоження ґрунту та ґрунтових вод.** Вологість ґрунту є критично важливою змінною стану води як межі між атмосферою та літосферою. На жаль, моніторинг вологості ґрунту не такий часто виконується, порівняно з його просторовою мінливістю. Для розробки оптимальної мережі моніторингу вологості ґрунту в басейні Великих озер, дослідники [51] запропонували використовувати супутникові дані вологості ґрунту та солоності океану [80]. Розробка мережі моніторингу вологості ґрунту за допомогою алгоритму двійної етропії та мультикритеріальної оптимізації (DEMO) виконувалася авторами [52]. Комірки мережі були вибрані для додавання таких станцій моніторингу, які оптимально максимізували спільну ентропію, мінімізуючи загальну кореляцію, використовуючи лише супутникові дані. Було виявлено, що висхідні та низхідні переходи містять різну інформацію, а просторовий розподіл мережі, розробленої з обома переходами, містить додаткові характеристики з обох наборів даних [51].

Моніторинг підземних вод дозволяє краще зрозуміти гідрогеологію в регіоні. Це досягається за допомогою моніторингу якості та кількості підземних вод. Моніторинг якості підземних вод використовується для виявлення шлейфів забруднювачів або для довгострокового моніторингу ефектів після рекультивациі, а моніторинг кількості підземних вод використовується для визначення доступної води для пиття, зрошення та промисловості. Однак моніторинг ґрунтових вод є складним за своєю суттю через фізичні бар'єри між спостерігачами та водою. Завдяки розумінню фізики підземних потоків і за допомогою моделей потоку та транспортування забруднень, таких як MODFLOW, MODPATH і MT3D [81 – 83], можна моделювати поведінку підземних вод. На жаль, таке моделювання не завжди точне, і для калібрування та підтвердження моделей потрібні реальні спостереження. Через такі обмеження, як доступність і фінансові витрати, неможливо проводити моніторинг в усіх необхідних для дослідження місцях. Натомість це ідеально підходить для оптимальної мережі моніторингу, яка має бути розроблена для забезпечення найкращого розміщення станцій моніторингу та визначення ідеальних частот вимірювань. Перевага використання інфор-

маційної теорії ентропії була показана в кількох випадках проектування мережі підземних вод [31, 32, 38, 42, 43, 61, 62, 55].

Для проектування оптимальних мереж моніторингу підземних вод розроблено різні методи, які використовують ентропію теорії інформації. Вони включають використання вимірювань ентропії в задачах оптимізації як з однією, так і з кількома цілями, і використовуються для скорочення мережі [31, 38], розширення [55, 62] і редизайну [32], а також використовувалися для виділення вразливих областей у зоні, яка повинна контролюватися [43]. У визначенні вразливих територій району збереження підземних вод округу Вікторія в Техасі, США, Уддамері та Андрусс [43] розробили індекс пріоритетності моніторингу (ІПМ) на основі зважених переваг зацікавлених сторін, щоб виділити сфери інтересів. Вони порівняли стандартне відхилення крігінгу та граничну ентропію як показники для характеристики мінливості ґрунтових вод і виявили, що ентропія є більш консервативною метрикою.

У районах, де є надмірний моніторинг, автори [42] показали, що індекс передачі інформації (ІПІ), коефіцієнт спільної ентропії та трансінформації, можуть бути використані для оцінки існуючої мережі моніторингу. За допомогою цієї оцінки можна виявити зайві станції моніторингу (свердловини) та видалити їх із мережі моніторингу підземних вод. Також може статися так, що існуюча мережа моніторингу підземних вод є недостатньою, і потрібні додаткові станції моніторингу. Дослідники [62] розробили метод, який використовує мінімальну крос-ентропію (МКЕ) для послідовного додавання станцій моніторингу до мережі. МКЕ використовувалася як метрика для кількісного визначення різниці між двома варіантами моделі Hydrus-3D [84], і станції моніторингу були додані до мережі, де різниця між моделями була найбільшою. Багатоцільовий підхід для додавання станцій моніторингу до мережі моніторингу підземних вод був застосований у дослідженні [55], він використовував два показники ентропії, загальну кореляцію та спільну ентропію, а також метрику, яка використовується для кількісного визначення просторового розподілу річного поповнення; результати яких були використані для розробки карт, які виділяють райони, у яких слід додати додаткові станції моніторингу. Більшість експериментів з проектування мереж моніторингу розглядають весь доступний часовий ряд під час обчислення показників ентропії; однак у роботі [61] показано, що використання комбінації максимуму інформативності та мінімуму надлишковості і підмножин рядів даних може бути більш ідеальним. Підмножини використовувалися для представлення внутрішньорічної мінли-

вості рівнів ґрунтових вод. Цей метод визначив місця, які були незмінно важливими в кожній підгрупі, і виявив, що станції моніторингу показали схожість під час вологих періодів і унікальність під час сухих періодів. Автори [61] також припускають, що внаслідок використання підмножин даних можливо розробити мережу, яка може бути акцентована або на повенях або посухах.

Одна з проблем, яка може виникнути з методами, заснованими на ентропії, полягає в необхідності довгих рядів даних для отримання точних вимірювань ентропії. На жаль, область дослідження для нових станцій моніторингу не матиме доступних даних для всіх можливих місць. Щоб обійти це обмеження, криві трансінформації-відстані (Т-В) були застосовані при розробці оптимальних мереж моніторингу підземних вод [32, 85]. У цих дослідженнях були розроблені криві Т-В для підзон у межах бажаної досліджуваної області на основі різних методів кластеризації. Крім того, дослідники [32] показали, що цей метод можливо застосувати у часі у вигляді кривої трансінформація-час, що потім може бути використано для оптимізації часової частоти дискретизації станцій. Слід зазначити, що обидва раніше згадані дослідження були реалізовані в тій самій досліджуваній області з використанням дещо різних методів кластеризації станцій моніторингу, і обидва створили різні мережі моніторингу підземних вод, які можна вважати оптимальними. Це підкреслює проблему оптимального дизайну мережі моніторингу, оскільки вона може бути суб'єктивною та не мати єдиного рішення. Порівняння досліджень [31, 38] також ілюструє цю проблему, де завдяки використанню різних заходів ентропії, граничної ентропії та байєсівської максимальної ентропії і методів оптимізації, один експеримент виявив, що оптимальна мережа моніторингу включала 42 станції моніторингу, тоді як інший включав лише 33 станції.

**Мережі моніторингу якості води.** Важливість мереж моніторингу якості води полягає у визначенні параметрів якості води, що перевищують нормативні значення. Кілька стратегій моніторингу якості води, зокрема два методи, що використовували виміри ентропії [29, 35], розглянуто у роботі [17]. Цей огляд показав, що створення єдиного підходу до розробки мережі моніторингу якості води є практично неможливим. Незважаючи на це, деякі реалізації методів кривої трансінформація-відстань показали перспективність оптимального перепроєктування та зменшення мереж моніторингу якості води [29, 35, 56]. У роботі [59] показано, що використовуючи модель управління стічними водами для імітації загального вмісту завислих речовин і генетичний алгоритм для оптимізації, через максимізацію

багатовимірної передачі інформації між станціями, є можливість проєктування оптимальної мережі контролю якості води у каналізаційній системі. Автори [86] порівняли використання теорії інформації і показники надійності щодо побудови системи моніторингу системи водовідведення, використовуючи оптимізаційні підходи як з однією, так і з кількома цілями. Було показано, що методи мають однакову ефективність при невеликій мережі моніторингу, а метод виявлення на основі одного об'єкта, який заснований на часі, дав дещо кращі результати, коли кількість станцій моніторингу була більшою. Автори [40] використовували ймовірності перевищення розчиненого кисню та хлорофілу-а для визначення ентропії порушення в руслі р. Нойс. Було використано загальна ентропія системи паралельно з ентропією порушення у якості міри визначення районів важливості моніторингу. Заснована на коефіцієнтах ваги, що призначені експертом, багатоцільова оптимізація використовувалася при розробці компромісного розв'язку за трьома міра ентропії. Цей метод дозволив ідентифікувати зони високої невизначеності. Щоб вирішити питання доступності даних при використанні ентропійних методів дослідники [60] розробили метод, який використовує міру, аналогічну граничній ентропії. Цей метод використовує такі характеристики басейну, як довжина та кількість ділянок у річковій мережі, як частину функції витрат, яка потім оптимізується за допомогою комбінованого генетичного алгоритму і фільтрації. Доведено, що це є обчислювально ефективний метод при проєктуванні оптимальної мережі моніторингу річкового басейну.

**Інтегрований дизайн мережі моніторингу.** Майже всі попередні дослідження щодо проєктування мережі моніторингу води були зосереджені на конкретному типі мережі (тобто, розгляді однієї гідрологічної змінної в кожному дослідженні), як було показано в попередніх розділах. Однак, гідрологічні процеси взаємопов'язані в кругообігу води і, відповідно, існують причини та наслідки між гідрологічними змінними. У дослідженні [50] розроблено метод проєктування багатовимірної мережі, в якому взято умовну ентропію як міру інформації, яка не залежить від даної змінної. У їхньому дослідженні метод одночасно проєктував мережі моніторингу опадів і потоку. Зокрема, метод дотримувався традиційного багатоцільового підходу, який максимізує спільну ентропію та мінімізує загальну кореляцію.

#### **Висновки**

Успішне управління водними ресурсами неможливе без належних систем моніторингу вод. На сьогодні стандартизована методологія проєктування ще не напрацьована. З розвитком теорії

інформації набули широкого застосування концепції ентропії, в тому числі і при вирішенні проблем побудови мереж. Перевагою ентропійного підходу є те, що мережі моніторингу можна оцінювати і проектувати на базі інформації, яку контролює мережа. Це відрізняється від підходів щодо заданої щільності станцій, які пропонує у керівних принципах Всесвітня метеорологічна організація (ВМО); перевага першого полягає в тому, що мережа може бути краще пристосована до конкретного використання або оптимізована для забезпечення найбільшої ефективності при щільності, нижчій від тієї, що пропонується в рекомендаціях ВМО.

В огляді проведено аналіз досліджень та їх реалізацію при проектуванні мереж моніторингу вод на основі ентропії. Продемонстровано використання різних методів теорії інформації та їх адаптації для використання в проектуванні мереж моніторингу, при чому метою методів проектування мереж є вибір станцій, які надають найбільше інформації для мережі моніторингу, одночасно будучи незалежними одна від одної. Завдяки ретельному тестуванню теорія інформації виявилася надійним інструментом для оцінки та проектування оптимальної мережі моніторингу води. Однак, коли справа доходить до оцінки оптимального дизайну, все ще є проблеми, які потрібно вирішити.

Перша полягає в тому, що оптимальний дизайн мережі моніторингу можна побудувати на основі заданих критеріїв проектування; однак практичне застосування нової оптимальної мережі моніторингу рідко оцінюється в гідрологічній чи іншій моделі [13, 48]. Цей тип числового експерименту є важливою вимогою для оцінки корисності мережі, а не просто визначення її оптимальності чи інформаційного вмісту. Крім того, важливо визначити переваги проектування мереж

на основі ентропії, щоб переконати осіб, які приймають рішення, у важливості застосування ентропійних підходів.

Інша проблема, пов'язана з оптимальною мережею, полягає в тому, що вона може бути суб'єктивною, ґрунтуючись на виборі, зробленому під час обчислення ентропії, і обраному методі проектування, особливо коли в проекті враховуються додаткові цільові функції. Це поширюється на метод, вибраний для побудови оптимальної мережі моніторингу, незалежно від того, чи вона знайдена за допомогою ітераційного методу, коли додається одна станція за раз, або сукупність станцій, які додаються одночасно. Дослідження також показали, що довжина даних, масштаб водозбору та порядок можуть впливати на дизайн оптимальної мережі [28, 41, 61]. Нарешті, при використанні дискретної ентропії було показано, що метод бінінгу впливає на остаточний дизайн мережі [50]. Впливу бінінгу на розрахунок ентропії приділяється більше уваги в інших випадках проектування геофізичних мереж [87 – 89], і подібну увагу слід приділяти у сфері водних ресурсів, особливо через унікальну та складну природу змінних води (наприклад, потік, опади) просторовий і часовий розподіл [58, 64]. Таким чином, під час вибору варіантів на основі передбачуваного застосування мережі моніторингу потрібне чітке розуміння та подальші дослідження, щоб надати рекомендації, специфічні для мереж моніторингу води. Отже, незважаючи на можливість знайти оптимальний проект мережі у формальному сенсі, слід визнати суб'єктивність, спричинену вибором проектувальника, і відсутність стандартизованих методів проектування. Зокрема, потрібно більше працювати над просторовим і часовим масштабуванням даних для обчислення ентропії, щоб забезпечити надійні рекомендації для осіб, які приймають рішення.

#### Список використаної літератури

1. Langbein W. Overview of Conference on Hydrologic Data Networks / W. Langbein // *Water Resources Research*. 1979, 15. – С. 1867–1871. <https://doi.org/10.1029/WR015i006p01867>
2. Herschy R. *Hydrometry: Principles and Practice* / R. Herschy // 2nd ed.; John Wiley and Sons Ltd.: Chichester, UK, 1999. <https://scholar.google.com/>
3. Boiten W. *Hydrometry* / W. Boiten // Balkema Publishers: The Netherlands, 2003. <https://doi.org/10.1201/9780203971093>
4. Nemes J. Mean and variance in network-design philosophies / J. Nemes, A. Askew // *In Integrated Design of Hydrological Networks (Proceedings of the Budapest Symposium)*; International Association of Hydrological Sciences Publication: USA, 1986; С. 123–131. <https://scholar.google.com/>
5. Rodda J.C. *Hydrological Network Design—Needs, Problems and Approaches* / J.C. Rodda, W.B. Langbein // *World Meteorological Organization: Geneva, Switzerland, 1969*. <https://snia.mop.gob.cl/repositorio/odga/handle/20.500.13000/984>
6. *World Meteorological Organization. Casebook on Hydrological Network Design Practice* / W.B. Langbein, Ed.: Geneva, Switzerland, 1972. <https://scholar.google.com/>
7. Davis D. The Worth of Hydrologic Data for Nonoptimal Decision Making / D. Davis, L. Duckstein, R. Krzysztofowicz // *Water Resources Research*, 1979, 15. – С. 1733–1742. <https://doi.org/10.1029/WR015i006p01733>



8. Bezsonnyi V. Regarding the Choice of Composite Indicators of Ecological Safety of Water in the Basin of the Siversky Donets / V. Bezsonnyi, R. Ponomarenko, O. Tretyakov, V. Asotsky, A. Kalynovskyi // *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 2021. – Vol. 30. – С. 622-631. <https://doi.org/10.15421/112157>
9. Безсонний В. Л. Ентропійний підхід до оцінки екологічного стану водотоку. / В. Л. Безсонний, О.В. Третьяков, Л.Д. Пляцук, А.Н. Некосяк // *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. – 2022. – Вип. 27. – С. 6–19. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-01>
10. Pilon P.J. Challenges Facing Surface Water Monitoring in Canada. / P.J. Pilon, T.R. Yuzyk, R.A. Hale, T.J. Day // *Canadian Water Resources Journal*. 1996, 21. – С. 157–164. <https://doi.org/10.4296/cwrj2102157>
11. U.S. Geological Survey. *Streamflow Information for the Next Century—A Plan for the National Streamflow Information Program of the U.S. Geological Survey*; U.S. Geological Survey: USA, 1999.
12. Mishra A. Developments in Hydrometric Network Design: A Review. / A. Mishra; P. Coulibaly // *Reviews of Geophysics*, 2009, 47. <http://dx.doi.org/10.1029/2007RG000243>
13. Chacon-hurtado J.; Alfonso L.; Solomatine D. Rainfall and streamflow sensor network design: A review of applications, classification, and a proposed framework. / J. Chacon-hurtado, L. Alfonso, D. Solomatine // *Hydrology and Earth System Sciences*, 2017, 21. – С. 3071–3091. <https://doi.org/10.5194/hess-21-3071-2017>
14. Moss M. *Concepts and Techniques in Hydrological Network Design* / M. Moss // World Meteorological Organization: Geneva, Switzerland, 1982. <https://scholar.google.com/>
15. Van der Made J. *Design Aspects of Hydrological Networks* / J. Van der Made, T. Schilperoort, S. van der Schaaf, T. Buishand, G. Brouwer, W. van Duyvenbooden, P. Becinsky // Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO: The Hague, The Netherlands, 1986. <http://resolver.tudelft.nl/uuid:4ab6e86e-b0e5-4571-bd20-241ac4489023>
16. Pyrcie R. *Review and Analysis of Stream Gauge Networks for the Ontario Stream Gauge Rehabilitation Project* / R. Pyrcie // Watershed Science Centre: Peterborough, ON, Canada, 2004. <https://scholar.google.com/>
17. Behmel S. Water quality monitoring strategies—A review and future perspectives / S. Behmel, M. Damour, R. Ludwig, M. Rodriguez // *Science of The Total Environment*, 2016, 571, 1312–1329. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.235>
18. Безсонний В. Термодинамічні аспекти системного підходу в екології. / В. Безсонний, О. Третьяков, М. Шерстюк, А. Некосяк // *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*, 2022. – № 57. – С. 268-281. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-20>
19. Безсонний В.Л. Методика оцінки екологічного стану водойми на основі ентропійно зваженого індексу якості води / В.Л. Безсонний // *Екологічні науки : науково-практичний журнал*, 2023. – № 2(47). – С. 44–48. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.7>
20. Shannon C. A Mathematical Theory of Communication / C. Shannon // *The Bell System Technical Journal*. 1948, 27, P. 379–423. <http://dx.doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
21. Batty M. Space, scale, and scaling in entropy maximizing / M. Batty // *Geographical Analysis*, 2010, 42, 395–421. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1538-4632.2010.00800.x>
22. Singh V. *Entropy Theory in Hydrologic Science and Engineering* / V. Singh // McGraw-Hill Education: USA, 2015. <https://www.accessengineeringlibrary.com/binary/mheaeworks/f8203430db41fd24/ee925d2b4e27bfd905d73664befe36228ea77a3c4ffc963ee700bbf01c450e7c/book-summary.pdf>
23. Lathi B. *An Introduction to Random Signals and Communication Theory* / B. Lathi // International Textbook Company: Scranton, PA, USA, 1968. <https://scholar.google.com/>
24. Tribus M. *Rational Descriptions, Decisions and Designs* / M. Tribus // Pergamon Press: Oxford, UK, 1969. <https://scholar.google.com/>
25. Krstanovic P. Evaluation of rainfall networks using entropy: I. Theoretical development / P. Krstanovic, V. Singh // *Water Resources Management*, 1992, 6. – С. 279–293. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00872281>
26. Multivariate information transmission / W. McGill // *Psychometrika* 1954, 19. – С. 97–116. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02289159>
27. Watanabe S. *Information Theoretical Analysis of Multivariate Correlation* / S. Watanabe // *IBM Journal of Research and Development*. 1960, 4. – С. 66–82. <http://dx.doi.org/10.1147/rd.41.0066>
28. Stosic T. Optimizing streamflow monitoring networks using joint permutation entropy / T. Stosic, B. Stosic, V. Singh // *Journal of Hydrology*, 2017, 552. – С. 306–312. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.07.003>
29. Mahjouri, N. Revising river water quality monitoring networks using discrete entropy theory: The Jajrood River experience / N. Mahjouri, R. Kerachian // *Environmental Monitoring and Assessment*, 2011, 175. – С. 291–302. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-010-1512-6>
30. Mahmoudi-Meimand H. An algorithm for optimisation of a rain gauge network based on geostatistics and entropy concepts using GIS / H. Mahmoudi-Meimand, S. Nazif, R.A. Abbaspour, H. Sabokbar // *Journal of Spatial Science*. 2016, 61. – С. 233–252. <https://doi.org/10.1080/14498596.2015.1030789>
31. Hosseini M. A Bayesian maximum entropy-based methodology for optimal spatiotemporal design of groundwater monitoring networks / M. Hosseini, R. Kerachian // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2017, 189. – С. 433. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-017-6129-6>
32. Masoumi F. Optimal redesign of groundwater quality monitoring networks: A case study / F. Masoumi, R. Kerachian // *Environmental Monitoring and Assessment*, 2010, 161. – С. 247–257. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-008-0742-3>

33. Su H.T. Developing an entropy-based model of spatial information estimation and its application in the design of precipitation gauge networks / H.T. Su, G.J.Y. You // *Journal of Hydrology*, 2014, 519, 3316–3327. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.10.022>
34. Alfonso L. Optimization of water level monitoring network in polder systems using information theory / L. Alfonso, A. Lobbrecht, R. Price // *Water Resources Management*, 2010, 46. <http://dx.doi.org/10.1029/2009WR008953>
35. Memarzadeh M. Evaluating sampling locations in river water quality monitoring networks: Application of dynamic factor analysis and discrete entropy theory / M. Memarzadeh, N. Mahjouri, R. Kerachian // *Environmental Earth Sciences*. 2013, 70. – C. 2577–2585. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-013-2299-x>
36. Mishra A.K. Hydrometric Network Evaluation for Canadian Watersheds. / A.K. Mishra, P. Coulibaly // *Journal of Hydrology*. 2010, 380. – C. 420–437. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.11.015>
37. Mishra A.K. Variability in Canadian Seasonal Streamflow Information and Its Implication for Hydrometric Network Design. / A.K. Mishra, P. Coulibaly // *Journal of Hydrology. Eng.*, 2014, 19. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000971](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000971)
38. Hosseini M. A data fusion-based methodology for optimal redesign of groundwater monitoring networks. / M. Hosseini, R. Kerachian // *Journal of Hydrology*, 2017, 552. – C. 267–282. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.06.046>
39. Alfonso L. Information theory-based approach for location of monitoring water level gauges in polders. / L. Alfonso, A. Lobbrecht, R. Price // *Water Resources Research*, 2010, 46. <http://dx.doi.org/10.1029/2009WR008101>
40. Alameddine I. Optimizing an estuarine water quality monitoring program through an entropy-based hierarchical spatiotemporal Bayesian framework / I. Alameddine; S. Karmakar; S.S. Qian, H.W. Paerl, K.H. Reckhow // *Water Resources Research*. 2013, 49. – C. 6933–6945. <http://dx.doi.org/10.1002/wrcr.20509>
41. Keum J. Sensitivity of Entropy Method to Time Series Length in Hydrometric Network Design / J. Keum, P. Coulibaly // *Journal of Hydrologic Engineering*, 2017, 22. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001508](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001508)
42. Mondal N.C. Evaluation of groundwater monitoring network of Kodaganar River basin from Southern India using entropy / N.C. Mondal, V.P. Singh // *Environmental Earth Sciences*, 2011, 66. – C. 1183–1193. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-011-1326-z>
43. Uddameri V. A GIS-based multi-criteria decision-making approach for establishing a regional-scale groundwater monitoring / V. Uddameri, T. Andrus // *Environmental Earth Sciences*, 2014, 71. – C. 2617–2628. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-013-2899-5>
44. Wei C. Spatiotemporal scaling effect on rainfall network design using entropy / C. Wei, H.C. Yeh, Y.C. Chen // *Entropy* 2014, 16. – C. 4626–4647. <http://dx.doi.org/10.3390/e16084626>
45. Li C. Entropy theory-based criterion for hydrometric network evaluation and design: Maximum information minimum redundancy / C. Li, V.P. Singh, A.K. Mishra // *Water Resources Research*. 2012, 48. <http://dx.doi.org/10.1029/2011WR011251>
46. Werstuck C. Hydrometric network design using dual entropy multi-objective optimization in the Ottawa River Basin / C. Werstuck, P. Coulibaly // *Hydrology Research*, 2016, 48. – C. 1–13. <http://dx.doi.org/10.2166/nh.2016.344>
47. Alfonso L. Information theory applied to evaluate the discharge monitoring network of the Magdalena River / L. Alfonso, L. He, A. Lobbrecht, R. Price // *Journal of Hydroinformatics*, 2013, 15. – C. 211–228. <http://dx.doi.org/10.2166/hydro.2012.066>
48. Xu H. Entropy theory based multi-criteria resampling of rain gauge networks for hydrological modelling—A case study of humid area in southern China / H. Xu, C.-Y. Xu, N.R. Sælthun, Y. Xu, B. Zhou, H. Chen // *Journal of Hydrology*, 2015, 525. – C. 138–151. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.034>
49. Werstuck C. Assessing Spatial Scale Effects on Hydrometric Network Design Using Entropy and Multi-Objective Methods / C. Werstuck, P. Coulibaly // *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*. 2017, <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12611>
50. Keum J. Information theory-based decision support system for integrated design of multi-variable hydrometric networks / J. Keum, P. Coulibaly // *Water Resources Research*, 2017, 53. – C. 6239–6259. <http://dx.doi.org/10.1002/2016WR019981>
51. Kornelsen K.C. Design of an Optimal Soil Moisture Monitoring Network Using SMOS Retrieved Soil Moisture / K.C. Kornelsen, P. Coulibaly // *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 2015, 53. – C. 3950–3959. <http://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2014.2388451>
52. Samuel J. CRDEMO: Combined Regionalization and Dual Entropy-Multiobjective Optimization for Hydrometric Network Design / J. Samuel, P. Coulibaly, J.B. Kollat // *Water Resources Research*, 2013, 49. – C. 8070–8089. <http://dx.doi.org/10.1002/2013WR014058>
53. Leach J.M. Hydrometric network design using streamflow signatures and indicators of hydrologic alteration / J.M. Leach, K.C. Kornelsen, J. Samuel, P. Coulibaly // *Journal of Hydrology*, 2015, 529. – C. 1350–1359. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.08.048>
54. Alfonso L. Ensemble Entropy for Monitoring Network Design / L. Alfonso, E. Ridolfi, S. Gaytan-Aguilar, F. Napolitano, F. Russo // *Entropy* 2014, 16. – C. 1365–1375. <http://dx.doi.org/10.3390/e16031365>
55. Leach J.M. Entropy based groundwater monitoring network design considering spatial distribution of annual recharge / J.M. Leach, P. Coulibaly, Y. Guo // *Advances in Water Resources*, 2016, 96. – C. 108–119. <http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2016.07.006>

56. Boroumand A. Discrete entropy theory for optimal redesigning of salinity monitoring network in San Francisco bay / A. Boroumand, T. Rajaei // *Water Sci. Technol. Water Supply* 2017, 17. – C. 606–612. <http://dx.doi.org/10.2166/ws.2016.110>
57. Santos J.F. Dimensionality reduction in drought modelling / Santos J.F., Portela M.M., Pulido-Calvo I. // *Hydrological Processes* 2013, 27. – C. 1399–1410. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.9300>
58. Brunsell N.A. A multiscale information theory approach to assess spatial-temporal variability of daily precipitation / N.A. Brunsell // *Journal of Hydrology*, 2010, 385. – C. 165–172. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.02.016>
59. Lee J.H. Determination of optimal water quality monitoring points in sewer systems using entropy theory / J.H. Lee // *Entropy* 2013, 15. – C. 3419–3434. <http://dx.doi.org/10.3390/e15093419>
60. Lee C. Efficient method for optimal placing of water quality monitoring stations for an ungauged basin / C. Lee, K. Paik, D.G. Yoo, J.H. Kim // *Journal of Environmental Management*. 2014, 132. – C. 24–31. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.10.012>
61. Fahle M. Temporal variability of the optimal monitoring setup assessed using information theory / M. Fahle, T.L. Hohenbrink, O. Dietrich, G. Lischeid // *Water Resources Research*, 2015, 51. – C. 7723–7743. <http://dx.doi.org/10.1002/2015WR017137>
62. Yakirevich A. Augmentation of groundwater monitoring networks using information theory and ensemble modeling with pedotransfer functions / A. Yakirevich, Y.A. Pachepsky, T.J. Gish, A.K. Guber, M.Y. Kuznetsov, R.E. Cady, T.J. Nicholson // *Journal of Hydrology*, 2013, 501. – C. 13–24. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.07.032>
63. Mishra A.K. An entropy-based investigation into the variability of precipitation / A.K. Mishra, M. Özger, V.P. Singh // *Hydrol.* 2009, 370. – C. 139–154. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.03.006>
64. Gong W. Estimating information entropy for hydrological data: One dimensional case / W. Gong, D. Yang, H.V. Gupta, G. Nearing // *Water Resources Research*, 2014, 50. – C. 5003–5018. <http://dx.doi.org/10.1002/2014WR015874>
65. Silva V. Entropy theory for analysing water resources in northeastern region of Brazil / V. Silva, V.d.P.R. da Silva, A.F. Belo Filho, V.P. Singh // *Hydrological Sciences Journal*, 2017, 62. – C. 1029–1038. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1099789>
66. Ridolfi E. An entropy approach for evaluating the maximum information content achievable by an urban rainfall network / E. Ridolfi, V. Montesarchio, F. Russo, F. Napolitano // *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2011, 11. – C. 2075–2083. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-11-2075-2011>
67. Yeh H.C. Entropy and kriging approach to rainfall network design / H.C. Yeh, Y.C. Chen. – C. Wei, R.H. Chen // *Paddy and Water Environment*, 2011, 9. – C. 343–355. <http://dx.doi.org/10.1007/s10333-010-0247-x>
68. Awadallah A.G. Selecting optimum locations of rainfall stations using kriging and entropy / A.G. Awadallah // *International Journal of Civil & Environmental Engineering*, 2012, 12. – C. 36–41. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=bbfdd60b12caa37c5d5dbfca0039160dfe32299b>
69. Ahmed N.A. Entropy expressions and their estimators for multivariate distributions / N.A. Ahmed, D.V. Gokhale // *IEEE Transactions on Information Theory*, 1989, 35. – C. 688–692. <http://dx.doi.org/10.1109/18.30996>
70. Coulibaly P. Snow Network Design and Evaluation for La Grande River Basin / P. Coulibaly, J. Keum // *Hydro-Quebec: Hamilton, ON, Canada*, 2016. <https://scholar.google.com/>
71. Keum J. Entropy Applications to Water Monitoring Network Design: A Review. / J. Keum, K.C. Kornelsen, J.M. Leach, P. Coulibaly // *Entropy* 2017, 19, 613. <https://doi.org/10.3390/e19110613>
72. Zhao R.J. The Xinanjiang model applied in China / R.J. Zhao // *Journal of Hydrology*, 1992, 135. – C. 371–381. <https://scholar.google.com/>
73. Arnold J.G. Large Area Hydrologic Modeling and Assessment Part I: Model Development / J.G. Arnold, R. Srinivasan, R.S. Muttiah, J.R. Williams // *Journal of the American Water Resources Association*, 1998, 34. – C. 73–89. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x>
74. United Nations. Guidelines for Reducing Flood Losses; Pilon, P.J., Ed.; United Nations: Geneva, Switzerland, 2004. <https://scholar.google.com/>
75. Chapman T.G. Entropy as a measure of hydrologic data uncertainty and model performance / T.G. Chapman // *Journal of Hydrology*, 1986, 85. – C. 111–126. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694\(86\)90079-X](http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694(86)90079-X)
76. Yadav M. Regionalization of constraints on expected watershed response behavior for improved predictions in ungauged basins / M. Yadav, T. Wagener, H. Gupta // *Advances in Water Resources*, 2007, 30. – C. 1756–1774. <http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2007.01.005>
77. Sawicz K. Catchment classification: Empirical analysis of hydrologic similarity based on catchment function in the eastern USA / K. Sawicz, T. Wagener, M. Sivapalan, P.A. Troch, G. Carrillo // *Hydrology and Earth System Sciences*. 2011, 15. – C. 2895–2911. <http://dx.doi.org/10.5194/hess-15-2895-2011>
78. Richter B.D. A Method for Assessing Hydrologic Alteration within Ecosystems / B.D. Richter, J.V. Baumgartner, J. Powell, D.P. Braun // *Conservation Biology*, 1996, 10. – C. 1163–1174. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1523-1739.1996.10041163.x>
79. Monk W.A. Quantifying trends in indicator hydroecological variables for regime-based groups of Canadian rivers / W.A. Monk, D.L. Peters, R. Allen Curry, D.J. Baird // *Hydrological Processes* 2011, 25. – C. 3086–3100. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.8137>

80. Kerr Y.H. *The SMOS Mission: New Tool for Monitoring Key Elements of the Global Water Cycle* / Y.H. Kerr, P. Waldteufel, J.P. Wigneron et al. // *Proceedings of the IEEE*, 2010, 98, – C. 666–687. <http://dx.doi.org/10.1109/JPROC.2010.2043032>
81. Harbaugh A.W. *MODFLOW-2005, The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model—The Ground-Water Flow Process* / A.W. Harbaugh // U.S. Geological Survey: Reston, VA, USA, 2005. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/tm6A16>
82. Pollock D.W. *User Guide for MODPATH Version 7—A Particle-Tracking Model for MODFLOW* / D.W. Pollock // U.S. Geological Survey: Reston, VA, USA, 2016. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr20161086>
83. Bedekar V. *MT3D-USGS Version 1: A U.S. Geological Survey Release of MT3DMS Updated with New and Expanded Transport Capabilities for Use with MODFLOW* / V. Bedekar, E.D. Morway, C.D. Langevin, M.J. Tonkin // U.S. Geological Survey: Reston, VA, USA, 2016.
84. Šimušek J. *The HYDRUS Software Package for Simulating Two- and Three-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Porous Media* / J. Šimušek, M.T. van Genuchten, M. Šejna // *PC Progress: Prague, Czech Republic*, 2012. <https://scholar.google.com/>
85. Owlia R.R. *Spatial-temporal assessment and redesign of groundwater quality monitoring network: A case study* / R.R. Owlia, A. Abrishamchi, M. Tajrishy // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2011, 172, 263–273. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-010-1332-8>
86. Banik B.K. *Evaluation of Different Formulations to Optimally Locate Sensors in Sewer Systems* / B.K. Banik, L. Alfonso. – C. di Cristo, A. Leopardi, A. Mynett // *Journal of Water Resources Planning and Management* 2017, 143. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000778](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000778)
87. Ruddell B.L. *Ecohydrologic process networks: 1. Identification* / B.L. Ruddell, P. Kumar // *Water Resources Research*, 2009, 45. <http://dx.doi.org/10.1029/2008WR007279>
88. Ruddell B.L. *Ecohydrologic process networks: 2. Analysis and characterization* / B.L. Ruddell, P. Kumar // *Water Resources Research*, 2009, 45, 1–14. <http://dx.doi.org/10.1029/2008WR007280>
89. Kang M. *Agricultural and Forest Meteorology Identifying CO<sub>2</sub> advection on a hill slope using information flow* / M. Kang, B.L. Ruddell. – C. Cho, J. Chun, J. Kim // *Agricultural and Forest Meteorology*, 2017, 232, 265–278. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.08.003>

## Use of the entropy approach in water resource monitoring systems

Vitalii Bezsonnyi,

PhD (Technical), Associate Professor,

Department of Environmental Safety and Environmental Education,

V.N. Karazin Kharkiv National University, 4, Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

### ABSTRACT

Effective management of water resources is possible only with an effectively organized monitoring system. After the emergence and development of information theory, the concept of information entropy found its place in the field of the development of water monitoring systems.

**The purpose** of this work is to review research related to the construction of water monitoring systems and networks that applied the entropy theory in the design process.

**Methodology.** Entropy terms used in the construction of water monitoring systems are summarized. Recent applications of the entropy concept for water monitoring system designs classified by precipitation are reviewed; flow and water level; water quality; soil moisture and groundwater. The integrated method of designing multifactorial monitoring systems is also highlighted.

**Results.** The review analyzes studies and their implementation in the design of water monitoring networks based on entropy. The use of various methods of information theory and their adaptation for use in the design of monitoring networks is demonstrated, with the goal of network design methods being the selection of stations that provide the most information for the monitoring network, while being independent of each other. Through extensive testing, information theory has proven to be a reliable tool for evaluating and designing an optimal water monitoring network.

**Scientific novelty.** This review focuses on studies that have applied information theory or information entropy to construct monitoring networks and systems. Information theory was developed by Shannon in the middle of the last century to measure the information content of a data set and was subsequently applied to solving water resources problems. To date, there are no review studies regarding the design of water monitoring networks based on the concept that entropy will be able to characterize the information specific to the monitoring station or monitoring networks. The main goal is to have the maximum amount of information.

**Practical significance.** The optimal design of the monitoring network can be built based on the specified design criteria; however, the practical application of a new optimal monitoring network is rarely evaluated in a hydrological or other model. It is also important to identify the benefits of entropy-based network design to convince decision-makers of the importance of entropy-based approaches. The optimal network can be subjective, based on the choices made during the entropy calculation and the design method chosen, especially when additional objective functions are considered in

the design. This applies to the method chosen to construct the optimal monitoring network, whether it is found using an iterative method where one station is added at a time, or a collection of stations that are added simultaneously. Research has also shown that data length, catchment scale, and the order can affect optimal network design. When using discrete entropy, it was shown that the binning method affects the final network design. Therefore, when selecting options based on the intended application of the monitoring network, a clear understanding and further research is needed to provide recommendations specific to water monitoring networks. In particular, more work is needed on the spatial and temporal scaling of the entropy calculation data to provide robust recommendations for decision-makers.

**Keywords:** information entropy; water monitoring; hydrometric network; information theory; monitoring system.

### References

- Langbein, W. (1979) Overview of Conference on Hydrologic Data Networks. *Water Resources Research*. 15, 1867–1871. <https://doi.org/10.1029/WR015i006p01867>
- Hersch, R. (1999) *Hydrometry: Principles and Practice*, 2nd ed.; John Wiley and Sons Ltd.: Chichester, UK., [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Hydrometry:+Principles+and+Practice&author=Hersch,+R.W.&publication\\_year=1999](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Hydrometry:+Principles+and+Practice&author=Hersch,+R.W.&publication_year=1999)
- Boiten, W. Hydrometry; A.A. (2003) *The Netherlands*. <https://doi.org/10.1201/9780203971093>
- Nemec, J.; Askew, A. (1986) Mean and variance in network-design philosophies. In *Integrated Design of Hydrological Networks (Proceedings of the Budapest Symposium)*; Moss, M.E., Ed.; International Association of Hydrological Sciences Publication: Washington, DC, USA, pp. 123–131. <https://scholar.google.com/>
- Rodda, J.; Langbein, W. (1969) *Hydrological Network Design—Needs, Problems and Approaches*; World Meteorological Organization: Geneva, Switzerland. <https://snia.mop.gob.cl/repositoriodga/handle/20.500.13000/984>
- World Meteorological Organization (1972) *Casebook on Hydrological Network Design Practice*; Langbein, W., Ed.; World Meteorological Organization: Geneva, Switzerland. <https://scholar.google.com/>
- Davis, D.; Duckstein, L.; Krzysztofowicz, R. (1979) The Worth of Hydrologic Data for Nonoptimal Decision Making. *Water Resources Research*. 15, 1733–1742. <https://doi.org/10.1029/WR015i006p01733>
- Bezsonnyi, V.; Ponomarenko, R.; Tretyakov, O.; Asotsky, V.; Kalynovskyi, A. (2021) Regarding the Choice of Composite Indicators of Ecological Safety of Water in the Basin of the Siversky Donets. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 30, 622–631. <https://doi.org/10.15421/112157>
- Bezsonnyi, V. L., Tretyakov, O. V., Plyatsuk, L. D., & Nekos, A. N. (2022). Entropy approach to assessment of the ecological state of a water course. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University Series «Ecology»*, (27), 6–19. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-01> [in Ukrainian]
- Pilon, P.; Yuzyk, T.; Hale, R.; Day, T. (1996) Challenges Facing Surface Water Monitoring in Canada. *Canadian Water Resources Journal*. 21, 157–164. <https://doi.org/10.4296/cwrj2102157>
- U.S. Geological Survey. (1999). *Streamflow Information for the Next Century—A Plan for the National Streamflow Information Program of the U.S. Geological Survey*; U.S. Geological Survey: Denver, CO, USA.
- Mishra, A.K.; Coulibaly, P. (2009) *Developments in Hydrometric Network Design: A Review*. *Rev. Geophys.*, 47. <http://dx.doi.org/10.1029/2007RG000243>
- Chacon-hurtado, J.; Alfonso, L.; Solomatine, D. (2017) Rainfall and streamflow sensor network design: A review of applications, classification, and a proposed framework. *Hydrology and Earth System Sciences*. 21, 3071–3091. <https://doi.org/10.5194/hess-21-3071-2017>
- Moss, M.E. (1982) *Concepts and Techniques in Hydrological Network Design*; World Meteorological Organization: Geneva, Switzerland. <https://scholar.google.com/>
- Van der Made, J.; Schilperoord, T.; van der Schaaf, S.; Buishand, T.; Brouwer, G.; van Duyvenbooden, W.; Becinsky, P. (1986) *Design Aspects of Hydrological Networks*; Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO: The Hague, The Netherlands. <http://resolver.tudelft.nl/uuid:4ab6e86e-b0e5-4571-bd20-241ac4489023>
- Pyrc, R.S. (2004) *Review and Analysis of Stream Gauge Networks for the Ontario Stream Gauge Rehabilitation Project*, 2nd ed.; Watershed Science Centre: Peterborough, ON, Canada. [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Review+and+Analysis+of+Stream+Gauge+Networks+for+the+Ontario+Stream+Gauge+Rehabilitation+Project&author=Pyrc,+R.S.&publication\\_year=2004](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Review+and+Analysis+of+Stream+Gauge+Networks+for+the+Ontario+Stream+Gauge+Rehabilitation+Project&author=Pyrc,+R.S.&publication_year=2004)
- Behmel, S.; Damour, M.; Ludwig, R.; Rodriguez, M. (2016) Water quality monitoring strategies—A review and future perspectives. *Sci. Total Environ*. 571, 1312–1329. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.235>
- Bezsonnyi, V., Tretyakov, O., Sherstyuk, M., & Nekos, A. (2022). Thermodynamic aspects of the systems approach in ecology. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series “Geology. Geography. Ecology”*, (57), 268–281. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-20> [in Ukrainian]
- Bezsonnyi, V.L. (2023) Methods of assessment of the ecological status of a water body based on the entropy-weighted index of water quality. *Ecological Sciences: a scientific and practical journal*. – № 2(47). – C. 44–48. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.7> [in Ukrainian]
- Shannon, C. (1948) A Mathematical Theory of Communication. *Bell Syst. Tech. J.* 27, 379–423. <http://dx.doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
- Batty, M. (2010) Space, scale, and scaling in entropy maximizing. *Geogr. Anal.*, 42, 395–421. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1538-4632.2010.00800.x>

22. Singh, V. (2015) *Entropy Theory in Hydrologic Science and Engineering*; McGraw-Hill Education: New York, NY, USA <https://www.accessengineeringlibrary.com/binary/mheaeworks/f8203430db41fd24/ee925d2b4e27bfd905d73664befe36228ea77a3c4ffc963ee700bbf01c450e7c/book-summary.pdf>
23. Lathi, B. (1968) *An Introduction to Random Signals and Communication Theory*; International Textbook Company: Scranton, PA, USA. <https://scholar.google.com/>
24. Tribus, M. (1969) *Rational Descriptions, Decisions and Designs*; Irvine, T.F., Hartnett, J.P., Eds.; Pergamon Press: Oxford, UK. <https://scholar.google.com/>
25. Krstanovic, P.; Singh, V. (1992) Evaluation of rainfall networks using entropy: I. Theoretical development. *Water Resour. Manag.*, 6, 279–293. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00872281>
26. McGill, W. (1954) Multivariate information transmission. *Psychometrika*, 19, 97–116. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02289159>
27. Watanabe, S. (1960) *Information Theoretical Analysis of Multivariate Correlation*. *IBM J. Res. Dev.*, 4, 66–82. <http://dx.doi.org/10.1147/rd.41.0066>
28. Stosic, T.; Stosic, B.; Singh, V. (2017) Optimizing streamflow monitoring networks using joint permutation entropy. *Journal of Hydrology*, 552, 306–312. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.07.003>
29. Mahjouri, N.; Kerachian, R. (2011) Revising river water quality monitoring networks using discrete entropy theory: The Jajrood River experience. *Environmental Monitoring and Assessment*. 175, 291–302. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-010-1512-6>
30. Mahmoudi-Meimand, H.; Nazif, S.; Abbaspour, R.; Sabokbar, H. (2016) An algorithm for optimisation of a rain gauge network based on geostatistics and entropy concepts using GIS. *J. Spat. Sci.* 61, 233–252. <https://doi.org/10.1080/14498596.2015.1030789>
31. Hosseini, M.; Kerachian, R. (2017) A Bayesian maximum entropy-based methodology for optimal spatiotemporal design of groundwater monitoring networks. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189, 433. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-017-6129-6>
32. Masoumi, F.; Kerachian, R. (2010) Optimal redesign of groundwater quality monitoring networks: A case study. *Environmental Monitoring and Assessment*. 161, 247–257. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-008-0742-3>
33. Su, H.; You, G. (2014) Developing an entropy-based model of spatial information estimation and its application in the design of precipitation gauge networks. *Journal of Hydrology*, 519, 3316–3327. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.10.022>
34. Alfonso, L.; Lobbrecht, A.; Price, R. (2010) Optimization of water level monitoring network in polder systems using information theory. *Water Resources Research*, 46. <http://dx.doi.org/10.1029/2009WR008953>
35. Memarzadeh, M.; Mahjouri, N.; Kerachian, R. (2013) Evaluating sampling locations in river water quality monitoring networks: Application of dynamic factor analysis and discrete entropy theory. *Environmental Earth Sciences*, 70, 2577–2585. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-013-2299-x>
36. Mishra, A.; Coulibaly, P. (2010) Hydrometric Network Evaluation for Canadian Watersheds. *Journal of Hydrology*. 380, 420–437. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.11.015>
37. Mishra, A.; Coulibaly, P. (2014) Variability in Canadian Seasonal Streamflow Information and Its Implication for Hydrometric Network Design. *Journal of Hydrology. Eng.* 19. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000971](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000971)
38. Hosseini, M.; Kerachian, R. (2017) A data fusion-based methodology for optimal redesign of groundwater monitoring networks. *Journal of Hydrology*. 552, 267–282. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.06.046>
39. Alfonso, L.; Lobbrecht, A.; Price, R. (2010) Information theory-based approach for location of monitoring water level gauges in polders. *Water Resources Research*. 46. <http://dx.doi.org/10.1029/2009WR008101>
40. Alameddine, I.; Karmakar, S.; Qian, S.S.; Paerl, H.W.; Reckhow, K.H. (2013) Optimizing an estuarine water quality monitoring program through an entropy-based hierarchical spatiotemporal Bayesian framework. *Water Resources Research*. 49, 6933–6945. <http://dx.doi.org/10.1002/wrcr.20509>
41. Keum, J.; Coulibaly, P. (2017) Sensitivity of Entropy Method to Time Series Length in Hydrometric Network Design. *Journal of Hydrologic Engineering*. 22. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001508](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001508)
42. Mondal, N.C.; Singh, V.P. (2011) Evaluation of groundwater monitoring network of Kodaganar River basin from Southern India using entropy. *Environmental Earth Sciences*. 66, 1183–1193. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-011-1326-z>
43. Uddameri, V.; Andrus, T. A. (2014) GIS-based multi-criteria decision-making approach for establishing a regional-scale groundwater monitoring. *Environmental Earth Sciences*. 71, 2617–2628. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-013-2899-5>
44. Wei, C.; Yeh, H.; Chen, Y. (2014) Spatiotemporal scaling effect on rainfall network design using entropy. *Entropy*. 16, 4626–4647. <http://dx.doi.org/10.3390/e16084626>
45. Li, C.; Singh, V.; Mishra, A. (2012) Entropy theory-based criterion for hydrometric network evaluation and design: Maximum information minimum redundancy. *Water Resources Research*, 48. <http://dx.doi.org/10.1029/2011WR011251>
46. Werstuck, C.; Coulibaly, P. (2016) Hydrometric network design using dual entropy multi-objective optimization in the Ottawa River Basin. *Hydrology Research*. 48, 1–13. <http://dx.doi.org/10.2166/nh.2016.344>

47. Alfonso, L.; He, L.; Lobbrecht, A.; Price, R. (2013) Information theory applied to evaluate the discharge monitoring network of the Magdalena River. *Journal of Hydroinformatics.*, 15, 211–228. <http://dx.doi.org/10.2166/hydro.2012.066>
48. Xu, H.; Xu, C.-Y.; Sælthun, N.; Xu, Y.; Zhou, B.; Chen, H. (2015) Entropy theory based multi-criteria resampling of rain gauge networks for hydrological modelling—A case study of humid area in southern China. *Journal of Hydrology.* 525, 138–151. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.034>
49. Werstuck, C.; Coulibaly, P. (2017) Assessing Spatial Scale Effects on Hydrometric Network Design Using Entropy and Multi-Objective Methods. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association.* <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12611>
50. Keum, J.; Coulibaly, P. (2017) Information theory-based decision support system for integrated design of multi-variable hydrometric networks. *Water Resources Research.* 53, 6239–6259. <http://dx.doi.org/10.1002/2016WR019981>
51. Kornelsen, K.; Coulibaly, P. (2015) Design of an Optimal Soil Moisture Monitoring Network Using SMOS Retrieved Soil Moisture. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 53, 3950–3959. <http://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2014.2388451>
52. Samuel, J.; Coulibaly, P.; Kollat, J. (2013) CRDEMO: Combined Regionalization and Dual Entropy-Multiobjective Optimization for Hydrometric Network Design. *Water Resources Research.* 49, 8070–8089. <http://dx.doi.org/10.1002/2013WR014058>
53. Leach, J.; Kornelsen, K.; Samuel, J.; Coulibaly, P. (2015) Hydrometric network design using streamflow signatures and indicators of hydrologic alteration. *Journal of Hydrology.* 529, 1350–1359. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.08.048>
54. Alfonso, L.; Ridolfi, E.; Gaytan-Aguilar, S.; Napolitano, F.; Russo, F. (2014) Ensemble Entropy for Monitoring Network Design. *Entropy.* 16, 1365–1375. <http://dx.doi.org/10.3390/e16031365>
55. Leach, J.; Coulibaly, P.; Guo, Y. (2016) Entropy based groundwater monitoring network design considering spatial distribution of annual recharge. *Advances in Water Resources.* 96, 108–119. <http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2016.07.006>
56. Boroumand, A.; Rajaei, T. (2017) Discrete entropy theory for optimal redesigning of salinity monitoring network in San Francisco bay. *Water Sci. Technol. Water Supply.* 17, 606–612. <http://dx.doi.org/10.2166/ws.2016.110>
57. Santos, J.; Portela, M.; Pulido-Calvo, I. (2013) Dimensionality reduction in drought modelling. *Hydrological Processes.* 27, 1399–1410. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.9300>
58. Brunsell, N.A. (2010) A multiscale information theory approach to assess spatial-temporal variability of daily precipitation. *Journal of Hydrology.* 385, 165–172. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.02.016>
59. Lee, J. (2013) Determination of optimal water quality monitoring points in sewer systems using entropy theory. *Entropy.* 15, 3419–3434. <http://dx.doi.org/10.3390/e15093419>
60. Lee, C.; Paik, K.; Yoo, D.; Kim, J. (2014) Efficient method for optimal placing of water quality monitoring stations for an ungauged basin. *Journal of Environmental Management.* 132, 24–31. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.10.012>
61. Fahle, M.; Hohenbrink, T.; Dietrich, O.; Lischeid, G. Temporal variability of the optimal monitoring setup assessed using information theory. (2015) *Water Resources Research.* 51, 7723–7743. <http://dx.doi.org/10.1002/2015WR017137>
62. Yakirevich, A.; Pachepsky, Y.; Gish, T.; Guber, A.; Kuznetsov, M.; Cady, R.; Nicholson, T. (2013) Augmentation of groundwater monitoring networks using information theory and ensemble modeling with pedotransfer functions. *Journal of Hydrology.* 501, 13–24. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.07.032>
63. Mishra, A.; Özger, M.; Singh, V. (2009) An entropy-based investigation into the variability of precipitation. *Journal of Hydrology.* 370, 139–154. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.03.006>
64. Gong, W.; Yang, D.; Gupta, H.; Nearing, G. (2014) Estimating information entropy for hydrological data: One dimensional case. *Water Resources Research.* 50, 5003–5018. <http://dx.doi.org/10.1002/2014WR015874>
65. Silva V.; da Silva V.; Belo Filho A.; Singh, V.; Almeida R.; da Silva B.; de Sousa, I.; de Holanda, R. (2017) Entropy theory for analysing water resources in northeastern region of Brazil. *Hydrological Sciences Journal.* 62, 1029–1038. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1099789>
66. Ridolfi, E.; Montesarchio, V.; Russo, F.; Napolitano, F. (2011) An entropy approach for evaluating the maximum information content achievable by an urban rainfall network. *Natural Hazards and Earth System Sciences.* 11, 2075–2083. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-11-2075-2011>
67. Yeh, H.; Chen, Y.; Wei, C.; Chen, R. (2011) Entropy and kriging approach to rainfall network design. *Paddy and Water Environment.* 9, 343–355. <http://dx.doi.org/10.1007/s10333-010-0247-x>
68. Awadallah, A. (2012) Selecting optimum locations of rainfall stations using kriging and entropy. *International Journal of Civil & Environmental Engineering.* 12, 36–41. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=bbfdd60b12caa37c5d5dbfca0039160dfe32299b>
69. Ahmed, N.; Gokhale, D. (1989) Entropy expressions and their estimators for multivariate distributions. *IEEE Transactions on Information Theory.* 35, 688–692. <http://dx.doi.org/10.1109/18.30996>
70. Coulibaly, P.; Keum, J. (2016) Snow Network Design and Evaluation for La Grande River Basin; Hydro-Quebec: Hamilton, ON, Canada. <https://scholar.google.com/>
71. Keum, J.; Kornelsen, K.C.; Leach, J.M.; Coulibaly, P. (2017) Entropy Applications to Water Monitoring Network Design: A Review. *Entropy.* 19, 613. <https://doi.org/10.3390/e19110613>

72. Zhao, R. (1992) The Xinanjiang model applied in China. *Journal of Hydrology*. 135, 371–381. <https://scholar.google.com/>
73. Arnold, J.; Srinivasan, R.; Muttiah, R.; Williams, J. (1998) Large Area Hydrologic Modeling and Assessment Part I: Model Development. *Journal of the American Water Resources Association*, 34, 73–89. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x>
74. United Nations (2004) *Guidelines for Reducing Flood Losses*; Pilon, P., Ed.; United Nations, <https://scholar.google.com/>
75. Chapman, T. (1986) Entropy as a measure of hydrologic data uncertainty and model performance. *Journal of Hydrology*, 85, 111–126. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694\(86\)90079-X](http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694(86)90079-X)
76. Yadav, M.; Wagener, T.; Gupta, H. (2007) Regionalization of constraints on expected watershed response behavior for improved predictions in ungauged basins. *Advances in Water Resources*. 30, 1756–1774. <http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2007.01.005>
77. Sawicz, K.; Wagener, T.; Sivapalan, M.; Troch, P.; Carrillo, G. (2011) Catchment classification: Empirical analysis of hydrologic similarity based on catchment function in the eastern USA. *Hydrology and Earth System Sciences*. 15, 2895–2911. <http://dx.doi.org/10.5194/hess-15-2895-2011>
78. Richter, B.; Baumgartner, J.; Powell, J.; Braun, D. (1996) A Method for Assessing Hydrologic Alteration within Ecosystems. *Conservation Biology*. 10, 1163–1174. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1523-1739.1996.10041163.x>
79. Monk, W.; Peters, D.; Allen Curry, R.; Baird, D. (2011) Quantifying trends in indicator hydroecological variables for regime-based groups of Canadian rivers. *Hydrological Processes* 25, 3086–3100. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.8137>
80. Kerr, Y.; Waldteufel, P.; Wigneron, J.; Delwart, S.; Cabot, F.; Boutin, J.; Escorihuela, M.J.; Font, J.; Reul, N.; Gruhier, C.; et al. (2010) The SMOS Mission: New Tool for Monitoring Key Elements of the Global Water Cycle. *Proceedings of the IEEE*, 98, 666–687. <http://dx.doi.org/10.1109/JPROC.2010.2043032>
81. Harbaugh, A. (2005) MODFLOW-2005, The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model—The Ground-Water Flow Process; U.S. Geological Survey: Reston, VA, USA, <https://pubs.er.usgs.gov/publication/tm6A16>
82. Pollock, D. (2016) User Guide for MODPATH Version 7—A Particle-Tracking Model for MODFLOW; U.S. Geological Survey: Reston, VA, USA, <https://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr20161086>
83. Bedekar, V.; Morway, E.; Langevin, C.; Tonkin, M.J. (2016) MT3D-USGS Version 1: A U.S. Geological Survey Release of MT3DMS Updated with New and Expanded Transport Capabilities for Use with MODFLOW; U.S. Geological Survey: Reston, USA,
84. Šimunek, J.; van Genuchten, M.; Šejna, M. (2012) *The HYDRUS Software Package for Simulating Two- and Three-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Porous Media*; PC Progress: Prague, Czech Republic. <https://scholar.google.com/>
85. Owlia, R.; Abrishamchi, A.; Tajrishy, M. (2011) Spatial-temporal assessment and redesign of groundwater quality monitoring network: A case study. *Environmental Monitoring and Assessment*. 172, 263–273. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-010-1332-8>
86. Banik, B.; Alfonso, L.; di Cristo, C.; Leopardi, A.; Mynett, A. (2017) Evaluation of Different Formulations to Optimally Locate Sensors in Sewer Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000778](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000778)
87. Ruddell, B.; Kumar, P. (2009) Ecohydrologic process networks: 1. Identification. *Water Resources Research*. 45. <http://dx.doi.org/10.1029/2008WR007279>
88. Ruddell B.; Kumar P. (2009) Ecohydrologic process networks: 2. Analysis and characterization. *Water Resources Research*. 45, 1–14. <http://dx.doi.org/10.1029/2008WR007280>
89. Kang M.; Ruddell B.; Cho, C.; Chun, J.; Kim, J. (2017) Agricultural and Forest Meteorology Identifying CO<sub>2</sub> advection on a hill slope using information flow. *Agricultural and Forest Meteorology*, 232, 265–278. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.08.003>

Received 9 March 2023

Accepted 20 April 2023



## Degradation risks and prospects for valley and river landscapes conservation in east Podilsk Transnistria (on the example of the Nemiya river)

*Anatoliy Hudzevich*<sup>1</sup>

DSc (Geography), Professor, Department of Geography,

<sup>1</sup> Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University,

32 Ostrozky St., Vinnitsa, 21001, Ukraine;

e-mail: [amarek@ua.fm](mailto:amarek@ua.fm),  <https://orcid.org/0000-0001-8884-9436>;

*Olexandr Matviichuk*<sup>1</sup>

PhD, Associate Professor, Chief of the Department of Biology,

e-mail: [oleksandr.matviichuk@vspu.edu.ua](mailto:oleksandr.matviichuk@vspu.edu.ua),  <https://orcid.org/0000-0002-3695-0433>;

*Hanna Korobkova*<sup>2</sup>

PhD, Associate Professor of the Department of Gardening and Ecology,

<sup>2</sup> Luhansk Taras Shevchenko National University, 3 Koval St., Poltava, 36003, Ukraine,

e-mail: [korobkova.ann@gmail.com](mailto:korobkova.ann@gmail.com),  <https://orcid.org/0000-0002-0246-8585>;

*Ludmyla Hudzevich*<sup>1</sup>

PhD, Associate Professor of the Department of Biology,

e-mail: [gudzevichluda@gmail.com](mailto:gudzevichluda@gmail.com),  <https://orcid.org/0000-0002-7631-7704>;

*Lina Bronnikova*<sup>3</sup>

Senior Lecturer, Department of Agriculture, Soil Science and Agrochemistry,

<sup>3</sup> Vinnytsia National Agrarian University, 3 Sonyachna St., Vinnytsia, 21008, Ukraine,

e-mail: [linabronnikova@gmail.com](mailto:linabronnikova@gmail.com),  <https://orcid.org/0000-0002-1790-161X>

### ABSTRACT

**Formulation of the problem.** The urgency of the problem put forward is associated with the growth of anthropogenic development of the unique valley-river landscapes of the East Podolsk Transnistria is still taking place without a comprehensive geographic justification for the organization of nature management of the territory. These valley-river landscapes are unique in terms of the richness of bio- and landscape diversity.

**The purpose** of the article is to assess the landscape and biotic diversity of the valley-river landscape of the lower reaches of the Nemiya city of the Mogilev-Podolsk-Yampolsky physical-geographical region in order to form priorities for the environmental activities of Transnistria.

**Materials and methods.** To achieve the goal, a visual survey of the territory of the Nemiya basin was carried out. The studies were carried out on the basis of: hydrological-geographical, biogeographical, botanical and zoological generalizations of the results of route observations in the Nemiya River valley. Materials were used, including remote and field observations carried out in the Dniester basin. Also, data from various organizations and institutions were used (Vinnitsa Regional Department of Forestry and Hunting, Basin Water Resources Management of the city of Southern Bug, etc.). In particular, data from rural councils of settlements of the Mogilev-Podolsky urban territorial society were used. In the course of the study, such traditional methods as: statistical, literary and cartographic methods, the method of analogies, the method of comparisons and the method of generalizations were used. At the same time, such specific methods were used: a system of modeling, analysis, synthesis methods, cartographic and mathematical methods and methods of forecasting, expeditionary, continuous survey of natural areas, geophysical, identification of landscape components, etc.).

**Results.** The study made it possible to study the ecotone of landscape and biotic diversity, including the high vulnerability of anthropogenic valley-river landscape complexes, primarily under the influence of mining and industrial developments. The features of the influence on the formation of these landscape complexes of natural and historical and social conditions were also revealed. At the same time, it was possible to establish the modern anthropogenized structure (landscape, phyto- and zoocenotic) of natural and anthropogenic landscapes within the Nemiya River valley.

**Scientific novelty and practical significance.** The conditions for the functioning of the valley-river landscape, the trends and intensity of its changes under the influence of natural and anthropogenic conditions and factors are analysed. The problems of protective belts and water protection zones are considered to assess the possibility of the Nemiya River performing the function of an eco-corridor in the projected regional ecological network. The factors influencing the ecological state of the valley-river landscape are determined. At the same time, microfoci are identified, with which successional, material-energy, transformational and destabilization changes are associated. Based on the studies carried out, proposals were made for the implementation of environmental protection measures for the Nemiya River. The results of these researches can become the basis for monitoring the dynamics, development and evolution of landscapes, primarily for the formation of priorities for the environmental activities of Transnistria.

**Keywords:** *landscape and biotic diversity, valley-river landscape, wetlands, protected area.*

**In cites:** Hudzevich Anatoliy, Matviichuk Olexandr, Korobkova Hanna, Hudzevich Ludmyla, Bronnikova Lina (2023). Processing algorithm of weekly records of the Roztochia landscape-geophysical station thermograph M-16AH as a response source of air temperature data. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (58), 321-335. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-24>

**Formulation of the problem.** The idea of the need for a balanced development of the planet, with the preservation of the ecological balance of the biosphere, is the main principle of environmental protection today. A rich landscape and biotic diversity are able to ensure the stable functioning of a favorable environment for humans. Under the conditions of nature management in Transnistria, forest-steppe landscapes and their components have been modified under the influence of high anthropogenic activity. The structure of landscapes is now dominated by agricultural, water and forestry, residential and industrial, and road. Quite fragmented slopes and tracts of valley-river landscapes remained close to their natural state. For this reason, the need and priority of the study of this region is indisputable. At the same time, the solution of the given problem is an actual direction in national and world geographical science.

**Analysis of recent research and publications.** Studies of ecological and geographical problems of valley-river landscapes (on the examples of small rivers) of Ukraine are covered in the work of I.P. Kovalchuk [Kovalchuk, 2000]. In particular, he reflected the role of the Kyiv, Kharkiv, Lviv, Odessa and Chernivtsi scientific schools in the study of the rivers of our country. The transformational processes of small and medium-sized rivers in the conditions of an urbanized environment are demonstrated by the works of V.I. Vishnevskiy [Vishnevskiy, 2000], Y. O. Molchak and V.O. Fesyuk [Molchak, Fesyuk, 2007], V.K. Khilchevskiy [Khilchevskiy, 2021; 2022], R.V. Khimko with collaborators [Khimko, Merezko, Babko, 2003] and others. Attention is drawn to solving the problems of hydrogeological monitoring by L.I. Davybida and Tymkiv M.M. [Davybida, Tymkiv, 2020], V. Melnychuk and G. Protsiv [Melnychuk, Protsiv, 2020]. In the regional aspect, this type of research was conducted by A.V. Gudzevych and R.O. Demets [Hudzevich, Demets, 2018], G.I. Denisyk, L.I. Stefankov and G.S. Khayetsky [Denisyk, Khayetskyi, Stefankov, 2007], O.D. Lavryk with colleagues [Lavryk, Korinnyi, Kyryliuk, Tymbaliuk, 2022].

**Highlighting previously unresolved parts of the overall problem.** The focus of the research is the valley-river landscape. In particular, the landscape and biotic diversity of the lower course of the Nemia River, the left tributary of the Dniester River. Its current ecostate is evidence of the destabilization of its structural organization, as it is in a dynamic state and needs constant monitoring studies and the development of recommendations for its preservation. There is a prospect of managing these very complex multifunctional (water flow regulators, sources of water supply for the main watercourse and the population) natural-anthropogenic valley-river landscape complexes in the nature of their functioning. At the same time, there is a need for an in-depth analysis of their

integrated ecological and geographical characteristics.

**Formulation of the purpose of the article.** The research territory is part of the Ozarynetsk Starostyn district of the Mogilev-Podilskyi urban territorial community. According to the physical-geographical zoning of Ukraine [Marynych et al., 2007], it is located within the boundaries of the Mohyli-Podilskyi-Yampilskyi physical-geographical district of the Transnistrian-Eastern-Podilskyi Oblast, the Dnistrovsky-Dniprovsky forest-steppe edge of the forest-steppe zone of the Eastern European plain landscape country. According to geobotanical zoning [Didukh, Shelyag-Sosonko, 2003], it is considered as a separate Central Podil district of hornbeam-oak and oak forests and dry meadows with a potential predominance of forest vegetation within the forest-steppe.

This part of the landscape area is characterized by ravine-beam areas with eroded gray forest soils on the slopes, landslides, steep cliffs, and rocks.

The significant vulnerability of the landscape and biotic diversity of the valley-river landscape of Nemia is under constant anthropogenic pressure. Therefore, it is necessary to implement immediate water and nature protection measures.

The main goal of this study is to assess the landscape and biotic diversity of the valley-river landscape of the lower reaches of the Nemia River in the Mogilev-Podilsko-Yampilsky physical-geographical district. What is necessary for the formation of priorities for environmental protection activities in Transnistria.

**Presentation of the main research material.** The territory of the Nemia River basin belongs to the hydrological region of Transnistrian Podillia is characterized by a high density of the river network (0.5-0.6 km/km<sup>2</sup>) [Khilchevskiy, 2021]. This is explained on the one hand by the fact that the sources of many rivers are located here (in particular, the left tributaries of the Dniester), and on the other hand by the deep cut of the rivers and numerous springs that feed small streams. The area of the pool is 411 km<sup>2</sup>. The total length of the river is 64 km.

At present, the anthropogenic impact on the Nemia River valley is typical for the rivers of Middle Transnistria. The water resources of the Nemia River are used for water supply, partly for irrigation. And the Transnistrian part is used for recreation. Fish breeding and construction of hydropower facilities are practiced. In particular, there are 14 abandoned hydroelectric power stations in the middle and lower reaches of the Nemia (4 of them are under reconstruction).

Valuable natural complexes are located on the slopes of the Nemia Valley. As well as within its water protection zone and coastal protection strips of ecological restoration of the Dniester River on both sides of the Nemia estuary. They are valuable from the nature conservation point of view and have been

under protection since the 20<sup>th</sup> century.

In particular, to the south of the village Ozaryntsi is the Proterozoic Sandstones geological monument of local importance (Fig. 1). Near the village of Nemia is the geological natural monument of national importance "Mohylivskaya World Outcrop" (Fig. 1). At a distance of 2 to 5 km from them, there are a number of botanical reserves of local importance: "Gryhorivska Gora", "Bronnytska Gora", "Kryshforivska Gora", "Zvenyacha Dolina", "Bernashivskiyi". To the east, at a distance of 6 km, there is a landscape reserve of national importance "Grabarkivskiyi" [Hudzevich, 2002].

A valuable plot with the prospect of bequeathing is the tract "Ozarinetska Gora". It is a combination of forested territory with unforested steep slopes of the banks and valley of the Nemiya River in the vicinity of the village Nemiya (Fig. 1). The area of this site is 1 ha [Horbnyak, 2013]. The slopes of the northwestern exposure are sometimes covered with steppe vegetation. From the Red Book of Ukraine (2009), the following grow here: pheasant's eye *Adonis vernalis* (L.), white spanish broom *Chamaecytisus albus* (Hacq.) Rothm. (L.) Mill., hairy feathergrass *Stipa capillata* (L.).

Regionally rare plant species of the Vinnytsia region are also noted here [Andrienko, Peregrym, 2012]: italian aster *Aster amellus* (L.), snowdrop anemone *Anemone sylvestris* (L.), whitish hyacinth *Hyacinthella leucophaea* (C. Koch) Schur, Spring primrose *Primula veris* (L.), podolsky garlic *Allium podolicum* (Aschers. et Graebn) Blocki ex Racib which are represented in the corresponding biotopes (E2.231). Xerotic groups on loess deposits (*Etytrigia intermedia*, *Bromopsis inermis*) are represented in biotopes F3.12. Xerophilic low-growing thickets of *Prunion fruticosae* are represented in biotopes E2.111. The *Brachypodium pinnatum* group on fresh and dry rendzins and chernozems are represented in biotopes E2.112. The *Carex humilis* group of the Central European type is represented in biotopes on dry, carbonate-enriched turf-carbonate soils or rendzins.

In addition, valuable plant groups that are included in the Green Book of Ukraine (2009) grow here: *Caricetum (humilis) festucosum (valesiaca)*, *Seslerietum (heufleranae) teucriosum (chamaedryis)*, *Stipetum (capillatae) brachypodiosum (pinnati)*. The high scientific and phytosozological value of the plant cover of the tract and the facts of threats (uprooting, digging, trampling of plants, burning of the plant cover) were revealed. Taking this into account, conservationists proposed the need to take it under protection in the status of a botanical reserve of local importance as early as 2013 [Horbnyak, 2013].

There are currently no direct threats to "Ozarynetsk Mountain" as a promising territory for

inheritance. However, in the future it may become an object of trepel development. At least this, as one of the promising areas, is mentioned in the "Report on the State of the Environment in the Vinnytsia Region (2016)", prepared by the Department of Ecology and Natural Resources of the Vinnytsia Regional State Administration. "A number of trepel deposits were discovered in the region, most of which can be developed only underground (tunnels). Explored trepel reserves of the Shlishkovetsky deposit – 1000 m<sup>3</sup>, "Slobodska Gora" – 456 thousand m<sup>3</sup>, Nemiyskogo – 232 thousand m<sup>3</sup>, Nemiyskogo-2 – 500 thousand m<sup>3</sup>, Hrushkynsky – 188 thousand m<sup>3</sup>, "Ozarinetska Gora" – 15 thousand m<sup>3</sup>, Israelivskiyi – 14 thousand m<sup>3</sup>. Estimated resources of aspen on the northern outskirts of Mogilev-Podilskiyi are estimated at 2.4 million m<sup>3</sup>, Shlyshkovetsky deposit - 4.5 million m<sup>3</sup>, Slobidska Gora - 6 million m<sup>3</sup>. The thickness of the trepel layer is from 2 to 3 to 5 to 7 m. It is a relatively soft (at the level of chalk hardness) and quite stable rock, as evidenced by the fact of its well-preserved voluminous cellars. In some areas, it is possible to extract high-quality trepel by an open method" [Report ..., 2020, p. 111].

It should be noted that "Ozarynetska Gora", as well as the territory bordering the villages of Ozaryntsi and Nemia along the valley of the Nemiya river, has recently been within the boundaries of the valuable Liadova-Murafa wetland. This wetland area was initially formed with the aim of preserving wetland ecosystems and the species composition of wetland bird species.

Ramsar site No. 2387 Liadova-Murafa was officially established by the decision of the Ramsar Committee dated 04/04/2019 (Fig. 1). The total area of land covering the territory from the village of Lyadova to Cape Yampil is 5394.28 hectares. The protected territory with international status included the botanical reserve "Lyadivsky" and part of the territory of the regional landscape park "Dniester" [Report ..., 2020, p. 111].

According to the Ramsar site, the territory of Liadova-Murafa is important for the preservation of species diversity of fauna and flora. The plant world includes more than 300 species of vascular plants. In particular, 13 types of plants growing on the territory of the land are listed in the Red Book of Ukraine. More than 30 species of fish can be found in the waters of the area. More than 40 species of mammals, 10 species of amphibians and 6 species of reptiles live here. Of which 16 animal species are listed in the Red Book of Ukraine. Also, 30 species are listed in the IUCN Red List. During migrations, stops for food and molting, up to 24,000 birds can be observed here.

Territorially, VBU Liadova-Murafa is a constituent part of the regional landscape park "Dniester". Since the boundaries of the Dniester park have not

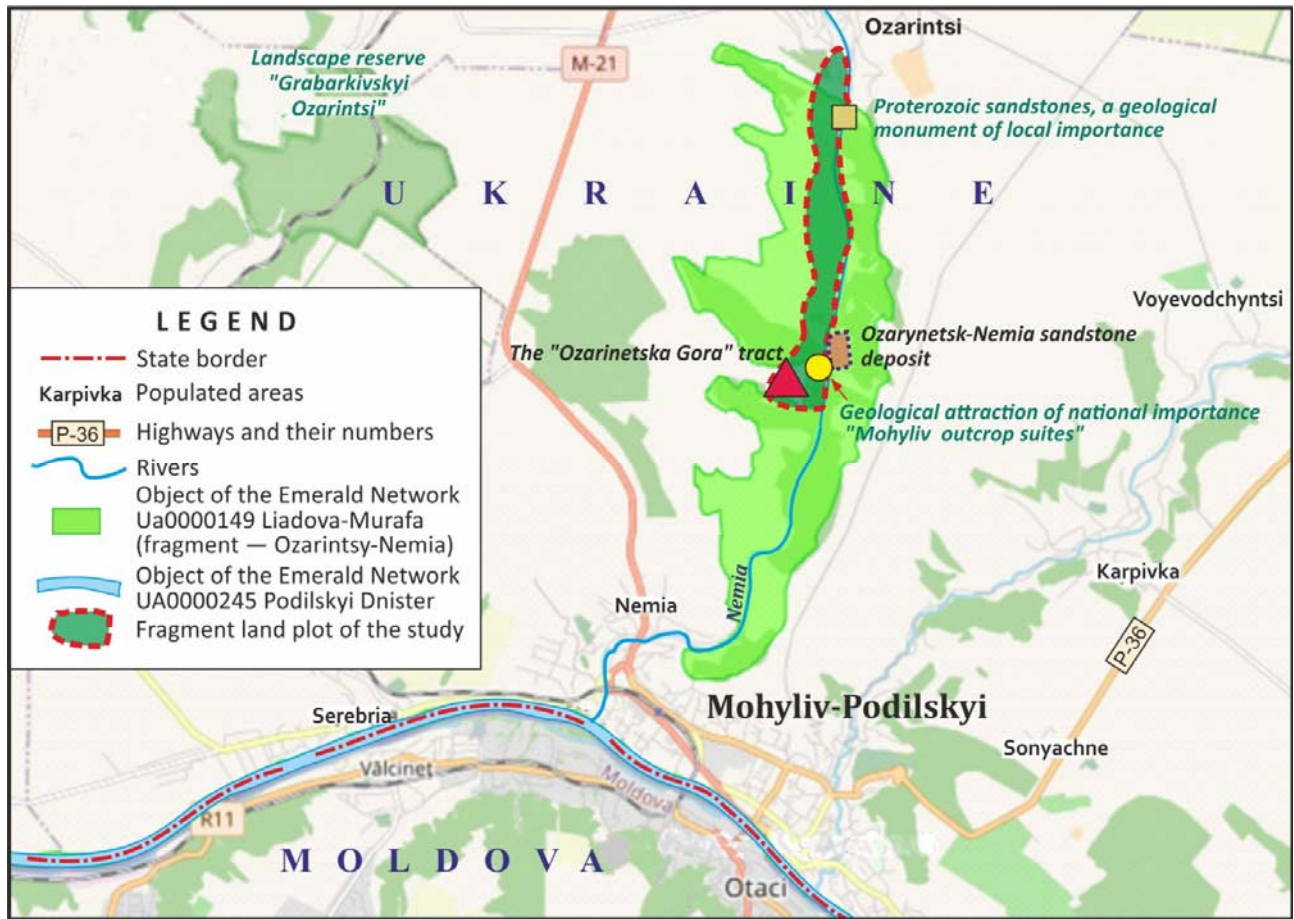


Fig. 1. The research territory of the lower reaches of the Nemia river basin

yet been established in nature, and the boundaries of wetlands of international importance are not provided for by legislation, this creates certain difficulties in agreeing on directions for nature use.

At the same time, the lower course of the Nemia River in the section between the village of Ozaryntsi and the town of Mohyliv-Podilskyi is part of the Liadova-Murafa object of the Emerald Network (Ukrainian translation of the name the Emerald Network). It consists of a section of the Dniester River with its tributaries and forested areas along the river valley (Fig. 1). The territory has very characteristic steep banks, which were created as a result of the formation of marine sediments 420 million years ago. It is an important breeding ground for 106 bird species and 146 migratory species that stop at this site for feeding and moulting. This nature conservation object is especially important for the following species: mallard *Anas platyrhynchos*, simply goldeneye *Bucephala clangula*, mute swan *Cygnus olor* and tufted pochard *Aythya fuligula*. It also contains over 30 species of fish, over 40 species of mammals, ten species of amphibians and six reptiles.

In the future, a management plan will be developed for each of the territories of the Emerald network in order to preserve each of the species and habitats present on its territory. Therefore, an inventory

of Liadova-Murafa biodiversity and its monitoring is urgently needed.

Field expedition research of the territory of Middle Transnistria, conducted by the authors of the publication with colleagues during 2017-2022, was aimed at the development of a local and regional ecnetwork of Transnistria [Hudzevych et al., 2021]. Among other things, they carried out this mission, covering the lower reaches of the Nemia River valley.

The territory of the biodiversity inventory is almost completely consistent with the northern part of the Liadova-Murafa site of the same name for two nature conservation networks of international importance: Emerald and Ramsar sites. At present, it is a combination of the natural-anthropogenic and man-made landscape of the Nemys valley-river system. It is located 5 km north of Mogilev-Podilskyi and 2 km southeast of the village of Ozaryntsi. In the east, it is adjoined by reserve lands (land plots of each category of land, which are not provided for ownership or use by citizens or legal entities).

Slopes disturbed by mining operations are the result of their long-term (at least half a century) arbitrary artisanal development (Fig. 2). They cover an area of almost 12.0 hectares. Currently, as we noted above, they are promising for the production of construction rubble and rubble stone in the Ozaryntsi-2

section of the Ozarynetsko-Nemyskoye deposit.

The tree and tree-shrub vegetation with the richest species composition is fragmentarily represented only on the northern outskirts of the studied area (Fig. 3). Instead, the natural alluvial slope (overflow terrace) at the site of the 25-meter water protection strip of the Nemiya River was completely destroyed almost to the level of the shoreline in the southern part of the deposit by spontaneous activity (Fig. 4). This causes significant damage to the environment. This riparian slope needs artificial restoration in the form of a riparian dike (embankment) for protection, primarily to prevent siltation of the riverbed and from the harmful effects of toxic chemicals used on adjacent agricultural lands, which have already been transferred to private ownership.

The complex geomorphological structure of the area and the presence of heterogeneous forms of the relief character determine a rather colorful vegetation cover and a variety of settlements. Their groupings quite sensitively indicate a change in living conditions. Currently, among the dominant biotopes, whose codes and names are given according to the National Biotope Catalog of Ukraine [Kuzemko et al., 2018], the following are presented:

- B4.1.2 Coastal grassy thickets along watercourses
- Д1.2.3 Eastern European mesophilic eutrophic broad-leaved forests of the forest-steppe and steppe zones
- T2.2.1 Mesophytic meadows of pasture use (plain pastures)
- Ч8 Psammophytic shrub communities
- Ч4.1 Mesophilic and xeromesophilic shrubs
- C1.1.1 Biotopes of annual xerophytic cereals on roadsides and abandoned lands
- C1.1.2 Biotopes of ruderal juveniles on poor soils
- C1.2.1 Ruderal biotopes of perennial grasses on poor soils
- C1.2.2 Ruderal biotopes of perennial grasses of the nitrophilous type
- C1.2.3 Biotopes of thermophilic perennial grasses
- C1.2.4 Trampled places
- C3.5 Anthropogenic outcrops and dumps without vegetation.

Almost half of the territory consists of ruderal biotopes (C1.1.1, C1.2.1 and C1.1.2), where the total projective coverage of spontaneous vegetation ranges from 20 to 75%. Biotopes adjacent to them are C3.5 (Anthropogenic outcrops and dumps without vegetation) and C1.2.4 (Trampled places). They mainly represent the eastern and southern slopes-walls in the central part of the territory designed for mining activities. This territory is represented by quarries of spontaneously organized activity.

The inverted slope of the northern part of the ter-

ritory adjacent to the floodplain of the Nemi River and the northwestern sections of the same neighborhood are represented by several biotopes (D1.2.3 Eastern European mesophilic eutrophic broad-leaved forests of the forest-steppe and steppe zones, Ч8 Psammophytic shrub communities, Ч4.1 Mesophilic and xeromesophilic shrubs). It forms dense thickets consisting of blackthorn *Prunus spinosa* (L.), common hawthorn *Crataegus monogyna* (Jacq.) and dog rose *Rosa canina* (L.). Between them there are companions: field maple *Acer campestre* (L.), ash-leaved maple *Acer negundo* (L.), European wild pear *Pyrus communis* subsp. *Pyráster* (L.), Crab Apple *Malus sylvestris* (Mil.). Including the shrub in the composition: black locust *Robinia pseudoacacia* (L.), oleaster *Elaeagnus angustifolia* (L.), elderberry *Sambucus nigra* (L.). Shrubs alternate in links (25% companion, 75% shrubs). European dewberry *Rubus caesius* (L.) and common dogwood *Cornus sanguinea* (L.) bushes are occasionally added. Closer to the water, goat willow *Salix caprea* (L.) and grey willow *Salix cinerea* (L.), white poplar *Populus alba* and black poplar *Populus nigra* (L.), less often groups of common alder *Alnus glutinosa* (L.) are added.

Biotope B4.1.2 (Coastal grass and herbaceous thickets along watercourses) stretches along the channel part of the Nemiya River in a strip-fragmentary manner.

Biotopes of perennial grasses (C1.2.3) and mesophytic meadows of pasture use (T2.2.1) occupy relatively small areas of the central parts of the territory of the planned activity. The main edificers are: common meadow-grass *Poa pratensis* (L.), common couch *Elytrigia repens* (L.), cock's-foot *Dactylis glomerata* (L.), foxtail millet *Setaria italica* (L.), tufted hairgrass *Deschampsia cespitosa* (L.) and others.

Despite the mosaic nature of the microforms of the relief, the vegetation cover of the studied area is relatively poor in terms of structure and species composition. Despite this, one of its characteristic features is the combination of different types of vegetation (petrophytic, steppe, forest and shrub). To some extent, this determines their differentiation according to ecological conditions and reflects different stages of secondary succession (from weedy, grass-herbaceous, herbaceous stages to tree-herbaceous stages). The formation of forest vegetation is also observed, which in the final stages of formation approaches natural phytocenoses in terms of systematic structure.

The structure is dominated by segetal and ruderal coenoelements of synanthropic vegetation. There are also invasive species. Synanthropization of flora is one of the manifestations of its transformation. The presence of a synanthropic element in the flora of a specific territory most objectively characterizes the level of its anthropic transformation. The transition of natural species into the category of synanthropic



Fig. 2. "Walls" tracts of the Nemia Valley after long-term arbitrary development of sandstones



Fig. 3. Steppe grasses and shrubs on the unplowed slopes of the right bank of Nemia



Fig. 4. Bottom pit landscape at the site of the coastal protection zone of the Nemia River

species and the penetration of adventive species, increasing their participation in the formation of vegetation, initiate and deepen such a transformation. The flora of a certain territory will be all the more changed, the fewer analogues of such flora exist in nature in terms of species composition and participation of species in the formation of phytocenoses [Volodymyrets, 2003].

The territory of the quarry of the Ozarynetsk-Nemia sandstone deposit is characterized by a low projective cover, and the majority of it is completely devoid of vegetation. Mining has been carried out here since 1962. The current quarry and dump landscape is located at a distance of 0.3 km from the tract "Ozarynetska Gora" on the left bank of the Nemia River. The main part of the mining and industrial landscape is represented by biotope C3.5 - Anthropogenic outcrops and dumps without vegetation. Low flooded tracts form biotope C4 (Distinctly unnatural water bodies and related structures (flooded part of the quarry)).

Amphibians Amphibia and reptiles Reptilia are traditionally the species-poorest classes of chordates in the Podil region [Matviychuk et al., 2015; Reminny, Matviychuk, 2018]. Naturally, their composition is poor, both within the mining and industrial landscape and in the territory of artisanal developments. Thus, the amphibian fauna is represented by only two species: European Toad *Bufo bufo* (Linnaeus, 1758) (Bufonidae, Anura) and Eastern Tree Frog *Hyla orientalis* Bedriaga, 1890 (Hylidae, Anura). The number of each of the named species does not exceed 10 individuals. The poverty of the species composition is determined by: the lack of water bodies suitable for spawning, near the object, its anthropogenic origin, the nature of the substratum, the type of soil and its fractions.

The species structure of the object's herpetofauna is even poorer, represented by only 1 species - Sand Lizard *Lacerta agilis chersonensis* Andrzejowski, 1832 (Lacertidae, Squamata). The estimated number of *Lacerta agilis chersonensis* in the studied area ranges from 30-50 individuals.

The avifauna of the studied object is formed by 49 species of birds, which are taxonomically represented by 41 genera, united into 24 families and 9 orders (Table 1). The share of such ornithological community in the avifauna structure of Vinnytsia region is only 20.4% [Matviychuk et al., 2017], Ukraine – 11.8% [Fesenko, 2002], Europe – 6.8% [Svensson et al., 1999]. Unlike representatives of the classes Amphibia and Reptilia, birds show a much greater variety of types of ties to the territory. These types of connections with the territory are caused by seasonal changes in its parameters: the amount and structure of feed, the availability of convenient stations for staying, seasonal characteristics of the behavior of

each species, etc. In general, taking into account the status of stay, career birds can be divided into 4 main categories: settled, wintering, flying, nesting and migratory (table, fig. 5).

It should be noted that not all resident and nesting and migratory species, whose presence was detected during the surveys, nest directly within the station.

The most closely associated with the territory are sedentary birds, which nest within its boundaries every year, and in the non-reproductive period carry out trophic migrations right there, without flying away to short distances. In 2021-2022, nesting of 4 resident species was noted directly within the current quarry and on the territory where it is planned to expand its area (Table 1, Fig. 6): blackbird (2 pairs), tree sparrow (3 pairs), goldfinch (1 pair) and yellowhammer (1-2 pairs). Their share in the structure of the studied bird group is only 8.2% (Fig. 6).

In search of food, 16 species (32.7%) of birds periodically invade the boundaries of the natural-anthropogenic and man-made valley-river landscape of Nemia. These bird species are resident in the region, but nest in biotopes adjacent to the quarry (Table 1, Fig. 5). These are: goshawk, sparrowhawk, pheasant, long-eared owl, gray-headed woodpecker, great spotted woodpecker, jay, magpie, raven, wren, fieldfare, blue tit, great tit, nuthatch, greenfinch and linnet. Almost all of the named species are obligate dendrophils and settle in the shrub-tree thickets of the Nemia River canyon and coniferous and mixed forests on its left bank, downstream from the village Ozaryntsi.

Representatives of nesting and migratory birds increase the species diversity of the object. The species that make up this group nest within the Podilsk region, but carry out regular seasonal spring/autumn migrations, respectively from/to permanent wintering sites. From this group of birds, 9 species, or 18.3% of the entire avifauna, nest directly within the studied territory of the Nemia river valley landscape (Fig. 5): bee-eater (4-5 pairs), skylark (1 pair), yellow wagtail (2 pairs), Red-backed Shrike (1 pair), starling (2 pairs), garden warbler (1 pair), whinchat (1 pair), chaffinch (1 pair) and corn bunting (1 pair). Like resident birds, 17 species of nesting and migratory birds of Podillia visit the studied area only in search of food. Their share in the structure of the avifauna of the object is 34.7% (Fig. 6): white stork, buzzard, woodpigeon, turtle dove, cuckoo, hoopoe, wryneck, swallow, house martin, pied wagtail, golden oriole, icterine warbler, blackcap, chiffchaff, robin, thrush nightingale and song thrush (Table 1).

During seasonal migrations, only one species (2%) of migratory birds was found, which does not nest on the territory of Podillia, but occurs here exclusively in flight, the hen harrier [Matviychuk et al., 2015]. Note that for this species of harriers, cases of wintering within the region are also known [Matvi-

Ecological groups of birds in the vicinity of the village Ozarintsi - Nemia

№	Species	Nature of the stay	Nesting place
1.	White Stork <i>Ciconia ciconia</i> (Linnaeus, 1758)	n, t*	
2.	Hen Harrier <i>Circus cyaneus</i> (Linnaeus, 1766)	t	
3.	Goshawk <i>Accipiter gentilis</i> (Linnaeus, 1758)	s*	
4.	Sparrowhawk <i>Accipiter nisus</i> (Linnaeus, 1758)	s*	
5.	Rough-legged Buzzard <i>Buteo lagopus</i> (Pontopiddan, 1763)	h	
6.	Buzzard <i>Buteo buteo</i> (Linnaeus, 1758)	n, t*	
7.	Pheasant <i>Phasianus colchicus</i> Linnaeus, 1758	s*	
8.	Woodpigeon <i>Columba palumbus</i> Linnaeus, 1758	n, t*	
9.	Turtle Dove <i>Streptopelia turtur</i> (Linnaeus, 1758)	n, t*	
10.	Cuckoo <i>Cuculus canorus</i> Linnaeus, 1758	n, t*	
11.	Long-eared Owl <i>Asio otus</i> (Linnaeus, 1758)	s*	
12.	Bee-eater <i>Merops apiaster</i> Linnaeus, 1758	n, t	B
13.	Hoopoe <i>Upupa epops</i> Linnaeus, 1758	n, t*	
14.	Wryneck <i>Jynx torquilla</i> Linnaeus, 1758	n, t*	
15.	Grey-headed Woodpecker <i>Picus canus</i> Gmelin, 1788	s*	
16.	Great Spotted Woodpecker <i>Dendrocopos major</i> (Linnaeus, 1758)	s*	
17.	Swallow <i>Hirundo rustica</i> Linnaeus, 1758	n, t*	
18.	House Martin <i>Delichon urbica</i> (Linnaeus, 1758)	n, t*	
19.	Skylark <i>Alauda arvensis</i> (Linnaeus, 1758)	n, t	GN
20.	Yellow Wagtail <i>Motacilla flava</i> Linnaeus, 1758	n, t	GN
21.	Pied Wagtail <i>Motacilla alba</i> Linnaeus, 1758	n, t*	
22.	Red-backed Shrike <i>Lanius collurio</i> Linnaeus, 1758	n, t	TN
23.	Golden Oriole <i>Oriolus oriolus</i> (Linnaeus, 1758)	n, t*	
24.	Starling <i>Sturnus vulgaris</i> Linnaeus, 1758	n, t	CN
25.	Jay <i>Garrulus glandarius</i> (Linnaeus, 1758)	s*	
26.	Magpie <i>Pica pica</i> (Linnaeus, 1758)	s*	
27.	Raven <i>Corvus corax</i> Linnaeus, 1758	s*	
28.	Wren <i>Troglodytes troglodytes</i> (Linnaeus, 1758)	s*	
29.	Icterine Warbler <i>Hippolais icterina</i> (Vieillot, 1817)	n, t*	
30.	Garden Warbler <i>Sylvia borin</i> (Boddaert, 1783)	n, t	TN
31.	Blackcap <i>Sylvia atricapilla</i> (Linnaeus, 1758)	n, t*	
32.	Chiffchaff <i>Phylloscopus collybita</i> (Vieillot, 1817)	n, t*	
33.	Whinchat <i>Saxicola rubetra</i> (Linnaeus, 1758)	n, t	GN
34.	Robin <i>Erithacus rubecula</i> (Linnaeus, 1758)	n, t*	
35.	Thrush Nightingale <i>Luscinia luscinia</i> (Linnaeus, 1758)	n, t*	
36.	Fieldfare <i>Turdus pilaris</i> Linnaeus, 1758	s*	
37.	Blackbird <i>Turdus merula</i> Linnaeus, 1758	s	TN
38.	Song Thrush <i>Turdus philomelos</i> C.L.Brehm, 1831	n, t*	
39.	Blue Tit <i>Parus caeruleus</i> Linnaeus, 1758	s*	
40.	Great Tit <i>Parus major</i> Linnaeus, 1758	s*	
41.	Nuthatch <i>Sitta europaea</i> Linnaeus, 1758	s*	
42.	Tree Sparrow <i>Passer montanus</i> (Linnaeus, 1758)	s	CN
43.	Chaffinch <i>Fringilla coelebs</i> Linnaeus, 1758	n, t	TN
44.	Greenfinch <i>Chloris chloris</i> (Linnaeus, 1758)	s*	
45.	Siskin <i>Spinus spinus</i> (Linnaeus, 1758)	h	
46.	Goldfinch <i>Carduelis carduelis</i> (Linnaeus, 1758)	s	TN
47.	Linnet <i>Acanthis cannabina</i> (Linnaeus, 1758)	s*	
48.	Corn Bunting <i>Emberiza calandra</i> (Linnaeus, 1758)	n, t	GN
49.	Yellowhammer <i>Emberiza citrinella</i> Linnaeus, 1758	s	GN

Notes: s – Sedentary birds, s\* – Sedentary in neighboring habitats, n, t – Breeding and migratory, n, t\* – Breeding in neighboring habitats, h – Wintering, t – Migratory birds; B – Burrowing birds, GN – Ground nesting birds, TN – Tree nesting birds, CN – Cavity nesting birds.



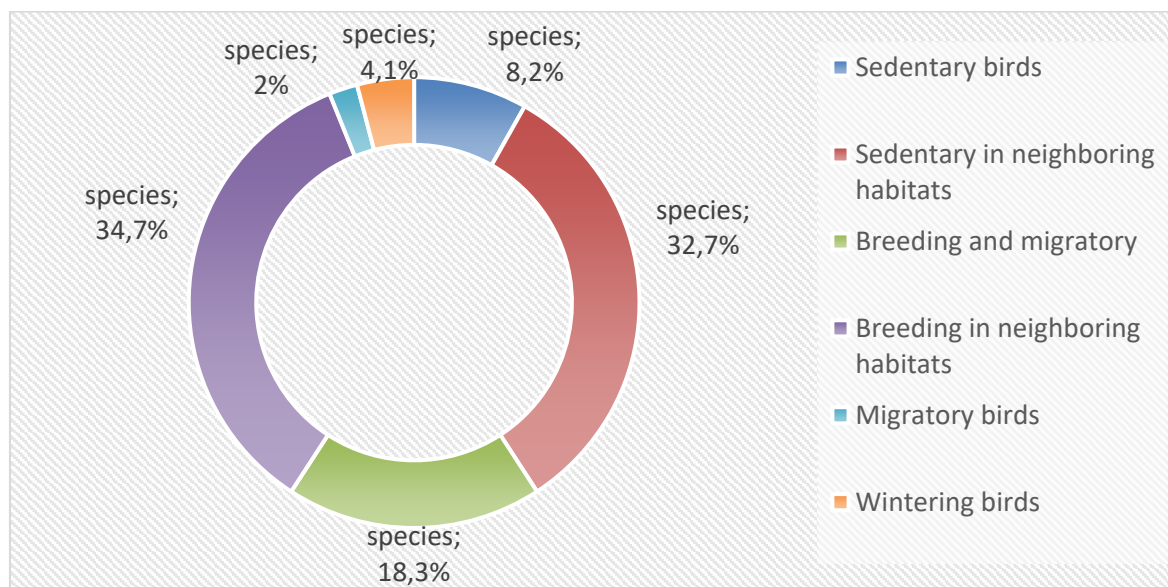


Fig. 5. Ornithofauna of the studied area by the nature of the stay

ychuk et al., 2017]. On 04/21/2022, only one individual of the hen harrier was noted on the territory of the object.

Finally, representatives of 2 species (4.1%) of birds were noted in the bird population structure of the lower part of the Nemia River valley (Fig. 6), which occur in Vinnytsia only in the winter period, regularly migrating here from the nesting parts of their habitats. This is, in particular, the rough-legged buzzard і siskin.. it should be noted that the winter invasions of the rough-legged buzzard within the boundaries of the studied biotope are sporadic and do not occur every year. In contrast to it, winterings of chaffinches are annual. However, in a trophic and topical sense, these birds are associated with a plantation of common alder *Alnus glutinosa* (L.) Gaerth., which grows not directly within the quarry, but in the adjacent canyon of the Nemia River.

Thus, only 13 species of birds demonstrate a permanent connection between the man-made territory (quarry) and the natural-anthropogenic one, on which it is planned to expand its area. Given the specifics of orographic and microclimatic conditions, the nature of vegetation and the species structure of mammalian predators, the nesting avifauna is represented by 4 ecological groups. Naturally, the safest strategy for the location of nests is to arrange them in the crowns and hollows of trees, burrows, etc. Therefore, almost half of the career nesting birds (5 species, 38.5%) are crown-nesting (Table 1, Fig. 6), i.e. they make their nests on side branches or near the main trunk of trees and shrubs. These are, in particular, the red-backed shrike, garden warbler, blackbird, chaffinch і goldfinch.

Two more species (15.4%) of quarry nesting birds (Fig. 6), which make their nests in tree hollows, are closely related to tree vegetation: starling and tree sparrow (Table 1).

Burrows formed in the upper, clayey layer of sedimentary rocks in the western wall of the quarry are used for nesting by common bee-eaters. They are typical, but unique within the studied station, representatives of the ecological group of horn-nesting birds (Table 1, Fig. 6).

About a third (5 species, 38.5%) of the nesting birds of the valley of the lower reaches of the Nemia River are ground-nesting. They arrange their nests in the irregularities of the microrelief of the soil, hiding them at the base of the trunks of trees and shrubs, mounds of grassy plants, etc. These are mainly obligate campophiles: skylark, yellow wagtail, whinchat, corn bunting і yellowhammer (Table 1, Fig. 6).

The peculiarities of the biology of each species determine the spectrum of needs and requirements for the territory during a specific seasonal period. Therefore, the species diversity of the avifauna of the studied object varies significantly in different seasons of the year (Table 2). The greatest species diversity of birds was observed during the period of spring migrations (47 species). In addition to the nesting avifauna, a flying individual of the hen harrier was also noted within the biotope.

The avifauna of tracts changed by artisanal extraction of mountain layers during the reproductive period is one species poorer (46 species). At this time, nesting birds occur directly on its territory and in nearby stations. At this time, the presence of 2 wintering and 1 flying species was not detected.

The early departure of such species as the icterine warbler, garden warbler and whinchat reduce the species diversity of birds to 44 species compared to the reproductive season during the period of autumn migrations.

Reasonably, 22 species of winter avifauna are characterized by the poorest composition. At this

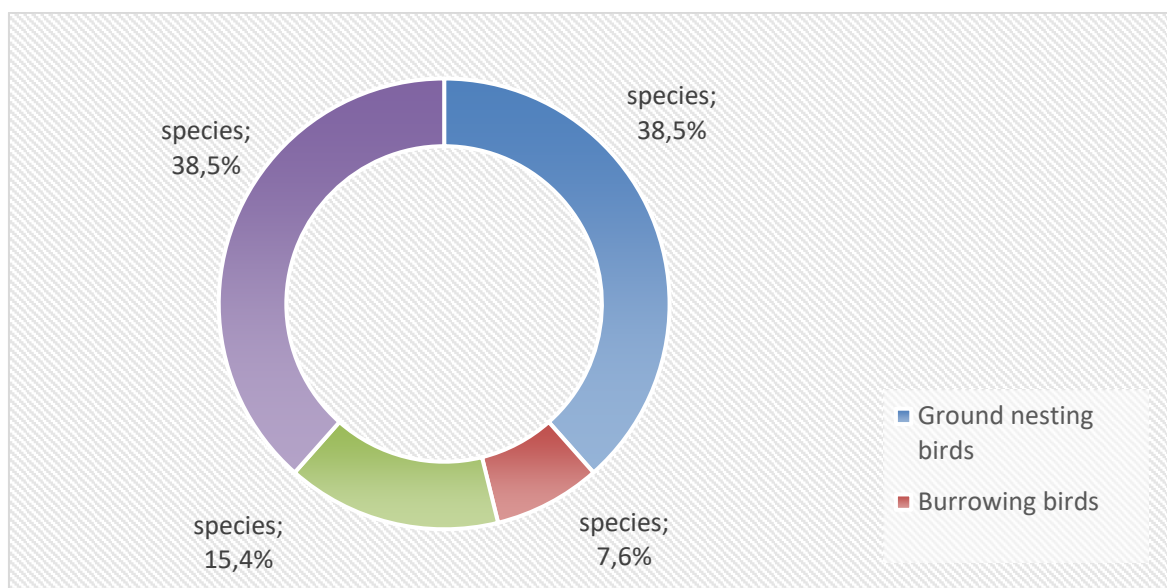


Fig. 6. Categories of breeding birds of the studied area by nesting place

Table 2

Seasonal structure of the avifauna of the studied area

№	Species	Season			
		winter	spring migration	breeding	autumn migration
1.	White Stork <i>Ciconia ciconia</i>				
2.	Hen Harrier <i>Circus cyaneus</i>				
3.	Goshawk <i>Accipiter gentilis</i>				
4.	Sparrowhawk <i>Accipiter nisus</i>				
5.	Rough-legged Buzzard <i>Buteo lagopus</i>				
6.	Buzzard <i>Buteo buteo</i>				
7.	Pheasant <i>Phasianus colchicus</i>				
8.	Woodpigeon <i>Columba palumbus</i>				
9.	Turtle Dove <i>Streptopelia turtur</i>				
10.	Cuckoo <i>Cuculus canorus</i>				
11.	Long-eared Owl <i>Asio otus</i>				
12.	Bee-eater <i>Merops apiaster</i>				
13.	Hoopoe <i>Upupa epops</i>				
14.	Wryneck <i>Jynx torquilla</i>				
15.	Grey-headed Woodpecker <i>Picus canus</i>				
16.	Great Spotted Woodpecker <i>Dendrocopos major</i>				
17.	Swallow <i>Hirundo rustica</i>				
18.	House Martin <i>Delichon urbica</i>				
19.	Skylark <i>Alauda arvensis</i>				
20.	Yellow Wagtail <i>Motacilla flava</i>				
21.	Pied Wagtail <i>Motacilla alba</i>				
22.	Red-backed Shrike <i>Lanius collurio</i>				
23.	Golden Oriole <i>Oriolus oriolus</i>				
24.	Starling <i>Sturnus vulgaris</i>				
25.	Jay <i>Garrulus glandarius</i>				
26.	Magpie <i>Pica pica</i>				
27.	Raven <i>Corvus corax</i>				
28.	Wren <i>Troglodytes troglodytes</i>				
29.	Icterine Warbler <i>Hippolais icterina</i>				
30.	Garden Warbler <i>Sylvia borin</i>				
31.	Blackcap <i>Sylvia atricapilla</i>				

32.	Chiffchaff <i>Phylloscopus collybita</i>				
33.	Whinchat <i>Saxicola rubetra</i>				
34.	Robin <i>Erithacus rubecula</i>				
35.	Thrush Nightingale <i>Luscinia luscinia</i>				
36.	Fieldfare <i>Turdus pilaris</i>				
37.	Blackbird <i>Turdus merula</i>				
38.	Song Thrush <i>Turdus philomelos</i>				
39.	Blue Tit <i>Parus caeruleus</i>				
40.	Great Tit <i>Parus major</i>				
41.	Nuthatch <i>Sitta europaea</i>				
42.	Tree Sparrow <i>Passer montanus</i>				
43.	Chaffinch <i>Fringilla coelebs</i>				
44.	Greenfinch <i>Chloris chloris</i>				
45.	Siskin <i>Spinus spinus</i>				
46.	Goldfinch <i>Carduelis carduelis</i>				
47.	Linnet <i>Acanthis cannabina</i>				
48.	Corn Bunting <i>Emberiza calandra</i>				
49.	Yellowhammer <i>Emberiza citrinella</i>				
	Summary	22	47	46	44

time, it is formed only by sedentary and wintering species (Table 2).

Mammalia fauna is represented by 10 native species, which are grouped into 10 genera, 8 families,

and 5 orders, which is only 13.5% of the theriofauna of the Vinnytsia region [Matviychuk et al., 2015].

In the taxonomic sense, the mammal fauna of the studied area has the following structure:

- Order Lagomorpha Brandt, 1855
  - Family Leporidae Fischer, 1817
    - Genus *Lepus* Linnaeus, 1758
 European Hare *Lepus europaeus* Pallas, 1778
- Order Rodentia Bowdich, 1821
  - Family Muridae Illiger, 1811
    - Genus *Apodemus* Kaup, 1829
 Striped Field Mouse *Apodemus agrarius* (Pallas, 1771)
  - Genus *Sylvaemus* Ognev, 1924
 Wood Mouse *Sylvaemus sylvaticus* (Linnaeus, 1758)
  - Family Cricetidae J. Fischer, 1817
    - Genus *Clethrionomys* Tilesius, 1850
 Bank Vole *Clethrionomys glareolus* (Schreber, 1780)
  - Genus *Microtus* Schrank, 1798
 Common Vole *Microtus arvalis* (Pallas, 1778)
- Order Eulipotyphla Waddell et al., 1999
  - Family Erinaceidae Fischer, 1814
    - Genus *Erinaceus* Linnaeus, 1758
 Northern White-Breasted Hedgehog *Erinaceus roumanicus* Barrett-Hamilton, 1900
  - Family Talpidae Fischer, 1814
    - Genus *Talpa* Linnaeus, 1758
 European Mole *Talpa europaea* Linnaeus, 1758
  - Family Soricidae Fischer, 1814
    - Genus *Sorex* Linnaeus, 1758
 Common Shrew *Sorex araneus* Linnaeus, 1758
- Order Carnivora Bowdich, 1821
  - Family Canidae Fischer, 1817
    - Genus *Vulpes* Frisch, 1775
 Red Fox *Vulpes vulpes* (Linnaeus, 1758)
  - Order Artiodactyla Owen, 1848
    - Family Cervidae Goldfuss, 1820
      - Genus *Capreolus* Gray, 1821
 Roe Deer *Capreolus capreolus* (Linnaeus, 1758)

Similar to birds, mammals exhibit different patterns of territorial attachment. For example, certain species of Muridae and Arvicolidae (Muriformes) and Soricidae (Soriciformes) lead a sedentary lifestyle directly within the object: striped field mouse, wood mouse, bank vole, common vole, common shrew. Most of the mentioned species are included in the diet of the red fox, which carries out regular trophic invasions within the limits of the biotope.

The valley-river area is also used for hunting by: european hare, northern white-breasted hedgehog, european mole, roe deer.

In the future, as a result of the implementation of the project, located nearby on the left bank of the Nemia River, the Ozarynetsk-Nemia sandstone deposit, the attractiveness of the lower reaches of the Nemia as a favorable habitat for animals, in particular avifauna, may increase significantly. After working out the balance reserves of the mineral, the produced pit space will be a terraced mine. In accordance with the Code of Ukraine "On Subsoil", mining enterprises must carry out reclamation of lands disturbed by mining operations. And in this way, bring these lands into a state that allows these lands to be used in the interests of the national economy and returned to the previous land user. The developers plan to carry out reclamation of the bottom of the quarry under the reservoir with an area of more than 10 hectares. The above-water part of the sides of the quarry (length up to 800 m, width up to 200 m) and other disturbed lands will undergo transformation. They are designed for afforestation and planting with tree-shrub and herbaceous species typical for Transnistria. This step seems logical in order to fulfill the function of a buffer zone, for the steppe and forestry landscapes of the steep slopes of the tract of Ozarynetsk Gora, as promising for inclusion in the list of preserved territories.

At the same time, as practice shows [Hudzevich, 2012; Baczynska et al., 2017; Hudzevich et al., 2020; Stephan, Hubbart, 2023], technical solutions should not be applied to areas (primarily artisanal development) that are already experiencing successional processes. This is explained by the fact that self-development disturbed by mining operations creates a mosaic of landscape biota (herbaceous, shrubby and woody cover). At the same time, it contributes to the maintenance of both rare species of animals, in particular bird fauna [Šálek, 2012] and the restoration of species diversity.

**Conclusions.** The territory of the lower reaches of the Nemia River is generally a realistic reflection of the consequences of age-old nature management

carried out in the conditions of the southern part of the Transnistrian-Eastern-Podilskyi physical-geographical region. Its most valuable areas need protection and are already considered as priorities at the national and international levels.

The main problem of their functioning is the possible industrial development of the mountain layers of the slopes of the Nemia river valley by open and underground methods. Extraction of mining mass (sandstones, etc.), like any open-pit mining activity, leads to the formation of a quarry-dump type of landscape and exerts a local influence on the flora and fauna of adjacent territories (Ozarynetsk-Nemia sandstone deposit). Even after many tens of years after the artisanal extraction of sandstones, in connection with the degradation of natural biocenoses, taxonomic poverty of the flora (most species are synanthropic and invasive) and terrestrial tetrapod fauna is observed. Among other things, there is a decrease in the productivity of plant, mainly cereal groups, due to the transition of dominance to early maturing, less productive forms, which leads to a simplification of their structure.

At the same time, the predominance of spontaneous vegetation can be considered as a transitional stage to the steppe and forest communities typical for the region. Actually, the taxonomic structure of populations of chordate animals of classes Amphibia, Reptilia, Aves and Mammalia is formed by background species typical for the region. The fauna of the natural and anthropogenic territory is formed mainly by animals that carry out daily or seasonal invasions from nearby biotopes. The existence of 20 species, or 32.3% of the recorded representatives of chordates, is directly related to biota disturbed by mining in the past. The species diversity of avifauna, which represents its four main categories: resident, nesting and migratory, wintering and flying, varies significantly in different seasons of the year.

The restoration of quantitative and qualitative parameters of phytocenoses, as well as populations of terrestrial chordates, within the limits of open development of the Ozarynetsk-Nemii sandstone deposit is not considered possible only as a result of successional processes. Because this requires the implementation of a number of complex remediation measures.

In order to form the priorities of environmental protection activities in Transnistria, it is already necessary to cover as wide as possible special field studies, primarily the environmental protection areas of the Emerald network and wetlands.

#### **Bibliography**

1. Andrienko T. L. *Official lists of regional rare plants of administrative territories of Ukraine (reference book)* / T. L. Andrienko, M.M. Peregrym. – Kyiv: Alterpress, 2012. – 148 p.

2. Baczynska E. Research on the landscape attractiveness of selected abandoned quarries / E. Baczynska, W. Marek, U. Kazmierczak // *International Journal of Mining, Reclamation, and Environment*, 2017. – 32 (22). – P. 1-19. DOI: <https://doi.org/10.1080/17480930.2017.1386756>
3. Чопик В. І. Каталог видів флори України, занесених до Бернської Конвенції про охорону дикої флори і фауни та природних середовищ існування в Європі / В. І. Чопик. – Київ: Фітосоціоцентр, 1999. – 52 с.
4. Clifford N. *Key methods in Geography*. 2nd ed / N. Clifford, S. French, G. Valentine. Sage, 2010. – 568 p.
5. Давибида Л.І. Геостатистичний аналіз і оптимізація державної мережі гідрогеологічного моніторингу в межах басейну Прип'яті (Україна) / Л.І. Давибида, М.М. Тимків // *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*, 2020. – Вип. 52. – С. 122-131. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-52-03>
6. Денисик Г. І. Водні антропогенні ландшафти Поділля : [монографія] / Г. І. Денисик, Г.С. Хасцький, Л. І. Стефанков. – Вінниця : ПП «Видавництво «Теза», 2007. – 216 с.
7. Опис і карта ВБУ «Лядова-Мурафа» на сайті секретаріату Рамсарської конвенції. Отримано з <https://rsis Ramsar.org/ris/2387>
8. Дідух Я. П. Основи біоіндикації / Я. П. Дідух. – Київ: Наук. думка, 2012. – 344 с.
9. Дідух Я.П. Біотопи лісової та лісостепової зон України / Я. П. Дідух, Т.В. Фіцайло, І. А. Коротченко та ін. – Київ: Тов. «Макрос», 2011. – 288 с.
10. Дідух Я. П. Геоботанічне районування України та суміжних територій/ Я. П. Дідух, Ю.Р. Шеляг-Сосонко // *Український ботанічний журнал*. – 2003. – 60 (1). – С. 6-17.
11. Фесенко Г.В. Птахи фауни України (польовий визначник) / Г.В. Фесенко, А.А. Бокотей. – Київ, 2002. – 416 с.
12. Горбняк Л.Т. Особливості охорони і збереження *Pulsatilla grandis* Wender. (*Ranunculaceae*) в Україні/ Л.Т. Горбняк // *Чорноморський ботанічний журнал*, 2013. – 9 (3). – С. 442-450.
13. Гудзевич А.В. Особливості розвитку мікроосередкових процесів долинно-річкового ландшафту в умовах урбосередовища (на прикладі р. Русави) / А.В. Гудзевич, Р.О. Демець // *Наукові записки ВДПУ. – Серія: Географія*. – Вип. 30. – №3-4. – 2018. – С.45-51.
14. Гудзевич А.В. Природно-заповідна Вінниччина / А.В. Гудзевич. – Вінниця: ТОВ “Консоль”, 2002. –128 с.
15. Гудзевич А.В. Просторово-часова організація сучасних ландшафтів: теорія і практика/ А.В. Гудзевич. – Вінниця: Віндрук, 2012. – 232 с.
16. Hudzevich A.V. et al. Geoeological approach to organization of naturalized anthropogenically-modified territory/ A.V. Hudzevich, L.O. Nikitchenko, N.V. Baiurko, L. S.Hudzevich, V. A. Frytsiuk, N. V. Levchuk // *Journal of Geology Geography and Geoecology*, 2020, 29 (3). – P. 520-529. DOI: <https://doi.org/10.15421/112047>
17. Hudzevych A. V., Nikitchenko L. O., Hudzevych L. S., Bronnikova L. F., Demets R.O. Approaches to organize the econetwork of the Transnistria region in the conditions of urban landscape / A.V. Hudzevich, L.O. Nikitchenko, L. S. Hudzevych, L. F. Bronnikova, R.O. Demets // *Journal of Geology Geography and Geoecology*, 2021. – 30 (3). – P. 449-459. DOI: <https://doi.org/10.15804/tner.2021.64.2.14>
18. Хільчевський В.К. Характеристика водних ресурсів України на основі бази даних глобальної інформаційної системи FAO Aquastat / В.К. Хільчевський // *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. –2021. – 1 (59). – С. 6-16.
19. Хільчевський В.К. Гідрохімічний словник / В.К. Хільчевський. – Київ: ДІА, 2022. – 208 с.
20. Хімко Р. В. Малі річки – дослідження охорона, відновлення / Р. В. Хімко, О. І. Мережко, Р. В. Бабко. – К.: Інститут екології. – 2003. – 378 с.
21. Ковальчук І. Дослідження еколого-географічних проблем малих річок Західної України / І. Ковальчук // *Історія української географії. Всеукраїнський наук.-теорет. часопис*. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2000. – Вип. 2. – С. 63-70.
22. Куземко А.А. Національний каталог біотопів України / А.А. Куземко, Я.П. Дідух, В.А. Онищенко, Я. Шеффер. – Київ: ФОП Клименко Ю.Я., 2018. – 442 с.
23. Lavryk O.D. Height differentiation of valley-river landscapes of the right-bank Ukraine / O.D. Lavryk, V.I. Korinnyi, L.M. Kyryliuk, V.V. Tymbaliuk // *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*, 2022. – Вип. 56. – С. 122-131. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-08>
24. Маринич О.М. Фізико-географічне районування. Карта. Національний атлас України / О.М. Маринич, Г.О. Пархоменко, В.М. Пащенко, О.М. Петренко, П.Г. Шищенко. – Київ: ДНВП “Картографія”, 2007. – С. 228-229.
25. Матвійчук О.А. Кадастр наземних тетрапод Вінницької області / О.А. Матвійчук, А.Б. Пірхал, В.Ю. Ремінний. – Вінниця, 2015. – 436 с.
26. Матвійчук О.А. Птахи Вінниччини / О.А. Матвійчук, А.Б. Пірхал, А.В. Відуецький. – Вінниця, 2017. – 328 с.
27. Мельничук В. Настанова з управління басейнами малих річок – приток річки Дністер: Методологічний посібник: Скорочена версія / В. Мельничук та Г. Проців. – Кишинів : Eco-TIRAS, 2020. – 14 с.
28. Мольчак Я.О. Еколого-економічні основи водокористування: навч. посібник / Я. О. Мольчак, В. О. Фесюк. – Луцьк : ЛДТУ, 2007. – 584 с.
29. Ремінний В.Ю. Природа Вінниччини. Земноводні та плазуни / В.Ю. Ремінний, О.А. Матвійчук. – Вінниця, 2018. –128 с.
30. Доповідь про стан навколишнього середовища у Вінницькій області в 2019 році. – Вінниця, 2020. Отримано з <http://www.vin.gov.ua/images/doc/vin/departament-apk/doc/OperMonitor/Dopov/Dop2019.pdf>

31. Руденко Л.Г. *Методологія і практика оцінювання території України для заповідання* / Л.Г. Руденко, О.Г. Голубцов, В.М. Чехній та ін. – Київ: Вид-во «Наукова думка» НАН України, 2020. – 248 с.
32. Šálek M. *Spontaneous succession on opencast mining sites: Implications for bird biodiversity* / M. Šálek // *Journal of Applied Ecology*, 2012. – 49. – P. 1417-1425. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02215.x>
33. Stephan K. *Plant Community, Soil and Microclimate Attributes after 70 Years of Natural Recovery of an Abandoned Limestone Quarry* / K. Stephan., J.A. Hubbart. – *Land*, 2023. – 12 (1). – P. 1-18. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12010117>
34. Svensson L. *The most complete field guide to the birds of Britain and Europe* / L. Svensson, K. Mullarney, D. Zettersrom, P.J. Grant. – Trento: Harper Collins Publishers, 1999. – 386 p.
35. Вишневецький В. І. *Річки і водойми України. Стан і використання* / В. І. Вишневецький. – К.: Віпол, 2000. – 376 с.
36. Володимирець В. О. *Антропогенна трансформація видового складу осушених територій у зв'язку з процесами її синантропізації: автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.05. Київ, 2003. – 20 с.*

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work

### References

1. Andrienko, T. L., Peregryn, M.M. (2012). *Official lists of regional rare plants of administrative territories of Ukraine (reference book)*. Kyiv, Alterpress, 148.
2. Baczynska, E., Marek, W., Kazmierczak, U. (2017). *Research on the landscape attractiveness of selected abandoned quarries*. *International Journal of Mining, Reclamation, and Environment*, 32 (22), 1-19. DOI: <https://doi.org/10.1080/17480930.2017.1386756>
3. Chopyk, V.I. (1999). *Catalog of species of flora of Ukraine included in the Berne Convention on the Protection of Wild Flora and Fauna and Natural Habitats in Europe*. Kyiv, Phytosocial Center, 52. [in Ukrainian]
4. Clifford, N., French, S., Valentine, G. (2010). *Key methods in Geography*. 2nd ed. Sage, 568.
5. Davybida, L.L., Tymkiv, M.M. (2020). *Geostatistical analysis and optimization of the state hydrogeological monitoring network within the Pripjat Basin (Ukraine)*. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 52, 122-131. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-52-03> [in Ukrainian]
6. Denisyk, H.I., Khayetskyi, H.S., Stefankov, L.I. (2007). *Water anthropogenic landscapes of Podillia: [monograph]*. Vinnytsia: PP "Teza Publishing House", 216. [in Ukrainian]
7. *Description and map of VBU "Lyadova-Murafa" on the website of the secretariat of the Ramsar Convention*. Available at: <https://rsis Ramsar.org/ris/2387> [in Ukrainian]
8. Didukh, Y. P. (2012). *Basics of bioindication*. Kyiv, *Nauk. opinion*, 344. [in Ukrainian]
9. Didukh, Y.P., Fitsailo, T.V., Korotchenko et al. (2011). *Biotopes of forest and forest-steppe zones of Ukraine*. Kyiv, *Tov. "Macros"*, 288. [in Ukrainian]
10. Didukh, Y.P., Shelyag-Sosonko, Y.R. (2003). *Geobotanical zoning of Ukraine and adjacent territories*. *Ukrainian botanical journal*, 60 (1), 6-17. [in Ukrainian]
11. Fesenko, G.V., Bokotey, A.A. (2002). *Birds of the fauna of Ukraine (field identifier)*. Kyiv, 416. [in Ukrainian]
12. Horbnyak, L.T. (2013). *Features of protection and preservation of Pulsatilla grandis Wender. (Ranunculaceae) in Ukraine*. *Black Sea Botanical Journal*, 9 (3), 442-450. [in Ukrainian]
13. Hudzevich, A.V., Demets, R.O. (2018). *Peculiarities of the development of micro-centred processes of the valley-river landscape in the conditions of the urban environment (on the example of the Rusava River)*. *Scientific papers of the VDPU. Series: Geography*, 30,3-4, 45-51. [in Ukrainian]
14. Hudzevich, A.V. (2002). *Vinnytsia Nature Reserve*. Vinnytsia: Konsol LLC, 128. [in Ukrainian]
15. Hudzevich, A.V. (2012). *Spatio-temporal organization of modern landscapes: theory and practice*. Vinnytsia: Vindruk, 232. [in Ukrainian]
16. Hudzevich, A. V., Nikitchenko, L. O., Baiurko, N. V., Hudzevich, L. S., Frytsiuk, V. A, Levchuk, N. V. (2020). *Geocological approach to organization of naturalized anthropogenically-modified territory*. *Journal of Geology Geography and Geoecology*, 29 (3), 520-529. DOI: <https://doi.org/10.15421/112047>
17. Hudzevych, A.V., Nikitchenko, L.O., Hudzevych, L.S., Bronnikova L.F., Demets R.O. (2021). *Approaches to organize the econetwork of the Transnistria region in the conditions of urban landscape*. *Journal of Geology Geography and Geoecology*, 30 (3), 449-459. DOI: <https://doi.org/10.15804/mer.2021.64.2.14>
18. Khilchevskiy, V.K. (2021). *Characteristics of water resources of Ukraine based on the database of the global information system FAO Aquastat*. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 1 (59), 6-16. [in Ukrainian]
19. Khilchevsky V.K. (2022) *Hydrochemical dictionary*. Kyiv, DIA, 2022, 208. [in Ukrainian]
20. Khimko, R.V., Merezko, O.I., Babko, R.V. (2003). *Small rivers-research, protection, restoration*. Kyiv, *Institute of Ecology*, 378. [in Ukrainian]
21. Kovalchuk, I. (2000). *Study of ecological and geographical problems of small rivers of Western Ukraine. History of Ukrainian geography. All-Ukrainian Science - Theory. magazine. Ternopil: Textbooks and manuals*, 2, 63-70.
22. Kuzemko, A.A., Didukh, Y.P., Onishchenko, V.A., Sheffer, Ya. (2018). *National catalogue of biotopes of Ukraine*. Kyiv, FOP Klymenko Yu.Ya., 442. [in Ukrainian]
23. Lavryk, O.D., Korinnyi, V.I., Kyryliuk, L.M., Tsymbaliuk, V.V. (2022). *Height differentiation of valley-river landscapes of the right-bank Ukraine*. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 56, 122-131. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-08>
24. Marynych, O.M., Parkhomenko, G.O., Pashchenko, V.M., Petrenko, O.M., Shishchenko, P.G. (2007). *Physico-geographical zoning. Map. National atlas of Ukraine*. Kyiv, DNVP "Cartography", 228-229. [in Ukrainian]

25. Matviychuk, O.A., Pirkhal, A.V., Reminny, V.Yu. (2015). *Cadastre of terrestrial tetrapods of the Vinnytsia region*. Vinnytsia, 436. [in Ukrainian]
26. Matviychuk, O.A., Pirkhal, A.V., Viduetskyi, A.V. (2017). *Birds of Vinnytsia*. Vinnytsia, 328. [in Ukrainian]
27. Melnychuk, V., Protsiv, H. (2020). *Guidelines for the management of small river basins - a tributary of the Dniester River: Methodological guide: Short version*. Chisinau: Eco-TIRAS, 14. [in Ukrainian]
28. Molchak, Y.O., Fesyuk, V.O. (2007). *Ecological and economic foundations of water use: teaching. manual*. Lutsk: LDTU, 584. [in Ukrainian]
29. Reminny, V.Yu., Matviychuk, O.A. (2018). *The nature of Vinnytsia. Amphibians and reptiles*. Vinnytsia, 128.
30. *Report on the state of the environment in the Vinnytsia region in 2019 (2020)*. Vinnytsia. Available at: <http://www.vin.gov.ua/images/doc/vin/departament-apk/doc/OperMonitor/Dopov/Dop2019.pdf> [in Ukrainian]
31. Rudenko, L.H., Golubtsov, O.H., Chehni, V.M. et al. (2020). *Methodology and practice of evaluating the territory of Ukraine for inheritance*. Kyiv, Scientific Opinion Publishing House, 248. [in Ukrainian]
32. Šálek, M. (2012). *Spontaneous succession on opencast mining sites: Implications for bird biodiversity*. *Journal of Applied Ecology*, 49, 1417-1425. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02215.x>
33. Stephan, K., Hubbart, J.A. (2023). *Plant Community, Soil and Microclimate Attributes after 70 Years of Natural Recovery of an Abandoned Limestone Quarry*. *Land*, 12, 1-18. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12010117>
34. Svensson, L., Mullarney, K., Zettersrom, D., Grant, P.J. (1999). *The most complete field guide to the birds of Britain and Europe*. Trento: Harper Collins Publishers, 386.
35. Vishnevskiy, V. I. (2000). *Rivers and reservoirs of Ukraine. Condition and use*. Kyiv, Vipol, 376. [in Ukrainian]
36. Volodymyrets, V.O. (2003). *Anthropogenic transformation of the species composition of drained territories in connection with the processes of its synanthropization: autoref. thesis ... candidate biological Sciences: 03.00.05*. Kyiv, 20. [in Ukrainian]

## Ризики деградації та перспективи збереження долинних та річкових ландшафтів Східноподільського Придністров'я (на прикладі річки Немії)

Анатолій Гудзевич <sup>1</sup>

д. геогр. н., професор, кафедра географії,

<sup>1</sup> Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, вул. Острозького, 32, Вінниця, 21001, Україна,

Олександр Матвійчук <sup>1</sup>

к. біол. н., доцент, завідувач кафедри біології;

Ганна Коробкова <sup>2</sup>

к. геогр. н., доцент кафедри садово-паркового господарства та екології

<sup>2</sup> Луганського національного університету імені Тараса Шевченка,

вул. Ковалюка, 3, Полтава, 36003, Україна,

Людмила Гудзевич <sup>1</sup>

к. біол. н., доцент, кафедра біології;

Ліна Броннікова <sup>3</sup>

ст. викладач кафедри землеробства, ґрунтознавства та агрохімії,

<sup>3</sup> Вінницький національний аграрний університет, вул. Сонячна, 3, Вінниця, 21008, Україна

Розглянуто проблему долинно-річкового ландшафту нижньої течії р. Немія Могилів-Подільсько-Ямпільського фізико-географічного району Придністровсько-Східно-Подільської фізико-географічної області. Представлене тут ландшафтне й біотичне різноманіття є наслідком вікового природокористування й характеризується різноманітним генезисом – натуральним, природно-антропогенним та антропогенним. Встановлені найцінніші його ділянки потребують охорони та уже розглядаються у якості пріоритетних, відповідно до вимог про охорону дикої флори та фауни і природних середовищ існування в Європі, на різних рівнях природоохоронної організації: регіональному, національному й міжнародному. Зокрема, відзначено важливість досліджуваної території як об'єкта особливого природоохоронного інтересу в силу її одночасного перебування в межах Смарагдової мережі (Емеральд) та в статусі водно-болотного угіддя міжнародного значення (Рамсарські угіддя) під однойменною назвою Liadova-Murafa. Серед загроз їх функціонування – перспективи промислового освоєння гірських верств, які складають схилі місцевості долинно-річкового ландшафту, передусім пісковиків, вапняків і трепелу відкритим та підземним способами, що за ступенем негативного впливу на довкілля є найнесприятливішим. Аналіз видової структури біоценозів схиліх місцевостей, порушених самовільними розробками пісковиків у долині р. Немії, вказує на таксономічну бідність і спрощення структури рослинних угруповань (більшість видів є синантропними та інвазійними) й фауни (за винятком орнітофауни, які демонструють значно більшу різноманітність типів зв'язків з територією) та підтверджує деструктивну роль гірничої діяльності. Отримані результати дослідження можуть стати основою для моніторингу динаміки, розвитку й еволюції ландшафтів задля формування пріоритетів природоохоронної діяльності Придністров'я.

**Ключові слова:** ландшафтне й біотичне різноманіття, долинно-річковий ландшафт, водно-болотні угіддя, природоохоронна територія.

## Ecological and hydrochemical analysis of the rivers Drevlianskyi nature reserve (Ukraine)

*Vasyl Konishchuk*<sup>1</sup>

DSc (Biological), Professor,

Head of the Department of Landscape Protection, Conservation of Biodiversity and Nature Preservation,

<sup>1</sup> Institute of Agroecology and Environmental Management NAAS of Ukraine,

12 Metrolohichna St., Kyiv, 03143, Ukraine,

e-mail: [konishchuk\\_vasyl@ukr.net](mailto:konishchuk_vasyl@ukr.net),  <https://orcid.org/0000-0003-4115-5642>;

*Inna Shumyhai*<sup>1</sup>

PhD (Agriculture), Senior Research

of the Department of Landscape Protection, Conservation of Biodiversity and Nature Preservation,

e-mail: [innashum27@gmail.com](mailto:innashum27@gmail.com),  <https://orcid.org/0000-0002-0432-2651>;

*Vasyl Martynenko*<sup>1,2</sup>

PhD (Student), Department of Landscape Protection, Conservation of Biodiversity and Nature Preservation;

Senior Research, Science Department, <sup>2</sup> Drevlianskyi Nature Reserve,

188 Zamkova St., v. Narodychi, 11401, Ukraine,

e-mail: [martynenko.vasil@ukr.net](mailto:martynenko.vasil@ukr.net),  <https://orcid.org/0000-0002-2526-6732>

### ABSTRACT

**Problem statement.** The quality of the surface water and ecological condition plays a big role in ecosystems, especially in the hydrochemical regime. The chemical composition and mineralization of river water are in a dynamic link and are formed under the influence of many external factors. Therefore, under the influence of the latter, there was a need to study the hydrochemical composition of the water reserve, which was an urgent issue of the work.

**The purpose of the research:** comprehensive ecological, hydro-chemical analysis of the state of the rivers of the «Drevlyanskyi» nature reserve for the optimization of environmental protection measures, monitoring, eco-safety and preservation of the biodiversity of hydrobionts.

**Research methodology.** Conducting research on water quality was based on classical, generally accepted methods: field research, literature review, laboratory research, analysis of the obtained results.

**Results.** According to research, it was established that within the nature reserve in the summer-autumn period, the water of the main Uzh River and its tributary is moderately fresh in terms of mineralization (0.1–0.6 g/dm<sup>3</sup>), neutral in pH, and has a hydrocarbon-calcium chemical composition. Insignificant waterlogging of landscapes determines the low content of ammonium nitrogen and dissolved iron in river water. The Zvizdal and Osliv rivers are exception where *eutrophication* is observed which causes high runoff of organic substances. It was also investigated that During the summer-autumn period of low water the water contained small amounts of microelements and heavy metals (with the exception of Fe, Mn) which don't exceed the established sanitary-hygienic maximum allowable concentrations. According to the classification proposed by O.O. Alekin all-natural waters are divided into three classes. According to the content of the main ions and the mineralization of the water, it was analyzed that the water bodies of the nature reserve belong to the *calcium hydrogen-carbonate*, class of type III. In the water bodies of the nature reserve Drevlianskyi there are water subtypes IIIa-IIIb. The last differ from each other by the presence of magnesium hydrogen carbonate Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> in IIIa and calcium sulfate CaSO<sub>4</sub> in IIIb.

**Scientific novelty.** For the first time, a comprehensive analysis of surface waters in radiation-contaminated territories was carried out under the conditions of complete bequest.

**Practical significance and research perspectives.** The practical value of the research materials lies in the further monitoring of hydroecosystems, the substantiation of environmental protection measures, and the results will be used in the annual "Chronicle of the Nature" program of the reserve for the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine.

**Keywords:** ecology; water ecosystems; hydrochemical regime; quality of water; nature reserve.

**In cites:** Konishchuk Vasyl, Shumyhai Inna, Martynenko Vasyl (2023). Ecological and hydrochemical analysis of the rivers Drevlianskyi nature reserve (Ukraine). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (58), 336-349. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-25>

**Formulation of the problem.** Ukraine has significant and various water resources which over a long period were subjected to large-scale intensive exploitation which led to their negative man-made changes at the regional level and a significant decrease in their assimilation potential. Hence, we have a deep ecological crisis on its territory, in particular in water ecosystems, which is associated with ex-

cessive anthropogenic load. So, in 2019 the last water bodies were characterized by a large amount of wastewater which reached 5374 million m<sup>3</sup> [1–3]. In addition, fragmentation of the natural framework occurs in most regions which sometimes leads to the loss of the quality of the biota. The main "barrier" to the loss of zonal biodiversity (from organisms to communities) is the network of protected areas. The



last are unique reserves of pristine nature which allow scientists of various fields to carry out research and study the objects of inanimate and living nature as a whole for its preservation. In general, natural links of nature reserve areas (NRA) are a kind of ecological niche where a complex of plants, animals and micro-organisms adapted to the conditions of existence of this area has already formed. They affect each other and the environment, besides they depend on rocks as a foundation and individual minerals that are part of the soil on which these compounds are found [4].

#### **Analysis of recent research and publication.**

A number of scientific studies have been devoted to the assessment of the quality of surface water from various points of view. A significant contribution to the methodology of complex integral assessment of the ecological state of river basins was made by Romanenko V.D., Zhukinsky V.M., Yatsyk A.V. [5].

And since the beginning of the 2000-s in Ukraine, the history of hydrochemical research has been reformatted taking into account the requirements of the Water Framework Directive of the European Union. Yes, V.K. Khilchevskiy, V.I. Osadchym and S.M. Kuryl [6] used the latest results of research on the chemical composition of water for various water bodies on the territory of Ukraine, applied the hydrochemical characteristics of river basin regions in accordance with the modern hydrographic zoning of Ukraine, which takes into account the requirements of the Water Framework Directive of the European Union.

Based on the results of long-term research by Linyk P.M. [7], the formation of organic matter in reservoirs at different stages of their formation was determined by the arrival of organic matter with river runoff, removal from bottom sediments, plant and animal remains, as well as by its production during the period of mass development of algae.

In addition, pollution of water resources and water evaluation are of interest to many scientists from other countries. Indian scientists, in particular Vinod Kumar, Anket Sharma, Renu Bhardwai, Ashwani Kumar Thukral [8] analyzed the water quality in the cities of Harike and Beas, which is somewhat higher during the pre-monsoon season, which is explained by the rapid degradation of organic matter in the Beas River during the summer season.

In the publications of authors from Eastern and Central European countries, the results of research on the physical and chemical analysis of water from rivers and ponds are given. Thus, in the work of Musliu M. [9], the content of some chemical compounds was monitored throughout the year at different times of the year. Hubacikova V. conducted similar studies in her article [10], where water samples were taken monthly throughout the year.

**Selection of previously unsolved parts of the general problem.** Therefore, the need to study the state of river waters under the influence of external and internal factors has become an extremely urgent issue. At the same time, it should be emphasized that the specified unidirectional changes in the physical and chemical composition of river waters occur against the background of periodic fluctuations in the water flow characteristic of each river.

**The purpose of the resear.** The purpose of the research is to find out the current ecological, physical and chemical state of the waters of the hydroecosystems of the Nature Reserve "Drevlyanskyi" with recommended further monitoring assessments, methodical, practical instructions of the directorate, the scientific department regarding the optimal development of hydrobionts, sustainable development of rivers and reservoirs.

**Material and methods.** Quite important is the study of the regularities of the connection between the degree of change in the mineral composition of river waters and water phases (spring flood and low-water periods). The transformation of the chemical composition should be evaluated in the following direction:

- 1) change in general quantitative characteristics (mineralization of water);
- 2) change at the qualitative level (contribution of each ion).

To assess changes in the ionic composition of V.K. Khilchevsky and S.M. Kurylo proposed a modernized classification of natural waters according to the chemical composition of O.O. Alekin where the transformation indicator is a change in classification features. Besides improvement doesn't affect the highest characteristic namely the class but concerns groups and types [11, 12].

The principles used to improve the classification of hydroecosystems of the reserve are as follows (Fig. 1).

First, for detail reflection changes chemical composition of water in group level by the predominant cation should add second cation when its content in recalculation for the amount of substance equivalent of more than 25% if the sums of equivalent anions and cations are taken as 100% (e.g.,  $C^{CaMg}$ ).

Second, for reflection quantitative changes class-forming anions in chemical composition of the natural water in all four types subtypes are distinguished according to the relative contribution of the class-forming anion.

This is illustrated by adding an alphanumeric subscript to the type symbol (Roman numeral). According to the contribution of the class-forming anion the first (I), the second (II) and the third (III) type of natural water are divided into three subtypes (a, b, c):

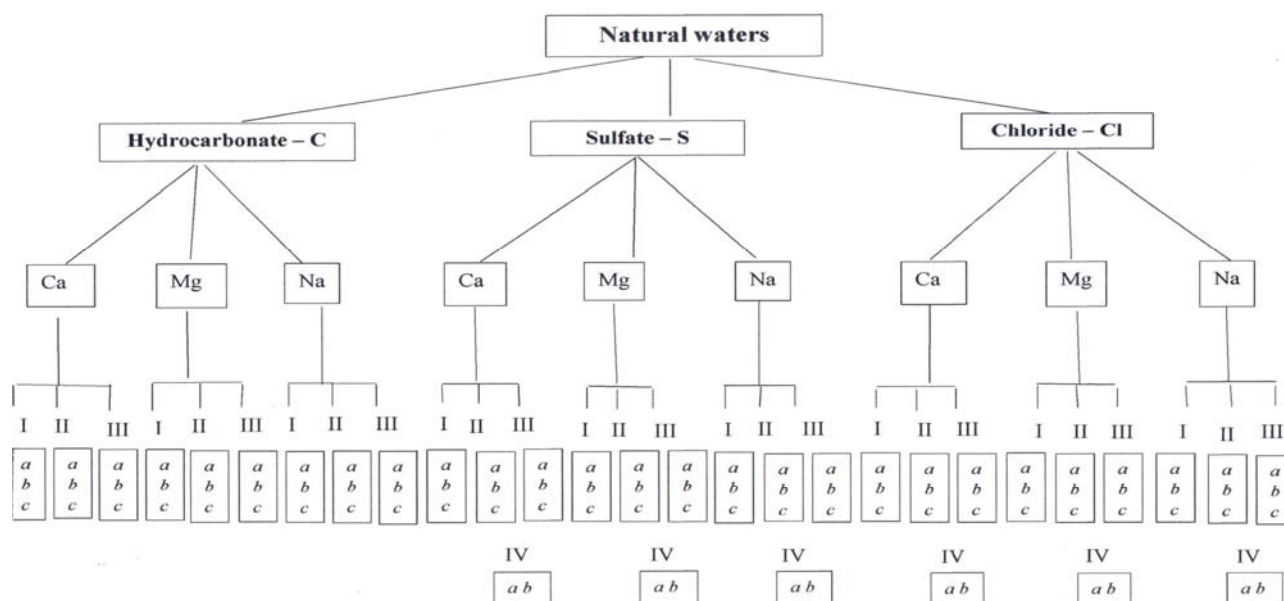


Fig. 1. Schematic representation of the modernized classification of natural waters by chemical composition by O.O. Alekin

Ia, IIa, IIIa is if the contents of the class-forming anion is more than 75% in terms of the amount of substance equivalent;

Ib, IIb, IIIb is if the contents of the class-forming anion is 50–75% in terms of the amount of substance equivalent;

Ic, IIc, IIIc is if the content of the class-forming anion is less than 50% in terms of the amount of substance equivalent. The four type of natural waters is divided into two subtypes (a, b):

IVa if the contents of the class-forming anion are more than 75% in terms of the amount of substance equivalent;

IVb if the contents of the class-forming anion are less than 75% in terms of the amount of substance equivalent.

Such additions to the basic classification of O.O. Alekin allow to display chemical composition of natural waters at qualitatively new level.

The chemical composition of the surface waters of the "Drevlyanskyi" NR was analyzed in view of the peculiarities of the natural complex, which was formed under the influence of the landscape-forming factors of the physical and geographical region within the southern outskirts of the Polish lowland, which covers large areas of forests heavily contaminated with radionuclides.

In general terms, the territory of the reserve is characterized by a slightly undulating type of relief with insignificant amplitudes of fluctuations in relative heights, where extensive low-turf (often swampy) depressions alternate with small elevations with flat tops and gentle slopes, the steepness of which does not exceed 1–2°. That is, among other ecosystems on the territory of the NR, swamps are also protected.

The soils of the type of terrain prevailing in terms of area – sloping and undulating plains – are sod-medium podzolic sandy loams. The humus-eluvial horizon has a thickness of 12–15 cm and is characterized by the presence of 1.7–2.0% humus, the composition of which is dominated by fulvic acids.

The river network of the reserve is well developed. The largest river is the Uzh River (256 km long), and the Zherev River flows into it in the vicinity of Narodychi. The Zvizdal, Osliv, Loznytsia, Kamianka rivers should be singled out among the right tributaries of the Uzh River, and the Struchok River among the left tributaries. All watercourses are fed by rainwater, meltwater and underground water. In the spring-summer and summer-autumn periods, floods are observed on all the rivers of the reserve. A stable ice cover forms at the end of December – beginning of January and, depending on the weather conditions, lasts for 1.5–2 months [13, 14].

To assess the water quality of the Drevlyanskyi nature reserve 7 sources were selected, including the Uzh, Kamianka, Zherev, Osliv, Loznytsia, Zvizdal, and Bucha rivers (Fig. 2–3, Tab. 1).

To conduct a hydro-chemical analysis of surface water and obtain representative results of the analysis, water samples were taken in accordance with the requirements of the methodology. Sampling was carried out by the authors in seven streams with simultaneous measurement of water temperature, pH and electrical conductivity. The analysis of the selected water samples for the content of the main components of the chemical composition of water according to generally accepted methods was carried out at the laboratory on the Institute of Agroecology and Environmental Management of the National Academy of Agrarian Sciences Ukraine [15, 16].

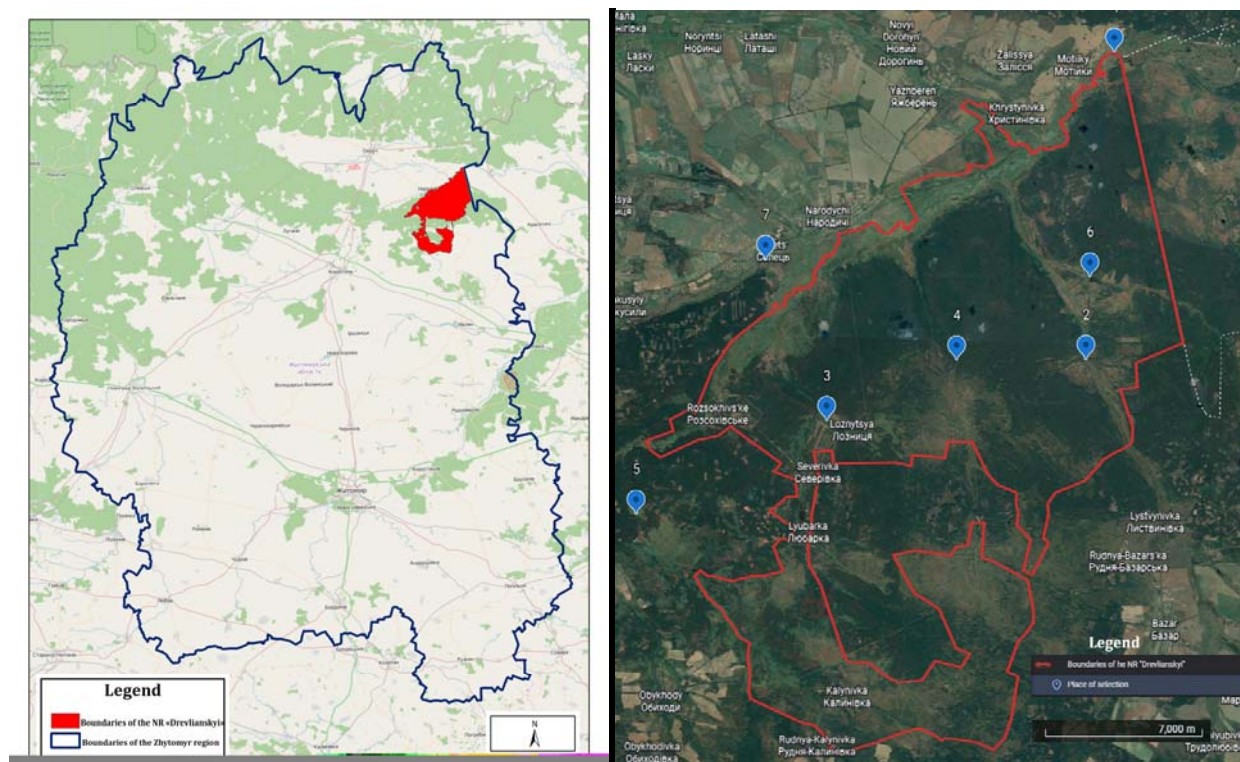


Fig. 2. Location Drevlyanskyi nature reserve

Water quality was assessed by the method of comparing the available indicators of water composition and properties with normative values.

The process of carrying out research on the state of water quality was based on the following methods: field research (sampling of water in vials, dishes; geobotanical descriptions; reconnaissance; general ecological assessment), collection and analysis of information, processing of literary sources (cameral), laboratory (physico-chemical analysis, redox potential, electrical conductivity, mineralization, acidity of water); generalization of the obtained results (determining cause-and-effect relationships, writing conclusions).

#### Presentation of the main research in material.

The territory of the Drevlyanskyi nature reserve (area is 30,872.84 hectares) is a natural laboratory with unique its possibilities of monitoring dynamic processes in the surface and underground components of the abiotic complex of hydroecosystems. Targeted monitoring of the abiotic complex has been conducted in the reserve since 2009.

Currently, the hydrochemical study of the rivers of the Drevlyanskyi Reserve is quite low. Also, information on the content of basic ions and biogenic substances in the water of small rivers appeared only recently. Therefore, the research of the authors on the assessment of quantitative and qualitative changes in the hydrochemical regime of the rivers of the Drevlyanskyi Reserve in the summer-autumn period is relevant.

The quality of water depends on its ion's compo-

sition. The composition of dissolved substances in surface waters is very diverse, as they interact with various geological rocks. However, it is possible to single out important hydrochemical indicators that evaluate water quality for various types of water use. For most natural waters the total salt content is determined by cations  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  and anions  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ . Other ions are present in rather small amount but they can significantly affect the properties and quality of water [17]. However, it is impossible to assess the quality of river waters by all indicators for which maximum permissible concentrations (more than 900 substances) have been determined. That's why, the way out of this situation is to study the content of those substances that have the greatest importance in the formation of the ecological and chemical state of water bodies.

Having carried out comparative analysis of the chemical composition of water in the rivers of the Drevlyanskyi nature reserve, it should be noted that the characteristic feature of this area is low water mineralization which doesn't exceed  $600 \text{ mg/dm}^3$ . In this region this is caused by a relatively large amount of precipitation, which causes significant washing of soils and rocks, and their poverty of mineral components. The composition of the main ions is relatively stable, calcium ( $28\text{--}64 \text{ mg/dm}^3$ ) and bicarbonate ion ( $201\text{--}260 \text{ mg/dm}^3$ ) dominate among them, shown in Fig. 4.

For comparison fig. 5 shows the average concentrations of secondary concentrations of anions and cations of salts of natural and anthropogenic origin



1



2



3



4



5



6



7

Fig. 3. Photos of sampling places: 1 – Uzh, 2 – Zvizdal, 3 – Loznytsia, 4 – Osliv, 5 – Kamianka, 6 – Bucha, 7 – Zherev (Author of the photo – Vasyl Konishchuk)

Coordinates of rivers

№ place	River	Coordinates	
		X	Y
1	Uzh	51.266809	29.263087
2	Zvizdal	51.147689	29.244472
3	Loznytsia	51.124100	29.078671
4	Osliv	51.147529	29.161785
5	Kamianka	51.087788	28.953926
6	Bucha	51.179707	29.247085
7	Zherev	51.186484	29.039580

Source: GPS

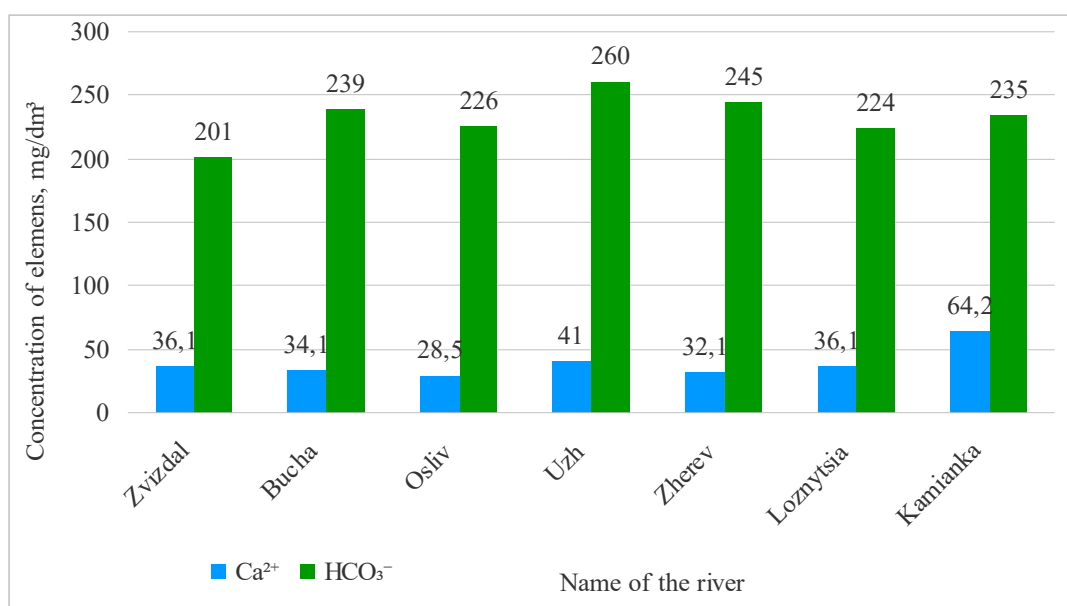
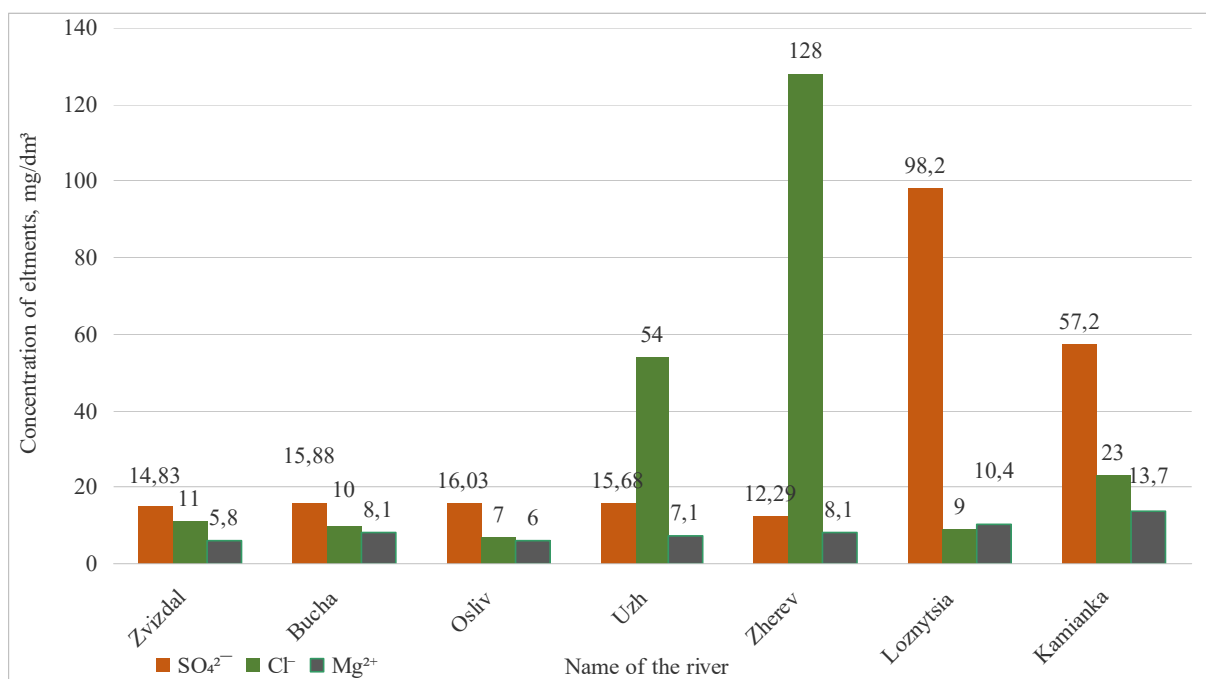


Fig. 4. Comparative analysis of the content of the main components of the cationic and anionic composition in the rivers of the Drevlianskyi nature reserve

Fig. 5. Average concentrations of secondary concentrations of anions and cations of SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Mg<sup>2+</sup> salts dissolved in water

dissolved in water:  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ . The concentrations of chloride and sulfate ions change in a wider range, the maximum values of which are found in the water of the small Zherev and Loznytsia rivers. As for the content of potassium and sodium ions they are below the detection limit.

In the summer-autumn low water period due to consumption by phytoplankton, concentrations of mineral forms of phosphates and nitrogen are below the detection limit. In general, low content of ammonium nitrogen is inherent of most small rivers of this part of the reserve.

Only the Bucha and Loznytsia rivers are exceptions, whose water content of ammonium nitrogen exceeds  $3.9 \text{ mg/dm}^3$ .

The data presented above shows that the concentration of the main ions as well as the amount of water mineralization is susceptible to the influence of natural and anthropogenic factors and depends on the location of the catchment area. It should be noted that the hydrochemical indicators of natural waters are quickly respond to anthropogenic interference in the natural environment and some components can serve as indicators of interference. These include chlorine and sulfate ions and nitrogen-containing compounds and water mineralization.

Among the studied biogenic substances in the water of the studied rivers the classic seasonal distribution of concentrations is characteristic of nitrates, the content of which is minimal during the growing season of plants. Often, during intensive photosynthesis  $\text{NO}_3^-$  isn't detected in the water at all as can be observed in the five studied rivers of the Drevlianskyi reserve ( $\leq 0.1 \text{ mg/dm}^3$ ).

The trace element composition of the reserve's river waters depends on the geological conditions of the territory. That's why watercourses differ in the content of microelements but on average the concentrations are not high, mostly they do not exceed the maximum permissible concentration values and the world average indicators for river waters. However, Fe, Cu, and Zn are exceptions.

The dynamics of organic matter, which is an active participant in weathering processes, is connected with the arrival of dissolved iron the concentration of which in the water of the Zherev River is small ( $0.09 \text{ mg/dm}^3$ ). Increased content of the iron which ash content of 10,7% is noted in Zvizdal, Loznytsia and Osliv rivers, which is one of the main components in the waters of Polissia peatlands. A significant amount of dissolved iron substances can fall into rivers with underground flows and also with former agricultural land flows. In addition, being a biologically active element, Fe affects the intensity of phytoplankton development and the qualitative composition of microflora in the reservoir, which requires further clarification and

monitoring.

The vast majority of the rivers of Zhytomyr Polissia in one or another part flow within the boundaries of the Ukrainian crystalline shield where crystalline rocks, granites, gabbros and gabbro-norites with relatively small reserves of microelements are overlain by poor sedimentary rocks of water-glacial origin of loamy sandy and sandy granulometric composition. That's why surface waters of the Drevlianskyi nature reserve during the summer-autumn low water contain small amount of microelements and heavy metals. Thus, the concentration of  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Zn}^{2+}$  are much lower than maximum permissible concentration ( $\leq 0,02 \text{ mg/dm}^3$ ), which makes their determination difficult. However, the microelements, even in low concentrations, have a negative effect on phytoplankton and zooplankton and accumulate in bottom sediments, adversely affecting benthic organisms.

Manganese unlike other elements, binds less in complexes. Its content in water determined by the intensity of consumption during photosynthesis, decomposition of algae and higher aquatic vegetation. The highest values are noted in the Zvizdal and Osliv rivers which drain in part of the watersheds of wetland landscapes with regenerative processes in the soil.

At the same time, the pH of water during the observation period in most rivers remains practically stable, except for waterlogged Zvizdal, Osliv and Loznytsia. Their characteristic feature is an acidic reaction ( $\text{pH}=5.4-6.9$ ), to which swamp plants.

Besides, the activity of swamp microflora regulates the redox potential (Eh), the properties of which significantly affect the migration ability of elements. Thus, the regeneration process of metals with a variable degree of oxidation acquires special importance in weakly acidic swamp waters. Since this process is accompanied by the exchange of protons, that's why its course will directly depend on the protolytic properties of the environment.

Experimental studies on the recovery of ferrum ( $\text{Fe}^{3+}$ ) and manganese (Mn) showed that the course of the process depends on the pH indicator and, as a rule, slows down with its increase (Tab. 2). Also shows that redox potential decreases with increasing pH. Thus, the maximum values of Eh (+800) are determined in acidic waters ( $\text{pH}<5$ ), and the minimum values in highly alkaline waters ( $\text{pH} \approx 12$ ).

Now, there are many factors in the formation of the chemical composition of river waters. Thus, afforestation and plowing of the water catchment makes 34% of the contribution of all factors in the formation of water quality. It forms the water flow and regulates the income of chemical substances. In the autumn low water period (September-November) water flow is insignificant and on average it is 15%

Table 2

Hydrochemical composition of the water of the main watercourses of the Drevlyan Reserve

Indicator	The name of the river						
	Uzh	Zherev	Bucha	Zvizdal	Kamianka	Osliv	Loznytsia
pH	7.32	7.38	7.52	6.92	7.36	6.55	5.35
redox potential, mV	225	215	231	222	238	240	262
salinity, mg/dm <sup>3</sup>	215	299	118	130	233	112	173
conductivity, mS	423	616	237	260	465	225	333
mineralization, mg/dm <sup>3</sup>	286	399	158	174	312	150	230
Ca <sup>2+</sup> , mg/dm <sup>3</sup>	41.0	32.1	34.1	36.1	64.2	28.5	36.1
Mg <sup>2+</sup> , mg/dm <sup>3</sup>	7.1	8.1	8.1	5.8	13.7	6.0	10.4
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , mg/dm <sup>3</sup>	15.68	12.29	15.88	14.83	57.2	16.03	98.2
Cl <sup>-</sup> , mg/dm <sup>3</sup>	54	128	10	11	23	7	9
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , mg/dm <sup>3</sup>	260	245	239	201	235	226	224
Fe <sup>3+</sup> , mg/dm <sup>3</sup>	0.46	0.09	3.14	8.08	0.13	3.08	11.3

of the annual flow, but it can vary from year to year depending on the conditions of moistening. In addition, precipitation in the cold period is the main source of nourishment for the rivers of the region. In low-water years, the relative share of atmospheric nutrition reaches 50% of the volume of water flow, and in high-water years it increases to 85%. In general, the chemical composition of water in the catchment is affected by various [18, 19].

It should be noted, that such a global phenomenon as climate warming has been taking place for the past 50 years. During this period, the average air temperature increased by 2–3 °C in various regions of the planet, which led to a number of negative phenomena also in the Polissia zone, in particular Drevlianskyi Reserve. This definitely affects the increase of evaporation both from the surface of water bodies and from the soil of the adjacent areas of river floodplains. This is one of the factors of shallowing of rivers. At the same time, one shouldn't forget that there are other components of the natural environment (relief, soil and vegetation, geological structure, etc.) and also that human economic activity affects the regime of rivers and form their natural image. If, according to the figurative expression of scientists, water is the blood of the landscape, then rivers are the circulatory system of the landscape that transports matter and energy and transforms the landscape itself. However, the surface waters are more protected from surface factors and therefore are usually characterized by a stable chemical composition. Although in some regions, in particular, the nature reserve, due to natural factors or anthropogenic influence, these waters have a substandard composition.

According to the certification materials, there are currently no river basins in Ukraine with an undisturbed state of their water ecosystems. Some scientists, according to their research [20–22], state that all aquatic ecosystems are typical anthropogenic hydroecosystems. So, these are such transformed rivers,

in which intra-watershed changes took place, which led to the violation of homeostasis, biogeochemical cycles, ecological capacity of the hydroecosystem and other transformations. Thus, researching the dependence of water mineralization on electrical conductivity in researched rivers of the Drevlianskyi nature reserve a graph was obtained, which is presented in fig. 6. It should be noted that the derived dependence between the value of electrical conductivity and mineralization, even in the summer flood and the winter low water, can be used for mutual control of the noted indicators during water analysis.

The analysis of the data of the rivers, which were characterized by different degrees of anthropogenic activity, indicates about close values of mineralization and ionic composition of water. This allows to make a conclusion about the predominant role of natural factors in forming the regime of the mentioned components in the surface waters of the region. In addition, the genetic composition of substances dissolved in surface waters to a large extent characterizes the hydro-chemical balance.

As is known, the hydro-chemical regime of rivers is formed under the influence of a number of complexes of physical and geographical, geological, hydrogeological, physical, biological and anthropogenic factors. They determine changes in time and space of concentrations of chemical components in water, its mineralization, hardness, gas composition and chemical type. These factors affect the external signs of the hydro-chemical regime. The internal factors of the hydro-chemical regime and their influence are determined by the structure of the chemical element [23, 24].

There is destruction (transformation) of organic compounds of dead hydrobionts, including plants from the *Fabaceae* family, dead mass of algae, sludge deposits, detritus, which causes an increase in the content of nitrogenous compounds.

There are different approaches to the systemati-

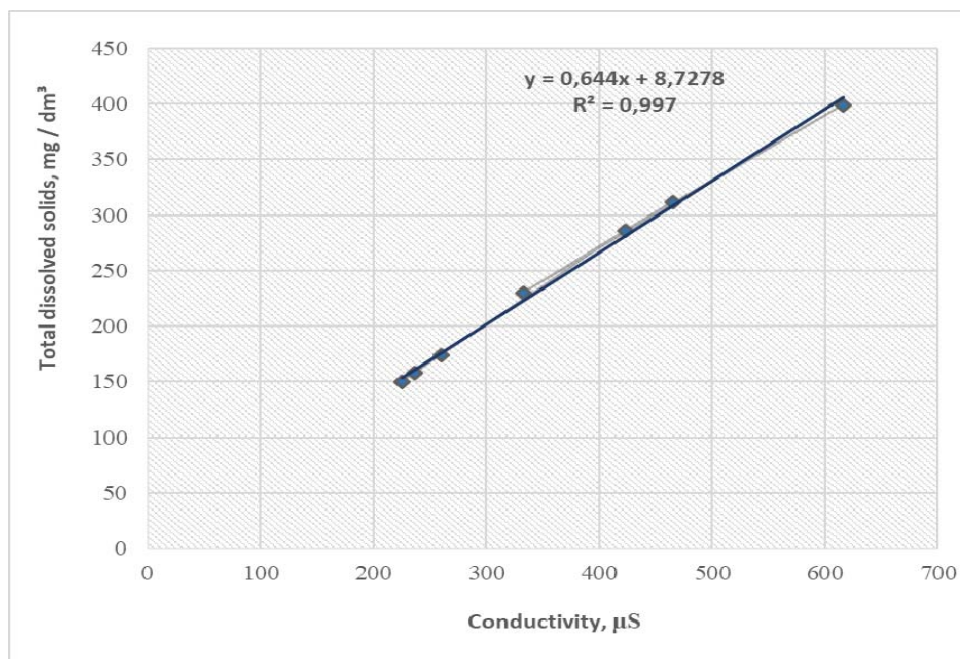


Fig. 6. Dependence of mineralization on electrical conductivity

zation of data on the chemical composition of natural waters. Thus, for a visual representation of the chemical composition of water in the rivers of the Drevlianskyi nature reserve, the *Kurlov formula* was used which is currently used to systematize data for fresh surface watercourses, as well as the general

classification of O.O. Alekin (Tab. 1) [11]. At the same time, for a clearer perception of changes, the modernized classification of O.O. Alekin was applied, because the basic one doesn't fully show the dynamics of changes in the chemical composition of water (see Tab. 3).

Table 3

Averaged data on the chemical composition of river waters and examples of the use of Alekin's modernized classification

№	Place of sampling	Kurlov's formula, %-equivalent	Classification of O.O. Alekin		
			basic	modernized	
1	Zvizdal	$\text{ж}2,3\text{M}0,3 \frac{\text{HCO}_3\text{83SO}_4\text{8Cl}8}{\text{Ca}78\text{Mg}20} \text{pH}6,9$	$\text{C}_{\text{III}}^{\text{Ca}}$	$\text{C}_{\text{IIIa}}^{\text{CaMg}}$	hydrocarbonate class of the calcium-magnesium group of the third type of subtype a
2	Bucha	$\text{ж}2,4\text{M}0,3 \frac{\text{HCO}_3\text{86SO}_4\text{7Cl}6}{\text{Ca}71\text{Mg}27} \text{pH}7,5$	$\text{C}_{\text{III}}^{\text{Ca}}$	$\text{C}_{\text{IIIa}}^{\text{CaMg}}$	
3	Osliv	$\text{ж}1,9\text{M}0,3 \frac{\text{HCO}_3\text{87SO}_4\text{7Cl}4}{\text{Ca}73\text{Mg}34} \text{pH}6,5$	$\text{C}_{\text{III}}^{\text{Ca}}$	$\text{C}_{\text{IIIa}}^{\text{CaMg}}$	
4	Uzh	$\text{ж}2,7\text{M}0,4 \frac{\text{HCO}_3\text{69Cl}24\text{SO}_4\text{5}}{\text{Ca}77\text{Mg}22} \text{pH}7,3$	$\text{C}_{\text{III}}^{\text{Ca}}$	$\text{C}_{\text{IIIa}}^{\text{CaMg}}$	
5	Zherev	$\text{ж}2,3\text{M}0,4 \frac{\text{HCO}_3\text{50Cl}45\text{SO}_4\text{3}}{\text{Ca}70\text{Mg}29} \text{pH}7,3$	$\text{C}_{\text{III}}^{\text{Ca}}$	$\text{C}_{\text{IIIb}}^{\text{CaMg}}$	hydrocarbonate class of the calcium-magnesium group of the third type of subtype b
6	Loznytsia	$\text{ж}2,7\text{M}0,4 \frac{\text{HCO}_3\text{61SO}_4\text{34Cl}4}{\text{Ca}67\text{Mg}31} \text{pH}5,3$	$\text{C}_{\text{III}}^{\text{Ca}}$	$\text{C}_{\text{IIIb}}^{\text{CaMg}}$	
7	Kamianka	$\text{ж}4,3\text{M}0,4 \frac{\text{HCO}_3\text{67SO}_4\text{20Cl}11}{\text{Ca}73\text{Mg}25} \text{pH}7,3$	$\text{C}_{\text{III}}^{\text{Ca}}$	$\text{C}_{\text{IIIb}}^{\text{CaMg}}$	

Source: developed by authors, developed on the basis of methods (Alekin O.O.)

Evaluating a mineralization and chemical composition of water of the researched rivers of the nature reserve, it can be argued that the main feature of their chemical composition is belonging to moderately

fresh, oligogenic, and soft waters.

According to the classification proposed by O.O. Alekin (see Fig. 1), all-natural waters are divided into three classes by predominant anion: hydro-



carbonate, sulfate, and chloride. According to the ionic composition, the water of the studied rivers is mainly of the hydro-carbonate class, the calcium-magnesium group, the third type. The difference between subtypes IIIa and IIIb is next:

except  $\text{MgSO}_4$  from subtype IIIa waters magnesium hydrogen carbonate  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  can enter the soil that is a non-toxic salt for plants that can cause an alkaline reaction of soils;

subtype IIIb waters instead of magnesium bicarbonate contribute to the formation of gypsum ( $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ ) in the soil, which is an ameliorant of saline soils.

**Discussion.** Thus, after analyzing the influence of the main physical and geographical components on the hydrological regime of rivers, it can be concluded that the main factors are climate and relief, other components complement the hydrological, hydrochemical, hydrophysical state.

Therefore, the concentration of iron is subject to noticeable seasonal fluctuations. Autumn-spring mixing of water masses (homothermy) is accompanied by oxidation of Fe(II) into Fe(III) and precipitation of the latter in the form of  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Significant amounts of iron are observed in the right tributaries of the Uzh River (the Zvizdal and Loznytsia rivers).

With the exception of the Kamianka River, the Rozsokhivske tract (the basin of the Uzh River on the granite Ukrainian Crystalline Shield), all rivers are typical for Polissia with a slow flow, slight meandering with wide grassy-meadow floodplains.

Among the rare hydrogelophytes and phytosozophytes of hydroecosystems (especially rivers and marshes) in the Drevlyanskyi nature reserve, we noted the following species: *Juncus bulbosus* L., *Dactylorhiza incarnata* (L.) Soo, *Aldrovanda vesiculosa* L., *Drosera intermedia* Hayne, *Utricularia australis* R. Br., *Utricularia intermedia* Hayne et al. [25]. The ecological state of phytosozophytes depends on the quality and physical and chemical state of the water.

A rather intensive trend was revealed regarding the spread of invasive species in reservoirs and their floodplains: *Acer negundo* L., *Amorfa fruticosa* L., *Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. et A. Gray, *Elodea canadensis* Michx., *E. nuttallii* (Planch.) St. John., *Fallopia sachalinensis* (F. Schmidt) Ronse Decr., *F. japonica* (Houtt.) Ronse Decr., *Galinsoga ciliata* (Rafin) Blake, *G. quadriradiata* Ruiz et Pav., *Heraclium mantegazzianum* Sommier et Levier, *H. sosnowskyi* Manden., *Impatiens glandulifera* Royle, *I. parviflora* DC., *Oenothera biennis* L., *O. depressa* Greene, *Padus serotina* (Ehrh.) Agardh., *Sarothamnus scoparius* (L.) Koch., *Solidago canadensis* L., *Zizania latifolia* (Griseb.) Turcz. ex Stapf., etc.

In co-authorship [26], based on the generally accepted EUNIS approaches, a hierarchical classification of rare settlements of the Drevlyanskyi nature

reserve was developed up to and including the 4th level (see below).

Therefore, having carried out an environmental assessment of the hydroecosystems of the Drevlyanskyi nature reserve, we can conclude that they are quite valuable, little changed and have both national and international environmental significance.

With regard to practical recommendations and instructions for optimizing the ecological state of hydroecosystems, it is worth noting the expediency of background monitoring of surface water levels and their physical and chemical composition, as well as further assessment of the state of populations of rare species of biota, phytocenoses.

Since radiation pollution is specific to the reserve, in the future it is worth conducting appropriate measurements of the radiation background and the content of radionuclides in water, bottom sediments, and hydrobionts.

Invasive species should be removed from natural biotopes on the basis of scientifically based biotechnical measures.

Also important are the processes of regulating the surface flow of rivers and streams, spatially to raise the water level in order to reduce the fire hazard. Artificially created hydroecosystems (ponds, fire-fighting reservoirs), swamps, etc., require additional scientific research.

For the first time, a comprehensive hydrochemical analysis of the rivers of the "Drevlyanskyi" nature reserve was conducted according to current standards, NSU (ISO) (20 main indicators, characteristics were determined). The water quality of hydroecosystems has differences in the horological (territorial) aspect, in particular, it is clean in the rivers Zhrev (quality class I), Bucha, Uzh, Kamianka (quality class II), moderately polluted in the rivers Zvizdal, Osliv (quality class III), polluted in the Loznytsia River (IV quality class). Nitrites in surface waters, in particular in the rivers of the "Drevlyanskyi" NR, are found in small amounts ( $\leq 0.003 \text{ mg/dm}^3$ ). Hydrolytic acidity (pH) varies from 5.35 to 7.52, that is, the water is relatively neutral and slightly acidic, alkalinity is not increased. The most active processes of eutrophication and saprobity are manifested in stagnant areas of hydroecosystems, in particular, this is characteristic of the Loznytsia River.

In the Kamianka and Loznytsia rivers, there are three times and twice as many hydrocarbonate ions as sulfates, respectively. One of the reasons for the formation of such a composition of river waters is the features of widespread regional soils and rocks with characteristic saline inclusions and a high content of soluble salts. The same factors cause a sharp difference in the chemical composition of water at the qualitative level.

Summarizing the consideration of interconnec-

ted problems of rivers, we see that the latter require an urgent solution now and in the future. After all, the nature of the reserve is the most valuable wealth, the basis of the recreation, health and tourism industry, which is almost the only industry capable of providing decent conditions for the material life of the population.

**Conclusions.** The quality of surface waters plays a major role, especially their hydro-chemical regime. The conducted analysis showed that the features of the chemical composition of the surface waters of water bodies located on the territory of the Drevlianskyi nature reserve are determined by the complex of landscape and geochemical conditions of the Uzh River basin. In conditions of a positive moisture balance, the climatic component also plays a fundamental role in the formation of the chemical composition of waters.

The chemical composition of the water in all the rivers of the researched territory was characterized by fairly sustained uniformity. Water bodies are characterized by a low content of basic ions, correspondingly, by low mineralization ( $<600 \text{ mg/dm}^3$ ), which is confirmed by field observations. However, there was no significant difference in the concentrations of the main ions and their sum in the studied objects, which indicates common factors in the formation of the chemical composition of the rivers of the nature reserve. During the summer-autumn low water, the water contained small amounts of microelements and heavy metals (except for Fe and Mn) that didn't exceed the established sanitary and hygienic maximum permissible concentration.

Having analyzed the results of the research, it can be stated that the water bodies throughout the territory of the reserve were characterized by clearly defined belonging to the hydro-carbonate class of III type. Water subtypes IIIa and IIIb differ from each other in the presence of magnesium bicarbonate  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  in IIIa and calcium sulfate  $\text{CaSO}_4$  in IIIb.

Therefore, the problem of eliminating contradictions between society and nature and the need to stop the process of destruction of the biosphere remain open. Thus, it is necessary to state the tense ecological situation in the country and to take many steps with the attraction of funds and new approaches to correct the situation. Also, Ukraine should develop the social sphere on a democratic basis in combina-

tion with massive investments in environmental science and education, in order to implement its strategies for stabilizing and improving the state of the environment, especially water ecosystems. However, it should be emphasized that under the current conditions, it is impossible to solve this problem in a short period of time, since it is necessary to improve production and raise the level of consciousness of people. Because, the protection and preservation of water is the responsibility of each of us.

Thus, for the first time, a comprehensive hydro-chemical analysis of the rivers of the Drevlianskyi nature reserve was carried out in accordance with the current standards of the State Standards of Ukraine (ISO) (20 main indicators and characteristics were determined). The water quality of hydroecosystems has differences in the chorological (territorial) aspect, in particular, it is clean in the rivers Zherev (I quality class), Bucha, Uzh, Kamianka (II quality class), moderately polluted in the Zvizdal, Osliv rivers (III quality class), polluted in the Loznytsia River (IV quality class). Nitrites in the surface waters of the rivers of the Drevlianskyi nature reserve are detected in small amounts ( $\leq 0.003 \text{ mg/dm}^3$ ). Hydrolytic acidity (pH) varies from 5.35 to 7.52, thus, the water is relatively neutral and slightly acidic, alkalinity is not increased. The most active processes of eutrophication and saprobic are manifested in stagnant areas of hydroecosystems, in particular, this is characteristic of the Loznytsia River.

For most of the surface water sources, there is a significant dependence between the composition of the water and the effect of hydrometeorological conditions and biological processes. A feature of all surface water bodies is seasonal fluctuations in the composition of water, which can be particularly clearly traced by changes in such indicators of its quality as turbidity, color, alkalinity, hardness, temperature, etc.

Prospective studies of the physico-chemical and ecological state of the waters of the "Drevlyanskyi" nature reserve include further background monitoring, seasonal analysis of the dynamics of changes in indicators, establishing regularities in space and time. It is worth noting that additional studies may relate to the influence of the physical and chemical state of water on the population of rare, endangered species of hydrobionts of the reserve.

#### **Bibliography**

1. Дорогунцов, С.І. Екологія [Текст]: підруч. / С.І. Дорогунцов, К.Ф. Коценко, М.А. Хвесик. – Київ: КНЕУ, 2005. – 371 с.
2. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2019 році [Текст]: звіт / Центр екологічної освіти та інформації. – Київ, 2020. – 556 с.
3. Bączyk, A. Influence of technical maintenance measures on ecological status of agricultural lowland rivers – Systematic review and implications for river management [Текст] / A. Bączyk, M. Wagner, T. Okruszko, M. Grygoruk // *Science of the Total Environment* – 2018. – Vol. 627. – P. 189–199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.235>

4. Самойленко, Л.В. Геологічні пам'ятки природи як об'єкти природно-заповідного фонду (проблемні питання) [Текст] / Л.В. Самойленко Л.В. // Геологічний журнал. – 2020. – № 2 (371). – С. 52–62. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2020.2.198791>
5. Романенко, В.Д. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями [Текст] / В.Д. Романенко, В.М. Жукинський, О.П. Оксіюк. – Київ: Символ-Т, 1998. – 28 с.
6. Хільчевський, В.К. Регіональна гідрохімія України [Текст] / В.К. Хільчевський, В.І. Осадчий, С.М. Курило. – Київ: ВПЦ «Київський університет», 2019. – 343 с.
7. Linnik, P.M. Organic Matter in the Water of the Reservoirs of the Dnieper Cascade after the Dnieper River Regulation [Текст] / P.M. Linnik // Hydrobiological Journal. – 2022. – Vol. 58(3). P. 76–95. DOI: <https://doi.org/10.1615/Hydrobiol.v58.i3.70>
8. Kumar, V. Water quality of river Beas, India, and its correlation with Reflectance Date [Текст] / Kumar Vinod, Sharma Anket, Bhardwaj Renu, Thukral Ashwani Kumar // Journal of Water Chemistry and Technology. – 2020. – Vol. 42(2). – P. 189–200. DOI: <https://doi.org/10.3103/S1063455X2002006X>
9. Musliu, M. Water Quality Assessment of the Morava e Biņęs River Based on the Physicochemical Parameters and Water Quality Index [Текст] / M. Musliu, A. Bilalli, B. Durmishi et al. // Journal of Ecological Engineering. – 2018. – Vol. 19(6). – P. 104–112. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/92676>
10. Hubačiková, V. The impact of pond on water quality in the Černná stream [Текст] / V. Hubačiková, P. Oppeltová // Journal of Ecological Engineering. – 2017. – Vol. 18(1). – P. 42–47. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/67098>
11. Алекин, О.А. Основы гидрохимии [Текст] / О.А. Алекин. – Львов: Гидрометеиздат, 1970. – 444 с.
12. Курило, С.М. Аналіз багаторічних змін мінералізації і вмісту головних іонів у воді лівобережних приток басейну Дніпра [Текст] / С.М. Курило, О.О. Винарчук // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2012. – № 2(27). – С. 96–107.
13. Маринич, А.М. Житомирское Полесье. Физико-географическое районирование Украинской ССР [Текст] / А.М. Маринич, Н.П. Сирота. – Киев: Изд-во Киев. ун-та. – 1968. – С. 52–76.
14. Павельчук, Є.М. Гідролого-гідрохімічні характеристики річок Житомирського Полісся в умовах глобального потепління [Текст] / Є.М. Павельчук, С.І. Сніжко. – Житомир: В-во «Волинь». – 2017. – 244 с.
15. Набиванець, Б.Й. Аналітична хімія поверхневих вод [Текст] / Б.Й. Набиванець, В.І. Осадчий, Н.М. Осадча, Ю.Б. Набиванець. – Київ: Наук. думка. – 2007. – 455 с.
16. Leo M.L., Nollet. Handbook of Water Analysis [Текст] / Nollet Leo M.L., De Gelder Leen S.P. – CRC Press. – 2013. – 995.
17. Shumyhai, I.V. Ecological monitoring of water bodies in Central Polissya (Ukraine) [Текст] / Shumyhai I.V., Mudrak, O.V., Konishchuk, V.V. et al. // Ukrainian Journal of Ecology. – 2021. – Vol. 11(2). – P. 434–440. DOI: [https://doi.org/10.15421/20\\_21\\_133](https://doi.org/10.15421/20_21_133)
18. Пелешенко, В.І. Загальна гідрохімія: підруч. [Текст] / В.І. Пелешенко, В.К. Хільчевський. – Київ: Либідь. – 1997. – 384 с.
19. Шумидай, І.В. Гідрохімічний режим та екологічний стан водного басейну р. Тетерів [Текст] / І.В. Шумидай, Н.М. Манишевська, Д.М. Постоецько, В.В. Мороз // Агроекологічний журнал. – 2020. – № 4. – С. 47–58. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2020.219445>
20. Удод, В.М. Регіональні особливості структурно-функціональної організації розвитку техногенно змінених водних екосистем [Текст] / Удод В.М., Маджд С.М., Кулинич Я.І. // Вісник Кременчуцького національного університету ім. Михайла Остроградського. – 2017. – № 3. – С. 93–99.
21. Писанко, Я.І. Особливості структурно функціональної організації техногенно зміненої водної екосистеми гірлової ділянки річки Ірпінь [Текст] : дис. ... канд. тех. наук / Я.І. Писанко. – Київ, 2019. – 171 с.
22. Алимов, А.Ф. Стабільність и устійчивость водных экосистем [Текст] / А.Ф. Алимов // Гидробиологический журнал. – 2017. – № 53 (1). – С. 3–15.
23. Яцик, А.В. Водогосподарська екологія [Текст] / А.В. Яцик. – Київ: Генеза, 2004. – Т. 3. кн. 5. – 496 с.
24. Закревський, Д.В. Іонні потенціали хімічних елементів як фактор формування гідрохімічного режиму [Текст] / Д.В. Закревський, І.О. Шевчук // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2003. – № 5. – С. 170–178.
25. Перелік видів рослин та грибів, що заносяться до Червоної книги України (рослинний світ): наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 15.02.2021 р. – № 111.
26. Орлов О.О. Значення рідкісних оселищ Європи у збереженні раритетного фіторізноманіття природного заповідника «Древлянський» [Текст] / О.О. Орлов, В.В. Коніщук, В.В. Мартиненко // Агроекологічний журнал. – 2021. – № 1. – С. 31–42. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2021.227237>

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work

### References

1. Dorohuntsov, S.I., Kotsenko, K.F. & Khvesyuk, M.A. (2005). Ecology. Kyiv [in Ukrainian].
2. Center for environmental education and information (2020). National report on the state of the natural environment in Ukraine in 2019. Kyiv [in Ukrainian].

3. Bączyk, A., Wagner, M., Okruszko, T. & Grygoruk, M. (2018). Influence of technical maintenance measures on ecological status of agricultural lowland rivers – Systematic review and implications for river management. *Science of the Total Environment*, 627, 189–199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.235>
4. Samoilenko, L.V. (2020). Geological monuments of nature as objects of the nature reserve fund (problematic issues). *Geological magazine*, 2, 52–62. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2020.2.198791> [in Ukrainian].
5. Romanenko, V.D., Zhukynskyy, V.M. & Oksiyuk, O.P. (1998). Methodology of ecological estimation of quality of surface-water by corresponding categories. Kyiv [in Ukrainian].
6. Khilchevskiy, V.K., Osadchyi, V.I. & Kurylo, S.M. (2019). Regional Hydrochemistry of Ukraine. Kyiv [in Ukrainian].
7. Linnik, P.M. (2022). Organic Matter in the Water of the Reservoirs of the Dnieper Cascade after the Dnieper River Regulation. *Hydrobiological Journal*, 58(3), 76–95. DOI: <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v58.i3.70>.
8. Vinod, Kumar, Anket, Sharma, Renu, Bhardwaj & Ashwani, Kumar Thukral (2020). Water quality of river Beas, India, and its correlation with Reflectance Date. *Journal of Water Chemistry and Technology*, 42(2), 189–200. DOI: <https://doi.org/10.3103/S1063455X2002006X>
9. Musliu, M., Bilalli, A., Durmishi, B. et al. (2018). Water Quality Assessment of the Morava e Binçës River Based on the Physicochemical Parameters and Water Quality Index. *Journal of Ecological Engineering*, 19(6), 104–112. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/92676>
10. Hubačíková, V. & Opletová, P. (2017). The impact of pond on water quality in the Čermná stream. *Journal of Ecological Engineering*, 18 (1), 42–47. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/67098>
11. Alekin, O.O. (1970). Fundamentals of hydrochemistry. Lviv [in Russian].
12. Kurylo, S.M. & Vynarchuk, O.O. (2012). Analysis of long-term changes in mineralization and the content of main ions in the water of left-bank tributaries of the Dnipro basin. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 2(27), 96–107 [in Ukrainian].
13. Marynych, A.M. & Syrota, N.P. (1968). Zhytomyr Polissya. Physical-geographical zoning of the Ukrainian SSR. Kyiv [in Russian].
14. Pavelchuk, Ye.M. & Snizhko, S.I. (2017). Hydrological and hydrochemical characteristics of rivers of Zhytomyr Polissia under conditions of global warming. *Zhytomyr* [in Ukrainian].
15. Nabyvanets, B.I., Osadchyi, V.I., Osadcha, N.M. & Nabyvanets, Yu.B. (2007). Analytical chemistry of surface waters. Kyiv [in Ukrainian].
16. Leo M.L., Nollet & Leen, S.P. (2013). *De Gelder Handbook of Water Analysis*. CRC Press.
17. Shumyhai, I.V., Mudrak, O.V., Konishchuk, V.V. et al. (2021). Ecological monitoring of water bodies in Central Polissya (Ukraine). *Ukrainian Journal of Ecology*, 11(2), 434–440. DOI: [https://doi.org/10.15421/20\\_21\\_133](https://doi.org/10.15421/20_21_133).
18. Peleshenko, V.I. & Khilchevskiy, V.K. (2012). General hydrochemistry. Kyiv [in Ukrainian].
19. Shumyhai, I.V., Manishevskya, N.M., Postoienko, D.M. & Moroz, V.V. (2020). Hydrochemical regime and ecological condition of the water basin of the Teteriv River. *Agroecological journal*, 4, 47–58. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2020.219445> [in Ukrainian].
20. Udod, V.M., Madzhd, S.M. & Kulynych, Ya.I. (2017). Regional features of the structural and functional organization of the development of technogenically changing water ecosystems. *Bulletin of KrNU im. Mikhail Ostrogradsky*, 3, 93–99 [in Ukrainian].
21. Pysanko, Ya.I. (2019). Features of the structural and functional organization of the technogenically changed water ecosystem of the Irpin River's riverbed. Candidate's thesis. Kyiv [in Ukraine].
22. Alymov, L.F. (2017). Stability and sustainability of aquatic ecosystems. *Hydrobiological journal*, 53 (1), 3–15 [in Russian].
23. Iatsyk, A.V. (2004). *Water management ecology*, 3 (5). Kyiv [in Ukraine].
24. Zakrevskiy, D.V. & Shevchuk, I.O. (2003). Ionn potentials of chemical elements as a factor in the formation of hydrochemical regime. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 5, 170–178 [in Ukraine].
25. List of species of plants and mushrooms included in the Red Book of Ukraine (Vegetable Kingdom): order of 15.02.2021. Ministry of Environment Protection and Natural Resources of Ukraine, 111 [in Ukrainian].
26. Orlov, O.O., Konishchuk, V.V. & Martynenko, V.V. (2021). The importance of rare habitats in Europe in preserving the rare phytodiversity of the Nature Reserve "Drevlyanskyi". *Agroecological journal*, 1, 31–42. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2021.227237> [in Ukrainian].

## Екологічний та гідрохімічний аналіз річок природного заповідника «Древлянський» (Україна)

**Василь Коніщук**<sup>1</sup>,

д. біол. н., професор, зав. відділу ландшафтів, збереження біорізноманіття і природозаповідання,

<sup>1</sup> Інститут агроекології і природокористування НААН України,

вул. Метрологічна, 12, Київ 03143, Україна;

**Інна Шумигай**<sup>1</sup>,

к. с.-г. н., ст. наук. співробітник відділу ландшафтів, збереження біорізноманіття і природозаповідання;

**Василь Мартиненко**<sup>1,2</sup>,

аспірант відділу ландшафтів, збереження біорізноманіття і природозаповідання;

ст. наук. співробітник науково-дослідного відділу,

<sup>2</sup> Природний заповідник «Древлянський»,

вул. Замкова, 188, смт. Народичі, 11401, Україна

Якість поверхневих вод відіграє велику роль, особливо їх гідрохімічний режим. Хімічний склад і мінералізація річкових вод знаходяться у динамічному зв'язку і формуються під впливом багатьох зовнішніх чинників. Тому під впливом останніх постала необхідність у дослідженні гідрохімічного складу водойм заповідника, що було актуальним питанням роботи. Мета – комплексний екологічний, гідрохімічний аналіз стану річок природного заповідника «Древлянський» для оптимізації природоохоронних заходів, моніторингу, екобезпеки та збереження біорізноманіття гідробіонтів. Виконання досліджень стану якості води базувалося на класичних, загальноприйнятих методах: польові дослідження, літературний огляд, лабораторні, аналіз отриманих результатів. Згідно із дослідженнями було встановлено, що у межах природного заповідника у літньо-осінній, період вода основної річки Уж та її приток за величиною мінералізації є помірно прісною (0,1–0,6 г/дм<sup>3</sup>), за величиною рН – нейтральною, хімічного складу – гідрокарбонатно-кальцієвою. Низька заболоченість ландшафтів обумовлює вкрай низький вміст у воді річок амонійного азоту та розчиненого заліза. Виняток становлять річки Звездаль та Ослів, у течії яких спостерігається невелика заболоченість, що спричинює підвищений стік органічних речовин. Також було досліджено, що у період літньо-осінньої межени вода містила невеликі (за винятком Fe і Mn) кількості мікроелементів й важких металів, які не перевищують встановлених санітарно-гігієнічних ГДК. Відповідно до класифікації, запропонованої О.О. Алекніним, всі природні води діляться на три класи. За вмістом головних йонів і мінералізацією води, було проаналізовано, що водні об'єкти заповідника належать до гідрокарбонатно-кальцієвого класу III типу. У водних об'єктах ПЗ «Древлянський» зустрічаються підтипи вод Ша–ШБ. Останні відрізняються один від одного, зокрема наявністю гідрокарбонату магнію (Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) у Ша та сульфату кальцію (CaSO<sub>4</sub>) у ШБ. Вперше проведено комплексний аналіз поверхневих вод радіаційно забруднених територій в умовах повного заповідання. Практична цінність матеріалів досліджень полягає у подальшому моніторингу гідроекосистем, обґрунтуванні природоохоронних заходів, а результати будуть використані в щорічній програмі «*Літопис природи*» заповідника для Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України.

**Ключові слова:** екологія; водні екосистеми; гідрохімічний режим; якість води; заповідник.


**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 9 квітня 2023 р.


Прийнята 21 травня 2023 р.

## Biological wastewater treatment plants as sources of environmental pollution by persistent organic pollutants (on the example of Odesa industrial-and-urban agglomeration)


Vladyslav Mykhailenko <sup>1</sup>

Assistant professor, Department of Ecology and Environmental Protection of  
<sup>1</sup>Odesa State Environmental University, 15 Lvivska St., Odesa, 65016, Ukraine,  
e-mail: [vladislav.mykhailenko@gmail.com](mailto:vladislav.mykhailenko@gmail.com),  <https://orcid.org/0000-0001-6667-2457>;

Tamerlan Safranov <sup>1</sup>

DSc (Geology and Mineralogy), Professor, Head of Department of Ecology and Environmental Protection,  
e-mail: [safranov@ukr.net](mailto:safranov@ukr.net),  <http://orcid.org/0000-0003-0928-5121>;

Mariia Adobovska <sup>2</sup>

PhD (Pedagogy), Associate Professor of the Department of Geography of Ukraine,  
Soil Science and Land Cadastre <sup>2</sup>Odesa Mechnikov National University,  
2 Dvoryanskaya St., Odesa, 65026, Ukraine,  
e-mail: [adobovska.m@gmail.com](mailto:adobovska.m@gmail.com),  <http://orcid.org/0000-0002-0698-9097>

### ABSTRACT

**Formulation of the problem.** Effective mechanism of wastewater treatment (WT) are important components of reducing anthropogenic load on the environment. One of the most widespread mechanisms of urban wastewater treatment is the biological treatment on a Biological Wastewater Treatment Plant (BWTP). However, increasing the nomenclature of pollutants concentrated in urban wastewater seriously affects the effectiveness of WT on BWTPs, which are not intended for such a wide spectrum of specific pollutants such as, in particular, Persistent Organic Pollutants (POPs). The control of their intake into the environment must be regulated according to the Stockholm convention. The goal of the research is the evaluation of the intake of polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs) and polychlorinated dibenzofurans (PCDFs) into the environment from the wastewater of Odesa Industrial-and-Urban Agglomeration (IUA) and determining the volumes of their accumulation in the sea environment.

**Purpose.** The assessment of the amount of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (PCDD/F) entering the environment with the wastewater from Odesa IUA and determining the amount of their accumulation in the sea environment.

**Methods.** In our research, all available official methods of calculation of the unintentional formation of POPs were reviewed, as a result – the main and most complete methods were selected: «UNEP (2013). Toolkit for Identification and Quantification of Releases of Dioxins, Furans and Other Unintentional POPs» and «EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook. Technical guidance to prepare national emission inventories, 2019». For evaluation of PCDD/F accumulation in the sea environment an improved by authors methodology for calculation of PCDD/F accumulation with their cumulative effect and half life taken into account was used.

**Results.** The work provides justification for the necessity of use of calculation methodologies for determining the intake of PCDD/F to the sea environment adjacent to Odesa IUA; annual massed of PCDD/F entering the sea environment as part of treated, insufficiently treated and untreated wastewater are calculated; massed of PCDD/F that accumulate in waste activated sludge (WAS) on BWTP are calculated; volumes and specifics of PCDD/F accumulation in the sea basin, where the wastewater of Odesa IUA is being discharged to are determined using the improved methodology that enables taking into account the cumulative effect and half life period of these substances; mass and concentration of PCDD/F, immobilized in WAS, are determined, the excess level of concentration of PCDD/F in WAS compared to the maximum permissible concentration is determined. The total accumulation of PCDD/F in the sea environment over 2007-2017 period is determined.

**Conclusions.** It was established that the use of calculation methodologies for evaluating PCDD/F volumes in the water environment is the only and necessary condition for satisfying the requirements of the Stockholm convention due to the impossibility of performing a regular instrumental monitoring of PCDD/F intake into the water environment. The use of suggested by us improved methodology for calculation of PCDD/F accumulation with their cumulative effect and half-life period taken into account allows for calculation of PCDD/F masses that were formed throughout the year under consideration, taking into account the PCDD/F masses that were formed during previous years as well.

**Keywords:** *Persistent Organic Pollutants, polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans (PCDD/F), biological wastewater treatment, wastewater, waste activated sludge.*

**In cites:** Mykhailenko Vladyslav, Safranov Tamerlan, Adobovska Mariia (2023). Biological wastewater treatment plants as sources of environmental pollution by persistent organic pollutants (on the example of Odesa industrial-and-urban agglomeration). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (58), 350-359. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-26>

**Introduction.** Wastewater discharge is an important component of anthropogenic impact on the environment of Odesa region of the North-Western part of Black Sea (NWBS), i.e. the water area from Small Adzhalyk Estuary on the North and up to

Sukhyi Estuary on the South. This problem is particularly relevant for industrial-and-urban agglomerations in South-Western coastal waters of Black Sea due to large water consumption on a given multi-functional territory. One of the examples of such

impact is wastewater discharge by urban wastewater treatment stations of Odesa IUA to the adjacent waters of North Western Black Sea.

The evaluation of anthropogenic load on the Odesa region of North Western Black Sea is one of the key components of ecological safety enforcement in Odesa IUA. According to the requirements of the Stockholm convention [1], a separate vector of research on the condition of the sea environment must be the control of POPs content/concentration, which poses a set of properties, in particular immutability for decomposition, ability for bioaccumulation and toxicity in any concentration. In the work [2], we discovered the specifics of North Western Black Sea pollution by certain POPs based on expedite data from Ukrainian Scientific Center of Water Ecology. Though, the research data addressed a certain nomenclature of isomers of polychlorinated biphenyls, as well as hexachlorobenzene, which were accumulating in the sea environment throughout their continuous use in the former Soviet Union as part of POP-containing pesticides [3] and as a result of transformer and condenser liquids being released into the environment [4]. Although, in our other work [5] it was discovered that such substances as polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofuran (PCDD/F) enter the water environment as parts

of the wastewater being discharged there, the instrumental opportunities of monitoring, however, are not allowing to receive information regarding the contents of these toxic compounds. Moreover, PCDD/F enter the sea environment along with the wastewater as a result of constant operation of the city sewage system and insufficiently effective technologies on BWTP. That's why using calculation methodologies is an important aspect of receiving this data. Since Odesa IUA plays a big role in pollution of the sea environment, and one of the key sources of POPs emission into the environment is the discharge of wastewater, we have considered the intake of these substances into the sea environment as a result of wastewater discharge only from Odesa IUA.

**Literature review.** The length of sewage network of Odesa IUA makes up to approx. 690 km. Sewage outlets of the buildings lead to pressureless collectors which are usually under the roadway of the streets. Down them the stocks proceed to Sewage Pump Stations (SPS). More than one hundred of pumps located on 26 SPS pump up to 465,000 m<sup>3</sup> per day of wastewater to the operational BWTPs.

The treatment of wastewater on BWTP is being performed according to the non-traditional schemes (Fig.1).

Wastewater is supplied to the reception camera

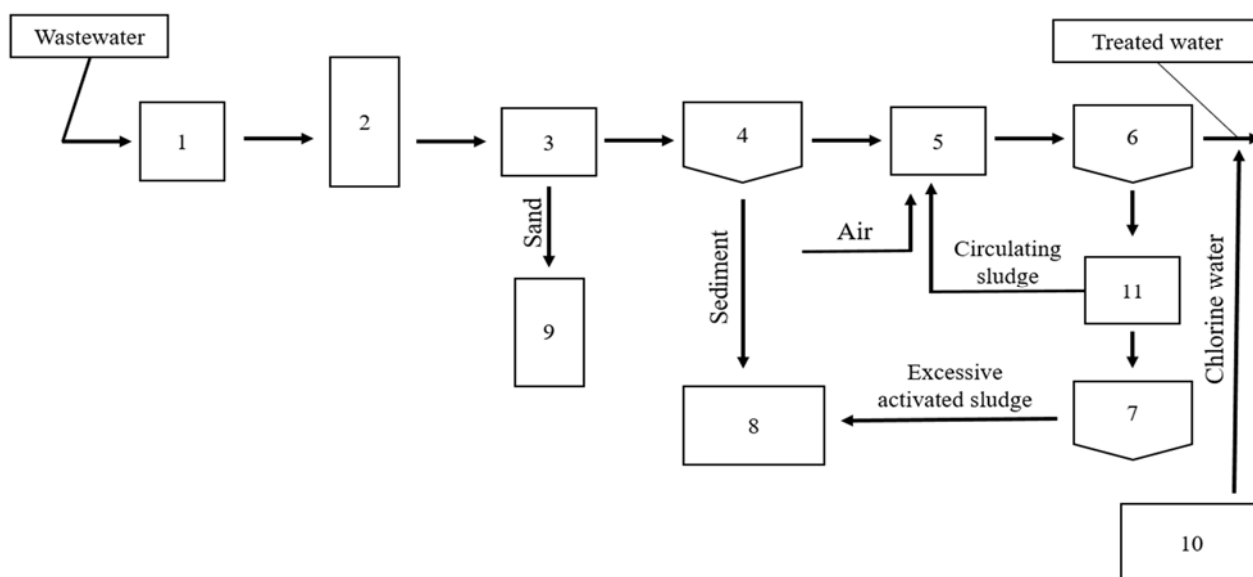


Fig.1. Principal technological scheme of wastewater treatment on urban wastewater treatment plants (Odesa) [6]

(1) where the high-pressure flow is being depressurized and then freely flows to the mechanical treatment facilities under gravity down special lots. Mechanical treatment facilities include cells (2), three horizontal sand traps (3) and six primary radial settling tanks (4). The sand captured in sand traps is deleted on sand platforms (9). The raw sediment separated in the primary settling tanks is pumped to the sludge platforms (8) by pumps located in the raw

sediment pumping station. Full biological treatment of wastewater occurs in aerotanks by means of activated sludge microorganisms. Air supply occurs through tubular aerators from foamed polystyrene. After aerotanks the mix of wastewater proceeds to secondary radial settling tanks (6) where under gravity the separation of activated sludge from treated waste liquid occurs. The sediment of activated sludge from secondary settling tanks is collected and then

freely flows under gravity to the airlift camera (11) from where it gets back to regenerators of aerotanks. Excessive activated sludge is returned to sludge thickeners (7). Supernatant liquor from sludge thickeners flow under gravity to the receiving reservoir of the municipal and household wastewater pump station from where it goes to the receiving camera by means of water pumps (1) [6].

In general, wastewater doesn't have a high concentration of PCDD/F, however during the process of chlorination on BWTP (10) the concentrations of these substances drastically increase, in some cases in 50 times. As noted by L.A. Fedorov (1993), disinfection of drinking water with molecular chlorine or sodium chloride electrolysis products leads to the generation of environmentally dangerous concentrations of PCDD/F. They enter the sewer from the water supply network. Sources of PCDD/F may be organochlorine pesticides, phenols, chlorophenols and other chemical compounds in industrial effluents. Other factors can also cause these substances to enter the sewage system, such as washing clothes and textiles that have been treated with paints and biocides that contain PCDD/F. In addition, PCDD/F can become a part of wastewater as a result of intake of effluents containing PCDD/F from combustion sources or as part of untreated industrial wastewater.

Formed in the Odesa IUA wastewater can be discharged in both treated and untreated condition. However, both treated and untreated wastewater may be a source of constant unintentionally formed POPs emission into the environment. It is also worth mentioning that in the process of wastewater treatment at the BWTP, new POPs are not formed, but the existing POPs are redistributed between the wastewater itself that is being treated and waste activated sludge. Therefore, an important source of PCDD/F emission into the environment is also waste activated sludge, which does not enter the sea environment directly, but concentrate on sludge sites and accumulate significant concentrations of POPs, which is clearly demonstrated in the work [5].

However, waste activated sludge is often considered a high-quality fertilizer for use on agricultural land, which corresponds to the principles of circular economy [8, 9] and sustainable development [10]. Although a study of waste activated sludge use in various European countries showed that, despite the high concentration of biogenic elements in it, waste activated sludge can become a source of a wide range of pollutants entering the environment, in particular heavy metals, polychlorinated biphenyls and PCDD/F [11]. After being introduced into the soil, such toxic substances will be bioavailable for cultivated plants, provoking negative effects (for example, phytotoxicity) and being transferred along terrestrial food chains, becoming dangerous for people and

the environment [12, 13]. This is why the proper WAS handling is important, since improper handling of them can lead to the uncontrolled spread of PCDD/F into the environment. On wastewater treatment stations of Odesa agglomeration WAS is placed on sludge platforms (see Fig.1), but in the case of their placement on irrigation fields, they can lead to an increase in the concentration of PCDD/F in the soil and plant layers with subsequent movement along the trophic chain. As for WAS, which was buried in burial grounds, it can contribute to the transition of PCDD/F into the leachate and further entering the groundwater. It should be noted that PCDD/F can also be formed during the thermal drying of excess activated sludge and sediments of wastewater.

Discharge of wastewater into open water bodies is a common practice of discharging insufficiently treated sewage directly into surface water bodies. The sources of PCDD/F in this case are the same as in sewage effluents. It should be noted that due to the lack of proper efficiency of sewage treatment, PCDD/F enter the given water body as part of the wastewater directly in full. The general scheme of biological wastewater treatment and, as a result, the entry of PCDD/F into the sea environment during the discharge of wastewater by BWTP of the Odesa IUA is presented in Figure 2.

**The purpose of the article** is the assessment of the amount of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (PCDD/F) entering the environment with the wastewater from Odesa IUA and determining the amount of their accumulation in the sea environment.

**Research methodology.** In our research, all available official methods of calculation of the unintentional formation of POPs were reviewed, as a result - the main and most complete methods were selected: [7] and [14].

All official calculation methods are based on the concept of emission coefficient (factor), which is an experimentally determined numerical characteristic which is common for a technological source of unintentional POPs production. For the majority of the main technological processes, which are accompanied by the formation of POPs, listed in Annex C of the Stockholm Convention, the corresponding emission factors are established, which are given in the methodologies [14] and [7].

Unintentional formation of POPs by fuel combustion is calculated using these coefficients according to the formula:

$$E_{\text{pollutant}} = V_{\text{WW}} \cdot EF_{\text{pollutant}}, \text{ or } E_{\text{pollutant}} = M_{\text{WAS}} \cdot EF_{\text{pollutant}} \quad (1)$$

$E_{\text{pollutant}}$  – annual formation of pollutant;

$EF_{\text{pollutant}}$  – emission factor of pollutant

$V_{\text{WW}}$  – volume of wastewater

$M_{\text{WAS}}$  – mass of waste activated sludge



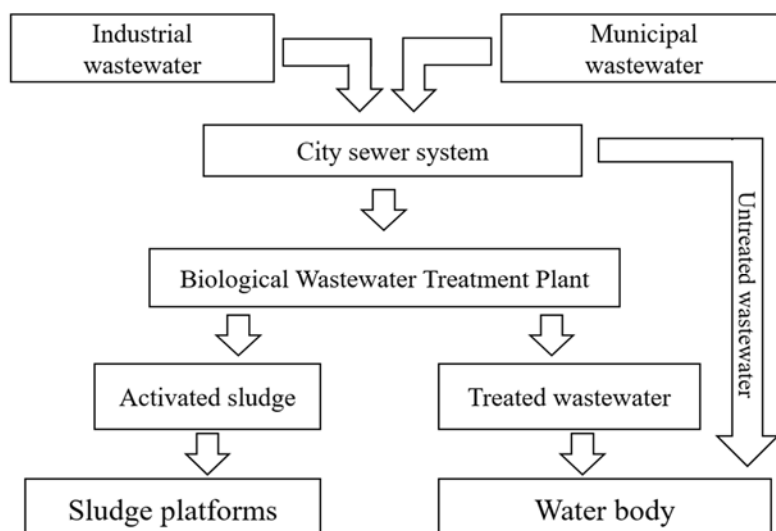


Fig. 2. Principal scheme of PCDD/F entry into marine environment during wastewater discharge by treatment plants of Odesa IUA

In our work [15] it is clearly demonstrated that the separate use of these methods does not make it possible to fully assess the unintentional formation of POPs. It is also worth mentioning that the data of the annual inventory will show a result that will reflect only the formation of these substances for the current year, but not the actual presence of POPs in the environment for the year under consideration. Therefore, we improved the existing methods taking into account the cumulative effect of POPs. It is a common knowledge that the half-life of any pollutant occurs according to an exponential law, taking into account its half-life. Based on this, the equation of POPs' half life will have the following form:

$$A_t = A \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (2)$$

$A_t$  – the mass of POPs after half-life over a period of time  $t$ ;

$A$  – the initial mass of the POPs;

$t$  – the time period under consideration;

$\tau$  – the time period during which the concentration will decrease by  $e$  times.

An important component of this formula is the value of the half-life of PCDD/F. Numerous toxic-kinetic studies show that, depending on the specifics of the natural environment, the half-life of 2,3,7,8-TCDD can range from 1 to 50 years [16-18]. In particular, under constant intense exposure to direct sunlight, the half-life can be 1-3 years, and in the deep layers of the soil cover, the half-life can reach 50 years [18]. Therefore, it is considered that on average the half-life of PCDD/F in terms of TE of TCDD (toxicological equivalent, which expresses the cumulative toxicity of complex mixtures of PCDD/F due to the toxicity of 2,3,7,8-TCDD) in the environment is 10 years. Therefore, in formula 2,  $\tau$  (PCDD/F) is equal to 14.5 years.

Thus, suggested by us improved approach to the calculation of unintentional POPs formation taking into account the cumulative effect has the main advantages, namely: allows for taking into account all of the main sources of unintentional formation of POPs based on the generalized data of the main official methods, which are the basis for reporting on the implementation of the Stockholm Convention; takes into account the specifics of these substances and allows taking into account the effect of their accumulation, hence the obtained results reflect the real picture of presence of accumulated POPs in the environment; determining the accumulated masses of POPs will allow to create a high-quality monitoring system of POPs in Ukraine, because the discovered values show not only the annual masses of POPs, but their actual value for the year under consideration [19].

**Presentation of the main research material.** In order to assess the release of POPs into the environment during the discharge of the wastewater by the treatment facilities of Odesa IUA, it is necessary to take into account the specifics and volumes of treatment of all types of wastewater. According to [20], part of the wastewater in Odesa IUA undergoes the procedure of treatment by activated sludge, and part of the wastewater is discharged into the sea basin without treatment. Thus, when the wastewater is treated with activated sludge, part of the POPs is redistributed between the actual wastewater and the activated sludge itself, while when discharging untreated and insufficiently treated wastewater, all POPs enter the sea environment directly. As a result of the wastewater treatment by activated sludge, a significant amount of these pollutants is localized in the activated sludge itself and is concentrated on the sludge sites after its removal. That is why it is crucial to consider the release of POPs from given category

of sources separately for water and soil environments.

Using statistical data [20-27], we determined the release of POPs to the environment along with

wastewater (both treated and untreated), taking into account their cumulative effect over 2007-2017. Obtained results are presented in the form of Figures 3 and 4.

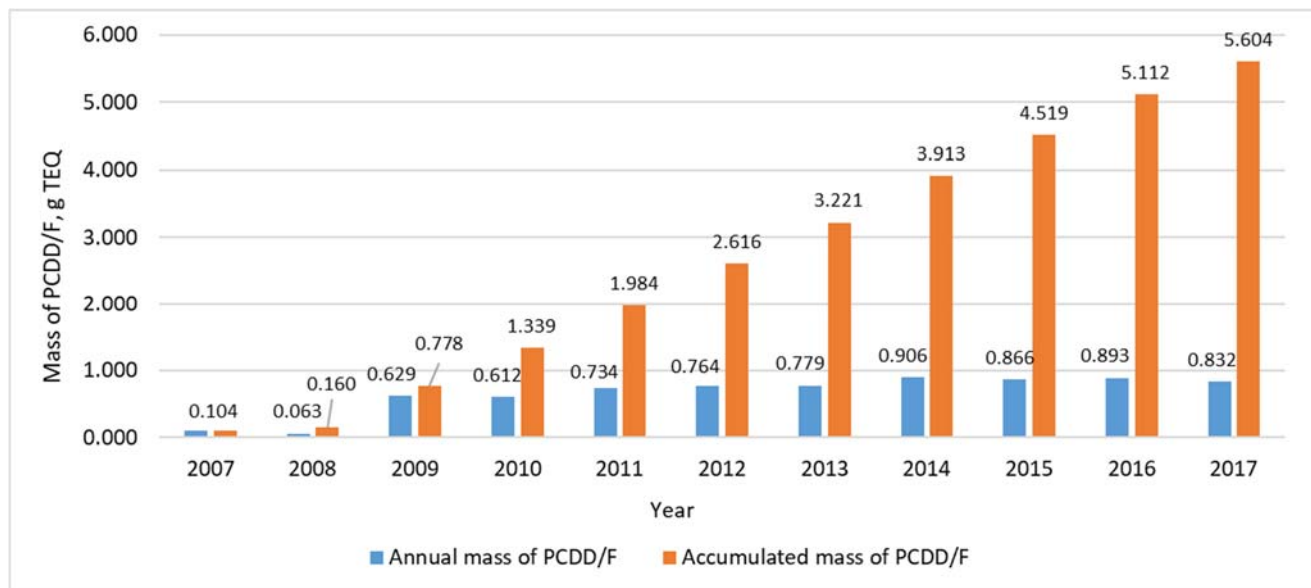


Fig. 3. Annual and accumulated masses of PCDD/F entering marine environment during treated wastewater discharge by treatment plants of the Odesa IUA

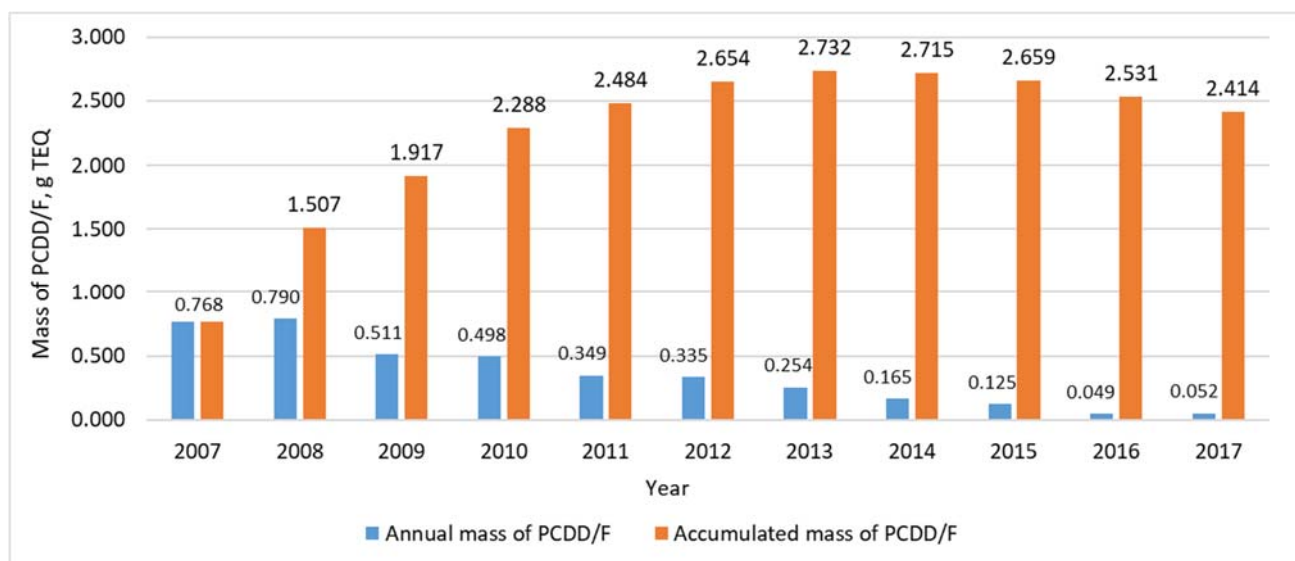


Fig.4. Annual and accumulated masses of PCDD/F entering marine environment during untreated wastewater discharge by treatment plants of Odesa IUA

Annual masses of PCDD/F, which enter the marine environment as part of untreated wastewater have a clear downward trend during the years 2008-2016, which is associated with a significant decrease in discharge volumes of the untreated wastewater. In turn, the amount of accumulated masses of PCDD/F increases until 2013, and from 2014 to 2017 a downward trend of POPs accumulation is observed. However, during the discharge of treated wastewater, there is an upward trend in the accumulation of PCDD/F masses in the marine environment, which is associated with a simultaneous sharp increase in the

annual masses of PCDD/F until 2014 and approximately the same annual masses of these substances from 2015 to 2017. This trend is explained by the increase in the flow of wastewater that goes to the wastewater treatment plant and undergoes the activated sludge treatment procedure, in particular, due to the decrease in the flow of wastewater that was discharged without treatment. Along with this, the accumulated POPs masses for 2017 are significantly larger than the similar annual ones, and in the case of untreated wastewater, the difference is 46 times, and in the case of treated wastewater and activated sludge

– almost 7 times.

That is why it is important to determine the accumulated masses of PCDD/F in the activated sludge, which does not enter the sea basin, but accumulates on sludge sites and in the soil and plant environments. Based on the fact that the share of activated sludge is 1% of the volume of wastewater, and the humidity of activated sludge is 99.3% [28], we determined the volume of WAS formation, as well as the mass of PCDD/F accumulated in it, the calculation results are shown in table 1.

The obtained data show a continuous increase in the accumulated masses of PCDD/F in activated sludge. According to [28], the annual mass of POPs, which enter the soil environment at sludge sites

exceeds the permissible by more than 600 times. However, taking into account the cumulative effect of these substances and their half-life period shows that the concentration of POPs over 2007-2017 exceeds the maximum limit value by at least 4261 times, which makes WAS a source of excessive environmental pollution, especially in the case of disposal outside the sludge sites. In particular, any use of WAS, especially as fertilizers, is unacceptable, and this type of waste requires the development of special methods of handling it.

The comparative histogram of the intake of POPs into the environment of Odesa IUA using the example of 2017 is shown in Fig. 5.

Table 1

Input of PCDD/F in the environment as part of activated sludge

Year	Mass of WAS, t dry residue	EF, mcg TEQ/t dry residue	Mass PCDD/F g TEQ	Accumulated mass of PCDD/F, g TEQ
2007	728.728	200	0.146	0.146
2008	441.441	200	0.088	0.224
2009	4407.403	200	0.881	1.091
2010	4288.284	200	0.858	1.876
2011	5143.138	200	1.029	2.780
2012	5353.348	200	1.071	3.666
2013	5458.453	200	1.092	4.514
2014	6348.342	200	1.270	5.484
2015	6068.062	200	1.214	6.333
2016	6257.251	200	1.251	7.164
2017	5829.824	200	1.166	7.854

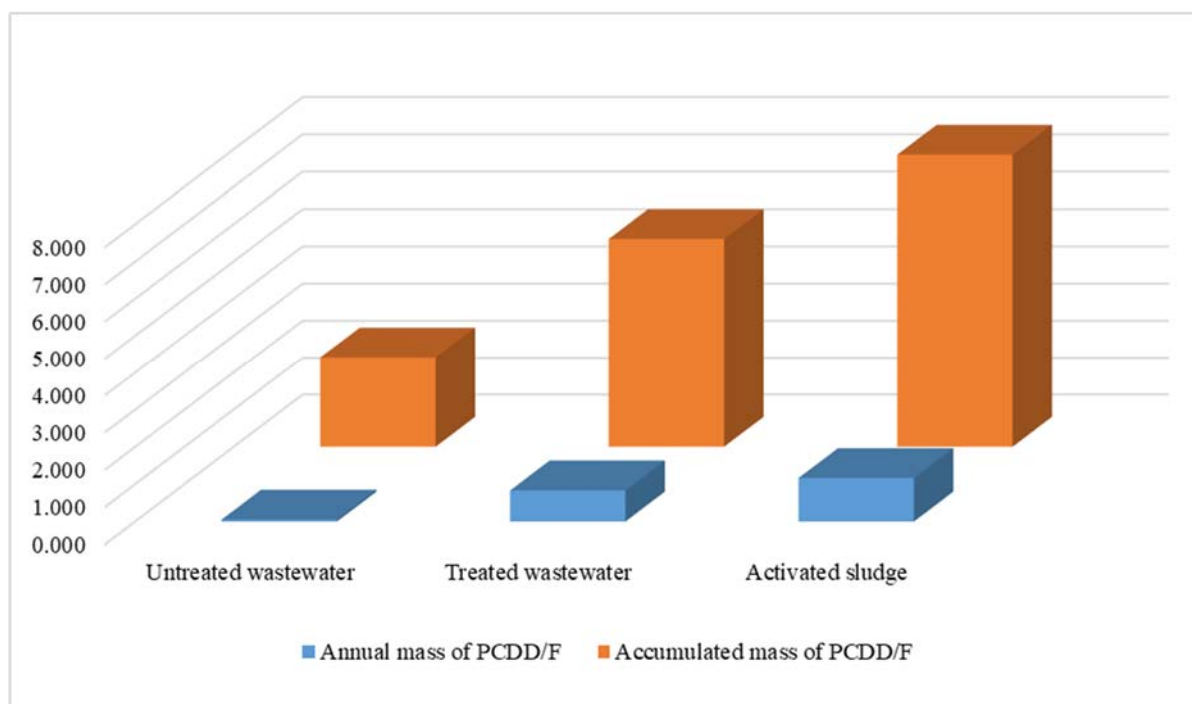


Fig. 5. Comparative histogram of the input of PCDD/F in the environment of Odesa IUA, 2017 (g TEQ)

Fig. 5 shows that the largest mass of PCDD/F is concentrated in WAS, and taking into account the cumulative effect of PCDD/F and their half-life period

increases the results obtained by us by almost an order of magnitude, which indicates that the use of methodologies [7, 14] leaves significant amounts of

PCDD unestimated /F, which enter the marine environment and can accumulate in hydrobionts, as well as accumulate in bottom sediments, thereby remaining a source of possible secondary pollution of the water column under certain hydrological conditions.

Even though wastewater treatment by activated sludge is a recognized type of wastewater treatment from PCDD/F, it doesn't solve the problem of POPs pollution, because these substances just redistribute from the water environment to the soil one.

It is also worth mentioning that the mass of PCDD/F that enters water bodies as part of treated wastewater shows that biological treatment does not ensure full and complete treatment of wastewater from POPs, which requires the introduction of new, more effective methods of wastewater treatment.

**Conclusions.** As a result of the research, the following conclusions can be drawn:

- Due to the impossibility of regular instrumental monitoring of PCDD/F entry into the water environment, the use of calculation methodologies for determining the volumes of these substances to assess their intake into the water environment is the only and necessary possible condition for satisfying the requirements of the Stockholm Convention;

- The use of existing European methodologies makes it possible to obtain data only for the current year, while the use of suggested by us method allows for obtaining accumulated concentrations for the cur-

rent year, considering those concentrations that were formed over the previous years, taking into account the cumulative effect and half-life period of PCDD/F;

- The largest annual mass of PCDD/F that enters the aquatic environment comes as part of treated wastewater and amounts to 0.832 g TEQ (on the example of 2017), which is explained by the increase in the treated wastewater discharge due to a decrease of untreated wastewater discharge volumes into water bodies;

- The accumulated masses of PCDD/F entering the water environment of the Odesa IUA during the discharge of both treated and untreated wastewater is 8,018 g TEQ;

- The largest mass of PCDD/F is concentrated in WAS. The accumulated mass for the period 2007-2017 exceeds the maximum threshold by at least 4261 times, which makes WAS a source of excessive pollution of the environment, especially in the case of disposal outside the sludge sites and requires the development of new environmentally safe methods of neutralization and disposal of WAS;

- To confirm the obtained results, it would be expedient to implement instrumental measurements of PCDD/F concentrations in wastewater and WAS;

- Biological treatment does not provide full and complete wastewater treatment against POPs, it requires the introduction of new, more effective methods of wastewater treatment.

### Bibliography

1. Стокгольмська конвенція про стійкі органічні забруднювачі (СОЗ) [Текст] / Секретаріат Стокгольмської конвенції. Женева, 2020 р. – 78 с.
2. Денга Ю.М. Особливості забруднення деякими стійкими органічними забруднювачами морського середовища північно-західної частини Чорного моря [Текст] / Ю.М. Денга, В.І. Михайленко, Ю.В. Олійник, Т.А. Сафранов // Вісник В. Н. Каразіна Харківський національний університет серія «Екологія». – 2020. – № 23. – С. 8-20. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-01>
3. Михайленко В.І. Основні джерела неконтрольованого надходження поліхлоридифенілів у навколишнє середовище Одеської промислово-міської агломерації. [Текст] / В.І. Михайленко, Т.А. Сафранов // Екологічні науки. – 2022. – №3(42). – С. 33-37. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.5>
4. Михайленко В.І. Аналіз обсягів та джерел утворення відходів, що містять стійкі органічні забруднювачі, на території Одеської області / В.І. Михайленко, Т.А. Сафранов // Людина і довкілля. Питання неоекології. – 2021. – №36. – С. 83-95. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2021-36-07>
5. Mykhailenko, V.I. Estimation of Input of Unintentionally Produced Persistent Organic Pollutants into the Air Basin of the Odessa Industrial-and-Urban Agglomeration / V.I. Mykhailenko, T.A. Safranov // Journal of Ecological Engineering. – 2021. – №22(9). – P. 21-31. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/141479>
6. Сафранов Т.А. Стан і якість природного середовища прибережної зони Північно-Західного Причорномор'я: монографія / за ред. Т.А. Сафранова, А.В. Чугай. – Харків: ФОП Панов А.М. – 2017. – 298 с.
7. ЮНЕП. Набір інструментів для ідентифікації та кількісного визначення викидів діоксинів, фуранів та інших ненавмисних СОЗ. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://toolkit.pops.int/publish/downloads/unep-pops-toolkit-2012-en.pdf> (Дата звернення: 7.07.2023р.)
8. Liberatori, G. Aryl hydrocarbon reporter gene bioassay for screening polyhalogenated dibenzo-p-dioxins/furans and dioxin-like polychlorinated biphenyls in hydrochar and sewage sludge / G. Liberatori, C. Mazzoli, F. Ferraro, L. Sturba, M. L. Vannuccini, D. Baroni, I. Corsi // Journal of Hazardous Materials. – 2022. – №428. – P. 128256. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128256>
9. Klenov, V. The Aryl hydrocarbon receptor mediates reproductive toxicity of polychlorinated biphenyl congener 126 in rats / V. Klenov, S. Flor, S. Ganesan, M. Adur, N. Eti, K. Iqbal, A. F. Keating, // Toxicol Appl Pharmacol. – 2021. – №426, – P. 115639. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.taap.2021.115639>

10. Kasprzak, M. Sewage sludge disposal strategies for sustainable development / M. Kasprzak, E. Neczaj, K. Fijalkowski, A. Grobelak, A. Grosser, M. Worwag, B. R. Singh // *Environmental Research*. – 2017. – №156. – P. 39-46. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.010>
11. Risk and Policy Analysts Ltd (RPA). *Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land. Final Report, Part III: Project Interim Reports* // DG ENV.G.4./ETU/2008/0076r // Brussels, Belgium, 2010. [Електронний ресурс] / Режим доступу: [http://ec.europa.eu/environment/archives/waste/sludge/pdf/part\\_iii\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/environment/archives/waste/sludge/pdf/part_iii_report.pdf) (Дата звернення: 7.07.2023)
12. Tomczyk, B. *Ecotoxicological assessment of sewage sludge-derived biochars-amended soil* / B. Tomczyk, A. Siatecka, A. Bogusz, P. Oleszczuk // *Environmental Pollution*. – 2021. – №275. – P. 116484. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116484>
13. Protano, G. *How do properties and heavy metal levels change in soils fertilized with regulated doses of urban sewage sludge in the framework of a real agronomic treatment program?* / G. Protano, F. Baroni, L. A. Di Lella, A. Mazzoni, F. Nannoni, A. Papale // *Journal of Soils and Sediments*. – 2020. – №20(3). – P. 1383-1394. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02511-3>
14. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook. *Technical guidance to prepare national emission inventories*. (2019). Available from: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019> (Дата звернення: 7.07.2023)
15. Михайленко В.І. Основні джерела ненавмисного утворення стійких органічних забруднювачів (на прикладі Одеси) / В.І. Михайленко, Т.П. Шаніна, Т.А. Сафранов // *Український гідрометеорологічний журнал [Електронний ресурс]*. – 2018. – №21. – С. 110-119. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Uggi\\_2018\\_21\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Uggi_2018_21_13) (Дата звернення: 7.07.2023)
16. Heinzl, H. *On the translation of uncertainty from toxicokinetic to toxicodynamic models – The TCDD example* / H. Heinzl, M. Mittlböck, L. Edler // *Chemosphere*. – 2007. – №67(9). – P.365-374. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.05.130>
17. Webster, T. *Estimating bioconcentration factors and half-lives in humans using physiologically based pharmacokinetic modelling: 2,3,7,8-TCDD* / T. Webster, P. Connett // *Chemosphere*. – 1991. – №23(11). – P: 1763-1768. DOI: [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(91\)90023-7](https://doi.org/10.1016/0045-6535(91)90023-7)
18. Olson, K. R. *Long-Term Fate of Agent Orange and Dioxin TCDD Contaminated Soils and Sediments in Vietnam Hotspots* / K. R. Olson, L. W. Morton // *Open Journal of Soil Science*. – 2019. – №9. DOI: <https://doi.org/10.4236/ojss.2019.91001>
19. Михайленко, В.І. Твір науково-практичного характеру "Удосконалена методика розрахунку ненавмисно утворених стійких органічних політантів з врахуванням їх кумулятивного ефекту" / В.І. Михайленко, Т.А. Сафранов. – Патент №109858. Український інститут інтелектуальної власності, 2021; Україна.
20. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Одеській області у 2017 році // Департамент екології та природних ресурсів. – 2018. – Одеса. – С. 270 с.
21. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Одеській області у 2016 році // Департамент екології та природних ресурсів. – 2017. – Одеса. – С. 216 с.
22. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Одеській області у 2015 році // Департамент екології та природних ресурсів. – 2016. – Одеса. – С. 178 с.
23. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Одеській області у 2014 році // Департамент екології та природних ресурсів. – 2015. – Одеса. – С. 250 с.
24. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Одеській області у 2013 році // Департамент екології та природних ресурсів. – 2014. – Одеса. – С. 261 с.
25. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Одеській області у 2012 році // Департамент екології та природних ресурсів. – 2013. – Одеса. – С. 267 с.
26. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Одеській області у 2011 році // Департамент екології та природних ресурсів. – 2012. – Одеса. – С. 249 с.
27. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Одеській області у 2010 році // Департамент екології та природних ресурсів. – 2011. – Одеса. – С. 252 с.
28. Михайленко В.І, Сафранов Т.А. *Надходження ненавмисно утворених стійких органічних забруднюючих речовин у водні об'єкти зі стічними водами Одеської промислово-міської агломерації* // Спеціалізовані та мультидисциплінарні наукові дослідження ЛОГО Σ / збірник наукових праць, Амстердам, 11 грудня 2020 р. – Нідерланди. – С. 7–9. <https://doi.org/10.36074/11.12.2020.v.3.01>

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work

#### References

1. Stockholm Convention of Persistent Organic Pollutants (POPs). (2020). *The Secretariat of the Stockholm Convention*. Geneva, 78.

2. Denga Yu.M., Mykhailenko V.I., Oleynik Y.V., Safranov T.A. (2020). Peculiarities of pollution by some persistent organic pollutants of the marine environment of the northwestern part of the Black sea. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University series «Ecology»*, (23), 8-20. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-01> [in Ukrainian]
3. Mykhailenko V.I., Safranov T.A. (2022). The main sources of uncontrolled entry of polychlorinated biphenyls into the environment of the Odesa industrial-and-urban agglomeration. *Ecological sciences*, 3(42): 33-37. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.5> [in Ukrainian]
4. Mykhailenko V.I. & Safranov T.A. (2021). Analysis of volumes and sources of waste containing persistent organic pollutants on the territory of Odesa region. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (36), 83-95. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2021-36-07> [in Ukrainian]
5. Mykhailenko, V.I. and T.A. Safranov. (2021). Estimation of Input of Unintentionally Produced Persistent Organic Pollutants into the Air Basin of the Odesa Industrial-and-Urban Agglomeration. *Journal of Ecological Engineering*, 22(9): p. 21-31.
6. Safranov T.A., Chugai A.V. (2017). *State and quality of the natural environment of the coastal zone of the North-Western Black Sea. Monograph, Kharkiv, 298 p.* [in Ukrainian]
7. UNEP. (2013). *Toolkit for Identification and Quantification of Releases of Dioxins, Furans and Other Unintentional POPs*. Retrieved from <http://toolkit.pops.int/publish/downloads/unep-pops-toolkit-2012-en.pdf>
8. Liberatori, G., Mazzoli, C., Ferraro, F., Sturba, L., Vannuccini, M. L., Baroni, D., ... Corsi, I. (2022). Aryl hydrocarbon reporter gene bioassay for screening polyhalogenated dibenzo-p-dioxins/furans and dioxin-like polychlorinated biphenyls in hydrochar and sewage sludge. *Journal of Hazardous Materials*, 428, 128256. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128256>
9. Klenov, V., Flor, S., Ganesan, S., Adur, M., Eti, N., Iqbal, K., ... Keating, A. F. (2021). The Aryl hydrocarbon receptor mediates reproductive toxicity of polychlorinated biphenyl congener 126 in rats. *Toxicol Appl Pharmacol*, 426, 115639. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2021.115639>
10. Kacprzak, M., Neczaj, E., Fijałkowski, K., Grobelak, A., Grosser, A., Worwag, M., ... Singh, B. R. (2017). Sewage sludge disposal strategies for sustainable development. *Environmental Research*, 156, 39-46. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.010>
11. Milieu Ltd, WRc, Risk and Policy Analysts Ltd (RPA). (2010). *Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land. Final Report, Part III: Project Interim Reports. DG ENV.G.4./ETU/2008/0076r, Brussels, Belgium.* URL: [http://ec.europa.eu/environment/archives/waste/sludge/pdf/part\\_iii\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/environment/archives/waste/sludge/pdf/part_iii_report.pdf)
12. Tomczyk, B., Siatecka, A., Bogusz, A., & Oleszczuk, P. (2021). Ecotoxicological assessment of sewage sludge-derived biochars-amended soil. *Environmental Pollution*, 275, 116484. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116484>
13. Protano, G., Baroni, F., Di Lella, L. A., Mazzoni, A., Nannoni, F., & Papale, A. (2020). How do properties and heavy metal levels change in soils fertilized with regulated doses of urban sewage sludge in the framework of a real agronomic treatment program? *Journal of Soils and Sediments*, 20(3), 1383-1394. <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02511-3>
14. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook. *Technical guidance to prepare national emission inventories.* (2019). Available from: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>
15. Mykhailenko V. I., Shanina T. P., Safranov T. A. (2018). Main sources of unintentional production of persistent organic pollutants (the case of Odesa). *Ukrainian hydrometeorological journal*, (21), p. 110-119. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Uggj\\_2018\\_21\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Uggj_2018_21_13) [in Ukrainian]
16. Heinzl, H., Mittlböck, M., & Edler, L. (2007). On the translation of uncertainty from toxicokinetic to toxicodynamic models – The TCDD example. *Chemosphere*, 67(9), 365-S374. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.05.130>
17. Webster, T., & Connett, P. (1991). Estimating bioconcentration factors and half-lives in humans using physiologically based pharmacokinetic modelling: 2,3,7,8-TCDD. *Chemosphere*, 23(11), 1763-1768. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(91\)90023-7](https://doi.org/10.1016/0045-6535(91)90023-7)
18. Olson, K. R., & Morton, L. W. (2019). Long-Term Fate of Agent Orange and Dioxin TCDD Contaminated Soils and Sediments in Vietnam Hotspots In (Vol. 9). *Open Journal of Soil Science*.
19. Mykhailenko V., Safranov T. (2021). UA Patent No.109858. *Ukrainskyi instytut intelektualnoi vlasnosti (Ukrpatent)*.
20. Department of environment and natural resources. (2018). *Regional report on the state of the natural environment in Odesa region in 2017. Odesa, 270 p.* [in Ukrainian]
21. Department of environment and natural resources. (2017). *Regional report on the state of the natural environment in Odesa region in 2016. Odesa, 216 p.* [in Ukrainian]
22. Department of environment and natural resources. (2016). *Regional report on the state of the natural environment in Odesa region in 2015. Odesa, 178 p.* [in Ukrainian]
23. Department of environment and natural resources. (2015). *Regional report on the state of the natural environment in Odesa region in 2014. Odesa, 250 p.* [in Ukrainian]
24. Department of environment and natural resources. (2014). *Regional report on the state of the natural environment in Odesa region in 2013. Odesa, 261 p.* [in Ukrainian]
25. Department of environment and natural resources. (2013). *Regional report on the state of the natural environment in Odesa region in 2012. Odesa, 267.* [in Ukrainian]
26. Department of environment and natural resources. (2012). *Regional report on the state of the natural environment in Odesa region in 2011. Odesa, 249.* [in Ukrainian]

27. Department of environment and natural resources. (2011). *Regional report on the state of the natural environment in Odesa region in 2010*. Odesa, 252. [in Ukrainian]
28. Mykhailenko V., Safranov T. (2020). *Input of unintentionally produced persistent organic pollutants in water bodies with sewage waters of Odessa industrial-and-urban agglomeration. Specialized and multidisciplinary scientific researches АΟΥГОΣ : collection of scientific papers, Amsterdam, 11 December 2020. The Netherland, 7–9. <https://doi.org/10.36074/11.12.2020.v3.01>*

## Біологічні очисні спортування як джерела забруднення навколишнього середовища стійкими органічними забруднювачами (на прикладі Одеської промислово-міської агломерації)

*Владислав Михайленко*<sup>1</sup>,

доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища,

<sup>1</sup>Одеський державний екологічний університет,

вул. Львівська, 15, Одеса, 65016, Україна;

*Тамерлан Сафранов*<sup>1</sup>,

д. геол.-мін. н., професор,

завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища;

*Марія Адобовська*<sup>2</sup>,

к. пед. н., доцент кафедри географії України, ґрунтознавства і земельного кадастру

<sup>2</sup>Одеського національного університету імені І.І. Мечникова,

вул. Дворянська, 2, Одеса, 65082, Україна

Ефективні механізми очищення стічних вод (СВ) є важливою складовою зменшення антропогенного навантаження на довкілля. Одним з найрозповсюдженіших механізмів очищення міських стоків є біологічна очистка, яка відбувається на станціях біологічної очистки (СБО). Однак збільшення номенклатури поллютантів, які зосереджені у міських СВ, значно впливає на ефективність очищення СВ вод на станціях СБО, які не були призначені для такого широкого спектру специфічних поллютантів, зокрема стійкими органічними поллютантами (СОП), контроль надходження яких у довкілля необхідно регулювати згідно до вимог Стокгольмської конвенції. Метою дослідження є оцінка обсягу надходження поліхлорованих дибензо-*p*-діоксинів та дибензофуранів (ПХДД/Ф) у довкілля зі СВ Одеської промислово-міської агломерації (ПМА) та визначення обсягів їх накопичення у морському середовищі. Для розрахунку обсягів надходження ПХДД/Ф у довкілля нами було використано оновлені європейські методики по інвентаризації викидів забруднюючих речовин, для розрахунку накопичення – використано вдосконалену авторами методику розрахунку накопичення ПХДД/Ф з врахуванням їх кумулятивного ефекту та періоду напіврозпаду. В роботі визначено річні маси ПХДД/Ф, які надходять у морське середовище у складі очищених, недостатньо очищених та неочищених СВ; встановлено маси ПХДД/Ф, які накопичуються у відпрацьованих активних мулах (ВАМ) на СБО; визначено обсяги та особливості накопичення ПХДД/Ф у морському басейні, в який здійснюється скидання СВ Одеської ПМА; визначено масу та концентрацію ПХДД/Ф, іммобілізовану у ВАМ, ступінь перевищення концентрації ПХДД/Ф у ВАМ порівняно з ГДК і сумарне накопичення ПХДД/Ф у морському середовищі за період 2007-2017 рр. Встановлено, що використання розрахункових методик для визначення обсягів ПХДД/Ф у водному середовищі є необхідною та єдиною доступною умовою виконання вимог Стокгольмської конвенції через неможливість здійснення регулярного інструментального моніторингу надходження ПХДД/Ф у водне середовище. Використання запропонованої нами вдосконаленої методики розрахунку накопичення ПХДД/Ф з врахуванням їх кумулятивного ефекту та періоду напіврозпаду дозволяє враховувати ті маси ПХДД/Ф, які накопичилися на рік, що розглядається, приймаючи до уваги ті маси ПХДД/Ф, які утворилися у попередні роки.

**Ключові слова:** *стійкі органічні полютанти, поліхлоровані дибензо-*p*-діоксини та дибензофурані, біологічна очистка стічних вод, стічні води, відпрацьовані активні мули.*

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 3 листопада 2022 р.

Прийнята 15 березня 2023 р.

## Determination of the macrophyte index MIR as an indicator of water quality in the Pripet river

Alla Nekos<sup>1</sup>

DSc (Geography), Professor, Head of the Department of Environmental Safety and Environmental Education,<sup>1</sup> V. N. Karazin Kharkiv National University, 6 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,

e-mail: [alnekos999@gmail.com](mailto:alnekos999@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0003-1852-0234>;

Mariia Boiaryn<sup>2</sup>

PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Protection,<sup>2</sup> Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli Av., Lutsk, 43025, Ukraine,

e-mail: [mariasun140314@gmail.com](mailto:mariasun140314@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0001-9822-5897>;

Oksana Tsos<sup>2</sup>

PhD (Agriculture), Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Protection,

e-mail: [oksana.tsos1972@gmail.com](mailto:oksana.tsos1972@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-9679-9413>;

Iryna Netrobchuk<sup>2</sup>

PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Geography,

e-mail: [iryna.nim@gmail.com](mailto:iryna.nim@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-8633-7426>;

Volodymyr Voloshyn<sup>2</sup>

PhD (Technics), Associate Professor of the Department of Geodesy, Land Management and Cadastre,

e-mail: [vol.lutsk@gmail.com](mailto:vol.lutsk@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-6586-2045>

### ABSTRACT

**Introduction.** The river basin and the catchments of small rivers within it is a complete ecological, hydrological and economic unit with clear boundaries and a set of natural conditions. Increasing the stability of the geosystem of the river basin is impossible without monitoring the dynamics of the state of natural resources and factors of negative impact. A significant part of the water management complex of the Volyn region is the Pripet River basin which has a significant degree of development. The watercourse forms part of the state border between Ukraine and the Republic of Belarus, the tributary basins are located on the territory of both states. The source, lower course and mouth of the Pripet River are on the territory of Ukraine. Therefore, it is necessary to observe the strategic principles of rational nature management to restore and preserve the optimal ecological state of the Pripet River basin.

**The objective of the work** is to assess the ecological state of the Pripet River using bioindication methods and the Macrophyte Index for Rivers (MIR).

**Methods.** Research methods are expeditionary, mathematical statistics, bioindication, and determination of the Macrophyte Index for Rivers (MIR).

**Results.** Four test sites of at least 100 m length each were used to determine the ecological state of the waters of the Pripet River. Research found 48 species of higher aquatic and coastal aquatic plants in the test sites of the Pripet River. All species belong to the division *Magnoliophyta*, of which 21 species of the class *Magnoliopsida* (43.75%), and the larger share (27 species, 56.25%) to the class *Liliopsida*.

35 indicative species of macrophytes were selected in the test sites of the river to determine the Macrophyte Index for Rivers (MIR). According to the MIR classification, the river belongs to lowland watercourses, the macrophyte type M-VIII (organic rivers). MIR calculations established that the river water quality in the test site No. 1 (village of Polozhevo, upper reaches) has a satisfactory ecological state, MIR is 33.84; in the site No. 2 (v. Luchytsi) satisfactory ecological state, MIR is 34.04; in the site No. 3 (v. Liubyaz, border between Volyn and Rivne regions) good ecological state, MIR is 40.6; water quality in the site No. 4 (v. Senchytsi, border with Belarus) has satisfactory ecological state, MIR is 33.57.

**Conclusions.** According to the Macrophyte Index for Rivers, it was established that the Pripet River waters have a satisfactory or good ecological state. This gives reason to state that the research in the test sites and the MIR calculations fully reflect the ecological state of the watercourse, which allows the use of this research algorithm for other rivers of the basin.

**Keywords:** river, bioindication, macrophytes, ecological status of rivers, macrophyte index, water quality classes, ecological assessment of water quality.

**In cites:** Nekos Alla, Boiaryn Mariia, Tsos Oksana, Netrobchuk Iryna, Voloshyn Volodymyr (2023). Determination of the macrophyte index MIR as an indicator of water quality in the Pripet river. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (58), 360-370. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-27>

**Introduction.** The river basin and its structural elements within form a complete ecological, hydrological and economic unit with clear boundaries and a complex of natural conditions. Increasing the stability of the geosystem of the river basin is impossible

without monitoring the dynamics of the state of natural resources and negative impact factors. The largest share of the territory of the Volyn region is occupied by the basin of the Pripet River which is also the most economically developed. The source and upper



course of the river are located here which then continues into the territory of the Republic of Belarus. In its lower reaches, the Pripet River returns to Ukraine where it flows into the Dnieper. Therefore, it is necessary to observe the strategic principles of rational nature management to restore and preserve the optimal ecological state of the Pripet basin [1, 7, 8].

The method of assessing the ecological state of rivers (Makrofitowa Metoda Oceny Rzek, MMOR) that is used in Poland is based on two techniques, the English Mean Trophic Rank (MTR) and the French Indice Biologique Macrophytique Riviere (IBMR) [19, 20, 26] which have been used in scientific research for quite a long time. MMOR was first described in 2006, and published as a textbook in 2010. The technique is based on the determination of quantitative and qualitative indicators of macrophytes that were found during the investigations of the water body sections. The Macrophyte Index for Rivers (MIR) is calculated from the results of the determined species composition of macrophytes, and the ecological state of the river is assessed in accordance with the EU Water Framework Directive [25, 29, 31].

The research in this direction in Ukraine is performed at the «Ukrainian Research Institute of Environmental Problems» and is based on the MMOR methodology. Scientists O. V. Vasenko and G. A. Korobkova have substantiated the possibility of using groups of aquatic macrophytes to assess the ecological state of the rivers of forest-steppe and steppe physiographic zones of Ukraine [4]. Similar studies concerning the assessment of the ecological state of ecosystems of the Pripet basin by higher plants were performed by M. O. Klymenko and Yu. R. Grokhovska [2, 3, 4]. The authors studied aquatic macrophyte groups to assess the ecological state of the Pripet River [10, 11, 12, 17, 22].

A significant contribution to the study of water resources of the Volyn region, and the Pripet River basin in particular, was made by Yatsyk A. V., and V.O. Fesyuk [7,8]. The concerned the study of the features of the location and economic use of natural landscapes of the Volyn region, the characteristics of drainage systems of the Volyn region and their protection are, the formation of the water regime in the valley of the Pripet River under the conditions of anthropogenic load, studied water quality in the basin of the Turiya River, the valley of the Pripet River and its right tributaries, as well as the assessment of the anthropogenic load and the ecological balance of the landscapes of the basin of the Turiya River and the valley of the Pripet River within Volyn region, ecological problems of the river use and river protection in the Pripet basin in the Volyn region were studied by V. O. Fesyuk, Z. K. Karpyuk and M. R. Zabo-krystska [7, 8].

**The objective of this work** is to assess the ecological state of the Pripet River using bioindication methods and determining the Macrophyte Index for Rivers (MIR)

**Research methods and raw data.** Four test sites, each at least 100 m long, were established along the river bed to research the ecological condition of the Pripet River. The first test site was located in the village of Polozhevo (upper course), the second site in the village of Luchytsi, the third in the village of Liubyaz on the border between the Volyn and Rivne regions, the fourth in the village of Senchytsi on the border with Belarus.

48 indicator species of macrophytes were selected to determine the Macrophyte Index for Rivers (MIR); they belong to the division Magnoliophyta, of which 21 belong to the class Magnoliopsida and 27 to the class Liliopsida.

Field studies at the territory of the river basin make it possible to calculate the Macrophyte index of rivers according to the formula [19, 26]:

$$MIR = \frac{\sum(Li \times Wi \times Pi)}{\sum(Wi \times Pi)} \times 10;$$

where

*MIR* is the macrophyte index for rivers;

*L<sub>i</sub>* is the quantitative value of the indicator for the specified species;

*W<sub>i</sub>* is the weight factor for the species *i*;

*P<sub>i</sub>* is the coverage coefficient of the specified species on a 9-point scale.

The MIR indicator can vary from 10 (most degraded rivers) to 100 (very good ecological condition). For the lowland rivers, the MIR cannot exceed 60. The calculations of MIR used 151 indicator species of macrophytes. The methodology sets the boundary values of the MIR for 5 classes of ecological status, from very good to very bad, for each macrophyte type of rivers developed in accordance with the EU Water Framework Directive [19, 26, 28]. The studied test sections of the Pripet River were classified by comparing the calculated MIR to the classification values for the type of river, lowland, highland, or mountain (Table 1).

Comparative analysis of the ecological state of the water quality of the Pripet River according to hydrochemical parameters and determined by the MIR [19, 26] used the results of laboratory studies of the State Environmental Inspection in the Volyn region performed in accordance with the regulatory documents [9].

**Research results.** The Pripet River is one of the large rivers of Ukraine, the largest of the right tributaries of the Dnieper in terms of basin area, length and water content (Table 2). The Pripet is a trans-border river as it flows on the territory of two countries,

Table 1

Classification of the MIR values for determining the ecological status of rivers [4, 5, 19, 26]

Macrophyte type		Watercourse type	Ecological status				
			Very good	Good	Moderate	Bad	Very bad
M-I	Alpine streams	Highland or mountain watercourse	≥65.6	(65.6 – 50.7>	(50.7 – 38.8>	(38.8 – 24.0>	<24.0
M-II	Silicon rivers		≥61.8	(61.8 – 48.1>	(48.1 – 37.0>	(37.0 – 23.3>	<23.3
M-III	Carbonate rivers		≥55.4	(55.4 – 42.0>	(42.0 – 31.4>	(31.4 – 18.0>	<18.0
M-IV	Highland water-courses of lowland nature		≥48.3	(48.3 – 37.7>	(37.7 – 27.0>	(27.0 – 16.4>	<16.4
M-V	Large highland rivers		≥46.5	(46.5 – 37.8>	(37.8 – 29.0>	(29.0 – 20.3>	<20.3
M-VI	Sandy rivers	Lowland watercourse	≥46.8	(46.8 – 36.6>	(36.6 – 26.4>	(26.4 – 16.1>	<16.1
M-VII	Stone-gravel rivers		≥47.1	(47.1 – 36.8>	(36.8 – 26.5>	(26.5 – 16.2>	<16.2
M-VIII	Organic rivers		≥44.5	(44.5 – 35.0>	(35.0 – 25.4>	(25.4 – 15.8>	<15.8
M-IX	Large lowland rivers		≥44.7	(44.7 – 36.5>	(36.5 – 28.2>	(28.2 – 20.0>	<20.0

Ukraine and the Republic of Belarus. The length of the Pripet River is 775 km, of which 261 km within the borders of Ukraine, of which 172 km flows in the Volyn region. The total catchment area is 114,300 km<sup>2</sup>, of which 76,600 km<sup>2</sup> is within Ukraine, and 15,500 km<sup>2</sup> is within the Volyn region [3, 7, 8].

The Pripet originates between the villages of Budnyki and Rogovy Smolyari of the Luboml district of the Volyn Region on the Volyn Upland (on modern maps, the village of Budnyki belongs to the Kovel District). After 204 km from the source, the river leaves the territory of Ukraine, and the following 500

km flows in the Polissia lowland of the Republic of Belarus in a weakly defined valley, separating into distributaries in the area of the Pinsk marshes. The last 50 km the Pripet again flows in the territory of Ukraine joining the Dnieper River (Kyiv Reservoir) a few kilometers from Chernobyl [3].

The Pripet has a well-developed hydrographic network (10,500 rivers and streams). Most of the tributaries are completely or partially turned into channels. The right-bank tributaries flow mainly through the territory of Ukraine, while the left-bank tributaries flow through the Republic of Belarus (Table 2).

Table 2

The largest tributaries of the Pripet River

Left-bank tributaries	Length, km	Catchment area, km <sup>2</sup>	Right-bank tributaries	Length, km	Catchment area, km <sup>2</sup>
Pina	40	2 460	Tenetychka	20	
Yaselda	242	5 430	Vyzhivka	81	1 272
Bobryk the First	109	1 902	Turiya	184	2 900
Tsna	126	1 130	Stokhid	188	3 125
Lan'	147	2 190	Tsyr	57	507
Sluch	228	5 760	Veselukha	69	940
Bobryk the Second	44	710	Styr	483	13 130
Ptych	486	9 470	Vybiy	10	55
Tremliya	80	769	Goryn'	659	27 700
Ipa	109	1 010	Stvyga	178	5 440
Vit	70	991	Uborot'	292	5 820
Braginka	179	2 778	Mytva	47	430
			Slovechna	138	2 670
			Zholon'	113	1 460
			Uzh	256	8 080

The main tributaries of the Pripet within the Volyn region are the Stokhid, the Turiya, the Styr, the Vyzhivka, and the Tsyrrivers [3].

The valley of the Pripet is weakly defined in the upper reaches, and more clearly in the lower reaches. The floodplain is developed along the entire length of the Pripet. Two floodplain terraces are generally distinguished. The width of the floodplain in the upper reaches is 2-4 km or more, which in some years is flooded for several months. The width of the floodplain in the lower stream reaches 10-15 km (Fig. 1).

There is a significant number of lakes of various origins in the basin of the Pripet River: floodplain

(Lake Liubyaz, Luky, Strybuzh), karst (Lake Velyke Domashne, Male Domashne, PISOCHNE, Luka), and glacial (Lake Bile, Skorin). The majority of the floodplain lakes is located in the northern and northwestern parts of the Pripet River, the largest being Lake Liubyaz. The karst lakes are located in the catchments of such rivers as the Turiya, the Vyzhivka, the Tsyrr, and the Stokhid. The karst lakes are fed by atmospheric precipitation, surface runoff, and groundwater. All lakes have a mixed type of feed; depending on the type, precipitation, runoff, or groundwater dominates. The water level of the lakes coincides with that of the rivers.

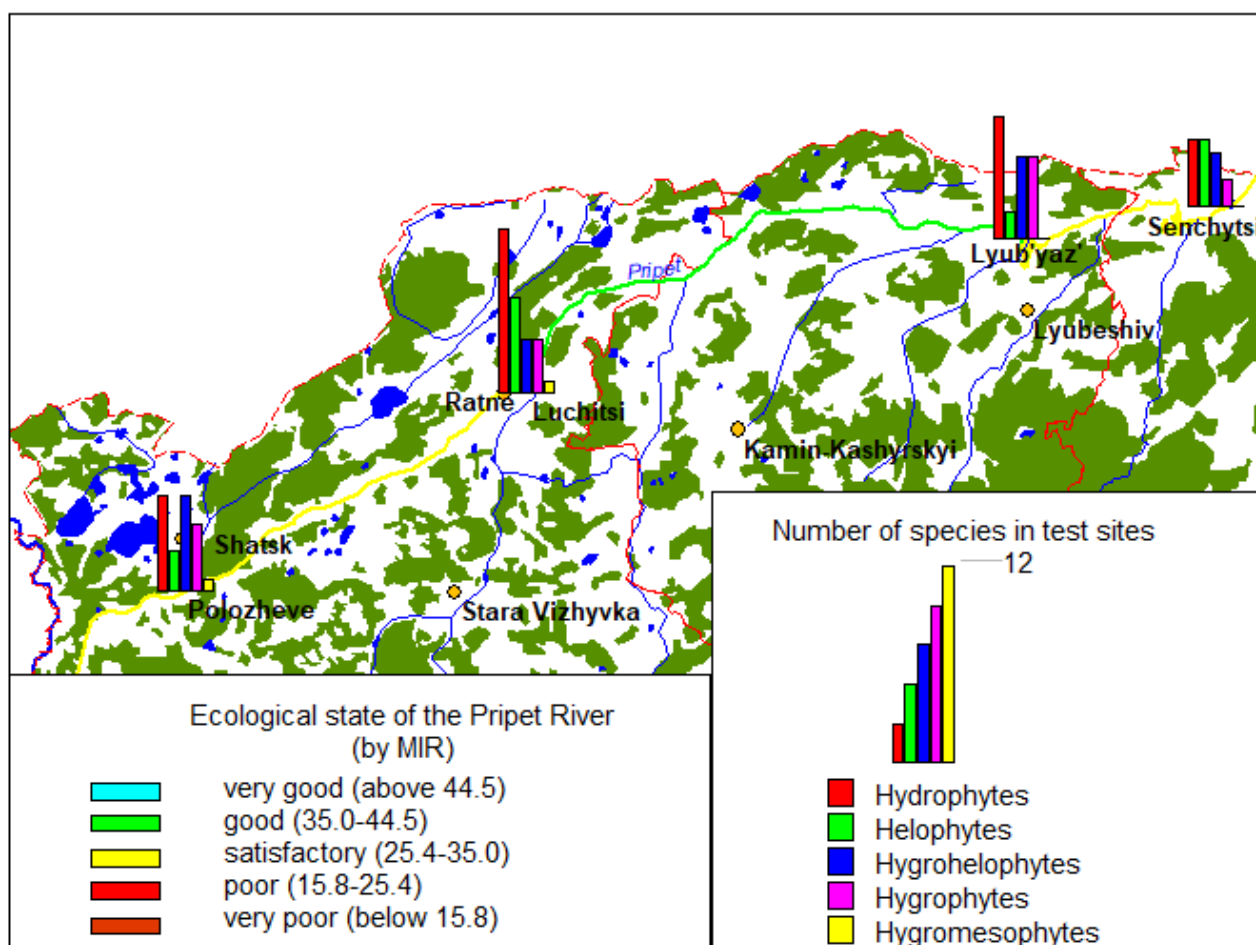


Fig. 1. Ecological state of the Pripet River by the macrophyte index MIR

The Pripet river basin has a moderately continental climate, with wet summers and mild winters. It is characterized by a long spring flood, a short-term summer low, which is disturbed by rain floods and almost annual autumn water level rises. The intensity of the water level rise during floods varies between 15-20 cm/day, and in some years up to 40 cm/day. A spring flood lasts on average 50-70 days [3, 7, 8].

The Pripet River remains one of the few rivers of the Volyn region whose floodplains have been preserved in their natural state. Practically the entire territory is included in the nature reserve, there are 10

hydrological reserves and the Pripet-Stokhid National Park. The Pripet floodplain is included in the list of wetlands of Ukraine subject to the Ramsar Convention.

We performed ecological and geobotanical research on the 4 test sites along the Pripet water course during May – September 2021. As a result of the field studies presented in Table 3, the features of the distribution of macrophyte species [13] (including indicator species) and the projective coverage of each species on the test sites were determined.

The research found 48 species of higher aquatic

Table 3

Qualitative and quantitative characteristics of macrophytes of the upper reaches of the Pripet River

№	Macrophyte species	Li	Wi	Projective coverage (P) in the test sites			
				Polozhevo	Luchytsi	Liubyaz	Senchytsi
1	<i>Cicuta virosa</i> L.	6	2	3		3	3
2	<i>Sium latifolium</i> L.	7	1	4	3		
3	<i>Bidens tripartita</i> L.			3			
4	<i>Myosotis scorpiodes</i> L.	4	1	3	3	3	3
5	<i>Rorippa amphibia</i> (L.) Bess.	3	1	3		3	3
6	<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	2	3	6	5		3
7	<i>Ceratophyllum submersum</i> L.	2	3		4		
8	<i>Lycopus europaeus</i> L.				2	2	
9	<i>Mentha aquatica</i> L.	5	1		2	3	3
10	<i>Epilobium palustre</i> L.			2			
11	<i>Lythrum salicaria</i> L.			3			
12	<i>Nuphar lutea</i> (L.) Smith.	4	2	5	6	4	4
13	<i>Nymphaea alba</i> L.				2		
14	<i>Persicaria hydropiper</i> (L.) Delarb.	3	1		2		
15	<i>Polygonum persicaria</i> L.	2	2	2			
16	<i>Rumex aquaticus</i> L.			1			
17	<i>Rumex crispus</i> L.			3	3		
18	<i>Lysimachia nummularia</i> L.					3	
19	<i>Lysimachia vulgaris</i> L.	4	1	5		2	
20	<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	3	2		4	3	
21	<i>Myriophyllum verticillatum</i> L.					2	
22	<i>Acorus calamus</i> L.	2	3	5	5	3	
23	<i>Alisma plantago-aquatika</i> L.	4	2		2		2
24	<i>Sagittaria sagittifolia</i> L.	4	2	5	5		2
25	<i>Lemna minor</i> L.	2	2	7		3	4
26	<i>Lemna trisulca</i> L.	4	2	1		2	
27	<i>Lemna gibba</i> L.	1	3	2			
28	<i>Spirodela polyrrhiza</i> (L.) Schleid	2	2		1		4
29	<i>Butomus umbellatus</i> L.	5	2		1		
30	<i>Hydrocharis morsus-ranae</i> L.	6	2		2	2	
31	<i>Elodea canadensis</i> Michx.	5	2	6	6		
32	<i>Vallisneria spiralis</i> L.					2	2
33	<i>Stratiotes aloides</i> L.	6	2		4	4	
34	<i>Potamogeton lucens</i> L.	4	3		2		
35	<i>Potamogeton natans</i> L.	4	1	5	2		
36	<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	4	2			2	
37	<i>Iris pseudacorus</i> L.	6	2	3	3	2	
38	<i>Carex acuta</i> L.	5	1			2	2
39	<i>Carex riparia</i> Curtis	4	2			2	
40	<i>Carex acutiformis</i> Ehrh.	4	1				2
41	<i>Scirpus sylvaticus</i> L.	5	2			2	
42	<i>Scirpus lacustris</i> L.	4	2		2	2	2
43	<i>Eleocharis palustris</i> (L.) Roem. & Schult.	6	2		2		
44	<i>Juncus effuses</i> L.				1		
45	<i>Glyceria maxima</i> (Hartm.) Holmb.	3	1	4	5	4	2
46	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Steud.			3			6
47	<i>Sparganium erectum</i> L.	3	1		2		
48	<i>Sparganium emersum</i> Rehm.	4	2		2		
	<b>Total species: 48, 35 indicative species</b>			22 total, 19 indic.	27 total, 24 indic.	22 total, 19 indic.	15 total, 14 indic.
	<b>MIR value at the test site</b>			33.84 (III)	34.04 (III)	40.6 (II)	33.57 (III)

and coastal aquatic plants in the test sites of the Pripet River. All species belong to the division *Magnoliophyta*, of which 21 species belong to the class *Magnoliopsida* (43.75%), and the larger share, 27 species, belong to the class *Liliopsida* (56.25%),

The largest number of species, 6, belongs to the *Cyperaceae* family (12.50%). Four species each (8.33%) belong to the *Polygonaceae*, *Araceae*, and *Hydrocharitaceae* families. Another 3 species (6.26%) belong to the *Potamogetonaceae* family. The other 18 families include 1-2 species each (Fig. 2).

In terms of the number of species of aquatic and

coastal aquatic plants, site No. 2 (the village of Luchytsi) predominates where 28 species were found. There are 23 species each in the sites No. 1 (Polozhevo) and No. 3 (Liubyaz), and 16 species in the site No. 4 (Senchytsi).

Five ecotypes of macrophytes are identified in the classification: hydrophytes, or real water plants; helophytes, or air-water plants; hygrophelophytes; hygrophytes; hygromeso- and mesophytes [13]. The analysis of the species of higher aquatic and coastal aquatic plants at the test sites showed that the largest number of true aquatic plants, 12 species (42.86%),

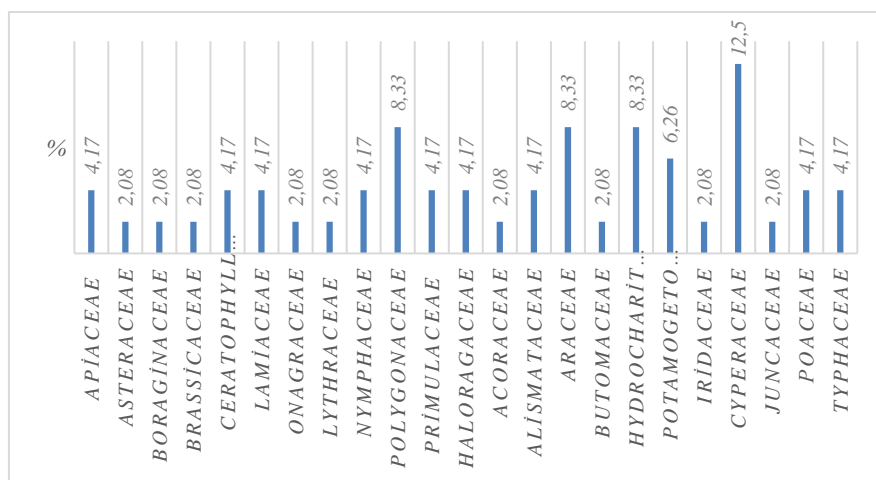


Fig. 2. Macrophyte families of the Pripet River

is located at site No. 2 (Luchytsi village). These are the following types: *Elodea canadensis*, *Ceratophyllum demersum*, *Nuphar lutea*, *Persicaria hydropiper*, *Myriophyllum spicatum*, *Spirodela polyrrhiza*, *Hydrocharis morsus-ranae*, *Nymphaea alba*, *Stratiotes aloides*, *Potamogeton lucens*, *Potamogeton natans*, *Ceratophyllum submersum*.

The smallest variety was found in site No. 4 (Senchytsi village), only 5 species: *Ceratophyllum demersum*, *Nuphar lutea*, *Lemna minor*, *Spirodela polyrrhiza*, *Vallisneria spiralis*.

Helophytes are also best represented in site No. 2 (Luchytsi village) where 7 species were found: *Alisma plantago-aquatica*, *Sagittaria sagittifolia*, *Butomus umbellatus*, *Scirpus lacustris*, *Glyceria maxima*, *Sparganium erectum*, *Sparganium emersum*. The fewest number of them are in site No. 3 (Liubyaz village) where specimens of the species *Scirpus lacustris* and *Glyceria maxima* were found.

Among the hygrophelophytes, the largest number, 7 species, was found in site No. 1 (Polozhevo village): *Cicuta virosa*, *Sium latifolium*, *Rorippa amphibia*, *Lythrum salicaria*, *Rumex aquaticus*, *Acorus calamus*, *Iris pseudacorus*.

The most hygrophytes in the list of flora, 6 species, were in test site No. 3 (Liubyaz village): *Myosotis scorpiodes*, *Lycopus europaeus*, *Mentha aquatica*, *Lysimachia nummularia*, *Lysimachia vulgaris*,

*Scirpus sylvaticus*. Only two species, *Myosotis scorpiodes* and *Mentha aquatica*, were in test site No. 4 (Senchytsi village).

Hygromeso- and mesophytes are represented by only one species, *Rumex crispus*, in test sites No. 1 (Polozhevo village) and No. 2 (Luchytsi village) (Table 4).

Analysis of the species composition of macrophytes at the test sites along the Pripet River regarding the indicative value of the species showed that of 48 macrophyte species detected, 35 have indicative value. A total of 23 species were found at test site No. 1 (village of Polozhevo), 19 of which are indicative species. The highest projective coverage was for *Lemna minor* (40%), *Elodea canadensis* (20%), *Ceratophyllum demersum* (15%), *Nuphar lutea* (10%), *Lysimachia vulgaris* (10%), *Acorus calamus* (10%), *Sagittaria sagittifolia* (10%).

Test site No. 2 (village of Luchytsi) featured 28 species of higher aquatic and coastal aquatic plants, 24 of which are indicative. The largest projective coverage of the indicative species was for *Elodea canadensis* (15%), *Ceratophyllum demersum* (10%), *Acorus calamus* (10%), *Sagittaria sagittifolia* (10%). 23 species of plants were found on test site No. 3 (village of Liubyaz), 19 of them are indicative. Among them, *Nuphar lutea* (5%), *Stratiotes aloides* (4%) and *Glyceria maxima* (3%) have the largest projective coverage. Other species have projective coverage

Table 4

## Ecotypes of aquatic and coastal aquatic plants of the Pripet River

	Ecotypes	Number of species (share in %) in the test sites			
		No. 1, Polozhevo	No. 2, Luchytsi	No. 3, Liubyaz	No. 4, Senchytsi
I	Hydrophytes, of which:	7 (30.44)	12 (42.86)	9 (39.13)	5 (31.25)
	Free-floating	3 (13.04)	2 (7.14)	3 (13.04)	2 (12.50)
	Immersed and rooted	1 (4.35)	4 (14.29)	5 (21.74)	1 (6.25)
	Rooted with floating leaves	2 (8.70)	4 (14.29)	1 (4.35)	1 (6.25)
	Immersed not rooted	1 (4.35)	2 (7.14)	-	1 (6.25)
II	Helophytes, of which:	3 (13.04)	7 (25.00)	2 (8.69)	5 (31.25)
	Low-herbed	1 (4.35)	6 (21.43)	1 (4.35)	3 (18.75)
	High-herbed	2 (8.70)	1 (3.57)	1 (4.35)	2 (12.50)
III	Hygrohelophytes	7 (30.44)	4 (14.29)	6 (26.09)	4 (25.00)
IV	Hygrophytes	5 (21.73)	4 (14.29)	6 (26.09)	2 (12.50)
V	Hygromeso- and mesophytes	1 (4.35)	1 (3.56)	-	-
Total:		23 (100)	28 (100)	23 (100)	16

from 0.5% to max 2%.

Sixteen species of higher aquatic and coastal aquatic plants were found at test site No. 4 (village of Senchytsi), 14 of them are indicative. Among these, *Nuphar lutea* (3%), *Lemna minor* (3%), *Spirodela polyrrhiza* (3%) have the largest projective coverage. Other species have a projective coverage from 0.5% to 1%.

An assessment of the ecological condition of the Pripet River was made from the investigation results by the Macrophyte Index for Rivers (MIR). The formula above and the classification table for 4 types of rivers (Table 1) were used to calculate the MIR.

Characteristics of 35 indicative species of macrophytes found in the surveyed sites in the Pripet River according to the methodology were used to calculate the MIR value. According to the MMOR, the indicator (**L**), weight factor (**W**), coverage factor (**P**) are ascribed to indicative types of macrophytes [4, 5, 19, 26]). The results of the survey of the test sections of the river which are presented in Table 3 show that 48 species have been identified in the Pripet riverbed, of which 35 are indicator species of macrophytes. The quantitative value of the indicator varies from 1 to 7. The determined according to the MIR indicator of the ecological state of the Pripet River at 4 test sections of the channel is presented in Table 5.

According to the classification of the MIR for determining the ecological state [19, 26], the Pripet River belongs to lowland watercourses, with the

macrophyte type M-VIII (organic rivers). Research and analysis of the Pripet River waters in four test sites established that in the test site No. 1 in the village of Polozhevo (upper reaches), the calculated Macrophyte Index for Rivers is 33.84, the water quality has a satisfactory ecological state; in the test section No. 2 in the village of Luchytsi the MIR is 34.04, the water quality has a satisfactory ecological state; in the test site No. 3 in the village of Liubyaz (border between Volyn and Rivne regions) the MIR is 40.6, water quality has a good ecological state; in the test site No. 4 in the village of Senchytsi (border with Belarus) the calculated MIR is 33.57, the river water quality has a satisfactory ecological state.

The largest anthropogenic impact on the ecological state of the Pripet River comes from water use activities in the river valley which occur along its main channel and the channels of its tributaries, where the vast majority of settlements are located. Drainage reclamation substantially affects the processes taking place in the river valley, as a result of which agricultural landscapes were formed in place of wetlands. Drained land is mainly used in agricultural production. Among the main anthropogenic factors that shape the load on the river valley, the following can be marked out: the degree of use of land resources, the amount of biogenic substances removed from agricultural objects, the intensity of use of water resources and their quality, the water supply of the population.

Table 5

## Ecological state of the Pripet River according to the MIR

Test site of the river course	MIR value	Ecological state
village of Polozhevo (upper course)	33.84	III (35.0–25.4>) / satisfactory
village of Luchytsi	34.04	III (35.0–25.4>) / satisfactory
village of Liubyaz	40.6	II(44.5–35.0>) / good
village of Senchytsi (border with Belarus)	33.57	III (35.0–25.4>) / satisfactory

In all test sections of the river bed, facts of violations of the Water Code in terms of preserving the water protection zone of rivers were revealed during the study, such as presence of farm buildings and agricultural land, and runoff of sewage from residential and commercial facilities into surface waters.

Among the main negative points that affect the hydroecosystem of the Pripet River valley are silting which is associated with erosion in the catchment; pollution; water course regulating and straightening; deterioration of the self-cleaning capacity of the reservoir. Environmental problems in the valley of the Pripet River are also created by spring floods and flash floods.

**Conclusions.** The following conclusions can be drawn from the research:

1. A large part of the water management complex of the Volyn region is occupied by the Pripet River basin which has a significant degree of economic development. The river forms part of the state border between Ukraine and the Republic of Belarus, and the tributary basins are located on the territory of both states. The adherence to the strategic principles of rational nature management is thus necessary to preserve and restore the optimal ecological state of the Pripet River basin.

2. The analysis of the species composition of macrophytes in the test sites of the Pripet River showed that out of 48 identified species, 35 (72.92%)

have indicative value. By test sites, 23 species were found at site No. 1 (village of Polozhevo), of which 19 are indicative species; 28 species at site No. 2 (v. Luchytsi), of which 24 are indicative; 23 and 19 species, respectively, at site No. 3 (v. Liubyaz); 16 and 14 species, respectively, at site No. 4 (v. Senchytsi).

3. The ecological condition of the Pripet River determined by the MIR indicator showed that the river belongs to lowland watercourses (organic rivers), with the M-VIII type of macrophytes. It was established that the water quality of the Pripet River in the test site No. 1 (v. Polozhevo, upper reaches) has satisfactory ecological state, MIR is 33.84; in the site No. 2 (v. Luchytsi) satisfactory ecological state, MIR is 34.04; in the site No. 3 (v. Liubyaz, border between Volyn and Rivne regions) good ecological state, MIR is 40.6; water quality in the site No. 4 (v. Senchytsi, border with Belarus) has satisfactory ecological state, MIR is 33.57.

4. According to the MIR calculations, it was established that the waters of the Pripet River have a satisfactory or good ecological state. This gives reason to assert that the research on the test sites and the calculations of the Macrophyte Index for Rivers fully reflect the ecological state of the watercourse. The results obtained in the course of the research indicate that this research algorithm may be used for other rivers of the Polissia basin.

### Bibliography

1. Боярин М. В. Основи гідроекології: теорія й практика. Навчальний посібник [Текст] / М. В. Боярин, І. М. Нетробчук. – Луцьк: Вежа–Друк, 2016. – 364 с.
2. Гроховська Ю. Р. Структурний аналіз водної флори Стир-Горинської частини басейну Прип'яті / Ю. Р. Гроховська // Екологічні науки. – № 3-4 (10-11). – 2015. – С. 38-47.
3. Клименко М. О. Оцінка екологічного стану водних екосистем річок басейну Прип'яті за вищими рослинами: монографія [Текст] / О. М. Клименко, Ю. Р. Гроховська. – Рівне: НУВГП, 2005. – 194 с.
4. Коробкова Г. В. Використання макрофітних індексів для оцінки екологічного стану поверхневих вод України / Г. В. Коробкова // Людина та довкілля. Проблеми неоекології. – 2017. – № 1–2 (27). – С. 62–70.
5. Некос А. Оцінка екологічного стану річок басейну Західного Бугу за індексом макрофітів (MIR) / А. Н. Некос, М. В. Боярин, М. В. Луговська, О. О. Цьось, І. М. Нетробчук // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія». – 2021. – (54). – с. 316-328. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-54-24>
6. Некос А. Н. Екологічна оцінка якості води р. Стир (в межах м. Луцьк) / А. Н. Некос, М. В. Боярин // Збірник матеріалів 16 Міжнародної конференції «Моніторинг геологічних процесів та екологічного стану навколишнього середовища» 17-19 листопада 2022. – том 2022р. – с.1-5. <https://doi.org/10.3997/22144609.2022580157>
7. Яцик А. В. Екологічна оцінка якості основних річкових басейнів Волинської області / А. В. Яцик, І. В. Гончак // Водне господарство України. – 2005. – №5. – С. 13–17.
8. Сучасний екологічний стан та перспективи екологічно безпечного стійкого розвитку Волинської області. За ред. В. О. Фесюка [Текст] – К.: ТОВ «Підприємство ВІ ЕН ЕЙ», 2016. – 316 с.
9. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Волинській області у 2021 році. Луцьк [б.в], 2022. – 196 с. URL: <http://eco.voladm.gov.ua>
10. Цьось О. О., Боярин М. В., Клименко О. М. Вища водна рослинність, як індикатор екологічного стану гідроекологій (на прикладі річки Вижівка) / О. О. Цьось, М. В. Боярин, О. М. Клименко // Вісник НУВГП. Серія «Сільськогосподарські науки». – Випуск 2 (90). – 2020. – С. 72–82. <http://dx.doi.org/10.31713/vs220207>
11. Цьось О. О. Структурний аналіз вищих водних та прибережно-водних рослин річки Вижівка. // О. О. Цьось, О. С. Музиченко, М. В. Боярин / Людина та довкілля. Проблеми неоекології. – 2018. – № 30. – С. 104–111. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2018-30-08>

12. Цьось О. О. Становлення фітоіндикаційних підходів у системі моніторингу стану водних екосистем./ О. О. Цьось, О. С. Музиченко, М. В. Боярин // Таврійський науковий вісник. Серія «Сільськогосподарські науки». Випуск 118. – 2021. – С. 382-388. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.118.49>
13. Чорна Г. А. Рослини наших водойм. [Текст] / Г. А. Чорна. – К. Фітосоціоцентр, 2001. – 134 с.
14. Jusik, S. Development of comprehensive river typology based on macrophytes in the mountain-lowland gradient of different Central European ecoregions / S. Jusik, K. Szoszkiewicz, J. Kupiec // *Hydrobiologia*. – 2015. – № 745. – P. 241–262. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-2111-2>
15. Pole'c, K. Changes in the Ecological Status of Rivers Caused by the Functioning of Natural Barriers / Pole'c, K., Grzywna, A., Tarkowska-Kukuryk, M., Bronowicka-Mielniczuk, U. // *Water* 2022. – № 14. – P. 15-22. <https://doi.org/10.3390/w14091522>.
16. Muratov R. An attempt to prepare Macrophyte Index for Rivers for assessment watercourses in Kazakhstan // Muratov, R.; Szoszkiewicz, K.; Zhamangara, A.; Jusik, S.; Gebler, D.; Beisenova, R.; Akbayeva, L. *Meteorol. Hydrol. Water Manage.* – 2015. – 2. № 3. – P. 27–32. DOI: <https://doi.org/10.26491/mhwm/59592>
17. Myroslav S. Malovanyy. Assessment of the environmental state of surface waters of right-bank tributaries of the upper reaches of the Pripet River by macrophyte index MIR / M. Malovanyy, M. Boiaryn, O. Muzychenko, O. Tsos // *Journal of Water and Land Development*. – 2022. – N 55 (X–XII). – P. 97–103. DOI: [10.24425/jwld.2022.142310](https://doi.org/10.24425/jwld.2022.142310)
18. Marcinkowski P. Model-Based Analysis of Macrophytes Role in the Flow Distribution in the Anastomosing River System. // Marcinkowski, P., Kiczko, A., Okruszko, T. *Water*. – 2018. – №10. – 953 p. <https://doi.org/10.3390/w10070953>
19. Hanna Ciecierska, Maria Dynowska. *Biologiczne metody oceny stanu srodowiska. Tom 2. Ekosystemy wodne. Podrecznik metodyczny.* Olsztyn. – 2013. – 312 P.
20. AFNOR (Assosiation Francaise de Normalisation) *Qualite de l'eau – Determination de l'indice biologique macropfytique en rivier (IBMR) – Norm francaise NFT*, 2003. – P. 90 – 395.
21. Bytyqi, P. Macrophytes as biological indicators of organic pollution in the Lepenci River Basin in Kosovo. *J. Freshw / Bytyqi, P., Czikkely, M., Shala-Abazi, A., Fetoshi, O., Ismaili, M., Hyseni-Spahiu, M., Ymeri, P., Kabashi-Kastrati, E., Millaku, F.* // *Ecol.* 2020. – № 35. – p. 105–121.
22. Mariia Boiaryn. *Ocena stanu ekologicznego powierzchniowych wód rzeki Turia na podstawie makrofitowego indeksu rzecznoego (MIR)* // Mariia Boiaryn, Oksana Tsos. – *Chemia. Environment. Biotechnology*. – 2019. – № 22. – P. 7–12. [www.cebj-journal.com, http://dx.doi.org/10.16926/cebj.2019.22.01](http://dx.doi.org/10.16926/cebj.2019.22.01)
23. Tarkowska-Kukuryk, M. Macrophyte communities as indicators of the ecological status of drainage canals and regulated rivers (Eastern Poland) / Tarkowska-Kukuryk, M., Grzywna, A. // *Environ. Monit. Assess.* – 2022. – P. 194–210.
24. Szoszkiewicz K. An Assessment of the MTR Aquatic Plant Bioindication System for Determining the Trophic Status of Polish Rivers // Szoszkiewicz K., Karolewicz K., Lawniczak A., Dawson F. *Polish Journal of Environmental Studies*. – Vol. 11. – № 4 (2002). – P. 421–427.
25. Szoszkiewicz K. The Macrophyte Index for Rivers (MIR) as an Advantageous Approach to Running Water. // Szoszkiewicz K., Jusik S., Pietruczuk K., Gebler D. *Assessment in Local Geographical Conditions Water*. – 2020. – № 12. – P. 108. <https://doi.org/10.3390/w12010108>
26. Szoszkiewicz, K. *Metodyka Badań Terenowych Makrofitów na Potrzeby Rutynowego Monitoringu Rzek.* [Text] / Szoszkiewicz, K., Zbierska, J., Jusik, S., Zgola, T. – Bogucki Wydawnictwo Naukowe: Poznan, Poland. – 2009. – 81 p.
27. Szoszkiewicz, K. Macrophyte and macroinvertebrate patterns in unimpacted mountain rivers of two European ecoregions / Szoszkiewicz, K.; Jusik, S.; Lewin, I.; Czerniawska-Kusza, I.; Kupiec, J.M.; Szostak, M. // *Hydrobiologia*. – 2018. – №808. – P. 327–342.
28. EU Water Framework Directive 2000/60/EC. *Official Journal of the European Communities*, 22.12.2000. L 327 / 1. – 118 P.

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work.

#### References

1. Boyaryn M. V., Netrobchuk I. M. (2016). *Fundamentals of hydroecology: theory and practice. Tutorial.* Lutsk: Tower – Print, 364 [in Ukrainian].
2. Grokhovska Yu. R. (2015). *Structural analysis of the aquatic flora of the Sty-Horynsk part of the Pripyat basin.* *Environmental sciences*, 3-4 (10-11), 38-47 [in Ukrainian].
3. Klymenko M. O., Grokhovska Yu. R. (2005). *Estimation of ecological condition of water ecosystems of rivers of the Pripyat basin by higher plants.* Rivne. NYVGP, 194. [in Ukrainian].
4. Korobkova G. V. (2017). *Use of macrophytic indices to assess the ecological status of surface waters of Ukraine. Man and the environment. Problems of Neocology*, 1–2 (27), 62-70. [in Ukrainian].
5. Nekos, M. Boyarin, M. Lugovska, O. Tsyos, I. Netrobchuk. (2021). *Assessment of the ecological state of the rivers of the Western Bug basin according to the macrophyte index (MIR).* *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (54), 316-328. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-54-24> [in Ukrainian].



6. Nekos A., Boyarin M. Ecological assessment of the water quality of the Styr river (within the city of Lutsk). Collection of materials of the 16-th International Conference "Monitoring of Geological Processes and the Ecological State of the Environment". November 17-19 (2022), 1-5. DOI: <https://doi.org/10.3997/22144609.2022580157> [in Ukrainian].
7. Yatsyk A. V., Hopchak I. V. (2005). Ecological assessment of the quality of the main river basins of the Volyn region. *Water management of Ukraine*, 5, 13–17 [in Ukrainian].
8. Fesyuk V. O. (2016). Current ecological condition and prospects of ecologically safe sustainable development of Volyn region. K., VAN Enterprise Enterprise LLC, 316 [in Ukrainian].
9. Regional report on the state of the environment in the Volyn region in 2021 (2022). Lutsk, 196. URL: <http://eco.voladm.gov.ua> [in Ukrainian].
10. Tsyos O. O., Boyaryn M. V., Klymenko O. M. (2020). Higher aquatic vegetation as an indicator of the ecological state of hydroecosystems (on the example of the Vyzhivka River). *Bulletin of the NUVHP. "Agricultural Sciences" series*, 2 (90), 72–82 [in Ukrainian]. DOI: <http://dx.doi.org/10.31713/vs220207>
11. Tsyos O. O., Muzychenko O. S., Boyaryn M. V. (2018). Structural analysis of higher aquatic and coastal aquatic plants of the Vyzhivka river. *Man and the environment. Problems of Neoecology*, 30, 104–111 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2018-30-08>
12. Tsyos O. O., Muzychenko O. S., Boyaryn M. V. (2021) Development of phytoindicative approaches in the system of monitoring the state of aquatic ecosystems. *Taurian Scientific Bulletin. "Agricultural Sciences" series*, 118, 382-388. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.118.49> [in Ukrainian].
13. Chorna H.A. (2001). Plants of our reservoirs, 134 [in Ukrainian].
14. Jusik, S., Szoszkiewicz, K., Kupiec, J. (2015). Development of comprehensive river typology based on macrophytes in the mountain-lowland gradient of different Central European ecoregions. *Hydrobiologia*, 745, 241–262. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-014-2111-2>
15. Poleć, K., Grzywna, A., Tarkowska-Kukuryk, M., Bronowicka-Mielniczuk, U. (2022). Changes in the Ecological Status of Rivers Caused by the Functioning of Natural Barriers. *Water*, 14, 15-22. DOI: <https://doi.org/10.3390/w14091522>
16. Muratov, R.; Szoszkiewicz, K.; Zhamangara, A.; Jusik, S.; Gebler, D.; Beisenova, R.; Akbayeva, L. (2015). An attempt to prepare Macrophyte Index for Rivers for assessment watercourses in Kazakhstan. *Meteorol. Hydrol. Water Manage*, 3, 27–32. DOI: <https://doi.org/10.26491/mhwm/59592> [in Polish].
17. Myroslav S. Malovanyy, Mariia Boiaryn, Oksana Muzychenko, Oksana Tsos (2022). Assessment of the environmental state of surface waters of right-bank tributaries of the upper reaches of the Pripet River by macrophyte index MIR. *Journal of Water and Land Development*, 55 (X–XII), 97–103. DOI: [10.24425/jwld.2022.142310](https://doi.org/10.24425/jwld.2022.142310) [in Polish].
18. Marcinkowski P., Kiczko, A., Okruszko, T. (2018). Model-Based Analysis of Macrophytes Role in the Flow Distribution in the Anastomosing River System. *Water*, 10, 953. DOI: <https://doi.org/10.3390/w10070953>
19. Hanna Ciecierska, Maria Dynowska (2013). Biological methods of assessing the state of the environment, 2. *Water ecosystems. Methodical handbook*. Olsztyn, 312 [in Polish]
20. AFNOR (Assosiation Francaise de Normalisation) *Qualite de l'eau – Determination de l'indice biologique macropfytique en rivier (IBMR) – Norm francaise NFT (2003)*, 90, 395 [in French].
21. Bytyqi, P., Czikkely, M., Shala-Abazi, A., Fetoshi, O., Ismaili, M., Hyseni-Spahi, M., Ymeri, P., Kabashi-Kastrati, E., Millaku F. (2020). Macrophytes as biological indicators of organic pollution in the Lepenci River Basin in Kosovo. *J. Freshw. Ecol.*, 35, 105–121.
22. Mariia Boiaryn, Oksana Tsos (2019) Assessment of the ecological status of the Turia River surface waters on the basis of the River Macrophyte Index (MIR). *Chemistry. Environment. Biotechnology*, 22, 7–12 [in Polish] [www.ceb-journal.com](http://www.ceb-journal.com), DOI: <http://dx.doi.org/10.16926/ceb.2019.22.01>
23. Tarkowska-Kukuryk, M., Grzywna, A. (2022). Macrophyte communities as indicators of the ecological status of drainage canals and regulated rivers (Eastern Poland). *Environ. Monit. Assess*, 194–210.
24. Szoszkiewicz K., Karolewicz K., Lawniczak A., Dawson F. (2002) An Assessment of the MTR Aquatic Plant Bioindication System for Determining the Trophic Status of Polish Rivers. *Polish Journal of Environmental Studies*, 11(4), 421–427 [in Polish]
25. Szoszkiewicz K., Jusik S., Pietruczuk K., Gebler D. (2020). The Macrophyte Index for Rivers (MIR) as an Advantageous Approach to Running Water. *Assessment in Local Geographical Conditions Water*, 12, 108. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12010108>
26. Szoszkiewicz K., Zbierska, J., Jusik, S., Zgola, T. (2009) *Methodology of Macrophyte Field Research for the Needs of Routine River Monitoring*. Bogucki Scientific Publishing House: Poznan, Poland, 81 [in Polish].
27. Szoszkiewicz K., Jusik, S.; Lewin, I.; Czerniawska-Kusza, I.; Kupiec, J.M.; Szostak, M. (2018) Macrophyte and macroinvertebrate patterns in unimpacted mountain rivers of two European ecoregions. *Hydrobiologia*, 808, 327–342. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3435-5>
28. EU Water Framework Directive 2000/60/EC. *Official Journal of the European Communities*, 22.12.2000. L 327 / 1. 118.

## Визначення макрофітового індексу (MIR) як індикатора якості води у річці Прип'ять

*Алла Некос*<sup>1</sup>,

д. геогр. н., професор,  
завідувач кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти,  
<sup>1</sup> Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,  
пл. Свободи, 6, Харків, 61022, Україна;

*Марія Боярин*<sup>2</sup>,

к. геогр. н., доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища,  
<sup>2</sup> Волинський національний університет імені Лесі Українки,  
пр. Волі, 13, Луцьк, 43025, Україна;

*Оксана Цьось*<sup>2</sup>,

к. с.-г. н., доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища;

*Ірина Нетробчук*<sup>2</sup>,

к. геогр. н., доцент кафедри географії;

*Володимир Волошин*<sup>2</sup>,

к.т.н., доцент кафедри геодезії, землеустрою та кадастру

Найбільшу площу на території Волинської області займає басейн річки Прип'ять, який є найбільш освоєним з господарської точки зору. Крім того, вздовж водотоку частково проходить державний кордон між Україною та Республікою Білорусь, річка є транскордоною, басейни приток розміщені на території обох держав. Для відновлення та збереження оптимального екологічного стану басейну Прип'яті необхідним є дотримання стратегічних принципів раціонального природокористування. Визначено екологічний стан русла річки Прип'ять за Макрофітовим індексом річок (MIR), аналіз видового складу макрофітів дозволяє пов'язати їх з якістю поверхневих вод, як біоіндикаторів екологічного стану. Для визначення екологічного стану річок басейну Прип'яті та для проведення досліджень було закладено чотири тестові ділянки довжиною не менше 100 м. кожна. На тестових ділянках р. Прип'ять під час досліджень було виявлено 48 видів вищих водних та прибережно-водних рослин, усі види належать до відділу *Magnoliophyta*, з них до класу *Magnoliopsida* відноситься 21 вид (43,75%), більша частина відноситься до класу *Liliopsida* – 27 видів (56,25%). Для обчислення MIR (*Макрофітового індексу річок*) та визначення екологічного стану річки Прип'ять на 4 тестових ділянках відібрали згідно методики 35 видів біоіндикаторів та в результаті розрахунку (MIR) встановили, що якість води у річці, що на тестовій ділянці русла річки 1 в с. Положево (верхня течія) макрофітовий індекс річок (MIR) становить 33,84, якість води річки має задовільний екологічний стан; на тестовій ділянці 2 в с. Лучиці (MIR) становить 34,04, якість води річки має задовільний екологічний стан; на тестовій ділянці 3 в с. Люб'язь (кордон між Волинською та Рівненською областями) (MIR) становить 40,6, якість води у річці має добрий екологічний стан; на тестовій ділянці 4 в с. Сенчиці (кордон з Білоруссю) обрхований макрофітовий індекс річок (MIR) становить 33,57, якість води річки має задовільний екологічний стан. Річка Прип'ять належить до водотоків низинних (річки органічні), за типом макрофітів – M-VIII.

**Ключові слова:** русло річки, поверхневі води, біоіндикація, видовий склад макрофітів, екологічний стан водотоків, макрофітний індекс річки.

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 20 грудня 2022 р.

Прийнята 1 лютого 2023 р.

## Salinity gradient power using in the Black Sea regions (in frame of the blue growth development)

*Mariia Slizhe*<sup>1</sup>

PhD, Senior Research Officer of

<sup>1</sup> Odessa State Environmental University, 15 Lvivska St., Odessa, 65016, Ukraine;

e-mail: [magribinetsm@gmail.com](mailto:magribinetsm@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-6398-4188>;

*Nikolai Berlinsky*<sup>1</sup>

DSc (Geography), Professor, Head of Oceanology and Marine Management Department;

e-mail: [nberlinsky@ukr.net](mailto:nberlinsky@ukr.net), <http://orcid.org/0000-0002-4576-4958>;

*Youssef El Hadri*<sup>1</sup>

PhD (Geography), Senior Lecturer of Oceanology and Marine Management Department;

e-mail: [magribinets@ukr.net](mailto:magribinets@ukr.net), <http://orcid.org/0000-0003-3690-0927>

### ABSTRACT

**Problem Statement.** Today, humanity is in search of new sources of energy to make the economy more sustainable, as well as the need for a transition to energy that works on the principles of Carbon-Free Technology. For the Black Sea, this is expressed in the desire for successful implementation of the program Blue Growth Accelerator, which is aimed at the introduction of innovative technologies and alternative energy sources in the energy sector of the Black Sea countries, for the development of the "Blue Economy" and the achievement of its healthy, productive and sustainable state. Salinity gradient power (SGP) is one of the new renewable energy sources. The most studied methods for obtaining SGP energy are technologies based on: Reverse Electrodialysis and Pressure Retarded Osmosis. The interaction of fresh and salt water can provide, in fact, unlimited, free and clean energy. The basis for the generation of such energy is the so-called salinity gradient that occurs when two types of water are mixed. After decades of work and numerous experiments, scientists have developed a way to use the energy of the salinity gradient to generate electricity. This type of electricity is also called "Blue Energy" by association with the color of mixing freshwater and salt water when rivers flow into the ocean. Places (estuaries or deltas), where rivers flow into the oceans and seas, have a truly enormous energy potential.

**The aim of this study** is to identify sites in the northwestern Black Sea region with the necessary conditions for the development of Salinity Gradient Power energy, as well as to assess their potential using the example of estimating the maximum theoretical power of the Pressure Retarded Osmosis process.

**Research Methodology.** In a PRO system, the less concentrated solution flows towards the more concentrated solution due to the positive osmotic pressure difference as long as this difference remains greater than the hydrostatic pressure difference. It is by this principle that osmotic power is produced. Theoretically available amount of energy released when mixing 1 m<sup>3</sup> of saturated brine (5 mol/l NaCl solution) and 1 m<sup>3</sup> of sea water (0.5 mol/l NaCl) at 293 K is 10 MJ. In the northwestern Black Sea region, along the coast between the Danube and Dnieper rivers, there are 21 limans (lagoons) of which some can be used to generate of Salinity Gradient Power.

**Results.** The results of calculating the maximum net power showed that highest values obtained in the summer months, when the salinity in limans reaches its maximum and, consequently, its difference with the salinity of sea (river) water increases. Proceeding from maximum net power, obtained for the Western Sivash, where the salinity is maintained artificially at certain values, it can be seen that the annual amplitude has a smaller value, which provides more stable conditions. There are objects in the northwestern Black Sea region, in the waters of which, as soon as technologies become available, it will be possible to implement SGP projects. The Kuialnyk Liman, Sasyk- Sivash lake and Western Sivash have the most favorable conditions, where the highest power indicators are shown when using the sea water – hypersaline solution scheme, in which freshwater is not consumed.

**Keywords:** *Salinity Gradient Power, Reverse Electrodialysis, Pressure Retarded Osmosis, northwestern Black Sea region, Black Sea, Blue Growth, renewable energy.*

**In cites:** Slizhe Mariia, Berlinsky Nikolai, El Hadri Youssef (2023). Salinity gradient power using in the Black Sea regions (in frame of the blue growth development). *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (58), 371-385. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-28>

**Introduction.** Today, humanity is in search of new sources of energy to make the economy more sustainable, as well as the need for a transition to energy that works on the principles of Carbon-Free Technology. For the Black Sea, this is expressed in the desire for successful implementation of the program Blue Growth Accelerator, which is aimed at the introduction of innovative technologies and alternative energy sources in the energy sector of the Black Sea countries, for the development of the "Blue

Economy" and the achievement of its healthy, productive and sustainable state.

The interaction of fresh and salt water can provide, in fact, unlimited, free and clean energy. The basis for the generation of such energy is the so-called salinity gradient that occurs when two types of water are mixed. After decades of work and numerous experiments, scientists have developed a way to use the energy of the salinity gradient to generate electricity. This type of electricity is also called "Blue

Energy" by association with the color of mixing freshwater and salt water when rivers flow into the ocean. Places (estuaries or deltas), where rivers flow into the oceans and seas, have a truly enormous energy potential.

Salinity gradient power (SGP) is one of the new renewable energy sources. The most studied methods for obtaining SGP energy are technologies based on:

1. Reverse Electrodialysis (RED),
2. Pressure Retarded Osmosis (PRO).

Academic research, mostly done in laboratories, shows that SGP energy has a huge theoretical potential of ~1.9 TW (theoretical potential is the energy that is potentially available if all the energy dissipated in estuaries is used without any energy loss). However, the technical potential (energy that can be extracted with modern technologies, regardless of other limitations) is about 60 % of the theoretical potential and is about 980 GW [1]. In addition, the final energy output depends on local conditions, which may impose restrictions on its production, which must be taken into account when designing SGP power plants [2].

**The aim of this study** is to identify sites in the northwestern Black Sea region with the necessary conditions for the development of Salinity Gradient Power (SGP) energy, as well as to assess their potential using the example of estimating the maximum theoretical power of the Pressure Retarded Osmosis process.

**Working principle of SGP systems.** The main approach to obtain salinity gradient energy is energy conversion, which occurs when controlled mixing (using selective membranes) of two solutions with different salt concentrations. The use of selective membranes means that mixing is limited to one of the components: either solvent (water) or solutes (dissolved salts). In the literature, several methods have been proposed for converting the energy of a salinity gradient based on the use of water-permeable membranes as in pressure-retarded osmosis [3], or based

on the use of ion-selective membranes as in reverse electro dialysis [4].

**Reverse Electrodialysis (RED).** Direct electro dialysis has already been used quite successfully in desalination plants. Electro dialysis is a membrane separation process in which solute ions are transported across a membrane by the action of an electric field. The driving force of the process is the electric potential gradient.

Reverse electro dialysis requires two types of selective membranes: membranes that are transparent only to positive salt ions (sodium ions), and membranes that allow only negative ions to pass through (chloride ions) [5].

In a reverse electro dialysis system for power generation from a salinity gradient, as in direct electro dialysis, several cells are located between the cathode and anode, separated by membranes. The compartments between the membranes are alternately filled with a concentrated salt solution and a dilute salt solution. The salinity gradient results in a potential difference (e.g. 80-100 mV for sea water and river water) over each membrane, the so-called membrane potential. The electrical potential difference between the outer compartments of the membrane package is the sum of the potential differences across each membrane. The difference in chemical potentials causes the transfer of ions through membranes from the concentrated solution to the diluted solution. For a sodium chloride solution, sodium ions permeate through the cation-exchange membrane in the direction of the cathode, and chloride ions permeate through the anion-exchange membrane in the direction of the anode. Electro-neutrality of the solutions in both the anode compartment and cathode compartment is maintained through redox reactions at the electrodes. As a result, electrons can be transferred from anode to cathode via an external electric circuit (Fig. 1). This electrical current and the potential difference over the electrodes can be used to generate

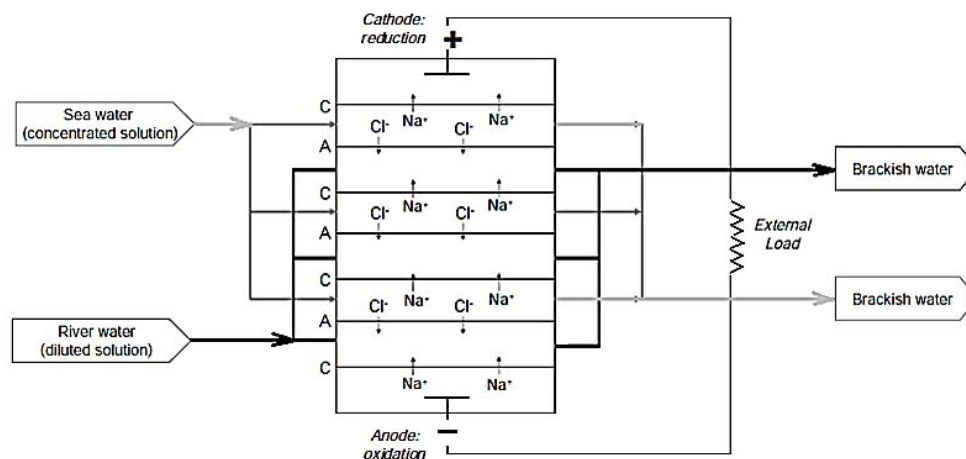


Fig. 1. Conceptual scheme of salinity-gradient energy produced by reverse electro dialysis (C is cation-exchange membrane, A is anion-exchange membrane)

electrical power, when an external load or energy consumer (e.g., a light bulb) is included in the circuit [4].

**Pressure Retarded Osmosis (PRO).** The energy released by mixing fresh and salt water can be easily used. This is explained by the effect of osmosis, hence the name "osmotic energy". Osmosis is the transport of water across a semi-permeable membrane from a solution with a higher chemical potential (i.e. lower osmotic pressure or lower salt concentration) it's usually called "feed solution" to a solution with a lower chemical potential (i.e. higher osmotic pressure or higher salt concentration) – called "draw solution". This semi-permeable membrane allows the feed solution to pass by discarding solute molecules or ions.

If we separate two solutions with different concentrations by a semi-permeable partition (membrane) that allows molecules of feed solution to pass through, but preventing the transition of particles of draw solution, there will be a spontaneous transition (the system spontaneously tends to move into a perfect mixture) feed solution through the membrane from feed solution into a more concentrated draw solution. To achieve the maximum value of the entropy

of the system, salt ions tend to be evenly distributed throughout the volume of the solution. As a result of the diffusion water molecules from dilute solution (A) into concentration solution (B), the total volume of the B will increase and the level rises until a specific pressure head is reached which counteracts the diffusion of the water molecules from A into B. This pressure is called osmotic pressure  $\pi$  of the solution B.

The osmotic properties of a solution are quantitatively characterized by the value of the osmotic pressure. Osmotic pressure is the pressure that a feed solution exerts on a semi-permeable membrane when moving from an area with a lower concentration of solute to an area of higher concentration.

In a PRO system (Fig. 2), the less concentrated solution flows towards the more concentrated solution due to the positive osmotic pressure difference as long as this difference remains greater than the hydrostatic pressure difference  $\Delta P$ . It is by this principle that osmotic power is produced. For stable energy production, the salt water side must be maintained at a constant pressure and concentration while the feed solution provides a constant flow through the membranes, increasing the volume flow on the salt water side.

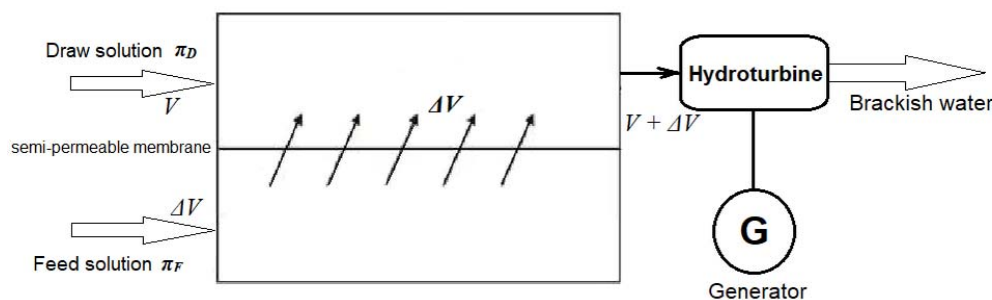


Fig. 2. Conceptual scheme of salinity-gradient energy produced by pressure-retarded osmosis process

The transport of water from the low-pressure diluted solution to the high-pressure concentrated solution results in a pressurization of the volume of transported water. The volume of pressurized water transported can be used to generate electrical power in a turbine [4]. It is known from experience that the pressure head between 0.5 molar seawater (equivalent to 30 ‰ salinity) and fresh water (river water) is about 24 atm [6]. This pressure is equivalent to a 240 m water head.

**An assessment method of the net maximum theoretical power in PRO process.** PRO process and osmotic power calculation method are described in more detail in [7, 8]. We will only give the basic equations with which we calculated the maximum theoretical power. As mentioned in 1, the main driving force in PRO systems is the difference in osmotic pressure in solutions of different concentrations separated by a membrane. The osmotic pressure  $\pi$  of any solution can be calculated using the van't Hoff equation

$$\pi = icRT \quad (1)$$

where  $c$  – the molar concentration ( $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ),  $R$  – the universal gas constant ( $8,31441 \text{ N}\cdot\text{m}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ),  $T$  – the absolute temperature (K),  $i$  – the number of osmotically active particles in the solution, equal

$$i = 1 + \alpha(v - 1),$$

where  $\alpha$  – the degree of dissociation,  $v$  – the stoichiometric coefficient of dissociation reaction (for NaCl  $\alpha = 1$  and  $v = 2$ , thus  $i = 2$ ).

The resulting unit for  $\pi$  in the equation (1) is kPa. For example, for sea water, where the concentration NaCl is 30-40 ‰ (or approximately  $30\text{-}40 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ , or from 0,51 to 0,68  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ), osmotic pressure is between 25 and 33 bar at a temperature 25 °C.

The potential flux through the membrane is calculated as a function of the difference in osmotic pressure between the two solutions ( $\Delta\pi$ , in bar), the difference of hydrostatic pressure ( $\Delta P$ , in bar,) and

the intrinsic water permeability coefficient of the membrane ( $A$ , typically in  $\text{L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{bar}^{-1}$ )

$$J = A(\Delta\pi - \Delta P) \quad (2)$$

where  $J$  – the water flux (typically in  $\text{L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ),  $\Delta\pi = \pi_D - \pi_F$ , where  $\pi_D$  – the osmotic pressure in the draw solution,  $\pi_F$  – the osmotic pressure in the feed solution,  $\Delta P = P_D - P_F$ , respectively.

A concentrated solution (draw solution) with a volume  $V$  and with osmotic pressure  $\pi_D$  is pumped into the installation at hydraulic pressure  $P_D$ . The power input is given by the product of the volume flow  $V$  and the input hydraulic pressure  $P_D$ . At the same time, less concentrated water (feed solution) enters the permeator on the other side of the membrane module at osmotic and hydraulic pressures that are low in comparison to these quantities on the concentrated side. Water permeates the membrane from the less concentrated side to the more concentrated side at a rate  $\Delta V$  (note  $\Delta V = J \cdot A \cdot m$ , where  $A \cdot m$  – membrane area and  $J$  is the water flux from (2)) and acquires a pressure  $P_D$ . The mixture of the feed and draw solutions creates a new solution of brackish water, with much lower osmotic pressure. The brackish water (volume  $V + \Delta V$ ) enters a hydroturbine in which the hydraulic pressure  $P_D$  is reduced to zero, as it delivers power of magnitude  $P_D (V + \Delta V)$ .

The maximum net power (theoretical)  $W_{net}^{max}$ , which can be produced according to the ideal PRO scheme, is

$$W_{net}^{max} = P_D(V + \Delta V) - P_D V = P_D \Delta V, \quad (3)$$

where  $P_D \cdot \Delta V$  – the net power.

It should be noted that the above scheme is idealized, since this net power is achieved under the condition of no energy losses and 100 % mechanical efficiency for all system components. This scheme also assumes that the feed solution enters the system by gravity.

The ideal operating pressure  $P_D$  for maximum power output is half the osmotic pressure  $\Delta\pi$  [8]. Therefore, for example, for the river-sea PRO scheme, where the osmotic pressure difference  $\Delta\pi$  is about 26 bar, the ideal operating pressure  $P_D$  would be 13 bar, and the maximum useful output power – 1,3 MW per  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  of water (solution) passing through the membrane.

As can be seen from (3), maximum net theoretical power  $P_D \cdot \Delta V$  does not depend on the volume of more salty draw solution  $V$ , but depends only on operating pressure  $P_D$  and water flow through the membrane  $J$ . Considering that  $\Delta V = J \cdot A \cdot m$ , then we can conclude that the power is essentially a function of the type of membrane and the osmotic pressure difference  $\Delta\pi$ , as shown in the equation (2).

**Estimates of performance and cost of SGP systems.** Theoretically available amount of energy

released when mixing  $1 \text{ m}^3$  of sea water (0.5 mol/l NaCl solution) and  $1 \text{ m}^3$  of river water (0.01 mol/l NaCl solution) both at a temperature of 293 K is 1.4 MJ. According to estimates [9] made for the Mississippi River, its theoretical energy potential (with an average discharge of over  $17,000 \text{ m}^3/\text{s}$ ) is 40 GW at an energy density of 2.3 MJ per  $\text{m}^3$  of river water. It is assumed that river water is mixed with "endless" cubic meters of sea water. To estimate the potential in a first approximation this assumption can be justified: the available discharge of river water is indeed a limiting source, while the source of sea water can be considered as infinitely available. However, it is clear that this value is highly theoretical, since it does not take into account the effect of water withdrawal on salinity at the point of withdrawal into the sea, as well as on salinity gradients at the very mouth of the river.

As the concentration of NaCl in water increases, the theoretically available amount of energy increases. So, when mixing  $1 \text{ m}^3$  of saturated brine (5 mol/l NaCl solution) and  $1 \text{ m}^3$  of sea water (0.5 mol/l NaCl) at 293 K is 10 MJ. An example is the planned replenishment of the Dead Sea with sea water from either the Mediterranean or the Red Sea [10], to compensate of evaporation of 3 million  $\text{m}^3/\text{day}$  (although the mineral content of the Dead Sea is very different from normal sea water). At the same time, an elevation difference of 400 m is supposed to be used to generate hydroelectric power from falling sea water, and a salinity gradient is supposed to be used to generate SGP energy. It is assumed that an energy density is 10 MJ per  $\text{m}^3$  of sea water, the energy potential under such conditions of the salinity gradient can be 350 MW, of which, according to, it is technically possible to convert 130 MW into electricity [4].

The greater the salinity gradient of the waters used, the greater the energy produced. So, in [11] salinity of sea and river water was assumed to be constant and equal to 37 g/kg and 0.1 g/kg, respectively. It was shown that with an increase in the salinity of sea water by 1 g/l, the useful power increases by 3.9 %. In the case of an increase in freshwater salinity by 1 g/l, the value of useful power decreases by 15.8 %. Reducing the salinity of sea water by 1 g/l leads to a decrease in useful power by 5.3 %. Also, the release of energy is influenced by the temperature of the water. The higher its value, the more SGP energy is released, so with an increase in temperature of both fresh and salt water by  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ , the amount of useful power increases by 0.6 %, while a decrease in temperature by  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  will lead to a decrease in energy by 0.6 %.

With an increase in the concentration in a salt solution, the theoretically available amount of energy increases, which can be extracted by mixing solutions. Therefore, in a number of studies [12-15], for the generation of SGP energy, it is proposed to

consider preferably the option in which sea water and hypersaline solution are mixed. The source of such a highly concentrated brine can be lake waters with high salinity or saline groundwater, for example, when extracting of coal seam gas, the need to 'de-water' coal seams to depressurise the gas results in large volumes of produced water, which usually has large quantities of salts [16]. A salinity ratio of 30:1 is optimal for energy production using RED [17].

An important element of SGP systems, which affects the productivity and cost of generated energy (both PRO and RED) are membranes. The current value of net power density (which considers the membrane potential, resistance and the power required to pump the water) of membranes is a maximum of 2.7 W/m<sup>2</sup>, but recent laboratory experiments have achieved a value of 14.4 W/m<sup>2</sup> (for the PRO process). Changing the cell design can increase the calculated net power density close to 20 W/m<sup>2</sup>. However, power density is not the only measure of performance. The design of the entire facility, including the circulation of large quantities of water within the plant, determines its performance [18].

In November 2009 in the Tofte, for the first time in the world a pilot PRO power plant was officially opened by the Norwegian company Statkraft. This project used 2000 m<sup>2</sup> of flatsheet membranes and it technically could produce 10 kW, although the actual production was around 5 kW. In 2014, the project was closed due to the lack of long-term financial support mechanisms from investors. The company continued to study and analyze the results obtained during the operation of the power plant.

Besides Statkraft, today in Canada, Singapore and South Korea realize other initiatives to test autonomous power generation with PRO systems. These projects are in the early stages of development,

aiming to scale up installations and power generation [18].

In 2003 in the Netherlands a study of power generation based on RED technology was initiated. In 2005 REDStack with Frisia, a European Salt company, 5 kW RED pilot project was started. Based on this first 5 kW pilot, REDStack and Fujifilm started a follow-up a 50 kW pilot project, located on the sea defense site and major causeway called the 'Afsluitdijk'. Work on the 50 kW pilot project has been completed and was officially opened on 11 October 2013. In the longer-term there are plans up to 200 MW for an extended installation at the same location. Statkraft did not release detailed numbers, but in their projections they aimed to produce electricity at a retail price of 65 to 125 USD per MWh [18].

Studies show that the generation of electricity from 3,000,000 m<sup>3</sup>/day ("moderate" consumption) of river water when interacting with sea water based on PRO technology is 22,300 kW [19]. This PRO electricity generation cost data was largely based on data from a power plant in Yuma, Arizona [20], where the unit cost was 1,000 USD per m<sup>3</sup>/day.

With the exception of cost estimates for existing projects (which reflect pilot plants), there are few reliable estimates of the cost of energy received based on PRO and RED technologies. Estimates of the cost of a kilowatt-hour of electricity generated from SGP have shown that the price ranges from 0.11 EUR/kWh to 0.22 EUR/kWh, the difference depends on the location; arrives at a range of EUR 0.28/kWh for standalone power generation down to EUR 0.11/kWh for an installation that uses the brine from a desalination plant, or other production processes that emit highly saline waters [18]. The values in Table 1 show several advantages of SGP over other energy sources.

Table 1

Comparison of SGP with other energy sources [2]

	<b>GHGs emissions, gCO<sub>2</sub>e/kW·h</b>	<b>Price of generated electricity, USD/kW·h</b>	<b>EROI</b>	<b>Availability of renewable sources</b>	<b>Efficiency of energy conversion, %</b>
Photovoltaic	90	0.24	1.6-6.8	Dependent	4-22
Wind	25	0.07	18	Dependent	24-54
Hydro	41	0.05	> 100	Always available	> 90
Geothermal	170	0.07	n/a	Dependent	10-20
Coal	1004	0.042	80	Non-renewable	32-45
Gas	543	0.048	10	Non-renewable	45-53
SGP (RED)	< 10	0.10	7	Always available. But not in non-coastal countries	50-70
SGP (PRO)	< 10	0,065-0,13; with subsidies 0,05-0,06	6-7	Always available. But not in non-coastal countries	40

The main economic barrier is membrane costs, which represent 50-80 % of total capital costs. Among the problems associated with the operation of SGP installations are [18]:

1. *Bio-fouling*. Due to the presence of organic matter in sea water and freshwater, bio-fouling is a major problem for both PRO and RED installations. The reason is the fouling of the membranes, which leads to a decrease in energy production. To date, there is no satisfactory low-cost solution to this problem.

2. *Environmental and ecological aspects*. Close to power plants areas of turbulence or recirculation may occur, which increases the risk to inhabitants. To avoid this, and to reduce this effect at the point of water intake, the design of the installation must be adapted taking into account hydrodynamics.

3. *Sector development and supply systems*. One of the main tasks of the sector is the timely development of specialized infrastructure and equipment. There are currently only a limited number of companies manufacturing specialized membranes and other plant parts such as stacks or modules. For scaling will require a large number of specialized consumables.

Among the advantages the following can be distinguished:

1. *Environmental and ecological aspects*. The impact of SGP plants on the environment is minimal, which ensures the preservation of the estuaries and rivers ecological conditions. In this process does not consume water or salt, and the installations can be located underground or in low buildings. Mono nitrogen oxides (NOX), carbon monoxide (CO) or carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions are absent, and the installations are not important sources of noise.

In addition, hybrid SGP energy generation processes can be used to recover energy from high salinity waste streams. This can be, for example, brine from desalination or salt extraction, as well as wastewater from sewage treatment plants. Using saline wastewater as a source has important environmental benefits as it dilutes saline wastewater streams simultaneously generating renewable electricity. For example, within the European REApower project, an experiment was developed that later became a pilot project for the generation of electricity using sea water and low salinity wastewater.

In terms of overall commercialization, the technology will greatly benefit from an increase in the number of industrial parties and companies with experience in efficiently scaling up the latest developments. The first steps towards such increased participation have already been taken in a number of pilot projects in Europe, Asia and North America / Canada. This is of course in addition to more public engagement because this technology is not well known [18].

**Selection of a site for the location of the SGP plant.** Most suitable for placing SGP plant are the

river mouths. However, not every river mouth is suitable for this, since river and sea water should be available at a short distance in order to reduce the cost of transporting water and the associated costs. Favorable conditions are stratified river mouths, which have significant vertical salinity gradients due to the penetration of sea water close to the bottom in the estuarine zone. If freshwater and seawater intakes are located in the site of the greatest stratification of the estuary, freshwater can be extracted near the surface, while seawater is taken in the nearest coordinate near the river bottom. This configuration significantly reduces the distance between two water intake points and therefore the energy required to transport water to the power plant. However, finding the zone of maximum stratification is not easy due to the inherent variability of flows at the river mouth.

In the methodology proposed in [11] shown that when assessing of the SGP plant location conditions use data about average salinity along the estuary during the dry season of the average climatic year near the surface and at 10 m depth, on which the salinity profile is built.

As it was said above, an important problem is membrane fouling. Therefore, it is necessary to analyze the content of organic matter in the riverbed.

Then, the costs for the production and transmission of electricity are estimated by calculating the net power of the SGP installation at different points of intake water located in the river estuarine zone. Comparison of the results makes it possible to evaluate the advantages between higher electricity generation when water intakes are distant from each other and the costs associated with pumping water over these distances.

From the point of view of the theoretically available energy that can be extracted by mixing solutions, it is preferable to consider a scheme in which sea water and hypersaline solution are mixed. This gives significant salinity gradients and, consequently, the largest energy released in this case. So, in a number of studies [12-15] large-scale water systems with high salinity gradients are considered. The waters of the Caspian, Mediterranean, Atlantic, Indian oceans, etc., with salinity from < 10 g/l up to 45 g/l, suggested to be mixed with highly saline waters of lakes with salinity of 300-348 g/l, as well as use dried lakes with a salt bottom, which can be a source of a highly concentrated solution when filled with water.

The idea is based on the pumping of sea water into a salt lake and a decrease in the volume of water in the lake due to evaporation, which leads to an increase in the concentration of salts in the water. Then, this hyper-concentrated solution would then be paired with sea water (less concentrated) in a SGP plant. So, according to [13], Lake Torrens (South Australia) could be used as a source of hypercon-



centrated salt water for osmotic power generation. The lake's area is 5700 km<sup>2</sup> and it remains dry during almost the entire year. In this region the mean annual rainfall is less than 250 mm, and annual potential evaporation is around 3,500 mm. Kelada [13] proposes to expand the seawater canal, connecting the lake and the Spencer Gulf, located about 80 km south of the southern end of the lake, to a capacity of 1000 m<sup>3</sup>/s, to fill the lake with sea water. Calculations show that Lake Torrens can provide brine with a salt concentration of 320 g/l, which can be used as a draw solution in an osmotic power plant when paired with the diverted sea water, with 3.5% salt concentration. Thus, this configuration proposed for Torrens Lake can generate up to 2.6 GW of energy for a seawater flow rate 225 m<sup>3</sup>/s.

It should be noted that membranes for use in sea water and hypersaline water circuits are currently a problem. According to She et al. [21], and Kim and Elimelech [22], maximum water fluxes and projected optimum power densities for sea water and hypersaline water schemes are difficult to obtain in a laboratory setting with commercially available membranes due to their inability to withstand high pressures. Loeb [23] already suggested that hypersaline lakes such as the Dead Sea and the Great Salt Lake could be used as sources of draw solution to generate osmotic power if membranes could be manufactured for this purpose.

At the same time, the use of the sea water and hypersaline solution from salt lakes scheme will not affect freshwater resources, unlike the river water and sea water scheme. In addition, energy production will not be limited by the availability of feed solution, because there is a lot and practically unlimited of the sea water. This is different from a freshwater and sea water system, which will require large volumes of freshwater, which is not always available in such quantities, especially in areas with high demand for water, where the resource must be shared with other water users, some of them with a higher priority than electricity generation.

**Salinity and temperature regime of the Black Sea and limans of the north-western Black Sea coast.** Based on the above conditions and the proposed examples, we will further consider the haline conditions in the Black Sea and coastal water bodies of the northwestern Black Sea region from the point of view of the presence of sufficient values of the salinity gradient.

The salinity field in the Black Sea is formed by the balance of freshwater and water exchange through the Bosphorus. The excess of freshwater input with streamflow and precipitation over evaporation leads to a relatively low salt content compared to most marine basins. The surface layer salinity of the Black Sea is on average 17.8 ‰, which is almost half

the salinity of the surface waters of the World Ocean. The average salinity throughout the Black Sea in the layer 0-300 m is 20.2 ‰. Specific values of water salinity in the Black Sea are in a fairly wide range from 0 to 37 ‰. Isolated volumes of freshwater in the surface layer are observed near river mouths during flood periods. Highly saline Mediterranean waters (34-37 ‰) penetrate in the sea along the bottom of the Bosphorus Submarine Canyon – a continuation of the Bosphorus Strait [24].

A characteristic feature of the vertical haline structure of the sea is the presence of two haloclines: seasonal in the 0-30 m layer and permanent (main) in the 50-100 m layer. The seasonal halocline is well pronounced in the period from April to September, the maximum vertical salinity gradient gradually deepens during this period from the sea surface to a 20 m depth, the gradient values are on average 0,02-0,05 ‰·m<sup>-1</sup>, in the northwestern part of the sea can reach 2 ‰·m<sup>-1</sup>. The maximum vertical gradient in the permanent halocline is located at 50-70 m depths, the gradient values are in the range 0,03-0,06 ‰·m<sup>-1</sup>, maximums may exceed 0,1 ‰·m<sup>-1</sup> [24].

The average monthly water temperatures in winter off the northern coast of the Karkinitzky Bay are 0,0-2,0 °C, in the Odessa Bay – 0,9-1,1 °C and near the mouth of the Danube – 0,3-2,2 °C. In late March – early April, the water temperature rises rapidly and reaches a maximum in July – August, when the average monthly temperatures are 20-25 °C [24].

In the northwestern Black Sea region, along the coast between the Danube and Dnieper rivers, there are 21 limans (lagoons) (Fig. 3).

The hydrological regime of the limans of the northwestern Black Sea region is characterized by extremely low water content. Limans, which, due to historical circumstances, are deprived of the possibility of free water exchange with the sea through natural or artificial channels in dry years, can significantly dry out and “salinize”. The polyhaline type (salinity 15-45 ‰) includes limans: Big Adzhalyksky (Dafinivsky), Dzhantsheysky, Maly Sasyk, Shagany, Karachaus, Alibey, Hadzhider, Curudiol, Burnas, Tiligulsky, Berezanskyi. To the hyperhaline type (salinity > 45 ‰) relate – Kuialnyk Liman, southern part of Sasyk-Sivash, Sivash. However, salinity in most of the listed limans experiences significant changes during the year, during which salinity decreases to values less than 15 ‰. Some limans may belong to a different type of salinity depending on the water content of the year and the inflow of sea water into their water area.

The main components of the water balance of the northwestern Black Sea region limans are: inflow of surface waters into the reservoir, including the inflow of river waters and overland flow from the adjacent territory; water supply due to precipitation fall-

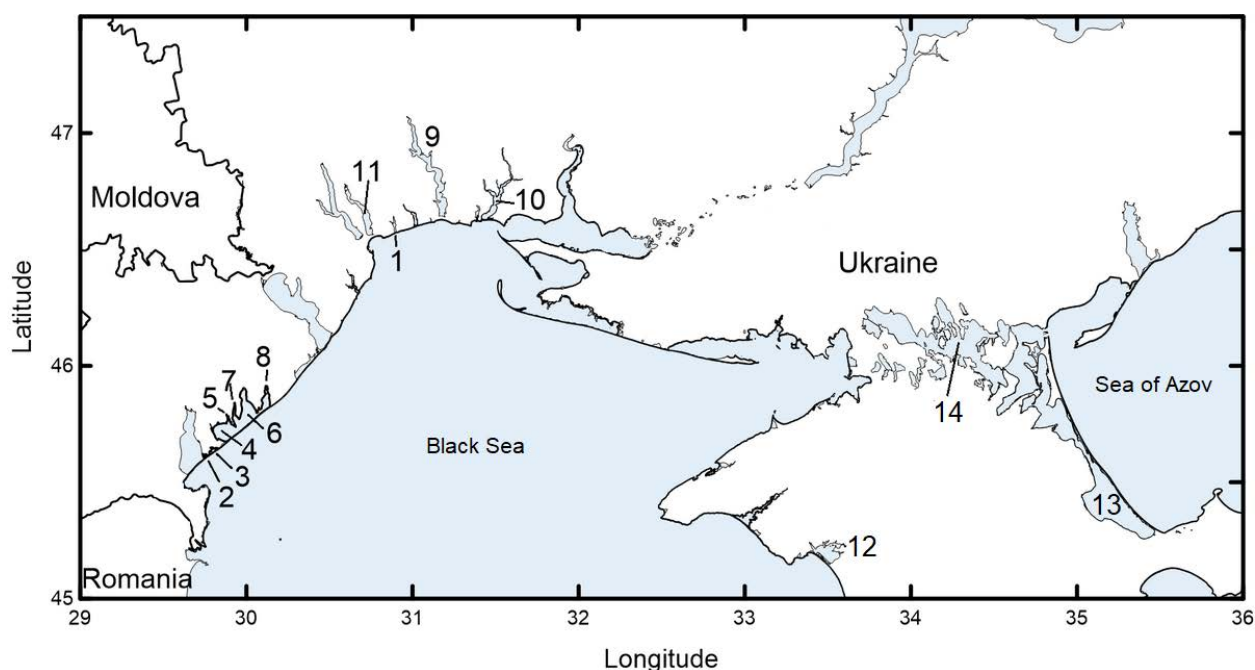


Fig. 3. Polyhaline and hyperhaline limans and reservoirs of the northwestern Black Sea region: 1 – Big Adzhalytsky (Dafinivsky), 2 – Dzhantsheysky, 3 – Maly Sasyk, 4 – Shagany, 5 – Karachaus, 6 – Alibey, 7 – Hadzhider, 8 – Burnas, 9 – Tiligulsky, 10 – Berezanskyi, 11 – Kuialnyk, 12 – Sasyk-Sivash, 13 – eastern part of Sivash, 14 – western part of Sivash

ing on the water surface; water loss due to evaporation; water exchange of limans with the sea; groundwater inflow and water loss for filtration into the banks (in the long-term context, this component of the water balance can be ignored in calculations). The increase in the trend of average annual air temperatures after the 1950s led to an increase in the growth of positive evaporation anomalies.

**Results and discussion.** Let's consider which water bodies have the necessary characteristics, and which objects can be considered as potentially attractive for the placement of SGP power plants.

As you can see, the salinity of the Black Sea waters does not correspond to the values necessary to use them as a draw solution in SGP installations due to its low salinity (up to 17.0-18.0 ‰ at the surface). Therefore, in this case, it is necessary to look for other sources with a salinity of 30.0-35.0 ‰ and more. Such objects include the following limans:

1. *Shagany Liman* and *Alibey Liman* are part of the Tuzly Limans group, which is located in the south of the Odessa region in the middle part of the Danube-Dniester interfluvium. The average area of the Shagany Liman is 71 km<sup>2</sup>, and the area of the Alibey Liman is 98 km<sup>2</sup>. This complex of connected limans is separated from the sea by a sandbar more than 25 km long. The width of the sandbar ranges from 50 to 400 m, and its height above the water's edge – from 1.5 to 3 m. The water temperature in summer reaches 30 °C, in winter it drops to 0 °C.

The water balance of the group of Tuzly Limans (Fig. 3, number 2 - 8) mainly depends from the cha-

acteristics and intensity of water exchange with the sea. In its incoming part, the share of precipitation is 30-40 %, and the inflow of sea water is 60-70 %. The remaining 10 % is the overland flow and the filtration of sea water through the sand bar and partially the outflow of water into the sea through channels during offshore winds. The expenditure component of the Tuzly Limans water balance is mainly represented by evaporation (90-100 %), which can exceed 1000 mm/year, as a result of which the water in the limans becomes saline. In the years when the canals do not work, the water balance of the limans is negative. Model calculations showed [25], that in the average water year during the winter-autumn period the incoming component of the water balance exceeds the outgoing component by 39.1 million m<sup>3</sup>. Therefore, when the channels are opened in May, there will be an outflow of liman water into the sea. From June to September, evaporation from the surface of the reservoir is 81.9 million m<sup>3</sup>, and the inflow of water due to precipitation (91.1 % of the incoming part of the balance) and overland flow (6.9 %) is only 27.9 million m<sup>3</sup>, i.e. water deficit in limans is 44 million m<sup>3</sup>.

The salinity of water in limans is subject to significant inter-annual and intra-annual fluctuations. It changes over the years and seasons. In 1868-1869 the Tuzly Limans completely lost contact with the sea, dried up and turned into marshy solonchaks, which led to an ecological disaster and the almost complete disappearance of water bodies. At the beginning of the 20th century, as a result of the restoration of the connection between the limans and the sea, the sali-

nity of the water decreased. In 1992-1993 in the absence of communication with the sea, the salinity of the limans again increased to 34.0 ‰. Its decrease to 22.0-26.0 ‰ occurred only in 1995 after the opening of two canals for launching fish into the liman from the sea. In 2000, the channels did not work, and salinity already exceeded 26.0-30.0 ‰ in spring, and in autumn 2002, in conditions of complete isolation of limans, it reached 52.5 ‰ [26]. So, according to the results of the expedition in the summer of 2008 [27] in the Shagany Liman, salinity on the water surface was in a wide range, from 45.6 ‰ to 53.1 ‰. The maximum salinity at the bottom was 54.3 ‰, and the minimum was 45.6 ‰. In the Alibey Liman in the surface horizon, the maximum salinity was 54.3 ‰. The average value was 52.4 ‰, which is significantly higher than in the Shagany Liman (47.9 ‰). In the near-bottom horizon of the Alibey Liman, the maximum salinity value coincides with the maximum on the surface and is 54.3 ‰, the minimum is 47.8 ‰. The average salinity at the bottom in Alibey is 52.3 ‰.

In years when the group of Tuzly Limans have a connection with the sea, and the volumes of precipitation and overland flow are quite large, the salinity of the waters decreases. It is always minimal in spring, and maximal in autumn, before the canals open. The recent regime of fishery exploitation of the Tuzly Limans implies the mandatory opening of canals in the spring – for the admission of mullet fry from the sea into the reservoir, and in autumn – for catching mullet in canals when it leaves the limans into the sea. During the summer period (June-September), the estuaries are isolated from the sea to prevent the mullet go to sea. Since water exchange with the open sea through connecting canals in the sandbar, aimed at replenishing the waters of the liman with sea water, plays an important role in stabilizing the hydrological and hydrochemical regime of limans and their ecological state, the intake of saline water for the operation of the SGP plant and the discharge back into the liman of brackish water would help maintain the steady state of the liman.

As a source of freshwater the waters of the Danube River can be used, which is removed from the southwestern shore of the Shagany Liman at a distance of 37 km, and if we take into account the canal connecting the Danube and Sasyk Lake – at a distance of 30 km.

2. *Kuialnyk Liman* is a closed body of water in the northwestern Black Sea region, the inflow of surface water into which is constantly decreasing. *Kuialnyk Liman* can be attributed to water bodies with extremely high salinity. Its area varies from 25 to 60 km<sup>2</sup>, the average depth does not exceed 0.30-1.0 m. The liman is located in the mouth section of the Bolshoy Kuyalnik River and is separated from the sea by a sandbar. The water level in the liman is usually 5 m

below the Black Sea level, but it, like the water salinity, changes regularly. In some years, salt precipitates to the bottom of the liman. Recently, due to the regulation of the Bolshoy Kuyalnik River the water area of the *Kuialnyk Liman* has decreased by almost three times and now is 2,240 km<sup>2</sup>.

The hydrological and hydrochemical regime of the *Kuialnyk Liman* is determined by natural and anthropogenic factors: the Bolshoy Kuyalnik streamflow, inflow of fresh and brackish waters from reservoirs and streams of the liman sandbar and adjacent territories, atmospheric precipitation and evaporation, filtration of sea water through the sandbar, overland flow and groundwater flow, development of hydrobiological processes within the liman. The natural inflow of water into the liman is carried out due to precipitation, overland and groundwater flow, water filtration through the sandbar, wherein the last two components do not reach 1 % of the total inflow [28]. In 2011-2012 according to [29] streamflow was about 2 million m<sup>3</sup>/year. The drainage area of the Bolshoy Kuyalnik River is 1780 km<sup>2</sup>, and the water area of liman is 450 km<sup>2</sup>. Salinity of brine in October in the southern part of the *Kuialnyk Liman* in 1997-2012 ranged from 112.0 ‰ in 2004 to 319.0 ‰ in 2011. In 2008-2014 the average monthly salinity was 200.0-320.0 ‰, and the absolute values in the summer-autumn period reached 399.9 ‰ in the shallow northern part of the liman [30].

After the completion of the project to restore the *Kuialnyk Liman*, in which it was connected to the sea by a pipeline (the distance to the sea is about 2 km) [31], since 2014, to restore the water regime of the liman, annually (December–April) about 10 million m<sup>3</sup> of sea water are let in by gravity, as a result, the mineralization of brine in the liman decreased from more than 300.0 ‰ to 240.0 ‰. Together with water, more than 350 thousand tons of salts were brought into the liman [32]. Thus, even the undertaken replenishment of the liman with sea water in the winter-spring (December-April) months of 2014-2016 allowed only to maintain the state of the liman at the level of recent years [33]. As possible alternative options for restoring the required level and salinity of the *Kuialnyk Liman* water, the option of supplying water from the Dniester River, located at a distance of 40-50 km, and drinking water from the ‘Infox’ LLC (‘Infoxvodokanal’) was considered [34]. However, after a comprehensive review, it was concluded that the replenishment of the *Kuialnyk Liman* with drinking water in modern conditions is not economically feasible, due to its high cost.

Thus, this object is potentially suitable for placing SGP plant operating on the principle of mixing sea water and a hypersaline solution of the *Kuialnyk Liman* waters.

3. *Sasyk-Sivash Lake* is located in the western

part of the Crimea and belongs to the Yevpatoria group of salt lakes, formed from shallow sea bays and lagoons of the Kalamitsky Bay, separated from it by narrow sandbars [35]. The lake area is approximately 75.3 km<sup>2</sup>. The drainage area is about 1064 km<sup>2</sup>. In 1962, in order to increase the salt concentration and optimize the receipt of raw materials for a chemical plant, from Cape Krasny, located on the eastern shore of the lake to the outskirts of Yevpatoria, a dam about 9 km long was built, dividing Sasyk-Sivash Lake into the northern one, subject to freshwater runoff, and the southern part. After the construction of the dam, two completely different reservoirs were formed. The northern part is connected to the Karaymskyi Liman, which, in turn, is connected to the Kalamitsky Bay of the Black Sea. According to the data [36], water salinity in the northern part ranges from 6.6 to 11.1 ‰ and depends mainly on the wind regime and waves. The southern part is drainless hypersalty with salinity up to 316.1 ‰. In areas located at some distance from the dam in the southern part of the lake and directly at the dam, salinity is lower and on the surface is 184.4-272.8 ‰. Sasyk-Sivash Lake, as well as the

Kuialnyk Liman, in the future can be considered as a potential object for the placement of an SGP power plant operating on the principle of mixing sea water and hypersaline solution.

4. *Sivash* is a vast shallow bay of the Azov Sea, with a rugged coastline, many peninsulas, capes, bays. Sivash is connected to the Azov Sea by the shallow and narrow Genichesk Strait, located at the northern end of the Arabat Spit. The Chongar Peninsula divides the Sivash into two parts: western and eastern [37]. The total area of Sivash is about 2530-2540 km<sup>2</sup> (1430 km<sup>2</sup> – the eastern part, 1100 km<sup>2</sup> – the western part, which is the largest of the considered reservoirs). Under natural conditions, the area of the eastern part of Sivash changes little during the year, while the western part, depending on meteorological and hydrological conditions, sharply doubles in winter and is largely dried up in summer, turning into extensive salt droughts.

Currently, two artificial dams, with the help of which the hydrochemical regime and the supply of brine are regulated, divide the Sivash into three separate parts: Eastern, Central and Western Sivash (Fig. 4).

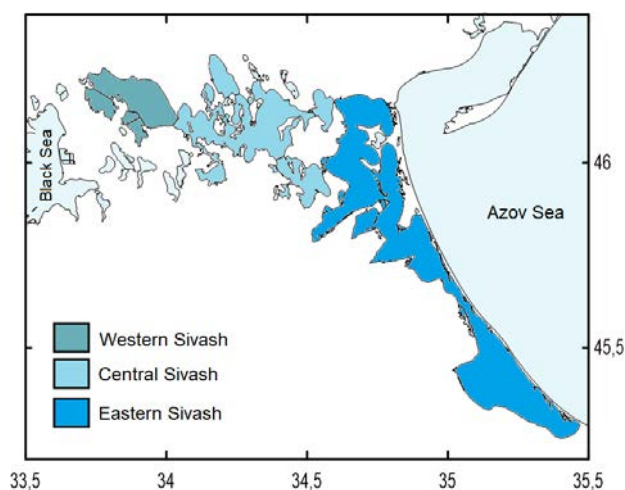


Fig. 4. Map of Sivash

In general, Sivash is very shallow, it is characterized by depths < 0.5 m (32 % of its area), and less than half (46 % of its area) falls at depths of 1.0-2.5 m. Before the construction of the dams, the brine concentration in the western part of the Sivash experienced significant changes (from 50.0 to 260.0 ‰). After the construction of the dams, the western part was turned into an isolated basin with controlled hydrological and hydrochemical regimes, and the selected Middle reservoir was turned into a huge evaporation basin for the preparation of high-concentration brines. The brine of the Western Sivash enters through the brine pipeline to the Aigul Lake, which has been turned into an intermediate brine storage, and then to the Old Lake, from where the brines are fed to the plant for processing (plants were built on the basis of Sivash: Perekop Bromine Plant, Crimean

Titanium Dioxide Plant for the manufacture of phosphate fertilizers and Crimean soda plant were built [38]. The Western Sivash is used to obtain concentrated brine for the production of magnesia products, gypsum and bromine, as well as a large amount of sodium chloride. The value of overland flow, reaching 7.2 million m<sup>3</sup> in a dry year, 24.3 million m<sup>3</sup> on average, and 60.5 million m<sup>3</sup> in a rainy year, is commensurate with the evaporation of brines in the Western Sivash, which is equal to 25.6 million m<sup>3</sup> per year under steady hydrological and hydrochemical regimes.

The salinity of the brine in different parts of the Sivash is not the same and changes over time and depends on the totality of the life conditions of the reservoir – currents, meteorological and hydrological factors. The waters of the Azov Sea with a salinity of

11.0-12.0 ‰ enter to the Eastern Sivash [39]. When the waters move to the west, the concentration of brine occurs and at *Cape Kugaran* it already reaches 230.0-260.0 ‰. On average, salinity in the eastern part of the Sivash ranges from 115.0-135.0 ‰. In the western part, after the construction of dams, salinity is maintained at the level of 240.0-260.0 ‰. The brines of the Eastern Sivash are distinguished by the greatest constancy of salinity, where seasonal fluctuations do not exceed 15.0-20.0 ‰. The period of maximum brine concentrations lasts from June to October-November, when evaporation is approximately three times higher than overland flow and precipitation. In the Western Sivash, before regulation, sharp fluctuations in salinity were typical. As a result of surge currents and overland flow, the concentration of brine decreased over several days from 260.0-270.0 ‰ to 50.0-70.0 ‰.

Thus, the Western Sivash with its large reserves of highly concentrated brine is a good source of hypersaline solution for the SGP power plant. The source of water with low salinity in this case can be the waters of the Karkinitzky Bay of the Black Sea (salinity 15.0-18.0 ‰ [40]), remote from the western tip of the Western Sivash at a distance of 9.5 km near Armiansk. Moreover, today there is a channel connecting the Karkinitzky Bay and the Western Sivash, which reduces the cost of building infrastructure associated with the SGP power plant.

The results of calculating the maximum net power for the above objects are shown in Table 2, where  $c_D$  – average concentration of brine in limans,  $c_F$  – salinity in the area of the proposed water intake in the Black Sea (the Danube River in the case of the Alibey and Shagany limans).

Table 2

The maximum net power  $W_{net}^{max}$  (MBT) per 1 m<sup>3</sup> of solution passing through the membrane

Object name	Area, km <sup>2</sup>	Summer			Winter		
		$c_D$ , ‰	$c_F$ , ‰	$W_{net}^{max}$ , MW/m <sup>3</sup>	$c_D$ , ‰	$c_F$ , ‰	$W_{net}^{max}$ , MW/m <sup>3</sup>
Alibey	98	48-54	0	1.91-2.15	25	0	0.9
Shagany	71	45-53	0	1.79-2.11	25	0	0.9
Kuialnyk	25-60	320	14	12.2	200	14	6.67
Sasyk- Sivash	75,3	272	18	10.29	184	18	5.96
Western Sivash	1100	260	18	9.65	240	15	8.07

As can be seen from Table 2 highest values  $W_{net}^{max}$  obtained in the summer months, when the salinity in limans reaches its maximum and, consequently, its difference with the salinity of sea (river) water increases. Proceeding from  $W_{net}^{max}$ , obtained for the Western Sivash, where the salinity is maintained artificially at certain values, it can be seen that the annual amplitude has a smaller value, which provides more stable conditions.

**Conclusions.** There are objects in the northwestern Black Sea region, in the waters of which, as soon as technologies become available, it will be possible to implement SGP projects. The Kuialnyk Liman, Sasyk- Sivash lake and Western Sivash have the most favorable conditions, where the highest power indicators are shown when using the sea water – hypersaline solution scheme, in which freshwater is not consumed. Taking into account the shortage of freshwater resources and, based on the trend of climate change in the northwestern Black Sea region towards the development of arid conditions, the need for their

conservation in this region will continue to increase. At the same time, these same changes already today lead to a change in the hydrological regime of the estuaries of the northwestern Black Sea region, as a result of which the water content is reduced and mineralization (salinity) increases. Such changes negatively affect the state of aquatic ecosystems and the conduct of traditional economic activities, which makes the economic condition of local communities unsustainable. If the technical problems associated with the implementation of SGP projects are successfully resolved, this would provide the population with additional energy, and also help to preserve the natural state of the estuaries that are in the process of degradation.

**Acknowledgments.** This study is supported by ‘Developing Optimal and Open Research Support for the Black Sea (DOORS)’ project. The authors would like thank of the European Research Executive Agency for providing financial support of this research under Grant 101000518.

### Bibliography

1. Post J.W. Influence of multivalent ions on power production from mixing salt and fresh water with a reverse electrodialysis system / J.W. Post, H.V.M. Hamelers, C.J.N. Buisman // *Journal of Membrane Science*. – 2009. – 330(1-2). – P. 65-72.

2. Acuna Mora D. *Blue Energy: Salinity Gradient Power in Practice* / D. Acuna Mora, A. de Rijck. // *GSDR 2015 Brief*. – 2015. – С. 1-8. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sustainabledevelopment.un.org>
3. Panyor L. *Renewable energy from dilution of salt water with fresh water: Pressure retarded osmosis* / L. Panyor // *Desalination*. – 2006. – 199(1-3). – P. 408-410.
4. Post J.W. *Blue Energy: electricity production from salinity gradients by reverse electro dialysis*. Phd's thesis / J.W. Post – Wageningen: Wageningen University, 2009. – 224 p.
5. Ramon G.Z. *Membrane-based production of salinity-gradient power* / G.Z. Ramon, B.J. Feinberga, E.M.V. Hoek // *Energy & Environmental Science*. – 2011. – Vol. 11. – P. 4423-4434. <https://doi.org/10.1039/c1ee01913a>
6. Bromley L.A. *Thermodynamic properties of sea salt solutions* / L.A. Bromley, D. Singh, P. Ray, S. Sridhar, S.M. Read // *American Institute of Chemical Engineering Journal*. – 1974. – Vol. 20(2). – P. 326-335. <https://doi.org/10.1002/aic.690200218>
7. Loeb S. *Method and Apparatus for Generating Power Utilizing Pressure-Retarded-Osmosis*. U.S. Patent US3906250A, 16 September 1975. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://patents.google.com/patent/US3906250A/en>
8. Helfer F. *Osmotic power with Pressure Retarded Osmosis: Theory, performance and trends – a review* / F. Helfer, C. Lemckert, Y.G. Anissimov // *Journal of Membrane Science*. – 2014. – Vol. 453. – P. 337-358. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2013.10.053>
9. Norman R.S. *Water salination: A source of energy* / R.S. Norman // *Science*. – 1974. – Vol. 4161. – P. 350-352. <https://doi.org/10.1126/science.186.4161.350>
10. Loeb S. *Energy production at the Dead Sea by pressure-retarded osmosis: Challenge or chimera?* / S. Loeb // *Desalination*. – 1998. – Vol. 120. – P. 247-262. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(98\)00222-7](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(98)00222-7)
11. Salamanca J.M. *Analysis of the Intake Locations of Salinity Gradient Plants Using Hydrodynamic and Membrane Models* / J.M. Salamanca, O. Álvarez-Silva, A. Higgins, F. Tadeo // *Water*. – 2021. – Vol. 13. – P. 1133. <https://doi.org/10.3390/>
12. Kelada M.I. *Induced symbiotic osmosis [iso] for salinity power generation*. U.S. Patent US20110044824A1, 02/24/2011. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://patents.google.com/patent/US20110044824A1/en>
13. Kelada M.I. *Global Potential of Hypersalinity Osmotic Power* [Electronic resource] / MIK Technology- Houston, Texas, 2010. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://miktechnology.com/hypersalinity.html>
14. Kelada M.I. *Seawater Osmotic Salinity Power Reality* [Electronic resource] / MIK Technology- Houston, Texas, 2009. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://miktechnology.com/powerfromseawater.html>
15. Kelada M.I. *Global Hyper Saline Power Generation Qattara Depression Potentials* [Electronic resource] / Fourteenth International Middle East Power Systems Conference Cairo, Egypt, December, 19-21, 2010. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://miktechnology.com/qattara.html>
16. Helfer F. *Salinity gradient energy: a new source of renewable energy in Australia* / F. Helfer, O. Sahin, C.J. Lemckert, Y.G. Anissimov // *Water Utility Journal*. – 2013. – Vol. 5. – P. 3-13.
17. Palko H. *Exploring potential sites for salinity gradient renewable energy on the North Carolina coast and evaluating the potential effects of local salinity regime variation on SAV communities due to reverse electro dialysis effluent*. Master's thesis / Palko H. – Chapel Hill: University of North Carolina, 2017. – 107 p. Available at: <https://cdr.lib.unc.edu/concern/dissertations/1v53jx67d?locale=en>
18. Kempener R. *Salinity gradient energy technology brief*. Technical report / R. Kempener, F. Neumann. – Bonn: International Renewable Energy Agency (IRENA), 2014. – 28 p.
19. Loeb S. *Large-scale power production by pressure-retarded osmosis, using river water and sea water passing through spiral modules* / S. Loeb // *Desalination*. – 2002. – Vol. 143(2). – P. 115-122. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(02\)00233-3](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(02)00233-3)
20. Emami Y. *A Brief Review about Salinity Gradient Energy* / Y. Emami // *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*. – 2013. – Vol. 2(2). – P. 295-300. <https://doi.org/10.12720/sgce.2.2.295-300>
21. She Q. *Osmotic power production from salinity gradient resource by pressure retarded osmosis: Effects of operating conditions and reverse solute diffusion* / Q. She, X. Jin, C.Y. Tang // *J Membrane Sci*. – 2012. – Vol. 401-402. – P. 262-273. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2012.02.014>
22. Kim Y.C. *Potential of osmotic power generation by pressure retarded osmosis using seawater as feed solution: Analysis and experiments* / Y.C. Kim, M. Elimelech // *J Membrane Sci*. – 2013. – Vol. 429. – P. 330-337. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2012.11.039>
23. Loeb S. *Osmotic power plants* / S. Loeb // *Science*. – 1975. – Vol. 189. – P. 654-655. <https://doi.org/10.1126/science.189.4203.65>
24. Ильин Ю.П. *Гидрометеорологические условия морей Украины. Том 2: Черное море* / Ю.П. Ильин, Л.Н. Репетин, В.Н. Белокопытов, Ю.Н. Горячкин, Н.Н. Дьяков, А.А. Кубряков, С.В. Станичный. – Севастополь: МЧС и НАН Украины, Морское отделение Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института, 2012. – 421 с.
25. Гопченко Е.Д. *Сценарное моделирование водно-солевого режима Тузовских лиманов* / Е.Д. Гопченко, Ю.С. Тучковенко // *Екол. безпека прибереж. та шельфової зон та комплекс. використ. ресурсів шельфу*. – 2004. – Вип. 10. – С. 243-255.
26. Гопченко Е.Д. *Стабилизация гидрологического и гидрохимического режимов Тузовских лиманов путем регулирования водообмена с морем* / Е.Д. Гопченко, Ю.С. Тучковенко, Н.Г. Сербов, Г.Д. Бузиян // *Вісник Одеського державного екологічного університету*. – 2005. – № 1. – С. 187-194.

27. Шуйский Ю.Д. Физико-географические черты природы лиманов Шаганы и Алибей на побережье Черного моря / Ю.Д. Шуйский, Г.В. Выхованец, Л.В. Гыжко, А.А. Стоян, П.С. Вержбицкий // Причорноморський екологічний бюллетень. – 2009. – Вып. 31. – С. 96-111.
28. Эннан А.А. Деградация водной экосистемы Куяльницкого лимана и пути ее восстановления / А.А. Эннан, Т.Н. Шихалева, В.В. Адобовский, В.П. Герасимюк, И.И. Шихалеев // Причерномор. екол. бюл. – 2012. – №1 (43). – С. 75-85.
29. Адобовский В.В. Особенности современного гидролого-гидрохимического режима Куяльницкого лимана и прогнозная оценка его составляющих в условиях возможного пополнения водоема морскими и пресными водами / В.В. Адобовский, Ю.И. Богатова // Український гідрометеорологічний журнал. – 2013. – №13. – С. 127-137.
30. Эннан А.А. Причины и последствия деградации Куяльницкого лимана (Северо-Западное Причерноморье, Украина) / А.А. Эннан, Г.Н. Шихалева, И.И. Шихалеев, В.В. Адобовский, А.Н. Кирюшкина // Вісн. ОНУ. Сер. Хімія. – 2014. – № 19(51). – С. 60-69.
31. Гриб О.М. Наукове обґрунтування та практична реалізація заходів по управлінню гідроекологічним режимом Куяльницького лиману на основі моделювання водно-сольового балансу водойми в умовах змін глобального клімату / О.М. Гриб // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол. – 2015. – № 3-4 (64). – С. 130-133. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/NZTNPU\\_2015\\_3-4\\_33](http://nbuv.gov.ua/UJRN/NZTNPU_2015_3-4_33)
32. Дятлов С.Е. Одесские лиманы: современное состояние и перспективы их использования и охраны / С.Е. Дятлов, А.В. Кошелев, С.А. Запорожец, Е.А. Лукьянова // Вода: гигиена и экология. – 2018. – № 1-4 (6). – С. 62-68. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.2567519>
33. Шихалева Г.Н. Альгофлористические исследования Куяльницкого лимана и эфемерных водоемов его побережья (Северо-Западное Причерноморье, Украина) / Г.Н. Шихалева, В.П. Герасимюк, А.Н. Кирюшкина, А.А. Эннан, П.М. Царенко // Альгология. – 2017. – Т. 27(3). – С. 277-298. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/algol\\_2017\\_27\\_3\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/algol_2017_27_3_6)
34. Гриб О.М. Оцінка технічних можливостей живлення Куяльницького лиману водами річки Дністер та питною водою: матеріали конференції / О.М. Гриб // Всеукраїнська науково-практична конференція «Лимани північно-західного Причорномор'я: сучасний гідроекологічний стан; проблеми водного та екологічного менеджменту, рекомендації щодо їх вирішення» (1-3 жовтня 2014 р., Україна, м. Одеса, ОДЕКУ).
35. Олиферов А.Н. Реки и озера Крыма / А.Н. Олиферов, З.В. Тимченко. – Симферополь: Доля, 2005. – 216 с.
36. Болтачев А.Р. Современное состояние экосистемы озера Сасык-Сиваш (Крым) / А.Р. Болтачев, Е.П. Карпова, Л.А. Манжос, В.В. Губанов // Екол. безпека прибереж. та шельф. зон та комплекс. використ. ресурсів шельфу. – 2011. – Вып. 25, т.1. – С. 49-58.
37. Познизовский А. Соляные ресурсы Крыма / А. Познизовский. – Симферополь: И-во «Крым», 1965. – 166 с.
38. Совга Е.Е. Ресурсный потенциал озера Сиваш и современное экологическое состояние его акватории / Е.Е. Совга, Е.С. Щурова // Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу. – 2013. – Вып. 27. – С. 276-283.
39. Berlinsky N. Hazardous phenomena in the slides zone of the Ukrainian section in Azov sea / N. Berlinsky, M. Sahaidak // Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology". – 2021. – Vol. 54. – P. 20-29. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-54-02>
40. Пухтяр Л.Д. Сезонные распреснения и осолонения вод Каркинитского залива / Л.Д. Пухтяр // Морск. гидрофиз. журнал. – 2007. – № 4. – С. 24-38.

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work

#### References

1. Post, J.W., Hamelers, H.V.M. & Buisman, C.J.N. (2009). Influence of multivalent ions on power production from mixing salt and fresh water with a reverse electrodialysis system. *Journal of Membrane Science*, 330 (1-2), 65-72.
2. Acuna Mora, D. & de Rijck, A. (2015). *Blue Energy: Salinity Gradient Power in Practice*. GSDR 2015 Brief. 1-8. Available at: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5734Blue%20Energy.pdf>
3. Panyor, L. (2006). Renewable energy from dilution of salt water with fresh water: Pressure retarded osmosis. *Desalination*, 199 (1-3), 408-410.
4. Post, J.W. (2009). *Blue Energy: electricity production from salinity gradients by reverse electrodialysis*. Wageningen: Wageningen University. Available at: <https://edepot.wur.nl/12605>
5. Ramon, G.Z., Feinberga, B.J. & Hoek, E.M.V. (2011). Membrane-based production of salinity-gradient power. *Energy & Environmental Science*, 11, 4423-4434. <https://doi.org/10.1039/c1ee01913a>
6. Bromley, L.A., Singh, D., Ray, P., Sridhar, S. & Read, S.M. (1974). Thermodynamic properties of sea salt solutions. *American Institute of Chemical Engineering Journal*, 20(2), 326-335. <https://doi.org/10.1002/aic.690200218>
7. Loeb, S. (1975). *Method and Apparatus for Generating Power Utilizing Pressure-Retarded-Osmosis*. U.S. Patent US3906250A, 16 September 1975. Available at: <https://patents.google.com/patent/US3906250A/en> (accessed 14.01.2023)

8. Helfer, F., Lemckert, C. & Anissimov, Y.G. (2014). Osmotic power with Pressure Retarded Osmosis: Theory, performance and trends – a review. *Journal of Membrane Science*, 453, 337-358. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2013.10.053>
9. Norman, R.S. (1974). Water salination: A source of energy. *Science*, 4161, 350-352. <https://doi.org/10.1126/science.186.4161.350>
10. Loeb, S. (1998). Energy production at the Dead Sea by pressure-retarded osmosis: Challenge or chimera? *Desalination*, 120, 247-262. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(98\)00222-7](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(98)00222-7)
11. Salamanca, J.M., Álvarez-Silva, O., Higgins, A. & Tadeo, F. (2021). Analysis of the Intake Locations of Salinity Gradient Plants Using Hydrodynamic and Membrane Models. *Water*, 13, 1133. <https://doi.org/10.3390/>
12. Kelada, M.I. (2011). Induced symbiotic osmosis [iso] for salinity power generation. U.S. Patent US20110044824A1, 02/24/2011. Available at: <https://patents.google.com/patent/US20110044824A1/en> (accessed 14.01.2023)
13. Kelada, M.I. (2010). Global Potential of Hypersalinity Osmotic Power. MIK Technology-Houston, Texas. Available at: <http://miktechnology.com/hypersalinity.html> (accessed 14.01.2023)
14. Kelada, M.I. (2009). Seawater Osmotic Salinity Power Reality. MIK Technology- Houston, Texas. Available at: <http://miktechnology.com/powerfromseawater.html> (accessed 14.01.2023)
15. Kelada, M.I. (2010). Global Hyper Saline Power Generation Qattara Depression Potentials. Fourteenth International Middle East Power Systems Conference Cairo, Egypt, December, 19-21, 2010. Available at: <http://miktechnology.com/qattara.html> (accessed 14.01.2023)
16. Helfer, F., Sahin, O., Lemckert, C.J. & Anissimov, Y.G. (2013). Salinity gradient energy: a new source of renewable energy in Australia. *Water Utility Journal*, 5, 3-13.
17. Palko, H. (2017). Exploring potential sites for salinity gradient renewable energy on the North Carolina coast and evaluating the potential effects of local salinity regime variation on SAV communities due to reverse electrodialysis effluent. Master's thesis. Chapel Hill: University of North Carolina. Available at: <https://cdr.lib.unc.edu/concern/dissertations/1v53jx67d?locale=en> (accessed 14.01.2023)
18. Kempener, R. & Neumann, F. (2014). Salinity gradient energy technology brief. Technical report, International Renewable Energy Agency (IRENA).
19. Loeb, S. (2002). Large-scale power production by pressure-retarded osmosis, using river water and sea water passing through spiral modules. *Desalination*, 143(2), 115-122. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(02\)00233-3](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(02)00233-3)
20. Emami, Y., Mehrangiza, S., Etemadib, A., Mostafazadehc, A. & Darvish, S. (2013). A Brief Review about Salinity Gradient Energy. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, 2 (2), 295-300 <https://doi.org/10.12720/sgce.2.2.295-300>
21. She, Q., Jin, X. & Tang, C.Y. (2012). Osmotic power production from salinity gradient resource by pressure retarded osmosis: Effects of operating conditions and reverse solute diffusion. *J Membrane Sci*, 401-402, 262-273. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2012.02.014>
22. Kim, Y.C. & Elimelech, M. (2013). Potential of osmotic power generation by pressure retarded osmosis using seawater as feed solution: Analysis and experiments. *J Membrane Sci*, 429, 330-337. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2012.11.039>
23. Loeb, S. (1975). Osmotic power plants. *Science*, 189, 654-655. [DOI:10.1126/science.189.4203.65](https://doi.org/10.1126/science.189.4203.65)
24. Il'in, Ju.P., Repetin, L.N., Belokopytov, V.N., Gorjachkin, Ju.N., D'jakov, N.N., Kubrjakov, A.A. & Stanichnyj, S.V. (2012). Hydrometeorological conditions of the seas of Ukraine. Volume 2: Black Sea. Sevastopol: Marine Department of the Ukrainian Scientific Research Hydrometeorological Institute. [in Russian]
25. Gopchenko, E.D. & Tuchkovenko, Ju.S. (2004). Scenario modeling of the water-salt regime of the Tuzlovsky estuaries. *Ecol. coastal safety and shelf areas and complex. used shelf resources*, 10, 243-255. [in Russian]
26. Gopchenko, E.D., Tuchkovenko, Ju.S., Serbov, N.G. & Buzijan, G.D. (2005). Stabilization of the hydrological and hydrochemical regimes of the Tuzlovsky estuaries by regulating water exchange with the sea. *Bulletin of OSENU*, 1, 187-194. [in Russian]
27. Shujksij, Ju.D., Vyhovanec, G.V., Gyzhko, L.V., Stojan, A.A. & Verzhbickij, P.S. (2009). Physical and geographical features of the nature of the Shagany and Alibey estuaries on the Black Sea coast. *Black Sea Environmental Bulletin*, 31, 96-III. [in Russian]
28. Jennan, A.A., Shihaleeva, T.N., Adobovskij, V.V., Gerasimjuk, V.P. & Shihaleev, I.I. (2012). Degradation of the aquatic ecosystem of the Kuyalnitsky estuary and ways of its restoration. *Black Sea Environmental Bulletin*, 1(43), 75-85. [in Russian]
29. Adobovskij, V.V. & Bogatova, Ju.I. (2013). Features of the modern hydrological and hydrochemical regime of the Kuyalnitsky estuary and predictive assessment of its components in the conditions of possible replenishment of the reservoir with sea and fresh waters. *Ukrainian hydrometeorological journal*, 13, 127-137. [in Russian]
30. Jennan, A.A., Shihaleeva, G.N., Shihaleev, I.I., Adobovskij, V.V. & Kirjushkina, A.N. (2014). Causes and consequences of the degradation of the Kuyalnitsky estuary (North-Western Black Sea region, Ukraine). *Herald. ONU Series. Chemistry*, 19(51), 60-69. [in Russian]
31. Hryb, O.M. (2015). Scientific substantiation and practical implementation of measures to manage the hydro-ecological regime of the Kuyalnitsky estuary based on modeling the water-salt balance of the reservoir under conditions of global climate change. *Science zap Ternopil national ped. university Ser. Biol.*, 3-4 (64), 130-133. [in Ukrainian] Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/NZTNPU\\_2015\\_3-4\\_33](http://nbuv.gov.ua/UJRN/NZTNPU_2015_3-4_33) [in Ukrainian]



32. Djatlov, S.E., Koshelev, A.V., Zaporozhec, S.A. & Luk'janova, E.A. (2018). Odessa estuaries: current state and prospects for their use and protection. *Water: hygiene and ecology*, 1-4 (6), 62-68. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.2567519> [in Russian]
33. Shihaleeva, G.N., Gerasimjuk, V.P., Kirjushkina, A.N., Jennan, A.A. & Careno, P.M. (2017). Algofloristic studies of the Kuyalnitsky estuary and ephemeral reservoirs of its coast (North-Western Black Sea region, Ukraine). *Algology*, 27 (3), 277-298. [in Russian] Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/algol\\_2017\\_27\\_3\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/algol_2017_27_3_6) [in Russian]
34. Hryb, O.M. (2014). Assessment of the technical possibilities of supplying the Kuyalnitsky estuary with the waters of the Dniester River and drinking water: conference materials. All-Ukrainian scientific and practical conference "Estuaries of the northwestern Black Sea coast: modern hydro-ecological condition; problems of water and environmental management, recommendations for their solution", October 1-3, 2014, Ukraine, Odesa: OSENU. [in Ukrainian]
35. Oliferov, A.N. & Timchenko, Z.V. (2005). *Rivers and lakes of Crimea*. Simferopol: Share. [in Russian]
36. Boltachev, A.R., Karpova, E.P., Manzhos, L.A. & Gubanov, V.V. (2011). The current state of the ecosystem of Lake Sasyk-Sivash (Crimea). *Ecol. coastal safety and shelf zone and complex. used shelf resources*, 25 (1), 49-58. [in Russian]
37. Ponizovskij, A. (1965). *Salt resources of Crimea*. Simferopol: Institute "Crimea" [in Russian]
38. Sovga, E.E. & Shhurova, E.S. (2013). The resource potential of Lake Sivash and the current ecological state of its water area. *Ecological safety of coastal and shelf zones and integrated use of shelf resources*, 27, 276-283. [in Russian]
39. Berlinsky, N., & Sahaidak, M. (2021). Hazardous phenomena in the slides zone of the Ukrainian section in Azov sea. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology"*, 54, 20-29. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-54-02>
40. Puhtjar, L.D. (2007). Seasonal freshening and salinization of the waters of the Karkinitzky Bay. *Sea. hydrophys. journal*, 4, 24-38. [in Russian]

## Використання енергії градієнта солоності в причорноморських регіонах (в рамках розвитку «блакитної» технології)

Марія Сліже<sup>1</sup>,

к. геогр. н., ст. наук. співробітник,

<sup>1</sup> Одеського державного екологічного університету, вул. Львівська, 15, Одеса, 65016, Україна,

Микола Берлінський<sup>1</sup>,

д. геогр. н., професор, зав. кафедри океанології та морського природокористування,

Юсеф Ель Хадрі<sup>1</sup>,

д. філософії, ст. викл. кафедри океанології та морського природокористування

Сьогодні людство знаходиться в пошуку нових джерел енергії, щоб зробити економіку стійкішою, а також необхідністю переходу до енергетики, що працює на принципах Carbon-Free Technology. Для Чорного моря це виявляється у прагненні успішної реалізації програми Blue Growth Accelerator, націленої на впровадження інноваційних технологій та альтернативних джерел енергії в енергетику Причорноморських країн, для розвитку «Блакитної економіки» та досягнення здорового, продуктивного та сталого його стану. Взаємодія прісної та солоної води може дати, по суті, необмежену, безкоштовну та чисту енергію. В основі вироблення такої енергії лежить так званий градієнт солоності, що виникає при змішуванні двох видів води. Після десятків років роботи та численних експериментів вчені розробили спосіб використання енергії градієнта солоності для отримання електрики. Такий вид електроенергії також називають «блакитний» (англ. Blue Energy), за асоціацією з кольором змішування прісної води та солоною при впаданні річок в океан. Місця (устя або дельти), де річки впадають в океани і моря, очищені завдяки фізико-хімічним процесам, що відбуваються під час змішування прісної та солоної води, мають воістину величезний енергетичний потенціал. У північно-західному регіоні Чорного моря, вздовж узбережжя між річками Дунай і Дніпро, є 21 лиман, деякі можна використовувати для генерування градієнта солоності. Метою роботи є визначення районів з необхідними умовами для використання енергії градієнту солоності, а також оцінка їх потенціалу на прикладі оцінки максимальної теоретичної потужності системи PRO. Результати розрахунку максимальної потужності показали, що найбільші значення отримані в літні місяці, коли солоність в лиманах досягає максимуму і, отже, збільшується її різниця з солоністю морської (річкової) води. Найбільш високими показниками максимальної теоретичної потужності мають Куяльницький лиман, озеро Сасик-Сиваш та Західний Сиваш, де йдеться про використання схеми морська вода – гіперсолоний розчин, за якої не витрачається прісна вода.

**Ключові слова:** енергія градієнту солоності, осмос із затримкою тиску, зворотній електродіаліз, Північно-Західне Причорномор'я, Чорне море, Блакитне зростання, відновлювана енергія.

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 15 січня 2023 р.  
Прийнята 15 березня 2023 р.

## Важкі метали в донних відкладах лиману Сасик

Ігор Шураєв<sup>1</sup>

к. геол. н., учений секретар, наук. співроб. відділу проблем геології моря та осадового рудоутворення

<sup>1</sup> Державної наукової установи «Центр проблем морської геології,

геоекології та осадового рудоутворення НАН України,

вул. Олеся Гончара, 55-б, Київ, 01601, Україна,

e-mail: [igorshuraev91@gmail.com](mailto:igorshuraev91@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-6289-8632>;

Тетяна Кулага<sup>1</sup>

мол. наук. співроб. відділу проблем геології моря та осадового рудоутворення,

e-mail: [tatianakulaha@gmail.com](mailto:tatianakulaha@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-0575-631X>;

Олександр Паришев<sup>1</sup>

к. геол. н., ст. наук. співроб. відділу проблем геології моря та осадового рудоутворення,

e-mail: [paryshev1974@gmail.com](mailto:paryshev1974@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1318-9650>

У статті наведено результати дослідження донних відкладів лиману Сасик. Експедиційні роботи з відбором зразків провели автори роботи у 2018-2019 рр., за мережею 31 станції. Для відібраних зразків виконано первинний літологічний опис. За його результатами встановлено, що донні відклади водойми представлені переважно чорними мулами, в'язкими, часто з домішкою раковинного детриту. За допомогою геохімічного спектрально-емісійного аналізу визначено валовий вміст важких металів у цих відкладах. Відповідно до отриманих результатів, з'ясовано, що в системі донних відкладів лиману Сасик серед важких металів I класу небезпечності встановлено Pb; серед важких металів II класу небезпечності – Ni, Cu, Cr, Mo; серед важких металів III класу небезпечності виявлені V, Mn та Ba. Для оцінки рівня забруднення цими металами донних відкладів водойми, авторами систематизовано матеріали щодо вмісту цих металів на прилеглих територіях, щодо кларкових значень цих елементів та гранично допустимих концентрацій для ґрунтів. Таким чином, серед усіх досліджених зразків перевищення вмісту Pb над усіма вище зазначеними порівняльними характеристиками встановлено в 19 зразках, Ni – в 10, Cr – в 12, V – у 6 та Cu – в 21. Mn, Mo та Ba значно менш поширені в системі донних відкладів лиману Сасик, їхні підвищені концентрації зустрічаються, лише в поодиноких точках, до того ж інформації щодо їх вмісту на суміжних територіях недостатньо. Також на основі побудов карт поширення металів (з використанням геоінформаційних систем Mapinfo, QGIS, Global Mapper та Surfer) та аналізу мезотополінементів, встановлені закономірності поширення металів у системі донних відкладів водойми та зроблені припущення щодо можливих джерел їх надходження. За результатами вивчення цих матеріалів вдалося з'ясувати, що максимальні концентрації металів спостерігаються при наближенні до основних населених пунктів території, отже, ймовірно, вони пов'язані саме зі стоками цих сіл. Крім того, розподіл Cr та Ni донними відкладами лиману, найімовірніше, контролюється основними напрямками циркуляції води у водоймі. На основі аналізу мезотополінементів, авторами також зроблено припущення щодо можливості міграції цих металів до донних відкладів лиману завдяки геодинаміці тектонічних блоків.

**Ключові слова:** лиман Сасик, геоекосистема, донні відклади, важкі метали, статистичний аналіз, закономірності поширення металів, антропогенне навантаження, забруднення, лінеаментна тектоніка.

**Як цитувати:** Шураєв Ігор. Важкі метали в донних відкладах лиману Сасик / Ігор Шураєв, Тетяна Кулага, Олександр Паришев // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 58. – С. 386-399. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-29>

**In cites:** Shuraiev Ihor, Kulaha Tetiana, Paryshev Oleksander (2023). Heavy metals in the bottom sediments of the Sasyk estuary. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (58), 386-399. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-29> [in Ukrainian]

**Постановка проблеми.** За даними [1] забруднення довкілля важкими металами відбувається внаслідок їхньої міграції від різноманітних джерел. У разі надходження важких металів до водойм вони розподіляються між водою, донними відкладами та біотою з можливістю взаємного переходу. Вода у водоймах відіграє роль сполучної ланки в ланцюзі міграції речовин до донних відкладів і організмів, що в ній мешкають. Важкі метали можуть міститися у воді в складі різних хімічних сполук, водорозчинній формі чи у вигляді суспензій. Зазвичай основна частина забруднюючих елементів концентрується саме в донних відкладах через їх значну акумулятивну здатність, особливо коли йдеться, як у випадку з лиманами, саме про мулисті відклади. Однак, концентрацій-

на рівновага між водою і донними відкладами може зміщуватися в той чи інший бік. Одними з найважливіших чинників, що впливають на цей процес, є мінералізація та значення рН води водойми.

Ситуацію, що склалася на лимані Сасик сьогодні називають екологічною катастрофою. У другій половині XX ст. було прийняте рішення відділити лиман від моря греблею. Це потрібно було для повного опріснення водойми з метою використання води лиману для зрошення земель. Будівництво каналу тривало протягом 1975-1981 рр. Ідея опріснення лиману з метою використання його вод для зрошування земель виявилася невдалою та нерентабельною, а також згубно вплинула на стан екосистеми самого лиману. Сасик не

вдалось опріснити повністю через гіперсолоність його донних відкладів, вода лиману виявилася непридатною для іригації та будь якого побутового використання. Результатом є зміна умов та враження всіх складових геоекосистеми лиману, яке, слід зазначити, значне настільки, що дозволяє прослідкувати катастрофічно негативний його вплив на здоров'я жителів прибережних громад цієї території. Лікувальні грязі лиману наразі втратили всі свої цінні властивості, береги лиману зазнають абразії, з водами каналу Дунай-Сасик до лиману надходить значна кількість небезпечних сполук та речовин, зокрема, важких металів. Деякі сучасні дослідження вказують на факт підвищеної дитячої смертності та захворюваності на території прилеглих районів [2].

Незважаючи на таку складну ситуацію цей лиман сьогодні залишається недостатньо вивченим. Особливо відчутним є дефіцит наукових даних щодо стану та особливостей донних відкладів.

#### **Аналіз останніх досліджень та публікацій.**

Лиман Сасик являє собою унікальну геоекосистему, що включає в себе відповідні субсистеми – субсистему донних відкладів, аквасубсистему та аеросубсистему, які існують в умовах взаємного впливу [3]. Як було зазначено вище, кожна з них сьогодні вражена та знаходиться в практично критичному стані.

Найбільш дослідженою на сьогодні є аквасубсистема лиману. Для цієї складової описані гідрологічні, гідрохімічні особливості (гідрологічний режим, особливості циркуляції води, мінералізація, температура, солоність та ін.) [4, 5], наведені характеристики біорізноманіття [5, 6] та описані особливості екологічного стану води лиману (вміст важких металів і їх перевищення за різними нормами) [5].

Відносно геологічної складової існує обмежена кількість даних. Зокрема, існують деякі матеріали, що наводять особливості геологічної та тектонічної будови території, на якій знаходиться лиман [7, 8], морфологічну характеристику його берегів [9], особливості його донних відкладів і пересипу [10, 11]. Відповідно до цих досліджень, відомо, що у верхній частині залягають рідкі супісчані мули незначної потужності з домішкою рослинних решток, які в нижній частині переходять у суглинисті мули з потужністю від 0,7 до 7 м. Піщане тіло пересипу має потужність від 2,4 до 5 м, а в місцях древніх прорв ще більшу. Складене воно переважно пісками кварцовими, сірими, дрібнозернистими, сипучими. В основі – потужна товща мулів зеленувато-сірих, важких, з прошарками піску до 15 см, із численними черепашками моллюсків: *Cardium edule*, *Ostrea edulis*, *Bittium reticulatum*, *Chione gallina*, *Nassarius reticulatus*, *Cerituum reticulatum*, *Paphia discrepeus*, *Hydrobia*

*ventrosa*, *Rissoa membranaces sp.*, *R. Parva*, *Retusa truncutula*, *Mytilus galloprovincialis*, *Dreissena polymorpha*, *Littoglyphus naticoidus*, *Loripes Lacteus*, *Abra ovata*, *Spisula*, *Subtruncata*, *Corbula mediterranea* [11]. За даними [8] мінералогічно в донних відкладах лиману переважає кварц (загальний відсотковий вміст якого коливається від 89 до 98 %). Калієво польові шпати містяться в кількості від 4 до 13 %. Всюди присутній халцедон, кальцит, трапляється мусковіт, біотит та глауконіт. Вміст раковинного детриту коливається в межах від 1,3 до 11 %. У важкій фракції знайдені: гранат, ільменіт, лейкоксен, циркон, турмалін, рутил-анатаз. Середній вміст солей у порових водах лиману – 46 г/л. Основою хімічного складу порових вод є хлорид натрію та хлористий магній, спостерігається підвищений вміст сульфатів кальцію та магнію [8].

Є також деякі роботи, які освітлюють особливості досліджень закономірностей поширення важких металів у донних відкладах лиманів Причорномор'я, прилеглої частини Чорноморського басейну, а також вмісту важких металів у донних відкладах р. Дунай [12, 13, 14, 15, 16, 17].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Наразі, що стосується лиману Сасик, існує низка досліджень, які сконцентровані на вивченні якості його води, однак результатів щодо екологічного стану донних відкладів критично недостатньо. Що сьогодні є актуальним, адже всі три підсистеми геоекосистеми лиману за своєю природою є відкритими системами, тобто геоекосистема донних відкладів постійно обмінюється речовинами та енергією безпосередньо з аквасубсистемою і в меншій мірі з аеросубсистемою. Основою цього обміну та взаємодії однозначно є саме геоекосистема донних відкладів, адже вона має найбільш виражені акумулятивні властивості і є основним індикатором екологічного стану лиману загалом.

**Формулювання цілей статті.** Власне, тому метою даної статті є дослідження літологічних особливостей донних відкладів лиману Сасик та встановлення закономірностей поширення важких металів у цих відкладах.

Відповідно, для досягнення цієї мети необхідно було виконати наступні завдання:

- провести польові дослідження на території лиману Сасик, відібрати зразки донних відкладів;
- визначити літологічні особливості відкладів та валовий вміст важких металів у їх пробах, також виконати статистичний аналіз отриманих значень щодо вмісту важких металів;
- для встановлення закономірностей просторового поширення металів у відкладах побудувати карти їх розповсюдження;

- проаналізувати існуючі дані щодо вмісту важких металів у донних відкладах суміжних акваторій;
- визначити можливі джерела надходження цих металів до геоекосистеми донних відкладів лиману Сасик та проаналізувати рівень антропогенного впливу на їх накопичення та поширення.

**Виклад основного матеріалу досліджень.**

Дослідження донних відкладів лиману Сасик виконані за мережею 31 станції, відібрані проби з приповерхневого шару донних відкладів (рис. 1). Таким чином, фактичним матеріалом роботи є 31 зразок проб донних відкладів озера лиманного типу Сасик, русел та палеорусел річок Когильник і Сарата, а також порід берегового урізу досліджуваної водойми. Авторами роботи було здійснено відбір проб за сіткою точок із моторного човна за допомогою донного черпака Ковш Ван Віна (2л) та орієнтуванням за GPS навігацією. Підготовка проб до аналізу проводилася в лабораторних умовах. Процес включав очистку від детриту,

знешламлення, сушку та дроблення зразків. Геохімічний спектрально-емісійний аналіз [18] на приладі СТЕ-1 був проведений А. А. Таращан у лабораторії Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України. Статистична та картографічна обробка результатів польових, лабораторних та камеральних досліджень виконана за допомогою геоінформаційних систем Mapinfo, QGIS, Global Mapper, Surfer. Статистичний аналіз даних про вміст важких металів, за результатами геохімічного аналізу зразків порід та донних осадів, проведено за допомогою програмних засобів Mapinfo 7, QGIS 3. А саме, використовуючи метод ближнього сусідства шляхом формування тематичних (теплових) карт за сіткою точок спостереження. Дослідження зв'язків накопичення важких металів та тектонічної структури проведено за аналізом мезотектолінеаментів методом виявлення лінійних максимумів у рельєфі району спостереження і побудовою роздіаграм основних напрямків лінеаментів. Аналіз виконано на основі матеріалів радарної зйомки

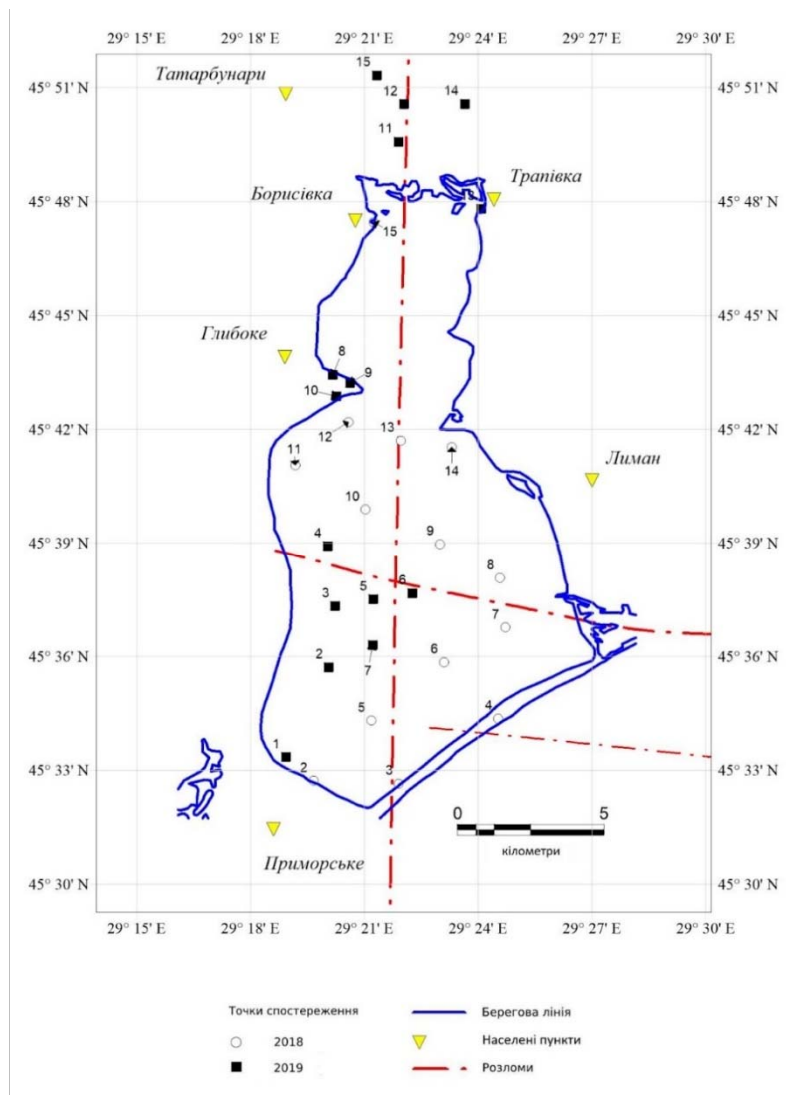


Рис. 1. Карта-схема розміщення станцій відбору проб донних відкладів лиману Сасик / Fig. 1. Map-scheme of Sasyk estuary sediment sampling stations

NASA SRTM (3 arcsec) та гідрографічних даних GEBCO з використанням можливостей Mapinfo 7, QGIS 3, Global Mapper 13, Surfer 13. У роботі використано бази даних та бази знань ПРГП «Причорноморгеології», SAS Planet, EMODnet та Marine Geoscience Data Network GMOD.

Донні відклади лиману, за результатами експедиційних досліджень, представлені, головним чином, мулами сіро-чорними, чорними, в'язкими часто з домішкою раковинного детриту. Рідше донні відклади складені пісками, іноді мулистими, з рясною фауною. Саме мули поширені практично в межах усєї акваторії, піски ж значно менше поширені та фіксуються в південно-західній частині лиману при наближенні до пересипу, також встановлені окремі мозаїчні ділянки їх поширення в прибережній ділянці поблизу с. Борисівка та с. Лиман. Також на ділянці лиману, яка прилегла до с. Борисівка зафіксовано ділянку поширення світло сірих щільних глин, що залягають під шаром раковинного детриту.

Важкі метали з урахуванням їх токсичності, персистентності, гранично допустимих концентрацій та міграційних властивостей поділяються на три класи небезпечності. До I класу небезпечності віднесено As, Cd, Hg, Se, Pb, Zn; до II класу небезпечності – V, Co, Ni, Mo, Cu, Sb, Cr, а також Ba; V, W, Mn, Sr віднесено до III класу небезпечності [19].

Хімічні елементи As, Hg, Pb і Cd включені Агентством із реєстрації токсичних субстанцій і хвороб (Agency for Substances and Disease Registry, ATSDR) у список 20 найбільш небезпечних для людини [1].

На території лиману Сасик встановлено: серед важких металів I класу небезпечності – Pb; серед важких металів II класу небезпечності – Ni, Cu, Cr, Mo; серед важких металів III класу небезпечності виявлені V, Mn та Ba [19].

Далі ми наводимо основну характеристику щодо вмісту та поширення цих металів у товщі донних відкладів лиману Сасик. Також ми виконали порівняння щодо концентрацій цих металів на прилеглих територіях, щодо кларкових значень цих елементів та гранично допустимих концентрацій для ґрунтів (табл. 1).

**Свинець.** Цей метал доволі специфічний насамперед через непропорційно високу антропогенну частку в загальному надходженні в навколишнє середовище. Основними антропогенними джерелами надходження цього металу в середовище є стоки гірничодобувної, будівельної, металургійної, машинобудівної, нафтохімічної, легкої, харчової промисловості, поліграфія, виробництво акумуляторів, боеприпасів, кабелів, виплавка кольорових та чорних металів, комунальні стоки, площовий стік з урбанізованих та індустріальних

ділянок. Серед природних джерел виділяється вітрова ерозія ґрунтів, лісові пожежі, вулкани [12].

На розподіл та поширення цього елемента в донних відкладах впливають мала геохімічна рухомість і невисока розчинність елемента та активне поглинання елемента біотою. Такі характеристики призводять до того, що цей метал накопичується безпосередньо біля джерел його надходження, утворює ділянки невеликого поширення та часто пов'язаний із високо біологічно активними ділянками [12].

Аналізуючи наявний матеріал щодо поширення цього металу на прилеглих до лиману Сасик ділянках можна виділити наступні характеристики (табл. 1). На прилеглий ділянці шельфу фоновий вміст свинцю різниться залежно від типу донних відкладів, зокрема, його вміст у мулах становить 25 мг/кг, у пісках – 10 мг/кг [12]. Середній вміст цього металу в донних відкладах Дунаю в межах тієї частини, що прилегла до лиману, становить 15 мг/кг [20]. Також наявні дані про фоновий вміст металу в прилеглих до лиману ґрунтах, де він становить 11 мг/кг [21].

Що стосується саме донних відкладів лиману Сасик, із 31 досліджуваного зразка 19 виявилися забруднені свинцем, із вмістом, який перевищує всі зазначені нормативні характеристики (табл. 1), тобто кларкові значення, ГДК для ґрунтів, фонові та середні значення на прилеглих ділянках. В 10 точках цей елемент відсутній взагалі (у піщаних відкладах у південній частині лиману біля пересипу, у центральній частині лиману, на невеликій території в прибережній частині лиману біля с. Глибоке та у верхній північно-східній частині лиману). Також на деяких ділянках, зокрема, біля пересипу на двох точках спостереження зафіксований незначний вміст свинцю, який не перевищує нормативних значень (рис. 2).

У загальному, первинний статистичний аналіз вказує, що середній вміст цього елемента для системи донних відкладів лиману становить: для пісків – 32 мг/кг, для мулів – 41 мг/кг. Максимальний вміст для пісків становить 100 мг/кг і зафіксований у східній прибережній частині лиману, для мулів – теж 100 мг/кг (значення зафіксовані в південній частині лиману наближеній до пересипу) (табл. 1, рис. 2).

Видно, що забруднення донних відкладів лиману Сасик цим металом носить досить точковий та локальний характер. Можна припустити, що джерелами надходження можуть служити стічні води з населених пунктів на північно-західному узбережжі Сасику та канали, які поєднують водойму з Дунаєм і Тузлівською групою лиманів.

**Нікель.** Надходження цього металу до навколишнього середовища також, головним чином, пов'язують саме з антропогенними чинниками.

Вміст важких металів в донних відкладах лиману Сасик,  
в донних відкладах прилеглих акваторій та в прилеглих ґрунтах /  
Content of heavy metals in the bottom sediments of the Sasyk estuary,  
in the bottom sediments of adjacent water areas and in the adjacent soils

Метал	Pb	Ni	Cr	Cu	V	Mn	Ba
Вміст металу в донних відкладах лиману Сасик (мули), мг/кг	$\frac{41}{0-100}$	$\frac{62}{0-100}$	$\frac{120}{0-300}$	$\frac{81}{0-500}$	$\frac{103}{0-200}$	$\frac{615}{0-1500}$	$\frac{217}{0-800}$
Вміст металу в донних відкладах лиману Сасик (пісок), мг/кг	$\frac{32}{0-100}$	$\frac{27}{0-80}$	$\frac{44}{5-100}$	$\frac{26}{10-50}$	$\frac{64}{0-200}$	$\frac{500}{100-1000}$	$\frac{240}{0-500}$
Кларк, мг/кг [22]	16	58	83	47	90	1000	650
Фоновий вміст металу в ґрунтах північно-західного Причорномор'я, мг/кг [21]	11	29	89	20	64	697	-
Фоновий вміст металу в донних відкладах північно-західної частини Чорного моря (мули), мг/кг [12]	25	67	84	30	98	-	-
Фоновий вміст металу в донних відкладах північно-західної частини Чорного моря (пісок), мг/кг [12]	10	19	25	20	13	-	-
Середній вміст металу в донних відкладах авандельти р. Дунай, мг/кг [23]	14	32	126	22	-	385	-
Середній вміст металу в донних відкладах р. Дунай (в межах України), мг/кг [20]	15	37	24	31	-	600	-
ГДК металу для ґрунтів (валовий вміст), мг/кг [24]	32	-	-	-	150	1500	200

Основними прикладами таких джерел є: промислові стоки (металургія, енергетика, нафтохімія, будівельна індустрія, машинобудування, добувна промисловість), побутові джерела, поверхневий стік із міських територій та скиди осадків стічних вод. Цей елемент значною мірою концентрується також у рідкому паливі та нафті. Нікель також використовується для виробництва сплавів та пестицидів. Природним джерелом надходження цього металу може бути вітрова ерозія ґрунтів [12].

Нікель також характеризується невисокою геохімічною рухомістю тому, подібно до попередньо описаного свинцю, локалізується в безпосередній близькості від джерела надходження і, відповідно, не утворює значних просторових ділянок поширення. У донних відкладах максимально інтенсивно накопичується в дрібних фракціях (мулісті відклади) [12].

Кларк цього елемента в літосфері рівний 58

мг/кг, на прилеглий до лиману акваторії вміст цього металу рідко перевищує це значення. Зокрема, середній вміст нікелю в донних відкладах авандельти р. Дунай становить 32 мг/кг, фоновий вміст у донних пісках північно-західного Причорномор'я – 19 мг/кг, утім існує перевищення над кларком фонового вмісту в донних мулах цієї ділянки, він тут становить 67 мг/кг (табл. 1).

Первинний статистичний аналіз показує, що в донних відкладах лиману Сасик вміст цього елемента становить: для пісків – 27 мг/кг, для мулів – 62 мг/кг. Максимальний вміст для пісків становить 80 мг/кг, для мулів – 100 мг/кг, такі значення характерні для північної частини лиману, яка прилегла до населеного пункту Борисівка (табл. 1, рис. 3).

Серед усіх точок спостережень перевищення над усіма нормативними значеннями зафіксовані в 10 точках, взагалі вміст цього елемента не вияв-

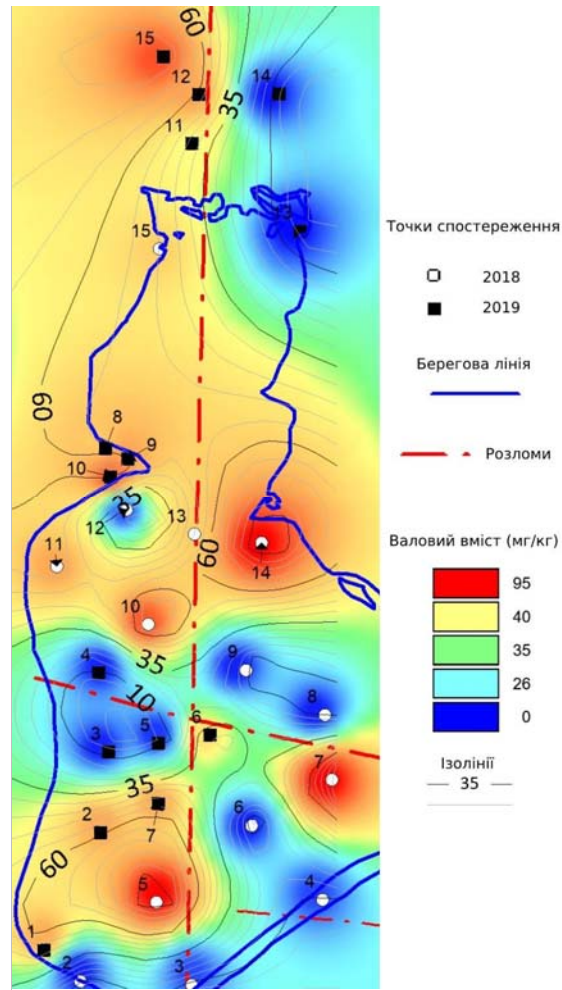


Рис. 2. Вміст Pb в донних відкладах лиману Сасик /  
Fig. 2. Pb content in the bottom sediments of the Sasyk estuary

лений у двох точках поблизу с. Глибоке (рис. 3).

У цілому максимальні концентрації цього металу, як було зазначено вище, фіксуються саме в північній частині лиману, у місцях сполучення лиману з річками Когильник та Сарата. Отже, можна припустити, що, ймовірно, цей елемент привноситься до екосистеми лиману саме через цю річкову мережу. Іншим ймовірним джерелом постачання металу є дунайський канал, адже в місцях його сполучення з лиманом також спостерігаються підвищені концентрації цього елемента (80 мг/кг), які далі поширюються в лимані відповідно до загальної схеми циркуляції води в ньому (рис. 3 (а, б)).

*Хром.* Основним джерелом постачання цього металу в навколишнє середовище є стоки підприємств машинобудівної, металургійної, хімічної, легкої промисловості, також площинний стік з індустріальних, сільськогосподарських ділянок та комунальні стічні води [12].

Цей метал інертний та малорухомий, також він погано накопичується в біоті. Отже, він локалізується близько від джерела надходження [12].

Кларкове значення цього елемента в літосфе-

рі становить – 83 мг/кг [22]. Вміст хрому в донних відкладах лиману Сасик у переважній більшості точок спостереження дещо перевищує кларкове значення (табл. 1). Таким чином, максимальний вміст цього металу зафіксований на ділянці сполучення лиману з дунайським каналом у мулистих відкладах (300 мг/кг). Середній вміст металу в мулистих відкладах лиману становить 120 мг/кг. Ще в кількох точках зафіксовані значення 200 мг/кг.

Характер поширення елемента в межах геоекосистеми донних відкладів лиману певною мірою корелюється з характером циркуляції води в ньому. Підвищені значення вмісту також зафіксовані поблизу с. Борисівка, у мулистих відкладах, ймовірно, метал туди привнесений разом із водами з каналу. Стосовно піщаних відкладів, максимальні концентрації металу в пісках становлять 100 мг/кг, такі значення фіксуються в північній та східній прибережних частинах лиману (рис. 4 (а, б)).

Вміст хрому в донних відкладах лиману Сасик є доволі високим порівняно із суміжними територіями та перевищує їх фонові значення.

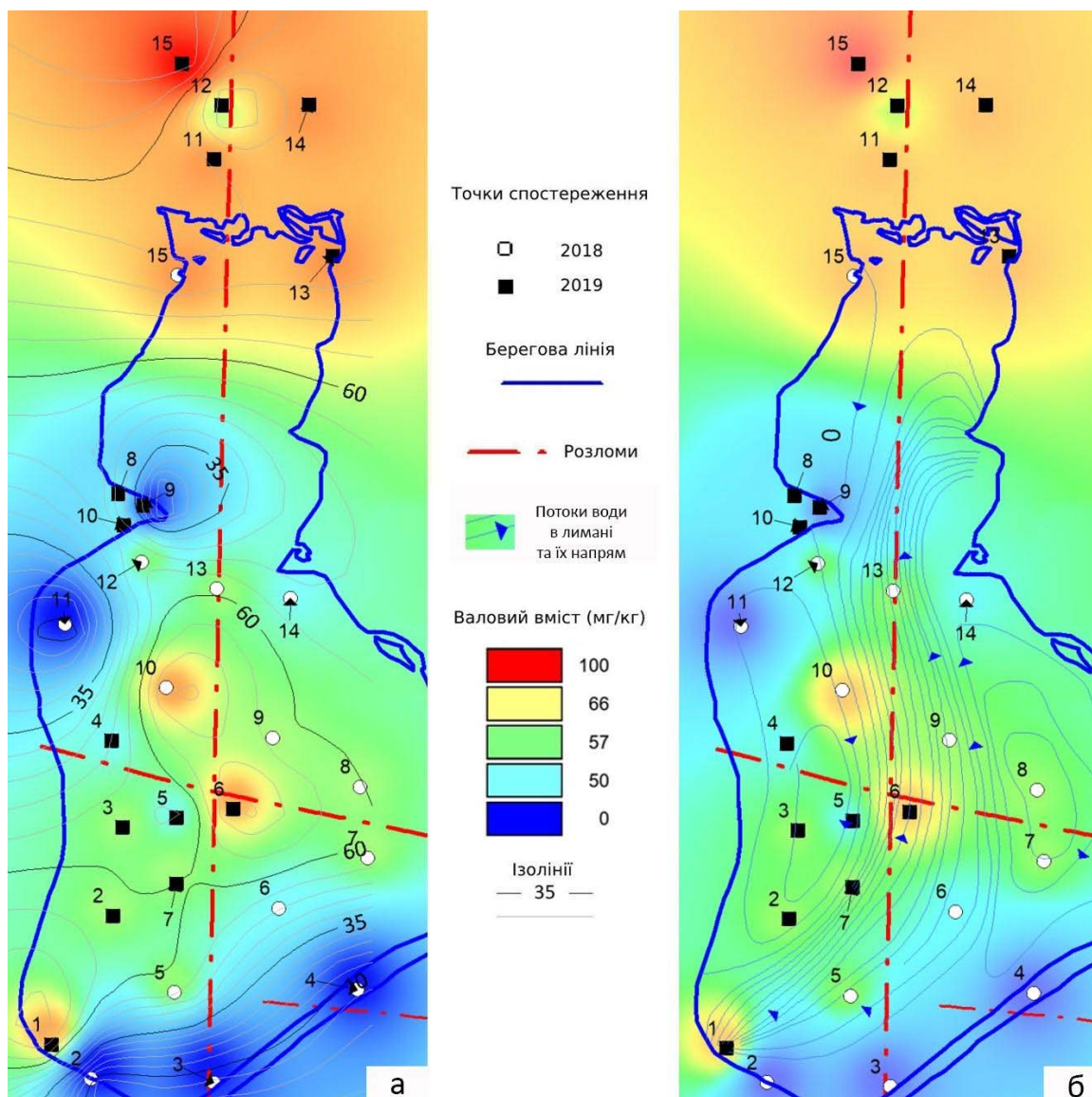


Рис. 3. Вміст Ni в донних відкладах лиману Сасик (а) та його співвідношення із напрямками циркуляції води (б) / Fig. 3. Ni content in the bottom sediments of the Sasyk estuary (a) and its correlation with water circulation directions (б)

Так, наприклад, фоновий вміст металу в ґрунтах прилеглої до лиману території становить – 89 мг/кг. Фоновий вміст у донних відкладах північно-західного Причорномор'я для мулів становить – 84 мг/кг, для пісків – 25 мг/кг. Середній вміст у донних відкладах авандельти р. Дунай становить 126 мг/кг (табл. 1).

**Мідь.** На відміну від вище описаних елементів метал дуже рухомий та доволі інтенсивно накопичується в біоті. Основними джерелами надходження елемента в середовище є стоки металургійної, хімічної, машинобудівної промисловості та сільського господарства, скидні води, площовий змив із сільськогосподарських ділянок. Вищезазначені чинники визначають сезонну мінливість поширення міді в донних відкладах лиману [12].

У мулах лиману Сасик середній вміст елемента становить 81 мг/кг, у пісках – 26 мг/кг, що у випадку з піщаними відкладами перевищує кларкові значення елемента (47 мг/кг). У пісках максимальні значення фіксуються в північній частині лиману (50 мг/кг). У мулах максимальний вміст цього елемента зафіксований у південно-західній прибережній частині лиману (500 мг/кг). Підвищені значення також притаманні для західної прибережної частини лиману, яка прилегла до населеного пункту Глибоке (табл. 1, рис. 5).

У межах прилеглих акваторій вміст металу значно менший від вищеприписаного в лимані. Зокрема, у межах прилеглої акваторії шельфової зони північно-західного Причорномор'я фоновий вміст міді в пісках становить 20 мг/кг, у мулах – 30 мг/кг. У донних відкладах авандельти р. Дунай се-



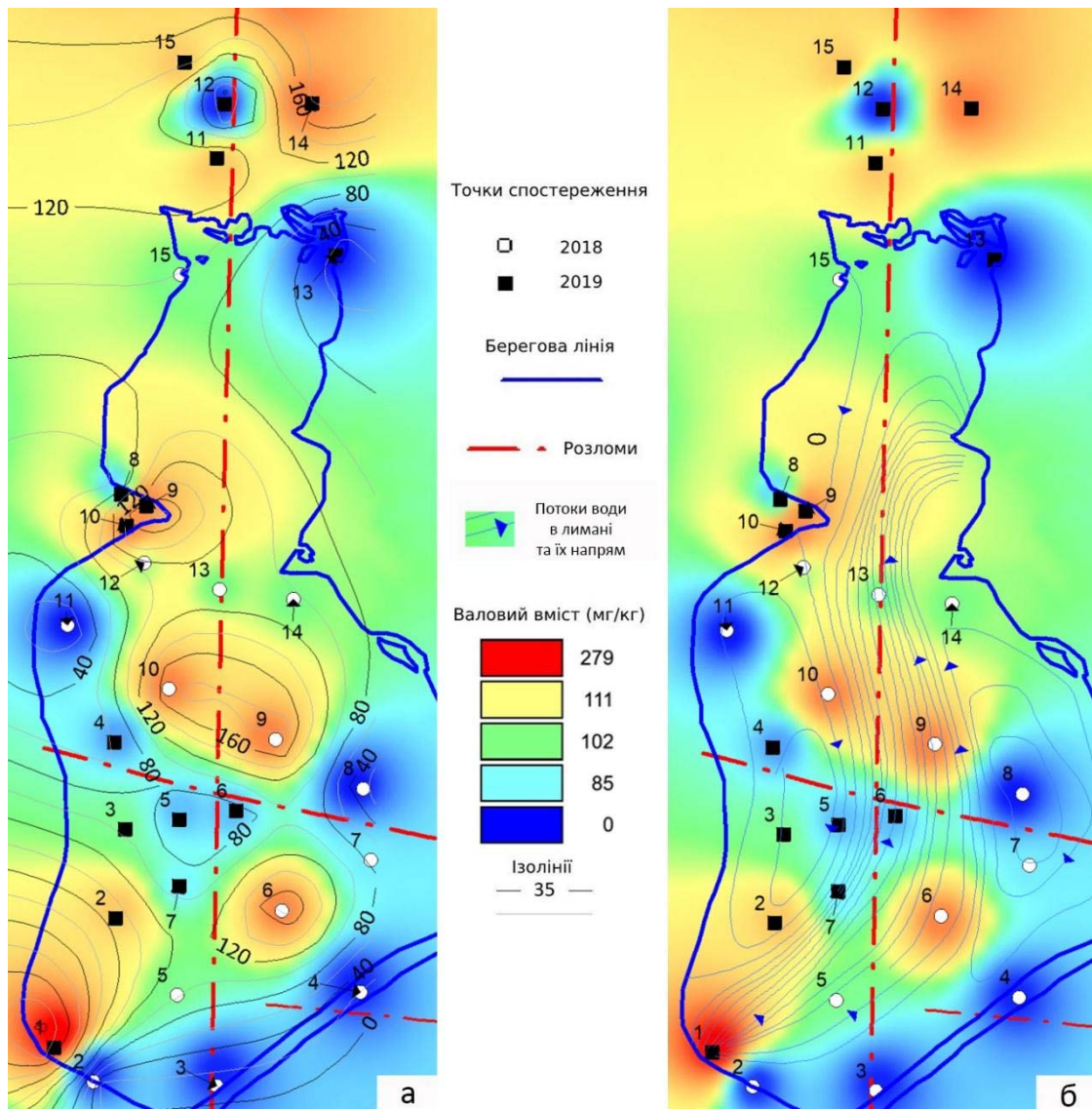


Рис. 4. Вміст Cr в донних відкладах лиману Сасик (а) та його співвідношення із напрямками циркуляції води (б) /

Fig. 4. Cr content in the bottom sediments of the Sasyk estuary (a) and its correlation with water circulation directions (б)

редній вміст елемента становить 22 мг/кг (табл. 1).

**Ванадій.** Метал, переважно, міститься в рідкому паливі та нафтах. Він використовується в металургії, хімічній та легкій промисловості, тому, власне, головним джерелом його надходження в атмосферу є металургійні стічні води [12].

Кларк цього елемента в земній корі дорівнює 90 мг/кг, у донних відкладах лиману Сасик концентрація цього металу практично на кожній точці випробування перевищує це значення. Середнє значення вмісту елемента для пісків дорівнює 64 мг/кг, для мулів воно значно вище – 103 мг/кг. Максимальні концентрації елемента серед піщаних відкладів (200 мг/кг) зафіксовані в прибережній північній частині лиману поблизу населеного пункту Борисівка, максимальні концентрації серед мулів (200 мг/кг) фіксуються в центральній частині лиману, і також, поблизу вищезгаданого с.

Борисівка (табл. 1, рис. 6).

Для прилеглих до лиману ґрунтів характерне фонове значення вмісту ванадію – 64 мг/кг. Для донних відкладів північно-західної шельфової зони Чорного моря фоновий вміст для пісків становить 13 мг/кг, для мулів – 98 мг/кг (табл. 1).

**Манган.** Кларк цього елемента в земній корі дорівнює 1000 мг/кг. На жаль, даних щодо фонового вмісту мангану в донних відкладах шельфової зони північно-західного Причорномор'я недостатньо, однак є дані щодо фонового вмісту в прилеглих до лиману ґрунтах, де він визначений у 697 мг/кг, треба зауважити, що ГДК цього елемента для ґрунтів становить 1500 мг/кг. Існують також матеріали, які вказують, що середній вміст мангану в донних відкладах річки Дунай визначений у 600 мг/кг (табл. 1).

Що стосується безпосередньо донних відкла-

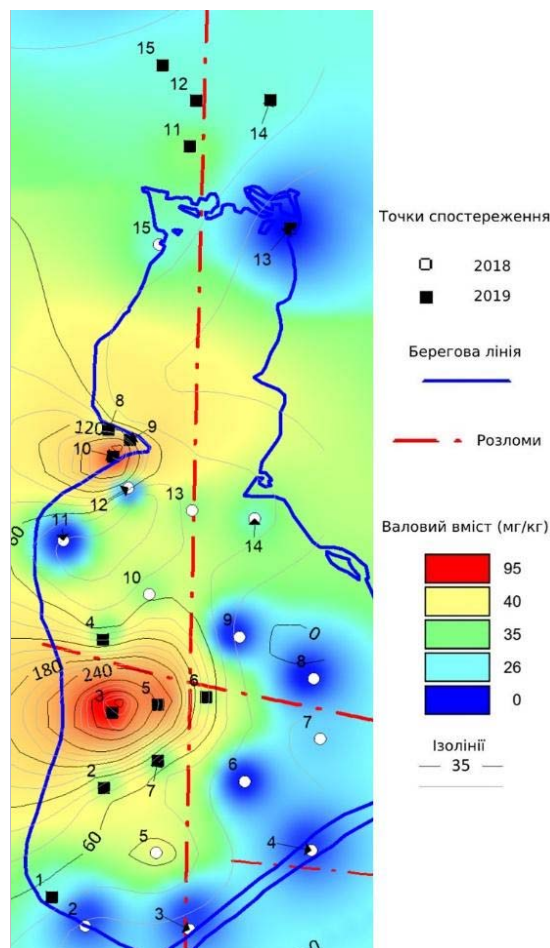


Рис. 5. Вміст Cu в донних відкладах лиману Сасик /  
Fig. 5. Cu content in the bottom sediments of the Sasyk estuary

дів лиману Сасик, перебільшення концентрації цього елемента над кларковим значенням зафіксоване, лише в межах однієї точки спостереження, у прибережній частині лиману поблизу населеного пункту Глибоке в мулистих відкладах (1500 мг/кг). Загалом середній вміст мanganу в мулистих відкладах лиману становить 615 мг/кг, у пісках – 500 мг/кг. Максимальні значення в піщаних відкладах рівні кларковому значенню – 1000 мг/кг і фіксуються в частині лиману, яка наближена до с. Борисівка. Отже, високі концентрації цього металу притаманні для центральної частини лиману із прив'язкою до населених пунктів Глибоке та Борисівка, ймовірно, джерело його надходження є саме антропогенним і пов'язане воно зі скидами цих сіл (табл. 1).

Крім вище описаних елементів у донних відкладах лиману Сасик зафіксовані також підвищені концентрації молібдену та барію.

Зокрема, щодо *молібдену*, вміст цього елемента в земній корі визначається кларковим значенням 1,1 мг/кг [22], на жаль, даних щодо вмісту цього металу в донних відкладах суміжних акваторій та ґрунтів немає. Безпосередньо в донних відкладах лиману зафіксоване єдине перевищення

над кларковим значенням у верхній частині лиману, у мулистих відкладах (2 мг/кг). Загалом з усіх відпрацьованих зразків, вміст цього металу зафіксований, крім вище зазначеної точки, ще в семи точках, у кожній із яких він практично рівний кларковому значенню.

*Барій*. Серед усіх точок спостереження перевищення концентрації цього елемента над кларковим значенням (650 мг/кг) зафіксоване, лише в одній точці спостереження біля сполучного каналу із р. Дунай, вміст тут становить – 800 мг/кг (мули). У загальному, середній вміст цього металу для мулистих донних відкладів лиману становить 217 мг/кг, у пісках – 240 мг/кг. Максимальний вміст, який визначений у пісках дорівнює 500 мг/кг і зафіксований він у верхів'ї лиману (табл. 1).

Зауважимо, що крім видимих антропогенних чинників, які можна виділити за схемами розповсюдження важких металів, ми також можемо припустити, що розподіл і вміст важких металів у донних відкладах контролюється також неотектонічним фактором.

Таким чином, вивчення лінеаментно-тектонічної структури району, дозволило нам виділити геологічні чинники маршрутів міграції елементів.

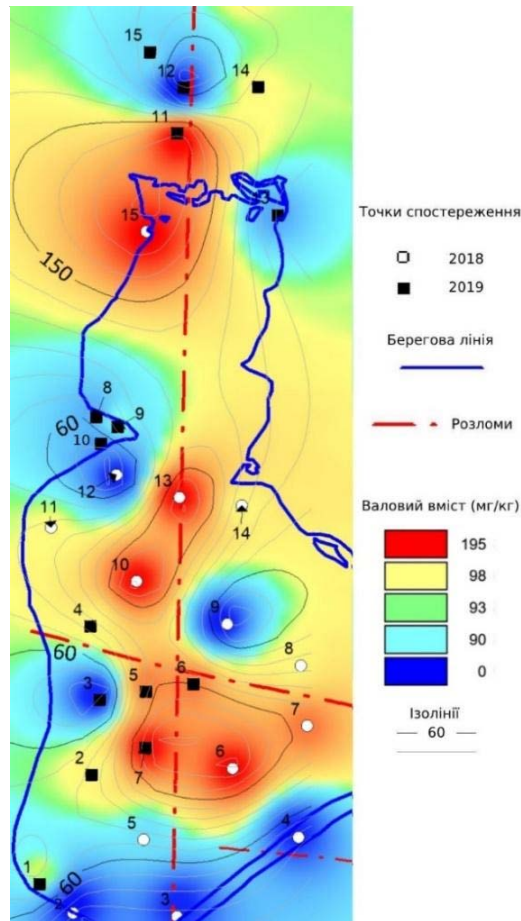


Рис. 6. Вміст V в донних відкладах лиману Сасик /  
Fig. 6. V content in the bottom sediments of the Sasyk estuary

Аналіз мезотополінементів, що сформовані за моделлю цифрового рельєфу NASA SRTM, з побудовою роз-діаграм основних напрямків лінементів виконано за раніше використаною методикою [25]. У результаті такого аналізу, узбережжя

лиману Сасик та його сусідні регіони розділено на 9 основних районів, для яких характерні свої кутові характеристики в межах змін рельєфу та розривних порушень (рис. 7).

Дослідження роз-діаграм показало (рис. 8),

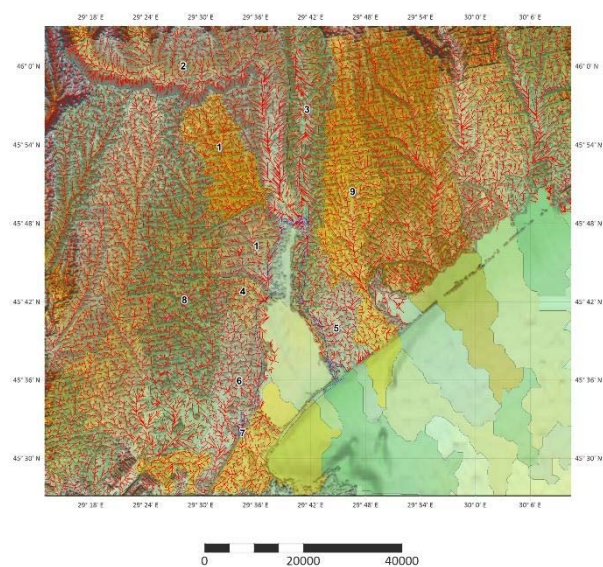


Рис. 7. Мезотополінементи навколо лиману Сасик /  
Fig. 7. Mesotopolineaments around the Sasyk estuary

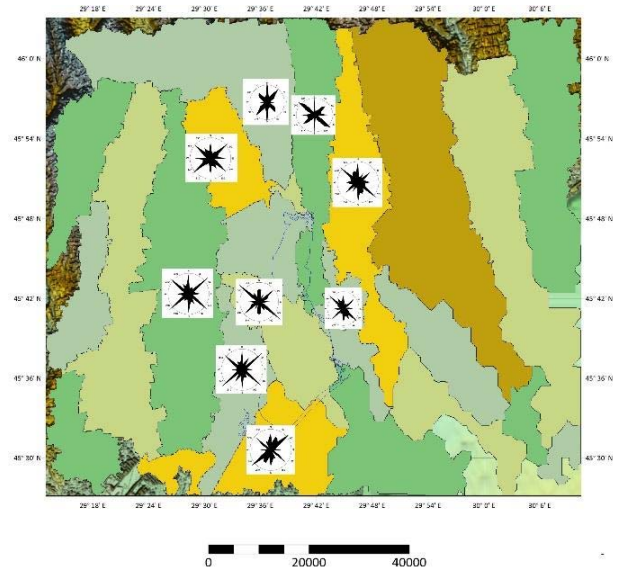


Рис. 8. Лінементно-тектонічне районування та рози-діаграми узбережжя лиману Сасик /  
Fig. 8. Lineament-tectonic zoning and rose diagrams of the Sasyk estuary coast

що для більшості ділянок найвагомішим напрямком лінеamentів є напрямки зони Терсейра-Торнквіста, яка на території України приурочена до ділянки переходу від Українського щита до Передобруджинського прогину. Також розповсюдження мають напрямки  $45^{\circ}$ - $50^{\circ}$ , які характерні для четвертинних розривних порушень, що контролюють неотектоніку регіону.

За аналізом схеми ми можемо припустити, що ймовірні шляхи постачання важких металів у лиман Сасик можуть відбуватися через тектонічні блоки, що відповідають за річкові системи Когильник та Сарата з півночі, дунайського напрямку з південного заходу, структурні райони біля сіл Борисівка та Глибоке з північного заходу. Менш інтенсивно на район впливають структури з моря, структура біля с. Трапівка та західного узбережжя лиману.

Такі процеси корелюються з геохімічними аномаліями важких металів, поряд із гідродинамікою водойми, у межах лінеamentно-тектонічних блоків та основних тектонічних розломів району дослідження, де молода лінеamentна мережа, за вивченням роз-діаграм, виражена в сучасному рельєфі та адаптує (вибірково використовує) ансамблі більш давніх розломів і плікративних структур докембрійського фундаменту.

**Висновки.** За результатами проведених експедиційних досліджень донних відкладів лиману Сасик, на основі вивчення 31 зразка, нам вдалося встановити основні особливості літологічного складу цих відкладів, а також, використовуючи спектрально-емісійний аналіз, визначити валовий вміст важких металів у їх складі. За допомогою побудови карт поширення цих елементів та схем мезотополінеamentів ми змогли прослідкувати основні закономірності поширення металів системою донних відкладів лиману та зробити припущення щодо можливих джерел їх привнесення.

Також ми проаналізували результати досліджень щодо вмісту металів у донних відкладах та ґрунтах суміжних територій.

Літологічно донні відклади представлені в'язкими сіро-чорними, чорними мулами, часто з домішкою раковинного детриту. При наближенні до пересипу в південно-західній частині лиману донні відклади складені пісками, іноді мулистими з рясною фауною. Піски також зустрічаються в прибережній ділянці поблизу сіл Борисівка та Лиман, де утворюють невеликі мозаїчні ділянки. На території лиману Сасик серед важких металів у концентраціях, які перевищують існуючі нормативні характеристики встановлені: Pb, Ni, Cu, Cr, Mo, V, Mn та Ba.

Найінтенсивніше зазначені елементи накопичуються в мулистих відкладах, саме там і фіксується їх максимальний вміст. Поширення металів акваторією лиману має переважно точковий характер, часто контролюється основними напрямками циркуляції води. Максимальні концентрації елементів, переважно, приурочені до прибережних частин лиману, які наближені до основних населених пунктів території, та, ймовірно, привносяться до геоекосистеми водойми саме за рахунок стічних вод цих сіл. Крім того, підвищений вміст металів також спостерігається на ділянках сполучення лиману з дунайськими каналом і річками Когильник та Сарата. Відповідно до результатів аналізу лінеamentно-тектонічної структури району, ми припускаємо, що шляхи постачання важких металів у лиман Сасик можуть відбуватися через тектонічні блоки, що відповідають за річкові системи Когильник та Сарата, дунайський напрямок та структурні райони біля сіл Борисівка, Глибоке. Менш інтенсивно на район впливають структури з моря, західного узбережжя лиману та структура біля с. Трапівка.

#### Список використаної літератури

1. Надходження і міграція важких металів наземними та водними екосистемами [Текст] / В.М. Войціцький [та ін.] // Біоресурси і природокористування. – 2019. – Т. 11, № 1-2. – С. 59–68. DOI: <https://doi.org/10.31548/bio2019.01.007>.
2. Ковальчук Л.Й. Сучасний еколого-гігієнічний стан водних об'єктів українського Придунав'я [Текст] / Л.Й. Ковальчук, А.В. Мокієнко // Актуальные проблемы транспортной медицины. – 2014. – № 3 (37). – С. 171–183.
3. Смельянов В.О. Історія та перспективи дослідження причорноморських лиманів [Текст] / В.О. Смельянов, Т.Б. Кулага // Геологія і корисні копалини Світового океану. – 2020. – Т. 16, № 3. – С. 64–75. DOI: <https://doi.org/10.15407/gpimo2020.03.064>.
4. Ляшенко А.В. Гидролого-гидрохимическая характеристика лимана Сасык и Сасыкского водохранилища [Текст] / А.В. Ляшенко, Е.Е. Зорина-Сахарова // Гидробиологический журнал. – 2016. – Т. 52, № 6. – С. 99–109.
5. Ляшенко А.В. Гидроэкологическая характеристика лимана Сасык и Сасыкского водохранилища [Текст] / А.В. Ляшенко, Е.Е. Зорина-Сахарова // Гидробиологический журнал. – 2017. – Т. 53, № 1. – С. 28–46.
6. Халаим А.А. Макрозообентос водохранилища Сасык в современных экологических условиях [Текст] / А.А. Халаим, М.М. Джуртубаев, В.В. Заморов // Гидробиологический журнал. – 2016. – Т. 52, № 6. – С. 60–67.
7. Рыбаков Н.П. Серия причерноморская. Лист L-35-XXIV, XXX [Текст] / Н.П. Рыбаков, Л.С. Арбузов, П.С. Сурнина // Геологическая карта СССР. Масштаб 1:200000. Объяснительная записка / ред. Г.И. Молякко. – Киев, 1973. – 70 с.

8. Геология шельфа УССР. Лиманы [Текст] / И.И. Молодых [та ін.]; ред. Е.Ф. Шнюков. – Киев: Наукова думка, 1984. – 176 с.
9. Шуйский Ю.Д. Опыт анализа антропогенной перестройки естественного лимана на северо-западном побережье Черного моря [Текст] / Ю.Д. Шуйский, А.А. Стоян // Экологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу: Зб. наук. пр. – 2011. – Т. 1, № 25. – С. 38–48.
10. Садчикова Т.А. Позднечетвертичная история лиманов северо-западного Причерноморья [Текст] / Т.А. Садчикова, А.Л. Чепалыга // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. – 1999. – № 63. – С. 76–85.
11. Гранова А.К. Геологічна будова узбережжя кайнозойських відкладів Сасицького лиману (північно-західне Причорномор'я) [Текст] / А.К. Гранова, В.О. Волинська // Геологічний журнал. – 2014. – № 3(348). – С. 39–44.
12. Экогеохимия Чорного моря: монографія [Текст] / ред. Митропольський О.Ю., Наседкін Є.І, Осокін Н.П. – Київ: дім «Академперіодика» НАН України, 2006. – 277 с.
13. Исследования уровня загрязнения тяжельми металами донних отложений Куяльницкого лимана [Текст] / Г. Н. Шихалева [та ін.] // Вісник ОНУ. Сер. Хім. – 2012. – Т. 17, № 4. – С. 70–77.
14. Характеристика антропогенного забруднення пелоїдів причорноморських лиманів [Текст] / О.М. Нікіпелова [та ін.] // Вісник ОНУ. Сер. Хім. – 2012. – Т. 17, № 1. – С. 46–51.
15. Дятлов С.С. Міжрічна мінливість вмісту важких металів у воді та донних відкладах полігону «Одеський регіон ПЗЧМ» [Текст] / С.С. Дятлов, О.В. Чепіжко, В.О. Урдя // Экологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу: Зб. наук. пр. – 2012. – Т. 1, № 26. – С. 257–269.
16. Дятлов С.С. Донні відкладення південної частини Хаджибейського лиману в умовах хронічного забруднення [Текст] / С.С. Дятлов, О.В. Кошелев, С.О. Запорожець // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біолог. – 2017. – № 2. – С. 60–64.
17. Мельников А.Ю. Акумуляція важких металів у біоценозі дельти Дунаю [Текст] / А.Ю. Мельников // Экологічні науки. – 2018. – № 2(21). – С. 138–142.
18. Зінчук В.К. Фізико-хімічні методи аналізу : навч. посіб. [Текст] / В.К. Зінчук, Г.Д. Левицька, Л.О. Дубенська. – Львів : Вид. центр ЛНУ ім. Ів. Франка, 2008. – 362 с.
19. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения (64456) [Електронний ресурс] // ДНАОП - Нормативно-правовая библиотека инструкции документы. – Режим доступу: [https://dnaop.com/html/64456/doc-ГОСТ\\_17.4.1.02-83](https://dnaop.com/html/64456/doc-ГОСТ_17.4.1.02-83).
20. Васенко О.Г. Важкі метали в донних відкладах р. Дунай на території України [Текст] / О.Г. Васенко, А.Ю. Мельников // Экологічна безпека. – 2018. – Т. 25, № 1. – С. 26–31. DOI: <https://doi.org/10.30929/2073-5057.2018.1.26-31>
21. Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України [Текст] / ред.: А.І. Фатєєв, Я.В. Пащенко. – Харків : ННЦ «Ін-т ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Сокол.», 2003. – 72 с.
22. Виноградов А.П. Закономерности распределения химических элементов в земной коре [Текст] / А.П. Виноградов // Геохимия. – 1956. – № 1. – С. 7–52.
23. Кудря С.П. Накопичення важких металів у донних відкладах авандельти Дунаю [Текст] / С.П. Кудря // Вісник ОНУ. Географія. – 2012. – Т. 17, № 3. – С. 176–186.
24. Про затвердження нормативів гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, а також переліку таких речовин [Електронний ресурс] // Офіційний вебпортал парламенту України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1325-2021-n#Text>.
25. Automated morphometric analysis and its application to tectonic zonation [Electronic resource] / I.E. Lomakin [et al.] // 16th International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects, Kiev, May 15-17, 2017. – P. 1–4. – DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201701881>.

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

## Heavy metals in the bottom sediments of the Sasyk estuary

**Ihor Shuraiev**<sup>1</sup>,

PhD (Geology), Scientific Secretary, Scientific Researcher  
of Department of Problems of Marine Geology and Sedimentary Ore Formation of

<sup>1</sup> State Scientific Institution «Center for Problems of Marine Geology,  
Geoecology and Sedimentary Ore Formation of the NAS of Ukraine»,  
55-b O. Honchara St., Kyiv, 01601, Ukraine;

**Tetiana Kulaha**<sup>1</sup>,

Junior Researcher of Department of Problems of Marine Geology and Sedimentary Ore Formation;

**Oleksander Paryshev**<sup>1</sup>,

PhD (Geology), Senior Researcher of Department of Problems of Marine Geology and Sedimentary Ore Formation

### ABSTRACT

**Purpose.** The main aim of research is to study the bottom sediments of the Sasyk estuary, in particular, to establish their lithological characteristics and the peculiarities of the distribution of heavy metals in their layers.

**Method.** The research was done with the results of the expedition work carried out in 2018-2019, 31 samples of the bottom sediments of the Sasyk estuary, channels and paleochannels of the Kogylnyk and Sarata rivers, and rocks of the shoreline of the studied reservoir were selected. We carried out sampling along the network of 31 stations from a motor boat using a bottom-grab and orientation by GPS navigation. The content of heavy metals was determined using geochemical spectral emission analysis. Statistical and cartographic processing of the research results was carried out using geographic information systems Mapinfo, QGIS, Global Mapper and Surfer. Also, to establish the possible routes of metal migration, we used the analysis of mesotopolineaments formed according to the NASA SRTM digital terrain model, with the construction of rose diagrams of the main directions of the lineaments.

**The results.** We established that the bottom sediments were represented mainly by grey-black, black, viscous silt, often with an admixture of shell detritus. Less often, they were composed of sand, sometimes muddy with abundant fauna. We also determined the content of heavy metals in the system of bottom sediments, features of their distribution and possible ways of infusing. Thus, in the territory of the Sasyk estuary, heavy metals of the first (Pb), second (Ni, Cu, Cr, Mo) and third (V, Mn, Ba) hazard class are found in high concentrations.

The average content of Pb for the bottom sediment system of the estuary is: for sand – 32 mg/kg, for silt – 41 mg/kg. The maximum content for both is 100 mg/kg. The average Ni content is: for sand – 27 mg/kg, for silt – 62 mg/kg. The maximum content for sand is 80 mg/kg, for silt – 100 mg/kg. The average Cu content in the silt of the Sasyk estuary is 81 mg/kg, and 26 mg/kg in the sand. An elevated content of Mn, Ba and Mo was also found in several samples.

Often areas with increased concentrations of metals have a point character. In almost all cases, they are connected to the river systems adjacent to the pond. The distribution of some metals is correlated with the main directions of estuary water circulation. Wastewater is a likely source of metals entering the estuary geoecosystem. We also assume that the migration of these elements to the pond may occur through tectonic blocks.

**Scientific novelty.** For the first time in recent years, we have carried out expeditionary work on research of the bottom sediments of the Sasyk estuary, along the complete network of the station. We obtained the data on the gross content of heavy metals, and determined their average, maximum and minimum concentrations. For the first time, maps of the spatial distribution of metals were constructed, which made it possible to establish the main regularities of their accumulation in the bottom sediment system of the pond.

**Practical significance.** Pollution of the bottom sediments of the Sasyk estuary with heavy metals is one of the components of today's critical ecological state of the pond, which affects the well-being of the residents of the surrounding areas. The obtained results can be used at the state level to create effective programs for quality management of the resource potential of the estuary.

**Keywords:** Sasyk estuary, geoecosystem, bottom sediments, heavy metals, statistical analysis, distribution patterns of metals, anthropogenic load, pollution, lineament tectonics.

### References

1. Voitsitskiy, V.M., Khyzhnyak, S.V., Danchuk, V.V., Midyk, S.V., Kepple, O.Y., Ushkalov, V.O. (2019). The infake and migration heavy metals of terrestrial and aquatic ecosystems. *Biological Resources and Nature Managment*, 11(1-2), 59–68. <https://doi.org/10.31548/bio2019.01.007>. [in Ukrainian]
2. Kovalchuk, L.J., Mokienko, A.V. (2014). Modern enviromental and health conditions of water objects of Ukrainian Danube region. *Actual problems of transport medicine*, 37(3), 171–183. [in Ukrainian]
3. Yemeliyanov, V.O., Kulaha, T.B. (2020). History and prospects of research of the Black Sea estuaries. *Geology and Mineral Resources of World Ocean*, 16(3), 64–75. <https://doi.org/10.15407/gpimo2020.03.064>. [in Ukrainian]
4. Lyashenko, A.V., Zorina-Sakharova, Y.Y. (2016). Hydrological and hydrochemical characteristics of the Sasyk estuary and the Sasyk reservoir. *Hydrobiological Journal*, 52(6), 99–109. [in Russian]
5. Lyashenko, A.V., Zorina-Sakharova, Y.Y. (2017). Hydroecological Characteristics of the Sasyk Liman and the Sasyk Reservoir. *Hydrobiological Journal*, 53(1), 28–46. [in Russian]
6. Khalaim, A.A., Dzhurtubayev, M.M., Zamorov, V.V. (2016). Macrozoobenthos of the Sasyk Reservoir in Actual Ecological Conditions. *Hydrobiological Journal*, 52(6), 60–67. [in Russian]
7. Rybakov, N.P., Arbuzova, L.S., Surnina, P.S. (1973). *Prychornomorska series. Sheet L-35-XXIV, XXX. V H. Molyavko (Eds.), Geological map of the USSR on a scale of 1: 200,000. Ministry of Geology of the USSR.* [in Russian]
8. Shnyukov, E.F. (Eds.). (1984). *Geology of the shelf of the Ukrainian SSR. Estuaries.* Kiev, Naukova Dumka. [in Russian]
9. Shuisky, Y.D., Stoyan, A.A. (2011). Experience of analysis of anthropogenic reorganization of the natural estuary on the northwestern coast of the Black Sea. *Ecological safety of coastal and shelf zones and integrated use of shelf resources*, 1(25), 38–48. [in Russian]
10. Sadchikova, T.A., Chepalyga, A.L. (1999). Late Quaternary history of the estuaries of the North-Western Black Sea coast. *Bulletin of the commission for the study of the Quaternary period*, (63), 76–85. [in Russian]
11. Granova, A.K., Volynskaya, V.O. (2014). Geological structure of the Cainozoic deposits of the Sasyk estuary coast (the north-west Near Black region). *Geological Journal*, 3, 39–44. [in Ukrainian]
12. Mitropolsky, O.Yu., Nasedkin, E.I., Osokina, N.P. (Eds.). (2006). *Geochemistry of the Black Sea.* Kiev, Akadempriodika. [in Ukrainian]
13. Shykhalyeyeva, G.N., Ennan, A.A., Chursina, O.D., Shykhalyeyev, I.I., Kuzmina I.S. (2012). Study of the Kuyalnyk estuary bottom sediments pollution by heavy metals. *ONU Herald. Series: Chemistry*, 17 (4), 70-77. [in Russian]

14. Nikipelova, E.M., Mokiyenko, A.V., Solodova, L.B., Cimbaluk, K.K., Cioma, H.A., Koyeva, K.A., Shevchenko, M.V., Latayeva, A.V. (2012). Description of anthropogenic contamination of muds of Prichernomorski estuaries. *ONU Herald. Series: Chemistry*, 17(1), 46–51. [in Ukrainian]
15. Dytlov, S.E., Chepizhko, A.V., Urda, V.A. (2012). Interannual variability of the composition of heavy metals in water and sediments of the landfill «Odessa region NWBS». *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (26), 257–269. [in Ukrainian]
16. Dyatlov, S.Y., Koshelev, A.V., Zaporozhets, S.A. (2017). Bottom sediments of southern part of Khadzhybei estuary in terms of chronic anthropogenic pollution. *Scientific Issues of TNPU. Series: Biology*, 69(2), 60–64. [in Ukrainian]
17. Melnykov, A. Yu. (2018). Accumulation of heavy metals in the biocenoses of the Danube Delta. *Ecological Sciences*, 2(21), 138–142. [in Ukrainian]
18. Zinchuk, V.K., Levytska, G.D., & Dubenska, L.O. (2008). *Physico-chemical methods of analysis*. Publishing Center of Ivan Franko National University. [in Ukrainian]
19. GOST 17.4.1.02-83. Nature protection. Soils. Classification of chemicals for pollution control (64456). DNAOP - Legal and regulatory library instructions documents. [https://dnaop.com/html/64456/doc-GOCT\\_17.4.1.02-83](https://dnaop.com/html/64456/doc-GOCT_17.4.1.02-83). [in Russian]
20. Vasenko, A.G., Melnikov, A.Y. (2018). Heavy metals in the Danube bottom sediments on the territory of Ukraine. *Ecological Safety*, 25(1), 26–31. <https://doi.org/10.30929/2073-5057.2018.1.26-31>. [in Ukrainian]
21. Fateev, A., Pashchenko, Y. (Eds.). (2003). *Background content of trace elements in soils of Ukraine*. NSC «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky». [in Ukrainian]
22. Vinogradov, A.P. (1956). Regularities in the distribution of chemical elements in the earth's crust. *Geochemistry*, (1), 7–52. [in Russian]
23. Kudrya, S.F. (2012). An accumulation of toxic metals is in the ground deposits of the avandelta of Danube. *ONU Herald. Series: Geography*, 17(3), 176–186. [in Ukrainian]
24. On the approval of standards for maximum permissible concentrations of hazardous substances in soils, as well as the list of such substances. Official web-portal of the Parliament of Ukraine. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1325-2021-n?lang=en#Text>. [in Ukrainian]
25. Lomakin, I.E., Pokalyuk, V.V., Shuraiev, Y.N., & Shpyrko, S. (2017). Automated morphometric analysis and its application to tectonic zonation. 16th International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects (p. 1–4). European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201701881>.

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work

Received 9 August 2022  
Accepted 15 February 2023

## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО «ВІСНИКА ХАРКІВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ»

До Вісника Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна серія «Геологія. Географія. Екологія», приймаються наукові статті обсягом біля 40 тис. знаків, присвячені дослідженням у галузях геології, геохімії, гідрогеології, географії, економічної та соціальної географії, екології, а також суміжних дисциплін. Матеріали можуть бути представлені українською або англійською мовами. Перевага надається англійським статтям. Рішення про публікацію приймається редакційною колегією „Вісника”, при цьому кожна стаття рецензується двома вченими–фахівцями у даній тематиці.

Матеріали подаються в електронному вигляді та надсилаються на електронну пошту [geoco-series@karazin.ua](mailto:geoco-series@karazin.ua). Електронна версія оформлюється у форматі Microsoft Word, шрифт Times New Roman, розмір 14, міжрядковий інтервал 1,5, всі поля по 2 см, відступ для абзацу – 0,75 см. **Жирним** шрифтом виділяються підзаголовки у статті. Ілюстрації, включаючи графіки і схеми, мають бути розміщені безпосередньо в тексті, а також подані окремими файлами. Скрізь, де можливо, доцільніше використовувати графіки, а не таблиці. Орієнтація сторінок – книжкова. Вирівнювання слід робити по ширині сторінки. Якщо стаття українською, є необхідним дублювання підписів до рисунків та назв таблиць і діаграм англійською.

Згідно вимог МОН України оригінальна стаття у фаховому виданні має складатися з таких розділів:

1. **Постановка проблеми** у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.
2. **Аналіз останніх досліджень і публікацій**, в яких започатковано розв'язання порушеної проблеми, на які спирається автор.
3. **Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми**, яким присвячується стаття;
4. **Формулювання мети статті** (постановка завдання).
5. **Виклад основного матеріалу дослідження** з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.
6. **Висновки** з дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі.

Для статей необхідно вказати УДК, подати назву (до 10 слів), анотацію (1800-2500 знаків) та ключові слова (8-10).

На окремому аркуші надається інформація про авторів (прізвище, ім'я та по-батькові, повна назва організації, посада, вчений ступінь і звання, поштова адреса, телефон, e-mail, ORCID) українською й англійською мовами. Перелік посилань оформлюється згідно з ДСТУ 3008:2015. До переліку обов'язково повинна бути включена література за останні п'ять років, у тому числі закордонна та включена до наукометричних баз Scopus та WoS, а сам перелік повинен містити не менше ніж 20 посилань.

Також є необхідним розгорнутий реферат англійською мовою, оформлений згідно міжнародних вимог до наукових видань. Реферат повинен мати:

- обсяг 2500-3500 знаків,
- змістовність (відобразити головний зміст статті та результати досліджень),
- структурованість (наявність обов'язкових елементів: *мета, методика, результати, наукова новизна, практична значимість, ключові слова*).

Після реферату необхідно навести **References** – перекладений англійською список використаних джерел, який має бути оформлений згідно міжнародного стандарту APA (American Psychological Association). До джерел у списках використаної літератури обов'язково необхідно додавати DOI (за наявності).

Рукописи, не оформлені належним чином, не приймаються до публікації.

Редакція залишає за собою право проводити редакційну правку рукопису.

У разі переробки статті авторами датою надходження рукопису статті в редакцію приймається дата її повторного надсилання.

При підтвердженні позитивного рішення на публікацію статті, автор має оформити та надіслати згоду на публікацію та оприлюднення персональних даних.



Зразок оформлення статті :

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-08>

UDC 528.8+551.4

Received 23 April 2023

Accepted 12 May 2023

## Integrating remote sensing and aeromagnetic data for lithological and structural lineaments mapping in Abu Ghaylan - Kiklah - Tighrinna, northwest Libya

*Nureddin Saadi*<sup>1</sup>

PhD (Geological Engineering), Lecturer, Department of Geological Engineering,

<sup>1</sup> University of Tripoli, University Road, Tripoli, Libya,

e-mail: [n.saadi@uot.edu.ly](mailto:n.saadi@uot.edu.ly), <https://orcid.org/0000-0003-0593-8578>;

*Ousama Elkoul*<sup>2</sup>

...

### ABSTRACT

**Problems Statement and Purpose.** Libya is the fourth-largest country in Africa and the seventeenth-largest country in the world with area of 1,759,540 sq. km. Most of Libya is located in the Sahara Desert and known for being the driest and most remote regions with limited accessibility. ...

**Keywords:** Libya, Remote Sensing, Digital Elevation, Lineaments, Lithological Mapping, Aeromagnetic, Data Integration.

### Introduction

Integration approach of multi-source data can improve geological interpretation and provide detailed information on unexplored areas [1–3]. The remote sensing satellites (sensors) can detect and map geological surface based on the spectral and spatial resolution [4, 5]. ...

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work

### References

1. Thiele, S.T., Lorenz, S., Kirsch, M., Cecilia Contreras Acosta, I., Tusa, L., Herrmann, E., Möckel, R., Gloaguen, R. (2021). Multi-Scale, Multi-Sensor Data Integration for Automated 3-D Geological Mapping. *Ore Geology Reviews*, 136, 104252. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104252>

## Інтеграція дистанційного зондування та аеромагнітних даних для картографування літологічних і структурних ліній в Абу-Гайлан - Кікла - Тігрінна, північно-західна Лівія

*Нуреддін Сааді*<sup>1</sup>

доктор філософії (геологічна інженерія), викладач кафедри геологічної інженерії,

<sup>1</sup> Університет Тріполі, Університетська дорога, Тріполі, Лівія;

*Усама Елкул*<sup>2</sup>

...

У 1970-х роках Центр промислових досліджень у Лівії розпочав створювати геологічні карти всіх лівійських земель, отриманих з аналогових (друкованих) аерофотознімків і геологічних польових поїздок у деякі доступні місця. ...

**Ключові слова:** Лівія, дистанційне зондування, цифровий рельєф, лінеamenti, літологічне картування, аеромагнітний, інтеграція даних.

### Список використаної літератури

1. Multi-Scale, Multi-Sensor Data Integration for Automated 3-D Geological Mapping / S.T. Thiele et al. *Ore Geology Reviews*. 2021. Vol. 136. P. 104252. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104252>

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 23 квітня 2023 р.

Прийнята 12 травня 2023 р.

© Saadi Nureddin, ... , 2023

Наукове видання

**ВІСНИК**  
**ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**  
**імені В. Н. КАРАЗІНА**

серія  
**«ГЕОЛОГІЯ. ГЕОГРАФІЯ. ЕКОЛОГІЯ»**

Випуск 58

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Українською та англійською мовами

Редактор В. Г. Суярко  
Технічний редактор О. В. Чуєнко  
Комп'ютерне верстання О. В. Чуєнко  
Відповідальний за випуск В. Г. Суярко

Підписано до друку 30.05.2023 р. Формат 60x84/8. Папір офсетний.  
Друк цифровий. Ум. друк. арк. 39,4. Обл.-вид. арк. 49,3.  
Наклад 100 пр. Зам. № 6/23. Ціна договірна.

---

Видавець та виготовлювач  
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,  
61022, Харків, майдан Свободи, 4.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.09.