



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.

В Вестнике рассмотрены вопросы взаимодействия общества и природы, рационального использования и охраны природной среды. Отражены результаты исследований в области геологии, геохимии, гидрогеологии, географии, экологии и социально-экономической географии. Для научных работников, специалистов и преподавателей ВУЗов.

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 № 6 від 31.05.2021 р.).

**Редакційна колегія:** д. геогр. н., проф. *К. А. Немець* (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. Немець*; д. геогр. н., проф. *В. А. Пересадыко*; д. геол.-мін. н., проф. *В. Г. Суярко*; д. геогр. н., доц. *К. Ю. Сегіда*; д. техн. н., проф. *І. М. Фик*; д. техн. н., проф. *І. Г. Черваньов* (Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна); 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* (директор Інституту фізики високих енергій і ядерної фізики ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України).

**Іноземні члени редколегії:** д. географії, проф. *О. С. Володченко* (Інститут картографії Дрезденського технічного університету, Німеччина); д. геогр. н., проф., зав. каф. географії, геоєкології та безпеки життєдіяльності *А. Г. Корнілов* (Белгородський державний національний дослідницький університет «БелГУ», РФ); д. геології, проф., декан факультету геології *Ахмет Сасмаз* (Фіратський університет, Туреччина); д. габілітований, проф., *Анджей Томаш Солецкі* (Інституту геологічних наук Вроцлавського університету, Польща); д. географії, проф., завідувач кафедри географії і туризму *С. А. Станайтіс* (Литовський університет освітніх наук, Литва); проф. кафедри геології факультету природничих наук *Адель Хегаб* (Асьютський Університет, Єгипет); 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"

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

**Peresadko, Vilina** – Doctor 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), Associate Professor of the Department of Human Geography and Regional Studies, SGGRT, V. N. Karazin KhNU.

**Suyarko, Vasil'** – Deputy Chairman of the Editorial Board, Doctor of Science (Geology and Mineralogy), Professor of the Department of Mineralogy, Petrography and Minerals, SGGRT, V. N. Karazin KhNU.

**Fyk, Ilyya** – Doctor of Science (Technics), Professor, Head of the Department of Mineralogy, Petrography and Minerals, SGGRT, V. N. Karazin KhNU.

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

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

**Kovalenko, Grygory** – 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.

**INTERNATIONAL COUNCIL**

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

**Kornilov, Andriy** – Doctor of Science (Geography), Professor, Head of the Department of Geography, Geo-ecology and Life safety, Belgorod State National Research University (Russia).

**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).

**Hegab, Adel Ali Abd Allah Awadien** – Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Assiut University (Egypt).

**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 Віктора Олександровича Терещенка .....	8
--	---

### ГЕОЛОГІЯ

<i>Bagriy I. D., Alokhin V. I., Vasylyeva I. V., Aksyom S. D., Kuzmenko S. O.</i> HYDROGEN AS AN INDICATOR OF GEODYNAMIC PROCESSES IN COAL-BEARING STRATA .....	10
<i>Berlinsky M. A., Sahaidak M. A.</i> HAZARDOUS PHENOMENA IN THE SLIDES ZONE OF THE UKRAINIAN SECTION IN AZOV SEA .....	20
<i>Василенко О. Л.</i> ГЕОФІЗИЧНА МОДЕЛЬ НАФТОГАЗОНОСНОСТІ ЗОН РОЗУЩІЛНЕННЯ ФУНДАМЕНТУ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ .....	30
<i>Височанський І. В., Святенко Г. Є., Абеленцев В. М., Волосник Є. Є., Некрасов А. О., Купчинська М. В., Захаров А. С., Спічакова Ю. М.</i> ДО ПИТАННЯ ПРО ГЕОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ФОРМУВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПАСТОК У ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКІЙ ЗАПАДИНІ .....	45
<i>Космачов В. Г., Космачова М. В.</i> ЕСТЕТИЧНО-ПРИВАБЛИВІ МІСЦЕВОСТІ ХАРКІВЩИНИ ЯК ОБ'ЄКТИ ГЕОТУРИЗМУ .....	70
<i>Любчак О. В., Павлюк М. І., Хоха Ю. В., Яковенко М. Б.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСФОРМАЦІЇ КЕРОГЕНІВ І ТА ІІІ ТИПУ МЕТОДОМ МАКСИМІЗАЦІЇ ЕНТРОПІЇ .....	83
<i>Mansurov M. I.</i> DISTRIBUTION PECULIARITIES OF BASIC ORE COMPONENTS IN GOSHGARCHAY PORPHYROUS COPPER DEPOSIT (LESSER CAUCASUS, AZERBAIJAN) .....	96
<i>Соколов В. А., Удалов І. В., Кононенко А. В.</i> ВИКОНАННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НА ТЕРИТОРІЯХ ПРОМИСЛОВО-МІСЬКИХ АГЛОМЕРАЦІЙ .....	106
<i>Фик І. М., Варавіна О. П., Хріпко О. І.</i> ГЕОЛОГІЧНІ КРИТЕРІЇ ТА МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ КОНДЕНСАТОВИЛУЧЕННЯ НА ПІЗНІЙ СТАДІЇ РОЗРОБКИ ГАЗОКОНДЕНСАТНИХ РОДОВИЩ .....	117
<i>Хроль В. В., Лур'є А. Й.</i> КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ВУГЛЕВОДНЕНАСИЧЕННЯ УЩІЛНЕНИХ ПІЩАНО-АЛЕВРИТОВИХ ПОРІД В УМОВАХ ДДЗ .....	132

### ГЕОГРАФІЯ

<i>Безсонов Є. М., Крисінська Д. О., Россол Р. Д.</i> ОСОБЛИВОСТІ ДИНАМІКИ ПАРАМЕТРІВ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ У ПЕРІОД ЛІТНЬОЇ МЕЖЕНІ .....	141
<i>Горбачова Л. О., Христюк Б. Ф.</i> ПРОГНОЗУВАННЯ ВОДНОСТІ РІЧКИ СТИР НА НАЙБЛИЖЧІ РОКИ .....	155

<i>Гудзевич А. В., Гудзевич Л. С., Нікітченко Л. О., Матвійчук А. В., Коробкова Г. В.</i> КАРТОГРАФІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕАЛІЙ ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОТИЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ НАЦІОНАЛЬНИХ ПРИРОДНИХ ПАРКІВ .....	164
<i>Kovalchuk I. V., Kovalchuk A. I., Zapototskyi S. P., Zapototska V. A.</i> HEALTH TOURISM IN LVIV REGION: CURRENT STATE AND DEVELOPMENT PROSPECTS .....	180
<i>Margaryan V. G., Klimenko V. G., Cherkashina N. I.</i> SPECIFIC CHANGES IN MAIN CLIMATIC CHARACTERISTICS OF THE DEBED RIVER BASIN (ARMENIA) .....	195
<i>Niemets L. M., Bartosh O. V., Sehida K. Yu., Niemets K. A., Kliuchko L. V., Kravchenko K. O., Telebieniava Ie. Yu.</i> HUMAN-GEOGRAPHICAL PECULIARITIES OF THE HEALTHCARE SYSTEM OF UKRAINE IN THE CONDITIONS OF MODERN CHALLENGES .....	206
<i>Нестеренко В. О.</i> РІКИ У МІСЬКОМУ ПРОСТОРИ ХАРКОВА: ІСТОРІЯ ВЗАЄМОДІЇ ПРИРОДИ ТА СУСПІЛЬСТВА (ДРУГА ПОЛОВИНА XVII – ПОЧАТОК XXI СТ.) .....	224
<i>Parenjuk V. A., Provotar N. I., Mezentsev K. V.</i> YOUTH MIGRATION IN UKRAINE: REGIONAL DIMENSION .....	240
<i>Popovych N. V., Peresadko V. A., Jim D. R.</i> DEVELOPMENT OF OFFSHORE WIND ENERGY OF UKRAINE IN THE SEA OF AZOV: THE GEOGRAPHICAL ASPECT .....	254

## ЕКОЛОГІЯ

<i>Денисюк Г. І., Яценчук Ю. В., Воровка В. П., Воловик В. М.</i> БІОЦЕНТРИ ЕКОЛОГІЧНОЇ МЕРЕЖІ МІСТА ВІННИЦІ .....	267
<i>Жовинський Е. Я., Крюченко Н. О., Папарига П. С.</i> ОЦІНКА МІКРОКОМПОНЕНТНОГО ЗАБРУДНЕННЯ СНІГОВОГО ПОКРИВУ ГІРСЬКИХ ВЕРШИН УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ .....	278
<i>Кізілова Н. М., Ричак Н. Л., Чебукін Д. С., Лукієнко М. В.</i> ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД У БЕЗДОЩОВИЙ ПЕРІОД В УМОВАХ МІСЬКОГО ВОДОЗБОРУ .....	289
<i>Мельнійчук М. М., Горбач В. В., Горбач Л. М.</i> ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ВОЛИНСЬКОЇ ОБЛАСТІ ТА ЇХ ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН У СУЧАСНИХ УМОВАХ .....	306
<i>Nekos A. N., Voiaryn M. V., Lugowska M., Tsos O. O., Netrobchuk I. M.</i> ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL CONDITION OF THE WESTERN BUG RIVER BASIN ACCORDING TO THE MACROPHYTE INDEX FOR RIVERS (MIR) .....	316
<i>Польовий А. М., Божко Л. Ю.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ЕМІСІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ (CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O) ІЗ ГРУНТІВ АГРОЕКОСИСТЕМ .....	329
<i>Фесюк В. О., Мороз І. А.</i> СУЧАСНИЙ СТАН ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ М. ЛУЦЬКА .....	345

<b>ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО «ВІСНИКА ХАРКІВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ» .....</b>	<b>365</b>
---	------------

## CONTENT

### CHRONICLE

TO MARK THE ANNIVERSARY OF Victor Tereschenko .....	8
---	---

### GEOLOGY

<i>Bagriy Igor, Alokhin Viktor, Vasylyeva Iryna, Aksyom Serhiy, Kuzmenko Sviatoslav</i> HYDROGEN AS AN INDICATOR OF GEODYNAMIC PROCESSES IN COAL-BEARING STRATA .....	10
<i>Berlinsky Nikolai, Sahaidak Maksym</i> HAZARDOUS PHENOMENA IN THE SLIDES ZONE OF THE UKRAINIAN SECTION IN AZOV SEA .....	20
<i>Vasilenko Oleksandr</i> TO THE ISSUE OF OIL AND GAS POTENTIAL IN THE DECOMPRESSION ZONES OF THE DNIEPER-DONETS DEPRESSION .....	30
<i>Vysochanskiy Ilarion, Svyatenko Gennadiy, Abelentsev Volodymyr, Volosnyk Yevhenii, Nekrasov Andrii, Kupchinska Mariia, Zakharov Artem, Spichakova Yuliia</i> ON THE QUESTION OF GEOLOGICAL PREREQUISITES OF DNIEPER-DONETS DEPRESSION HYDRODYNAMIC TRAPS FORMATION .....	45
<i>Kosmachov Volodymyr, Kosmachova Mariia</i> AESTHETIC-REMARKABLE LOCALITIES OF KHARKIV REGION AS GEOTOURISM OBJECTS .....	70
<i>Lyubchak Oleksandr, Pavlyuk Myroslav, Khokha Yurii, Yakovenko Myroslava</i> MODELING THE TRANSFORMATION OF I AND III TYPES KEROGEN BY THE METHOD OF ENTROPY MAXIMIZATION .....	83
<i>Mansurov Mamoy</i> DISTRIBUTION PECULIARITIES OF BASIC ORE COMPONENTS IN GOSHGARCHAY PORPHYROUS COPPER DEPOSIT (LESSER CAUCASUS, AZERBAIJAN) .....	96
<i>Sokolov Victor, Udalov Igor, Kononenko Alina</i> PERFORMANCE OF SPECIAL ENGINEERING AND GEOLOGICAL RESEARCHES IN THE TERRITORIES OF INDUSTRIAL AND URBAN AGGLOMERATIONS .....	106
<i>Fyk Illia, Varavina Olena, Khripko Olena</i> GEOLOGICAL CRITERIA AND METHODS TO INCREASE CONDENSATE EXTRACTION AT THE LATE STAGE OF GAS CONDENSATE DEPOSITS' DEVELOPMENT .....	117
<i>Khrol Vasyl, Lurye Anatoliy</i> CRITERIA FOR ASSESSMENT OF HYDROCARBON SATURATION OF COMPACT SAND-ALEURITE ROCKS UNDER DDB CONDITIONS .....	132

### GEOGRAPHY

<i>Bezsonov Yevhen, Krysin'ska Diana, Rossol Rodion</i> FEATURES OF DYNAMICS OF THE SOUTHERN BUH RIVER AQUATIC ENVIRONMENT PARAMETERS DURING THE SUMMER LOW-WATER PERIOD .....	141
--	-----

<i>Gorbachova Liudmyla, Khrystiuk Borys</i> THE FORECASTING OF WATER RUNOFF OF THE STYR RIVER FOR THE COMING YEARS .....	155
<i>Hudzevich Anatoliy, Hudzevich Ludmila, Nikitchenko Lilia, Matviichuk Alla, Korobkova Hanna</i> CARTOGRAPHIC SUPPORT OF THE REALITIES OF CONSERVATION OF BIOTIC AND LANDSCAPE DIVERSITY OF NATIONAL NATURAL PARKS .....	164
<i>Kovalchuk Iryna, Kovalchuk Andrii, Zapototskyi Sergii, Zapototska Victoriia</i> HEALTH TOURISM IN LVIV REGION: CURRENT STATE AND DEVELOPMENT PROSPECTS .....	180
<i>Margaryan Varduhi, Klymenko Valentyna, Cherkashyna Nadiia</i> SPECIFIC CHANGES IN MAIN CLIMATIC CHARACTERISTICS OF THE DEBED RIVER BASIN (ARMENIA) .....	195
<i>Niemets Liudmyla, Bartosh Oksana, Sehida Kateryna, Niemets Kostiantyn, Kliuchko Liudmyla, Kravchenko Kateryna, Telebienieva Ievgeniia</i> HUMAN-GEOGRAPHICAL PECULIARITIES OF THE HEALTHCARE SYSTEM OF UKRAINE IN THE CONDITIONS OF MODERN CHALLENGES .....	206
<i>Nesterenko Victoriia</i> THE RIVERS IN KHARKIV URBAN SPACE: THE HISTORY OF INTERACTION BETWEEN NATURE AND SOCIETY (SECOND HALF OF THE XVIIth - EARLY XXIth CENTURY) .....	224
<i>Parenjuk Victor, Provotar Nataliia, Mezentsev Kostyantyn</i> YOUTH MIGRATION IN UKRAINE: REGIONAL DIMENSION .....	240
<i>Popovych Nataliia, Peresadko Vilina, Dzhyym Daria</i> DEVELOPMENT OF OFFSHORE WIND ENERGY OF UKRAINE IN THE SEA OF AZOV: THE GEOGRAPHICAL ASPECT .....	254

## **ECOLOGY**

<i>Denysyk Grygoriy, Yatsentyuk Yuriy, Vorovka Volodymyr, Volovyk Volodymyr</i> THE BIOCENTRES OF THE ECOLOGICAL NETWORK OF VINNYTSIA CITY .....	267
<i>Zhovinsky Edward, Kryuchenko Nataliya, Paparyga Petro</i> ASSESSMENT OF MICROCOMPONENT POLLUTION OF SNOW COVERAGE OF MOUNTAIN TOPS OF THE UKRAINIAN CARPATHIANS .....	278
<i>Kizilova Natalia, Rychak Natalia, Chebukin Dmitry, Lukienko Margarita</i> ECOLOGICAL ASSESSMENT OF SURFACE WATER QUALITY IN A RAINLESS PERIOD UNDER THE CONDITIONS OF URBAN WATER COLLECTION .....	289
<i>Melniichuk Mykhailo, Horbach Victoriia, Horbach Liudmyla</i> THE PECULIARITIES OF USING WATER RESOURCES AT THE VOLYN REGION AND THEIR ECOLOGICAL STATE IN THE MODERN CONDITIONS .....	306
<i>Nekos Alla, Boiaryn Mariia, Lugowska Maria, Tsos Oksana, Netrobchuk Iryna</i> ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL CONDITION OF THE WESTERN BUG RIVER BASIN ACCORDING TO THE MACROPHYTE INDEX FOR RIVERS (MIR) .....	316
<i>Polevoy Anatoly, Bozhko Lyudmila</i> MODELLING DYNAMICS OF EMISSION OF GREENHOUSE GASES (CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O) FROM SOILS IN AGROECOSYSTEMS .....	329
<i>Fesyuk Vasyl, Moroz Iryna</i> CURRENT STATE OF AIR POLLUTION OF LUTSK TOWN .....	345

<b>REQUIREMENTS TO THE MATERIALS SUBMITTED TO THE “VISNYK OF V. N. KARAZIN KHARKIV NATIONAL UNIVERSITY” .....</b>	<b>365</b>
---	------------

# ХРОНІКА

## ДО ЮВІЛЕЮ Віктора Олександровича ТЕРЕЩЕНКА



26 червня 2021 року виповнюється 85 років від дня народження видатного українського вченого, гідрогеолога Віктора Олександровича Терещенка.

Віктор Олександрович – кандидат геолого-мінералогічних наук, професор кафедри гідрогеології Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, нагороджений почесною грамотою імені В. Н. Каразіна.

Народився 26 червня 1936 року в місті Харкові. У 1959 році закінчив з відзнакою Харківський державний університет, отримавши спеціальність інженера-гідрогеолога. Відразу після завершення навчання був прийнятий на роботу в тільки що створений в Харкові Український філіал Московського інституту природного газу. Фактично він ввійшов в малочисленну групу спеціалістів нафтогазового профілю, які стали засновниками провідного галузевого інституту, створеного на базі тільки що відкритого найбільшого у Європі Шебелинського газового родовища.

З перших років роботи в інституті Віктор Олександрович активно займався дослідженням

гідрогеологічних умов газонакопичення в нафтогазоносних басейнах. Дослідження були спрямовані на вирішення проблем розвідки і розробки газоконденсатних родовищ Дніпровсько-Донецької западини. Особлива увага приділялася дослідженням гідрогеологічних умов Шебелинського, Хрестищенського та інших родовищ. В основу методичного підходу були закладені принципи, за якими гідрогеологічний матеріал аналізувався в тісному зв'язку з загальною геологією та нафтогазоносністю. Результатом досліджень того періоду з'явилася серія публікацій в провідних виданнях України та Росії. Особлива увага В. О. Терещенко приділяв дослідженням хімічного та газового складу підземних вод високотемпературних горизонтів Дніпровсько-Донецької западини. Ці роботи стали основою його кандидатської дисертації «Гідрогеологічні умов північно-західної і центральної частин Дніпровсько-Донецької западини у зв'язку із закономірностями розміщення нафтових і газових родовищ», яка була захищена у 1968 році.

За період роботи в УкрНДІГазі він пройшов шлях від посади інженера до завідувача сектору



промислової гідрогеології. У 1982 році перейшов на постійну роботу в Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, з 1986 до 1995 р.р. був завідувачем кафедри гідрогеології.

В останні роки значно розширилося коло його досліджень в гідрогеологічному напрямку. Він займався проблемами питних і мінеральних вод, еволюцією складу вод Світового океану. В. О. Терещенко розвиває дослідження за двома основними напрямками – регіональна гідрогеологія та нафтогазова гідрогеологія. Основні його роботи присвячені вивченню гідрогеології нафтових і газових родовищ Дніпровсько-Донецької западини та інших регіонів, які він почав ще будучи співробітником УкрНДІГазу. Зокрема, В. О. Терещенком виконано узагальнення матеріалів та запропонована схема гідродинамічної зональності, зональності водорозчинних газів. Ним вперше складена карта районування Дніпровсько-Донецької западини за умовами розподілу пластових тисків, в тому числі аномально високих. Розроблена модель формування розсолів регіону. Запропоновані ним рекомендації по використанню гідрогеологічних критеріїв при пошуках, розвідці і розробці газових родовищ широко використовується в практиці виробничих і науково-дослідних організацій.

Починаючи з 1991р. на кафедрі гідрогеології під керівництвом В. О. Терещенка виконуються тематичні держбюджетні науково-дослідні роботи по комплексному використанню підземних вод Слобожанщини і північного сходу України. В результаті цих досліджень виявлено реліктовий характер підземних вод сеноман-нижньокрейдяного водоносного горизонту, що сформувався в епоху останнього Дніпровського льодовика. Ці підземні води мають особливу екологічну цін-

ність. За цим напрямком вивчений режим ряду великих водозаборів регіону, вивчені закономірності формування мінеральних вод.

За період роботи у Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна В. О. Терещенко викладав курси «Мінеральні води», «Нафтогазова гідрогеологія», «Гідрогеологія родовищ корисних копалин», «Нетрадиційні джерела вуглеводневої сировини» та інші. Оpubлікований навчальний посібник «Нетрадиційні джерела вуглеводневої сировини».

В. О. Терещенко автор і співавтор більше 200 наукових публікацій, у тому числі 5 монографій. Особливе значення має опублікована у 2015 році монографія «Гідрогеологические условия газонакопления в Днепро-Донецкой впадине», в якій узагальнено накопичений за довгий період часу практичний матеріал нафтогазової гідрогеології. В період існування на Факультеті геології, географії, рекреації і туризму спеціалізованої Вченої ради по захисту дисертацій за спеціальностями «Гідрогеологія», та «Геологія нафти і газу» виконував обов'язки її ученого секретаря.

Викликають велику повагу різноманітні інтереси Віктора Олександровича за межами гідрогеології. Вражають його фундаментальні знання з історії народів, які заселяли територію Євразії. Одне з його захоплень – вирощування рідкісних кактусів, яке реалізувалось в створенні великої колекції цих рослин.

Співробітники факультету геології, географії, рекреації і туризму поздоровляють Вас з Днем Народження. Щиро зичимо міцного здоров'я, мудрості та ще і творчої наснаги, успішного здійснення всіх планів і задумів, любові до життя, миру і благополуччя в домі!

*Співробітники факультету ГГРТ  
та  
редакційна колегія «Віснику»*

# ГЕОЛОГІЯ

UDC 553.98:550.812

**Igor Dmitrovich Bagriy,**

DSc (Geology), Professor, Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine,  
55-b O. Honchara St., Kyiv, 01054, Ukraine,  
e-mail: [bagrid@ukr.net](mailto:bagrid@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0001-7280-4065>;

**Viktor Ivanovich Alokhin,**

Head of the Department of Geology, Mineral Exploration and Processing, DSc (Geology),  
Donetsk National Technical University, 2 Shibankova Sq., Pokrovsk, Donetsk region, 85300, Ukraine,  
e-mail: [viktor.alokhin@donntu.edu.ua](mailto:viktor.alokhin@donntu.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0002-5450-7195>;

**Iryna Viktorivna Vasylyeva,**

Geologist I category, PhD student, Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine,  
e-mail: [vasilieva1982@ukr.net](mailto:vasilieva1982@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-5487-9896>;

**Serhiy Dmitrovich Aksyom,**

PhD (Geography), Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine,  
e-mail: [sergy.axem@gmail.com](mailto:sergy.axem@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-8708-9006>;

**Sviatoslav Oleksandrovich Kuzmenko,**

PhD student, Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine,  
e-mail: [kuzma.geoua@gmail.com](mailto:kuzma.geoua@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0967-6221>

## HYDROGEN AS AN INDICATOR OF GEODYNAMIC PROCESSES IN COAL-BEARING STRATA

**І. Д. Багрій, В. І. Альохін, С. Д. Аксьом, І. В. Васильєва, С. О. Кузьменко. ВОДЕНЬ ЯК ІНДИКАТОР ГЕОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВУГЛЕНОСНИХ ТОВЩ.** Проблема розробки та впровадження пошукової технології, яка забезпечить захист гірничих виробок та унеможливить катастрофи при розробці вугільних родовищ особливо актуальна зараз, коли питання природоохоронних засобів та підвищення безпеки праці на вугільних шахтах стоїть дуже гостро. Нова розробка безпечної пошукової технології вугільних родовищ, що запропонована авторами, дозволить завчасно відслідковувати, виділяти місця можливих проявів газодинамічних явищ та приймати оперативні рішення для їх усунення. Авторами проведено аналіз сучасного стану вуглевидобутку в Україні і в світі в цілому; обґрунтовано доцільність використання безпечної пошукової технології в зонах розвитку шахтних полів для виділення перспективних ділянок концентрацій водню в місцях вуглевидобутку, що слугують прямими детонаторами газодинамічних явищ, а також доведено доцільність випереджальних заходів, що унеможливить появу газодинамічних явищ. Вперше в світовій практиці було запропоновано новітні підходи щодо зміни парадигми безпеки видобутку вугілля, які попередять непрогнозовані ГДЯ та пов'язані з ними матеріальні та людські втрати. Технологія базується на застосуванні пошукових газогеохімічних методів для картування місць накопичення газово-водневих скупчень та їх ділянок і разом з комплексом геолого-геофізичних методів дозволяє виділяти площі можливих аварійних процесів в зонах розвитку шахтних полів. На великому масиві проведених польових робіт, площової та профільної зйомки доведена доцільність застосування пошукової технології для обґрунтування використання закладання випереджальних дегазаційних свердловин для запобігання некерованих вибухонебезпечних процесів і технічних катастроф. Запропонована технологія була апробована на чисельних видобувних об'єктах в процесі пошуково-екологічних досліджень в зонах розвитку діючих та відпрацьованих шахтних полів.

**Ключові слова:** пошукова технологія, шахтні поля, водень, газодинамічні явища, дегазація, безпека.

**И. Д. Багрій, В. И. Алёхин, С. Д. Аксём, И. В. Васильева, С. А. Кузьменко. ВОДОРОД КАК ИНДИКАТОР ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ УГЛЕНОСНОЙ ТОЛЩИ.** Проблема разработки и внедрения поисковой технологии, которая обеспечит защиту горных выработок и сделает невозможными катастрофы при разработке угольных месторождений особенно актуальна сейчас, когда вопрос природоохранных мероприятий и повышения безопасности труда на угольных шахтах стоит очень остро. Новая разработка безопасной поисковой технологии угольных месторождений, предложенная авторами, позволит заблаговременно отслеживать, выделять места возможных проявлений газодинамических явлений и принимать оперативные решения для их устранения. Авторами проведен анализ современного состояния угледобычи в Украине и в мире в целом; обоснована целесообразность использования безопасной поисковой технологии в зонах развития шахтных полей для выделения перспективных участков концентраций водорода в местах угледобычи, которые служат прямыми детонаторами газодинамических явлений, а также доказана целесообразность опережающих мероприятий, что сделает невозможным возникновение газодинамических явлений. Впервые в мировой практике были предложены новые подходы изменения парадигмы безопасности добычи угля, которые предотвратят непрогнозируемые ГДЯ и связанные с ними материальные и человеческие потери. Технология базируется на применении поисковых газогеохимических методов для картирования мест накопления газово-водородных скоплений и их участков и вместе с комплексом геолого-геофизических методов позволяет выделять площади возможных аварийных процессов в зонах развития шахтных полей. На большом массиве проведенных полевых работ, площадных и профильной съемки доказана целесообразность применения поисковой технологии для обоснования использования закладки опережающих дегазационных скважин для предотвращения неуправляемых взрывоопасных процессов и технических катастроф. Предложенная технология была апробирована на многочислен-

© Bagriy I. D., Alokhin V. I., Vasylyeva I. V., Aksyom S. D., Kuzmenko S. O., 2021

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-54-01>

*ных добывающих объектах в процессе поисково-экологических исследований в зонах развития действующих и отработанных шахтных полей.*

*Ключевые слова:* поисковая технология, шахтные поля, водород, газодинамические явления, дегазация, безопасность.

**Formulation of the problem.** One of the leading problems of today, hindering the development of scientific progress, is the use of existing energy sources, which carry irreversible destructive processes in the environment and lead to global man-made phenomena and natural disasters, despite rather costly environmental measures. In practice, such processes are closely linked to the use of outdated technologies of energy production and their operation, which does not meet today's demands of the development of progress.

Today, most developed countries are on the path of using alternative energy and renewable sources and resources. It is obvious that the primary problem is the development of hydrogen alternative energy, as it is a prerequisite for solving all other problems.

Thus, the hydrogen energy revolution can radically change the foundations of world energy and the planetary ecological situation of the future. In addition, the application of our proposed technology for identifying geodynamic active zones, promising for industrial hydrocarbon exploration, will allow to determine the location of possible manifestations of gas-dynamic phenomena for further operational decisions on the safe conduct of mining operations. In this regard, we substantiated and set tasks to assess the prospects for detecting promising accumulations of endogenous hydrogen in the lithosphere in the framework of scientific academic developments, environmental and mining aspects of oil and gas structures and mine facilities of coal basins of Ukraine.

**The subject of research** is the hydrogen of coal-bearing strata, gas - dynamic phenomena in the coal mines. **The object of research** - coal mines O.F. Zasyadka mine and Krasnolimanska mine of the Donetsk coal basin.

**Analysis of recent research and publications.** The idea of degassing of the Earth as a global process of its self-organization was developed by V.I. Vernadsky in a number of works published in 1911, 1912, 1924 [1].

This concept has had and continues to have a powerful growing influence on modern Earth sciences. Suffice it to note the works of A.P. Vynogradov on hydrosphere and atmosphere formation regularities (comprehensive substantiation of the role of aqueous-carbonic fluid as the final product of degassing); D.S. Korzhynskyi – on "transmagmatic solutions"; V.A. Sokolov – on geochemistry of natural gases; A.V. Sydorenko – on "breath" of ancient sedimentary-metamorphic strata; V.I. Smyrnov, A.D. Shcheglov and others – on participation of mantle

fluids in endogenous ore formation; O.A. Bohatykov, N.L. Dobretsov, F.A. Letnykov, A.A. Marakushev, I.D. Ryabchikov, L.N. Koharko, O.B. Usenko and others – on fluid regime of magmatism and metamorphism; V.K. Markhinin, G.S. Shteynberg, V.I. Kononov, S.V. Byelov, A.M. Portnov and others – on the role of degassing processes in volcanism (especially noteworthy are the works of E.F. Shnyukov on mud volcanism – a bright and specific manifestation of the processes of Earth degassing); A.B. Ronov, N.M. Strakhov, A.A. Makhnach, S.G. Neruchev, Ya.E. Yudovich and others – on the general patterns of accumulation of carbonate and black shale formations; I.K. Karpov, V.S. Zubkov, V.A. Bychinskyi and others – on modeling the processes of rising hydrocarbons (HC) from the mantle into the earth's crust, the conditions of their metastability and deep detonation [1, 3, 7].

The idea of the key role of hydrogen in degassing of the Earth is developed in the works of V.M. Larin, F.A. Letnykov, A.A. Marakushev, V.V. Khmelyovska, A.V. Shcherbakov, N.D. Kozlova, Yu.A. Kolyasnikov, V.M. Shestopalov, V.I. Starostenko, A.N. Ponomarenko [4, 7].

At the same time, the Ukrainian school was formed, which develops various aspects of fluid dynamics, degassing and deep foundations of abiogenic naphthides formation. The innovative research of E.B. Chekalyuk, works of V.B. Porfiryev, N.P. Semenenko, G.N. Dolenko, V.A. Krayushkin, A.Ye. Babynets, M.P. Balukhovskiy, V.K. Havrysh, I.I. Chebanenko, V.P. Klochko, M.I. Pavlyuk, I.M. Naumko are widely known [13].

**The purpose of the article** is the following: analysis of the current state of coal mining in Ukraine and in the world as a whole; substantiation of feasibility of using a safe search technology in the development zones of mine fields for allocation of perspective sites of hydrogen concentrations in the places of coal mining which serve as direct detonators of the gas-dynamic phenomena, and the feasibility of precautionary measures that will prevent gas-dynamic phenomena.

**Presentation of the main research material.** Hydrogen anomalies mapped by hurricane concentrations within a wide range of research are of undoubted exploratory interest not only as energy source phenomena, but also in terms of geocological forecasts for making decisions on safety in the areas of development of exploration and oil and gas works (Khrestyshche, Pryazovske, Gulf of Mexico, where there were emissions that have led to significant human losses), as well as in the area of operating mine fields.

In the course of the work the materials of world experience were used and generalized, as well as own long-term academic developments, which ultimately gave grounds for scientific substantiation of new approaches in research of gas-dynamic phenomena (GDP) due to hydrogen component and possibility of development and introduction of safe mining technology in the coal industry.

The traditional point of view on the cause of GDP is that a mine working approaches a gas-saturated methane-bearing area under conditions of degassing, metamorphism, and emergency processes. And very often powerful emissions occur in the absence of appropriate gas methane concentrations, which is not notified by specially tuned methane-sensitive hardware devices. Such emergency processes cannot be explained either from a geochemical or a technological point of view. So, after each accidental tragic emission, they talk about the human factor, or about outdated equipment.

Sudden emissions of coal and gas with significant human casualties since 1800 in France, Switzerland (Agrap mine, about 300 people died), in Russia since 1900 (Ulyanovska mine, Kemerovo region, 2007 – 110 people died) man, Kuzbas, 2010 – 100 people died), are traditionally studied and treated by almost only one version – sorption-methane. Practically all other geological, geophysical, geochemical theories of the origin of GDP have been subjected to significant criticism but were not taken into account.

The tragic events associated with the manifestation of gas-dynamic phenomena during coal mining cover a wide geographical range: France, Belgium, Germany, Russia, Turkey, Poland, Spain, Bulgaria, Norway, Ukraine. In time – from the beginning of the development of coal seams to the present time. All this obliges to look for new approaches and interpretations to the solution of an extremely acute problem – safety of production, and most importantly, protection of human life and health [1-4].

But, unfortunately, the official point of view remains unchanged. Neither the state nor private companies are interested in research, discussions, concentration of efforts and funding of the necessary environmental and industrial research.

In our opinion, many misunderstandings are primarily due to the fact that the causes of explosions continue to be considered traditional (sorption) forms of methane in coal and its gas-dynamic emissions (classic sudden emissions of coal and gas, for which a lot of hypotheses and theories have been developed and regularities have been established). But all previous research has not led to the development of effective technologies for safe coal mining.

Under the general formulation of "methane explosions", explosions of other gases actually occur, the role of which has not yet been taken into account at all. According to the authors of numerous studies, it is these gases that become the "detonator" and involve the hydrogen component in the chain reaction. According to G.G. Grytsko methane itself explodes only in a fairly narrow concentration range of 4.5-16% (maximum explosion hazard at 9.5%; at 1%, electricity is cut off in the mine, at 2% people are taken out of the mine).

Homologues of methane – heavy hydrocarbons as propane, ethane, butane – are more explosive in a much larger range than methane.

In case of accidents in coal mines, the possible cause of hydrogen explosion is not taken into account. Although, most likely, according to our work and the research of some scientists, this is the whole point.

In the course of the authors' analytical, applied and field studies of GDP, it was found that the explosion hazard threshold is significantly reduced if methane is replaced by hydrogen or its mixture with methane, propane or other homologues.

Multifactor interpretation of gas-geochemical data and a complex of geological, geophysical, geothermal and aerospace information allowed to create the latest technology (patents: "Method for assessing the forecast of gas accumulations with hydrogen in the bowels of the earth", "Method for current forecast of sudden emissions of coal massif and gas") mapping of diffuse gas-hydrogen flows from their genetic sources to places of industrial accumulations and areas of possible emergency processes in the development zones of mine fields. The proposed technology has been tested at numerous mining sites in the process of exploratory and environmental research in the development zones of operating and worked-out mine fields in the presence of GDP with human casualties. [5].

Detailed areal and profile atmo-gas-geochemical surveys using SAGS search technology (structural-atmo-geochemical studies) in the development zones of mine fields made it possible to map anomalous areas of hydrogen concentrations, which, according to the results of numerous studies, serve as direct detonators of GDP.

In the course of many years of study of GDP, based on the latest technologies, we came to the conclusion that explosions cause deep gas breakthroughs in mine workings, which are caused by structural, local, regional and planetary processes based on the hydrogen component – the main detonator of emergency processes and GDP. This theory opens up a relatively new direction and introduces new multifaceted perspectives in the prediction and prevention of catastrophic phenomena. [6, 7]

The results of studies of hydrogen concentrations directly in mine workings, as well as over the projections of operating mines, by their hurricane values, are of undoubted exploratory interest both in terms of geocological forecasts and for making decisions on the industrial safety of uncontrolled explosive processes, which cause significant destruction in confined mine spaces, incurring material losses, stopping production cycles for a long period, and most importantly – leading to significant human casualties [8].

Below we present in the original language the statement of an outstanding scientist, corresponding member of the RAS, full member of the Academy of Mining Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, prominent specialist in geomechanics, rock pressure, coal mining technology, technological development of coal industry of the Russian Federation G.G. Gritsko:

*“Are emissions and explosions in coal mines sudden? The answer to this question, alas, is obvious. They are sudden – insofar as for more than 100 years knowledge about these processes has been narrow-minded, fixated on purely mechanistic or technological concepts.*

*And for decades it has been customary to investigate the causes of explosions in mines, find (or appoint?) “scapegoats” and wait for the next explosion. And our “room” gas protection equipment really protects, but whom and from what? It is “looking in the wrong direction”, and Aleksey Stakhanov began to turn off “it”, covering the coal with a tarpaulin, keeping methane in it.*

*In disasters in coal mines, the possible “fault” of hydrogen is not taken into account. Although, most likely, this is the whole point. It is my deep conviction that in coal mining, ecology and safety, there is a lack of scientific geological planetarity, modern non-traditional approaches.*

*Structural, local, regional and planetary processes not only consist of phenomena and mechanisms that have not yet been taken into account, but are also completely insufficiently studied. They represent a relatively new subject of research and open new multilateral perspectives in predicting and preventing catastrophic events”.*

Below are the results of many years (since 2009) of detailed areal and profile studies in areas of development of gas-dynamic phenomena of mine fields in the coal basins of Donbas: operating O.F. Zasyadko mines (Pivnichna and Pivdenna sections), Krasnolymanska, and Lviv-Volyn coal basin – Stepova and Lisova mines.

O. F. Zasyadka mine is one of the historical mines of Donbass. The mine is located in the city of Donetsk, has been in operation since 1958, and produces 1,200 to 1,500,000 tons of coal a year.

There were a number of major accidents with human casualties at the mine: in May 1999, August 2001, June 2002, September 2006, December 2007, January 2015. The biggest accident at the mine was a major catastrophe. November 18, 2007.

On March 4, 2015, an explosion occurred at the mine due to methane emissions. At the time of the accident, there were 230 miners in the mine, 33 of them were killed and 16 were injured.

The results of detailed profile and areal studies in the North and South sections in the zones of manifestations of gas-dynamic phenomena give every reason to assert that the vast majority of emergency processes took place in areas of high hydrogen concentrations (Fig. 1, 2).

The Krasnolymanska coal mine is a large coal mine located in the south-east of Ukraine in Donetsk Oblast. The Krasnolimanska mine field is located in the Pokrovsky district of the Donetsk region of Ukraine.

The mine was built according to the project of the Dniprodiproshah Institute in 1958 and produces 3370 thousand tons of coal per year.

The mine is dangerous due to sudden emissions of coal and gas; dangerous for explosive coal dust.

Similar detailed areal studies were carried out at the production areas of the Krasnolymanska mine – hydrogen was identified in 32 observation points (Fig. 3).

The most abnormally high gas concentrations were found between the Fedorivskiy and Hlybokoyarskiy downthrow faults, as well as in the southern wing of the Hrushivskiy fault, where accidental emissions took place, which resulted in human casualties.

The spatial distribution of indicators of hydrogen content and other investigated gases in the subsoil air and the absence of geodynamic processes (block stability) suggest that the most intensive hydrogen flow with possible gas-dynamic phenomena occurs between the faults: Hlybokoyarskiy and Fedorivskiy, Hrushivskiy and Hlyboyarskiy, as well as on the continuation of the Fedorivskiy fault.

Stepova Mine is located in the Lviv-Volyn coal basin, in the village of Hlukhiv, Sokal district, Lviv region. The mine is super-category in terms of methane, dangerous in terms of explosiveness of coal dust.

There were accidents at the mine. The big accident was on April 2, 2008. The fire was extinguished for three months.

The big explosion occurred on March 2, 2017 on the horizon of 550 m, in 119 conveyor lanes. At that time, 172 miners worked at the mine, including 34 miners at the emergency site. The methane explosion killed 8 and hospitalized 23 miners.

Lisova mine is located in the Lviv-Volyn coal

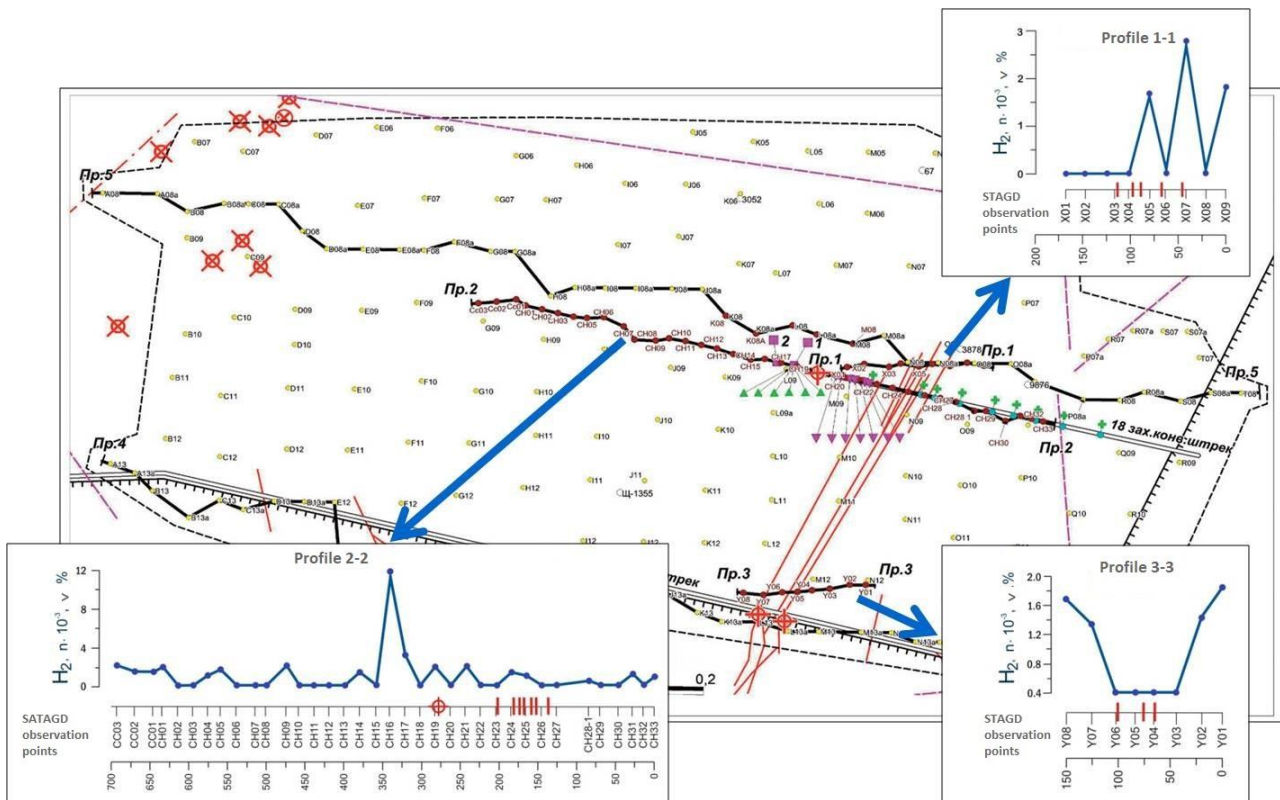


Fig. 1. Results of hydrogen detailing profile and areal studies (O.F. Zasyadko mine – Pivnichna).  
Graphs of dependence of H<sub>2</sub> – hydrogen anomalies and gas-dynamic phenomena

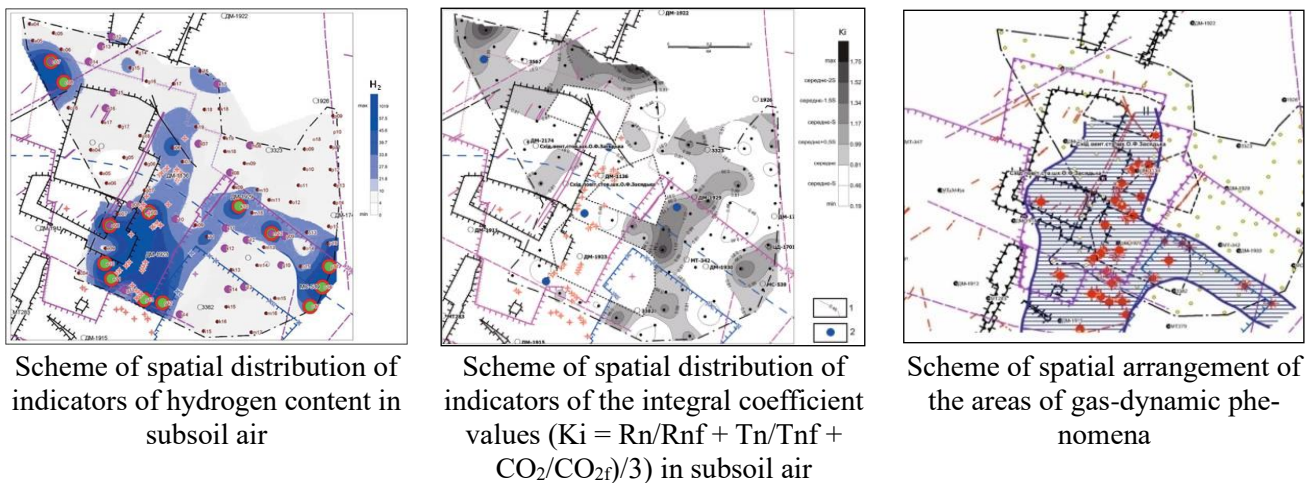


Fig. 2. Results of hydrogen detailing profile and areal studies (O.F. Zasyadko mine – Pivdenna)

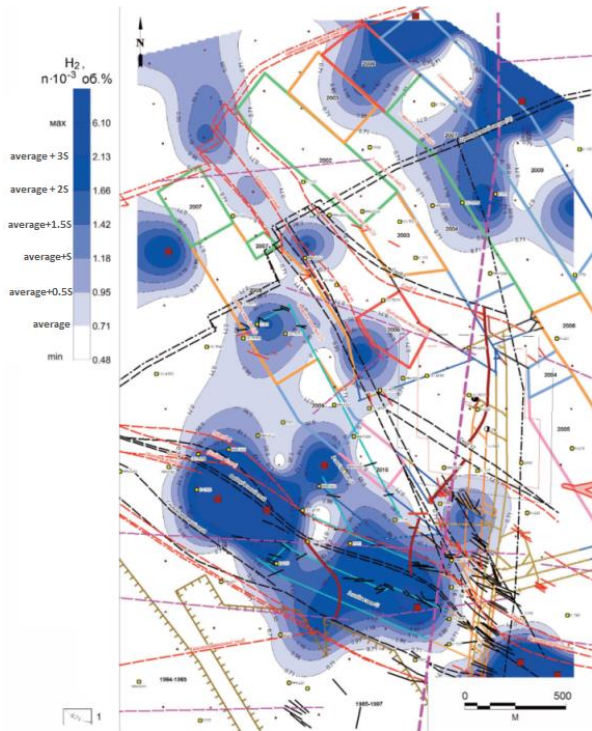
basin, in the village of Silets, Sokal district, Lviv region. Actual coal production in 2003 amounted to 120 thousand tons of coal. The maximum depth is 515 m.

On May 29, 2019, two miners died as a result of a roof collapse.

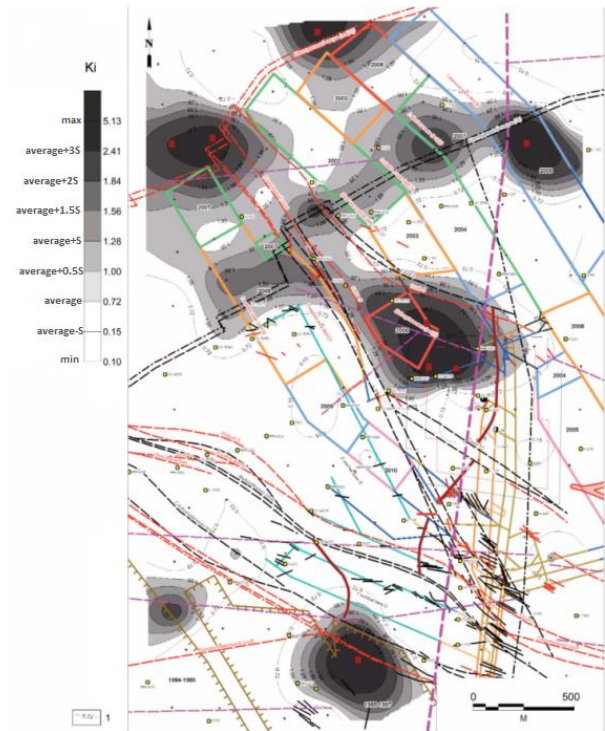
This approach allowed to adjust the results of surface surveys with data from coal mining, distribution of gas saturation of rocks and mine workings, reasonable interpretation of STAHS data, as well as to provide a forecast for safe mining by laying advance degassing wells. Detailed area and profile studies of hydrogen anomalies and geodynamic sit-

uation in the development zones of mine fields of Mezhyrichanske and Zabuzke coal deposits of Chervonohradskyi geological-industrial region and Velykomostivske gas field within Lviv-Volyn coal basin, in the areas of development of mine with manifestations of GDP (human casualties) – "Stepova", "Lisova" were carried out (Fig. 4).

Analysis of the results of the studies carried out in the above areas revealed that the possible causes of gas-dynamic phenomena were not the sudden opening of methane-bearing reservoirs and the inflow of significant amounts of methane into mine workings, but the passage by mine workings of are-

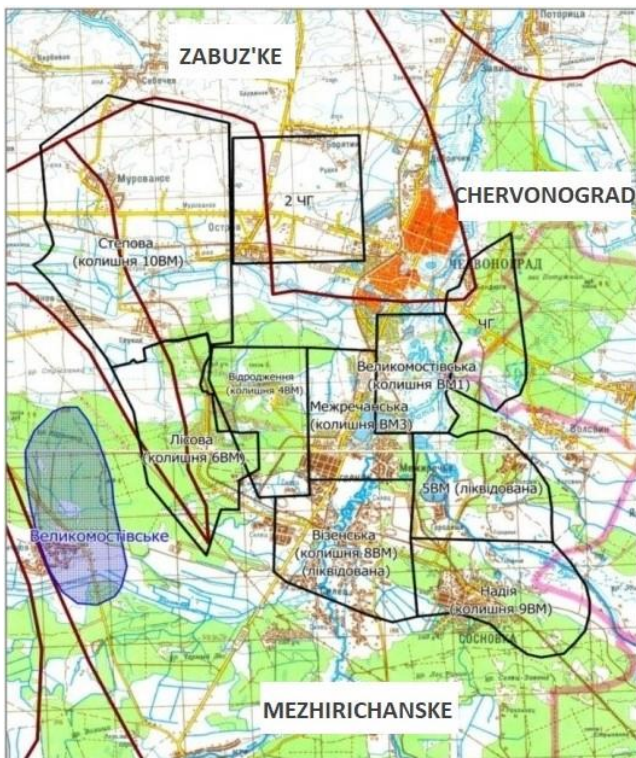


Scheme of spatial distribution of indicators of hydrogen content in subsoil air

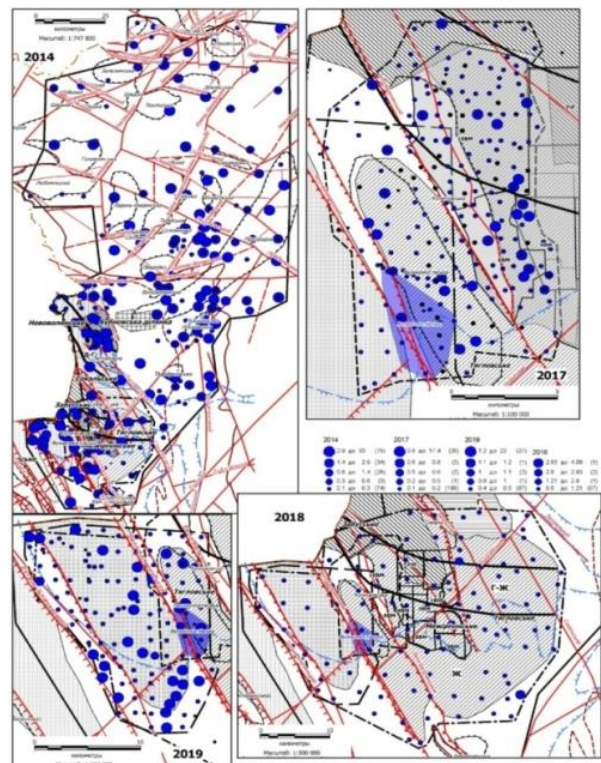


Scheme of spatial distribution of indicators of integral coefficient values (geodynamic zones  $K_i = R_n / R_n$ ) in subsoil air

Fig. 3. Results of hydrogen detailing areal and profile surveys in emergency emission zones (Kransolymanska mine)



Location of Mezhyrichanske and Zabuzke coal deposits within the Lviv-Volyn coal basin



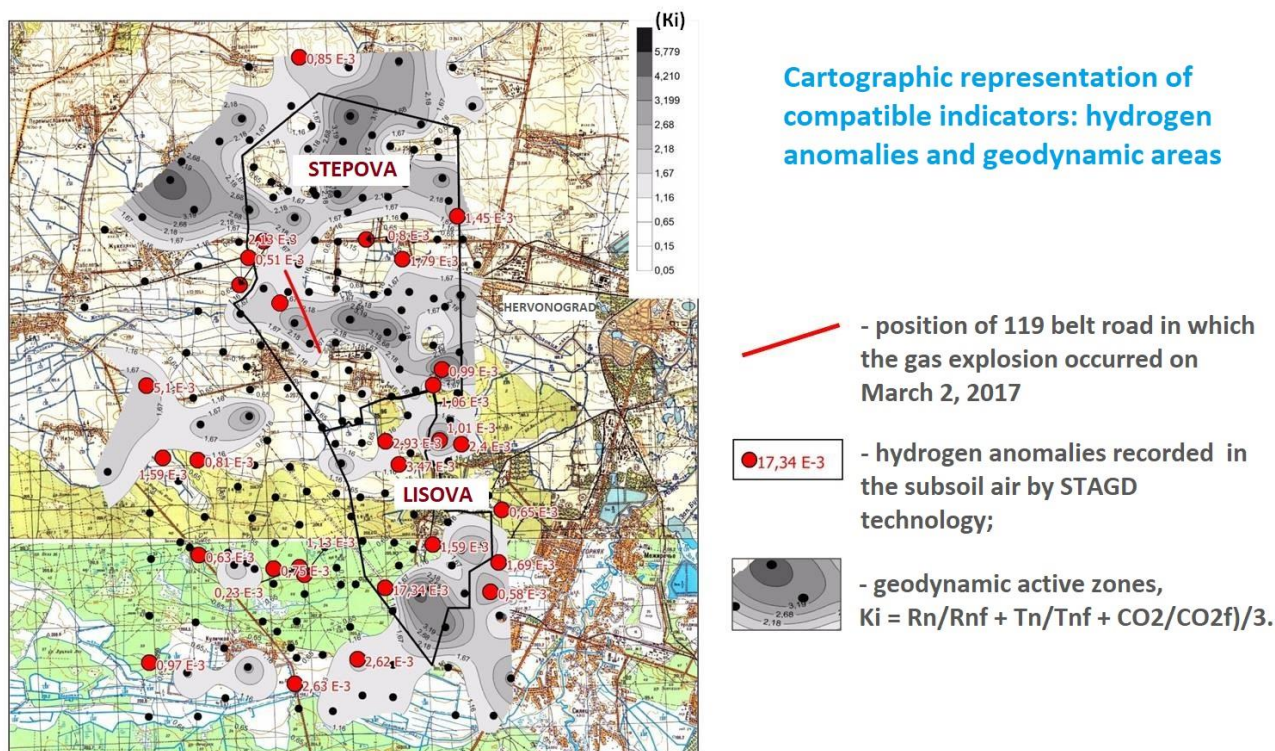


Fig. 5. Scheme of cartographic display of indicators of hydrogen anomalies and geodynamic areas

as with abnormally high hydrogen concentrations, which do not coincide with geodynamic zones and increased methane values (Fig. 5).

### Conclusions.

As result of the carried out works complex researches carried out, the factual material was processed and the following conclusions formulated:

1. The results of long-term (since 2009) detailed area and profile researches in the zones of development of gas-dynamic phenomena of mine fields of coal basins were analyzed. Donetsk coal basin: operating mines OF Zasyadka mine (North, South), Krasnolimanska mine. Lviv-Volyn coal basin - mines "Stepova" and "Lisova".

The results of detailed profile and area studies in these areas in the areas of manifestations of gas-dynamic phenomena give every reason to believe that the vast majority of emergency processes took place in areas of high concentrations of hydrogen.

2. For the first time in the world practice, new approaches were proposed and substantiated to change the safety paradigm of coal mining, which will prevent the manifestations of unpredictable GDP and the associated material and human losses.

3. Analysis of the results of a complex of fundamental and applied research at coal mining facili-

ties allows, according to the proposed technology, to identify and map the studied areas of abnormal hydrogen concentrations, their characteristics and use it as reliable markers for operational decisions for safe mining by laying advance degassing wells, which will ultimately make emergency GDP impossible.

4. The expediency of application of the proposed technology for substantiation and allocation of geodynamic active and stable zones and blocks promising for industrial exploration of hydrocarbons, determining the locations of possible manifestations of GDP and complex making operative decisions for safety of mining works is proved. And, unfortunately, the research carried out by scientists and the results obtained have not yet found worthy support from the President of Ukraine, state line ministries, commercial structures and the Academy of Sciences.

Such conclusions were obtained by us during the processing of significant factual material, as well as the results of areal and detailed profile gas-geochemical surveys both in the mine workings and on the projections of mine fields (stope mine workings) on the day surface.

### Bibliography

1. Вернадський В.И. Избранные сочинения [Текст] / В.И. Вернадський. – Москва: издательство АН СССР, 1960. – 422 с.
2. Семеновко Н.П. Кислородно-водородная модель земли. [Текст] / Н.П. Семеновко. – Киев: Наукова думка, 1990. – 246 с.



3. Войтов Г.И. Водородное дыхание земли как отражение особенностей геологического строения и тектонического развития ее мегаструктур [Текст] / Г.И. Войтов, Д.Г. Осика // Труды геологического института. Махачкала – 1982. – Вып. 26, С. 7-29.
4. Маракушев А.А. Водородное дыхание земли – его происхождение, геологические и биологические следствия [Текст] / А.А. Маракушев, С.А. Маракушев // Альтернативная энергетика и экология – 2008. – Вып. 57. – С. 152-170.
5. Bagriy I.D. New technology for exploration of hydrogen accumulations and forecast of geodynamic phenomena [Text] / I.D. Bagriy, S.O. Kuzmenko, U.Z. Naumenko, S.D. Zubal // 13th International Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment Kyiv, Ukraine, – 2019. – P. 1-4.
6. Bagriy I.D. Rationale of search technology on hydrogen and geodynamic phenomena (oil and gas regions, mine-fields) [Text] / I.D. Bagriy, P.F. Gozhik, A.A. Repkin, S.A. Kuzmenko, A.A. Loktiev, V.G. Semenuk // Гел.журн. – 2019. – № 2. – С. 18-28. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2019.2.169931>
7. Багрий И.Д. Научное обоснование пространственного распределения и картирования аномальных проявлений водорода – энергетического сырья XXI в. – в нефтегазоносных структурах Украины и предупреждения геодинамических явлений [Текст] / И.Д. Багрий, С.А. Кузьменко // Геол. журн. – 2019. – № 1. – С. 59-77. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2019.1.159241>
8. Багрий І.Д. Сучасні наукові підходи до розробки екологічно орієнтованих технологій пошуків родовищ вуглеводнів та підземних вод [Текст] / І.Д. Багрий, У.З. Науменко, Н.В. Маслун, В.Р. Дубосарський, В.М. Жаловський, В.М. Марюхно // Четверта міжнародна науково-практична конференція "Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування". Україна, м. Трускавець – 2017. – С. 62-64.
9. Гладун В.В. Самостійний об'єкт пошуків вуглеводнів у Дніпровсько-Донецькій газонафтоносній області [Текст] / В.В. Гладун, Т.Є. Довжок, М.І. Євдошук // Нафтова і газова промисловість – 2000. – № 5. – С. 6-9.
10. ГОСТ 23781-87. Газы горючие природные. Хроматографический метод определения компонентного состава [Текст]. – 11 с.
11. Дем'яненко І.І. Проблеми і оптимізація нафтогазопищових і розвідувальних робіт на об'єктах Дніпровсько-Донецької западини [Текст] / І.І. Дем'яненко – Чернігів: ЦНТЕІ, 2004. – 220 с.
12. Поротов Г. С. Математические методы моделирования: Учебник [Текст] / Г.С. Поротов – СПб: Санкт-Петербургский государственный горный университет (Технический университет), 2006. – 223 с.
13. Порфирьев В.Б. Новое направление геологоразведочных работ в Ахтырском нефтегазопромысловом районе Днепровско-Донецкой впадины [Текст] / В.Б. Порфирьев, В.А. Краюшкин, В.П. Клочко, М.І. Пономаренко, В.П. Паламарь, М.М. Лушпей // Геол.журн. – 1982. – Т. 4. – № 4. – С. 1-11.
14. Рябоштан Ю.С. О содержании и задачах структурно-геодинамического картирования при поисковых и разведочных работах на месторождениях гидротермального типа [Текст] / Ю.С. Рябоштан // Осадочные породы и руды. – Киев: Наук. думка, 1980. – С. 126-135.
15. Соколов В.А. Геохимия природных газов [Текст] / В.А. Соколов – М.: Недра, 1971. – 336 с.
16. Соллогуб В.Б. Литосфера Украины [Текст] / В.Б. Соллогуб – Киев: Наук. думка, 1986. – 184 с.
17. Соляк Л. Разделение и идентификация изомерных углеводородов методами капиллярной газовой хроматографии и сочетаниями ее с масс-спектрометрией и ИК-Фурье-спектроскопией [Текст] / Л. Соляк // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2003. – Т. XLVII, № 2. – С. 51-69.
18. Pearson E.S. Biometrika tables for Statistics [Text] / E.S. Pearson, H.O. Hartley. // Cambridge: University Press – 1972. – 634 p.
19. Багрий І.Д. Гідро-геобіогенно-мантійна парадигма походження вуглеводнів – підгрунтя прямопошукової технології структурно-термо-атмо-гідролого-геохімічних досліджень [Електронний ресурс] / Геологічний журнал. Інститут геологічних наук НАН України – Режим доступу: <http://geojournal.igs-nas.org.ua/article/view/133461>. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2018.2.133461>
20. Лукін О. Ю. Вуглеводневий потенціал надр України та головні напрями його освоєння [Електронний ресурс] / О.Ю. Лукін, І.П. Гафич, Г.Г. Гончаров, В.В. Макогон, Т.М. Пригаріна // Мінеральні ресурси України. УкрДГРІ. Київ. – Режим доступу: <https://mru-journal.com.ua/index.php/mru/article/view/296>. DOI: <https://doi.org/10.31996/mru.2020.4.28-38>

Submitted February 03, 2021

Accepted March 05, 2021

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

UDC 553.98:550.812

**Igor Bagriy,**

DSc (Geology), Professor, Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine,  
55-b O. Honchara St., Kyiv, 01054, Ukraine,  
e-mail: [bagrid@ukr.net](mailto:bagrid@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0001-7280-4065>;

**Viktor Alokhin,**

Head of the Department of Geology, Mineral Exploration and Processing, DSc (Geology),  
Donetsk National Technical University, 2 Shibankova Sq., Pokrovsk, Donetsk region, 85300, Ukraine,  
e-mail: [viktor.alokhin@donntu.edu.ua](mailto:viktor.alokhin@donntu.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0002-5450-7195>;

**Iryna Vasylyeva,**

Geologist I category, PhD student,  
Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine,  
e-mail: [vasilieva1982@ukr.net](mailto:vasilieva1982@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-5487-9896>;

**Serhiy Aksyom,**

PhD (Geography), Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine,  
e-mail: [sergy.axem@gmail.com](mailto:sergy.axem@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-8708-9006>;

**Sviatoslav Kuzmenko,**

PhD student, Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine,  
e-mail: [kuzma.geoua@gmail.com](mailto:kuzma.geoua@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0967-6221>

## HYDROGEN AS AN INDICATOR OF GEODYNAMIC PROCESSES IN COAL-BEARING STRATA

**Formulation of the problem.** The problem of developing and implementing exploration technology that will ensure the protection of mine workings and prevent catastrophes in the development of coal deposits is especially relevant now, when the issue of environmental protection and safety at coal mines is very acute.

**Analysis of recent research and publications.** The idea of degassing of the Earth as a global process of its self-organization was developed by V.I. Vernadsky in a number of works published in 1911, 1912, 1924. This concept has had and continues to have a powerful growing influence on modern Earth sciences. The idea of the key role of hydrogen in degassing of the Earth is developed in the works of V.M. Larin, F.A. Letnykov, A.A. Marakushev, V.V. Khmelyovska, A.V. Shcherbakov, N.D. Kozlova, Yu.A. Kolyasnikov, V.M. Shestopalov, V.I. Starostenko, A.N. Ponomarenko.

**The purpose of the article is:** analysis of the current state of coal mining in Ukraine and in the world as a whole; substantiation of the possibility of using the technology of safe search for hydrogen in minefield development zones.

**Presentation of the main research material.** The new development of safe exploration technology for coal deposits, proposed by the authors, will allow to track in advance, to identify places of possible manifestations of gas-dynamic phenomena and to make operational decisions to eliminate them. The technology is based on the use of exploratory gas-geochemical methods for mapping the places of gas-hydrogen accumulations and together with a set of geological and geophysical methods allows to allocate areas of possible emergency processes in the development zones of mine fields. On a large massif of field work of areal and profile surveys, the feasibility of using search technology has been proven to justify the use of advance degassing wells to prevent uncontrolled explosive processes and technical disasters. The proposed technology has been tested at numerous mining sites in the process of exploration and environmental research in areas of operating and developed mine fields.

**Conclusions.** For the first time in the world practice, new approaches were proposed and substantiated to change the safety paradigm of coal mining, which will prevent the manifestations of unpredictable GDP and the associated material and human losses.

Analysis of the results of a complex of fundamental and applied research at coal mining facilities allows, according to the proposed technology, to identify and map the studied areas of abnormal hydrogen concentrations, their characteristics and use it as reliable markers for operational decisions for safe mining by laying advance degassing wells, which will ultimately make emergency GDP impossible.

The expediency of application of the proposed technology for substantiation and allocation of geodynamic active and stable zones and blocks promising for industrial exploration of hydrocarbons, determining the locations of possible manifestations of GDP and complex making operative decisions for safety of mining works is proved. And, unfortunately, the research carried out by scientists and the results obtained have

not yet found worthy support from the President of Ukraine, state line ministries, commercial structures and the Academy of Sciences.

**Keywords:** search technology, mine fields, hydrogen, gas - dynamic phenomena, degassing, safety.

#### **References**

1. Vernadsky V.I. (1960). *Selected Works*. Moscow: publishing house of the USSR Academy of Sciences, 422.
2. Semenenko N.P. (1990). *Oxygen-hydrogen model of the earth*. Kiev: Naukova Dumka, 246.
3. Voitov G.I., Osika D.G. (1982). *Hydrogen respiration of the earth as a reflection of the features of the geological structure and tectonic development of its megastructures*. *Proceedings of the Geological Institute*. Makhachkala, 26, 7-29.
4. Marakushev A.A., Marakushev S.A. (2008). *Hydrogen respiration of the earth – its origin, geological and biological consequences*. *Alternative energy and ecology*, 57, 152-170.
5. Bagriy I.D., Kuzmenko S.O., Naumenko U.Z., Zupal S.D. (2019). *New technology for exploration of hydrogen accumulations and forecast of geodynamic phenomena*. *13th International Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment* Kyiv, Ukraine, 1-4.
6. Bagriy I.D., P.F. Gozhik, A.A. Repkin, S.A. Kuzmenko, A.A. Loktiev, V.G. Semenuk. (2019). *Rationale of search technology on hydrogen and geodynamic phenomena (oil and gas regions, minefields)*. *Geol. zhurn.*, 2 (367), 18-28. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2019.2.169931>
7. Bagriy I.D., Kuzmenko S.A. (2019). *Scientific substantiation of the spatial distribution and mapping of anomalous manifestations of hydrogen – the energy raw material of the XXI century – in the oil and gas structures of Ukraine and the prevention of geodynamic phenomena*. *Geol. zhurn.*, 1 (366), 59-77. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2019.1.159241>
8. Bagriy I.D., Naumenko U.Z., Maslun N.V., Dubosarsky V.R., Zhalovsky V.M., Maryukhno V.M. (2017). *Modern scientific approaches to the development of ecologically oriented technologies for exploration of hydrocarbon and groundwater deposits*. *Fourth International Scientific and Practical Conference "Subsoil Use in Ukraine. Investment Prospects"*. Ukraine, Truskavets, 62-64.
9. Gladun V.V., Dovzhok T.Ye., Yevdoschuk M.I. (2000). *Independent object of hydrocarbon exploration in the Dnieper-Donetsk gas and oil region*. *Oil and gas industry*, 5, 6-9.
10. GOST 23781-87. *Combustible natural gases. Chromatographic method for determining the component composition*, 11.
11. Demyanenko I.I. (2004). *Problems and optimization of oil and gas prospecting and exploration works at the objects of the Dnieper-Donetsk basin*. Chernihiv: State Center for Science, Innovation and Informatization, 220.
12. Porotov G.S. (2006). *Mathematical modeling methods: Textbook*. St. Petersburg State Mining University (Technical University), 223.
13. Porfiryev V.B., Krayushkin V.A., Klochko V.P., Ponomarenko M.I., Palamar V.P., Lushpey M.M. (1982). *A new direction of geological exploration in the Akhtyrka oil and gas production area of the Dnieper-Donetsk depression*. *Geol. Journ.*, 4, 4, 1-11.
14. Ryaboshtan Yu.S. (1980). *On the content and tasks of structural-geodynamic mapping during prospecting and exploration works at hydrothermal-type deposits*. *Sedimentary rocks and ores*. Kiev, Nauk. Dumka, 126-135.
15. Sokolov V.A. (1971). *Geochemistry of natural gases*. M., Nedra, 336.
16. Sollogub V.B. (1986). *Lithosphere of Ukraine*. Kiev, Nauk. Dumka, 184.
17. Soyak L. (2003). *Separation and identification of isomeric hydrocarbons by capillary gas chromatography and its combinations with mass spectrometry and FTIR spectroscopy*. *Rus. chem. Journ. (J. of the Russian Chemical Society named after D.I. Mendeleev)*, XLVII, 2, 51–69.
18. Pearson E.S., Hartley H.O. (1972). *Biometric tables for Statistics*. Cambridge, University Press, 634.
19. *Geological Journal*. Institute of Geological Sciences. Available at: <http://geojournal.igs-nas.org.ua/article/view/9967>. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2018.2.133461>
20. *Mineral resources of Ukraine*. Ukrainian state geological research institute: <https://mru-journal.com.ua/index.php/mru/article/view/296>. DOI: <https://doi.org/10.31996/mru.2020.4.28-38>

UDC 56.545

*Nikolai Anatoliyovich Berlinsky,*

DSc (Geography), Professor, Head of Oceanology and Marine Management Department,  
Odesa State Environmental University, 15 Lvivska St., Odesa, 65016, Ukraine,  
e-mail: [nberlinsky@ukr.net](mailto:nberlinsky@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-4576-4958>;

*Maksym Oleksandrovich Sahaidak,*

PhD Student, Oceanology and Marine Management Department,  
Odesa State Environmental University,  
e-mail: [sahaidak-ma@ukr.net](mailto:sahaidak-ma@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-2942-7625>

## HAZARDOUS PHENOMENA IN THE SLIDES ZONE OF THE UKRAINIAN SECTION IN AZOV SEA

*М. А. Берлінський, М. О. Сагайдак. НЕБЕЗПЕЧНІ ЯВИЩА У ЗСУВНІЙ ЗОНІ УКРАЇНСЬКОЇ ДІЛЯНКИ АЗОВСЬКОГО МОРЯ. Довготривалі спостереження за зсувними процесами в Україні свідчать про стабільні зсувні процеси на узбережжі Чорного і Азовського морів з активізацією в осінньо-весняний період. Активізація зсувів відбувається під впливом техногенних та природних факторів, з яких найбільш суттєвим є абразія берегів. Суть роботи полягає в оцінці факторів, відповідальних за зміни прибережної зони Азовського моря в сучасний період, таким чином, мета роботи - визначення причин формування динамічно нестабільних ділянок берегів і можливості захисту берегів, предмет - зсувні процеси, як результат абразії берегів, об'єкт - мінливість природних і антропогенних умов українського узбережжя Азовського моря. У береговій зоні Азовського моря в цілому виявлено циклічність різного ступеня швидкості абразії від 1 до 4 м·год<sup>-1</sup> (у виняткових випадках до 15 м в рік). Високі швидкості руйнування берегів зафіксовані в періоди 2004-2005 та 2013-2014 рр., що пов'язано зі збільшенням повторюваності нагінних вітрів і хвилювань, катастрофічних підйомів рівня на південній ділянці моря і падінь рівня – на північному. Сильні згони та нагони не тільки порушують нормальну роботу цілого ряду промислових і виробничих об'єктів, а й іноді набувають характеру стихійних лих. При значних підйомах рівня можливе затоплення портів, зокрема причалів, руйнування гідротехнічних споруд, складських приміщень, житлових будівель. У східних районах азовського узбережжя України відзначається дефіцит наносів і відзначена висока ступінь мінливості абразійної форми прибережно-морського рельєфу, а в західних і північно-західних формується надлишок наносів. З 2007 року по теперішній час середньорічні величини перевищення рівня Азовського моря над затокою Сиваш збільшилися до 10-13 см.*

**Ключові слова:** Азовське море, зсувна зона, абразія і седиментація, мінливість рівня моря.

*Н. А. Берлинский, М. А. Сагайдак. ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ОПОЛЗНЕВОЙ ЗОНЕ УКРАИНСКОГО УЧАСТКА АЗОВСКОГО МОРЯ. Долговременные наблюдения за оползневыми процессами в Украине свидетельствуют о стабильных оползневых процессах на побережье Черного и Азовского морей с активизацией в осенний и весенний периоды. Активизация оползней происходит под влиянием техногенных и природных факторов, из которых наиболее существенным является абразия берегов. Суть работы состоит в оценке факторов, ответственных за изменение прибрежной зоны Азовского моря в современный период, таким образом, цель работы – определение причин формирования динамически нестабильных участков берегов и возможности защиты берегов. Предмет - оползневые процессы, как результат абразии берегов, объект – изменчивость природных и антропогенных условий украинского побережья Азовского моря, объект – изменчивость природных и антропогенных условий украинского побережья Азовского моря. В береговой зоне Азовского моря в целом выявлена цикличность различной степени скорости абразии от 1 до 4 м·год<sup>-1</sup> (в исключительных случаях до 15 м в год). Высокие скорости разрушения берегов зафиксированы в периоды 2004-2005 и 2013-2014 гг., что связано с увеличением повторяемости нагонных ветров и волнений, катастрофических подъемов уровня на южном участке моря и падений уровня – на северном. Сильные згоны и нагоны не только нарушают нормальную работу целого ряда промышленных и производственных объектов, но и иногда приобретают характер грозных стихийных бедствий. Установлено, что в восточных районах азовского побережья Украины отмечается дефицит наносов и отмечена высокая степень изменчивости абразионной формы прибрежно-морского рельефа, а в западных и северо-западных формируется избыток наносов. С 2007 года по настоящее время среднегодовые величины превышения уровня Азовского моря над заливом Сиваш увеличились до 10–13 см.*

**Ключевые слова:** Азовское море, оползневая зона, абразия и осадконакопление, изменчивость уровня моря.

**Problem statement.** According long-term data analyses under the slides zone in Ukrainian part of the Azov sea sustainable processes had been marked. Landslides are most active in autumn and spring. The activation of landslides occurs under the influence of man-made and natural factors. The most significant factor is coastal abrasion [1]. As a result of landslide processes, the infrastructure of the sea coast, civil buildings and port facilities are destroyed, and the recreational zone is degraded.

The essence of the work is to evaluate the factors responsible for changing the coastal zone of the Azov Sea in the modern period, therefore, **the purpose of the work** is to determine the reasons for the

formation of dynamically unstable sectors and the possibility of protecting the shores, **the subject** is landslide processes, as the result of the abrasion of the shores, **the object** is the variability of the natural and anthropogenic conditions of the Ukrainian coast of the Azov Sea in the area of interaction between the sea and land, or, using ecological and biological terminology, the so-called interstitial area of the sea, which is also very important from the point of view of preserving the native hydrobionts and the development of hydrobiological processes.

The study of the current state of the Ukrainian coast of the Sea of Azov is absolutely necessary. At present, negative trends are developing in the pro-

cess of deformation of the coastal part of the sea. Understanding of their causes will prevent significant damage to the infrastructure of the region by natural factors, in particular climatic, and possible man-made impacts. It is an important condition for the development of the economy, the recreational potential of the region and increasing the social level of the population.

**Review of previous publications.** The scientific literature notes modern climate changes in the atmosphere, which have led to changes in the ocean climate also. These changes affected not only the air temperature and precipitation, the temperature and salinity of sea waters, but also the hydrometeorological regime of the coastal zone and the water balance in the Black and Azov Seas. The rise in sea level has intensified over the past decades. All these changes found a response in the coastal zone, which reacted to them and acquired the corresponding trends. The impact of anthropogenic and natural factors affected to the composition of sea water of Ukraine and ultimately influenced to the nature of the flora and fauna on the coastal zone. The native characteristics of the coastal zone as an integral part of the World Ocean and its subdivisions, including the Black and Azov Seas, began to change. At the same time, long-term observations of landslide processes in Ukraine indicate to the development of stable landslide processes on the coast of the Black and Azov Seas with their activation in the autumn-spring period [1-4].

Since 2011 the annual reports "National Report on Technogenic and Natural Safety in Ukraine" of State Service of Ukraine for Emergency Situations is published by landslides in the coastal zone of the Azov Sea, the analysis of which was used in the present work. In addition, the expeditionary studies of the Black and Azov seas coastal zone are made by the staff of the Department of Physical Geography and Natural Management of the Odessa National University and researchers of the Institute of Sciences of the Earth of the Southern Federal University of Rostov on Don. The results of observations indicate the need to seriously attract attention to the problem of safety and rational use of the coastal zone of the sea, in particular partial decision with the help of artificial coastal hydroconstructions.

**Previously unresolved parts of a common problem. Methods.** It should be noted that there has been a sharp decline in thematic studies of the sea coast in the last five years. This is most likely due to economic reasons, i.e. reduction of targeted funding and, and lack of modern equipment in local research centers. In fact, this work is the first attempting to analyze the available retrospective material using modern satellite monitoring data to assess the prospects for the development of special nodes on the coast of the Azov Sea. To restore this gap, the physi-

co-geographical and geomorphological data of the studying area were used, that including the adjacent coast, which is under the direct influence of the Azov Sea. A comparative analysis of modern hydrometeorological conditions, including the dominant influence of wind activity and sea level fluctuations, has been carried out. Images from Digital Globe's Earth remote sensing satellites and GNSS observations on the geodetic network were studied. Retrospective data of bathymetric surveys, using GIS technologies, standard methods of statistical data processing and national reports on the state of technogenic and natural safety in Ukraine were used. For the analysis of sea level, data from the tide gauge of the State Emergency Service of Ukraine installed in the port of Mariupol were used. The monitoring under the dynamics of landslides, a geodetic network was developed (points were laid for centering the GNSS receivers) in order to identify the exact values of the soil displacement.

**Results and discussing.** Among the technogenic factors influencing to the processes of sedimentation in the Azov Sea at the present stage, it is necessary to highlight the regulation of river runoff and emissions of pollutants, which cause the restructuring of the ecosystem of the reservoir. Industrial and agricultural production, the activities of port services, shipping and dredging, dumping, and recreational using of the coastline also determine the diverse and intensive input of man-made material into the water area (fig. 1). The volumes of the incoming technogenic material are comparable to the volumes of modern natural sedimentation, and sometimes exceed it [5]. At the same time, the modern state of the shores of the Azov Sea, as well as the Black Sea, is characterized by the predominance of abrasion processes. The shores, which are composed mainly of loess-like loams, underlain by Scythian clays, Khaprovsky and Tanais sands, are subject to destruction.

This is how the balance of flow and sedimentation is formed at present, an acute deficit of sediments, which developed during the Holocene, is becoming more and more evident [6-9]. As a result, the main amount of wind-wave energy is spent not on sediment movement, but on changing the abrasion forms of the coastal-sea relief.

On the other hand, the shores of Ukraine are mainly composed of sedimentary rocks of the Neogene-Paleogene age. They are represented by clayey rocks, clays, loams and sandy loams, which noticeably react to moisture, undergo disintegration and dissolution. Some of the rocks are represented by rock varieties, mainly limestones (shell, bryozoan, oolitic), partially – sandstones, shales and igneous rocks. They are subject to abrasion and dissolution. In many areas, the rock layers are crumpled, diluvial

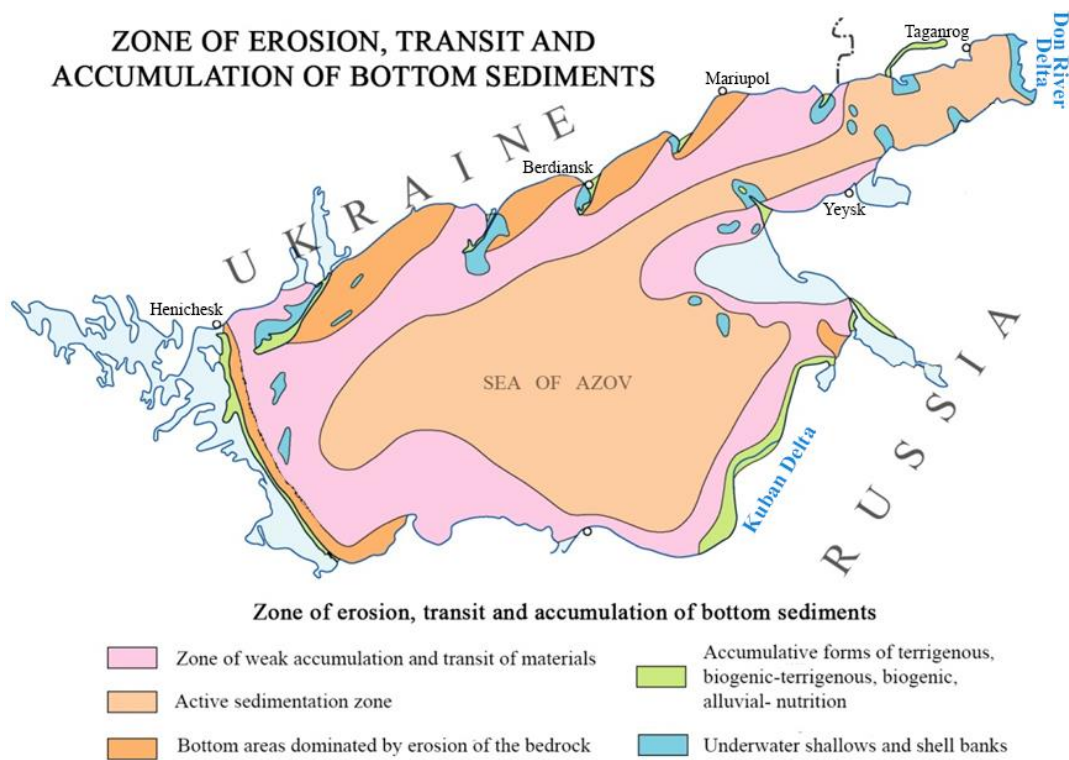


Fig. 1. Zones of erosion, transit and accumulation of bottom sediments, according to [7]

deposits are widespread [6, 7]. Therefore, it is necessary to take into account that the strength of rocks of IV-V classes prevails in terms of the degree of abrasion resistance, on which not only the abrasion rate depends, but also the lithodynamic abrasion ability. In this regard, in reality, it was a typical natural process during the Holocene period of the formation of the modern coastal zone (fig. 2). The transgression was reflected unevenly along the sea coast. Sea waters moved faster into river valleys and into the bottoms of folds of the earth's crust. As a result, ingression bays were formed, which later

turned into estuaries and lagoons. The watersheds between them stood on the path of transgression and were subjected to abrasion shear. In the Upper Holocene, an active leveling of the coast began due to the cutting off of bays, estuaries and lagoons by barrows, as well as due to the abrasion of cliffs. Such a general abrasion cut mobilized a significant amount of sedimentary material, which was spent on the formation of barrows, spits and terraces of coastal-marine origin. In some areas, these forms are composed of shell material, in particular, the majority – on the Azov Sea (Arabat Strelka, "Azov type" spits).

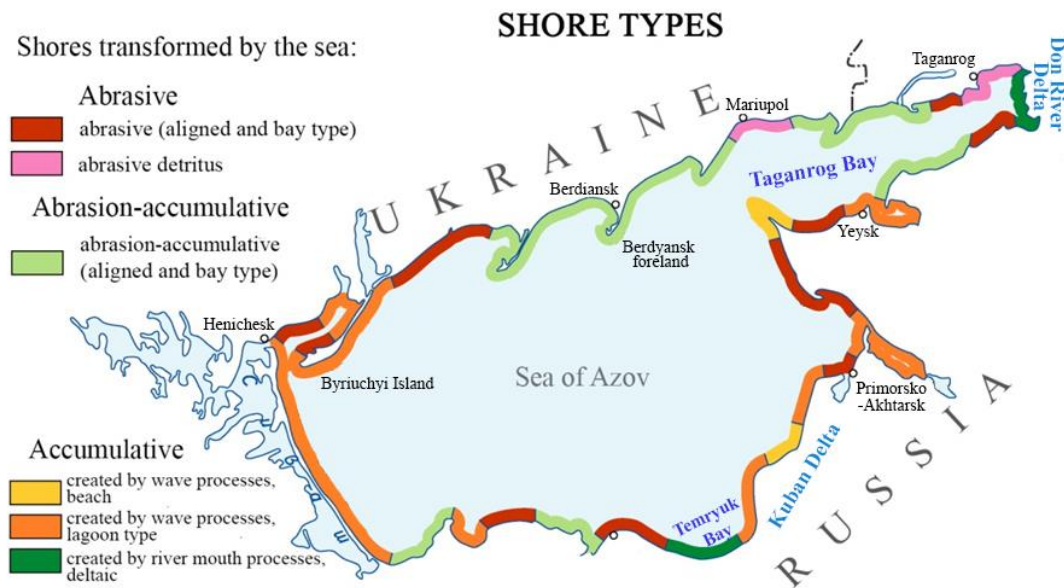


Fig. 2. Types of banks. According to [7]

The dynamics of the waters of the Azov Sea forms marine accumulative landforms as a result of the accumulation process, i.e. accumulation and sedimentation of suspended matter. These formations include numerous spits of the Azov Sea. On the coast, on the slopes of the valleys, detachment and movement of rock masses occur, causing rock falls, talus and landslides, which form gravitational landforms. They are typical for places where a large height difference and the presence of an aquifer, as well as mechanical loads, are combined. Landslides lead to significant destruction and costs in the restoration of various objects. By origin, the basin of the Sea of Azov is a neotectonic depression on the border of the East European platform and the Mediterranean mobile belt. Therefore, the relief of the bottom of the sea and its bays is monotonous: the slope, steep enough for the coast, turns into a flat bottom, in the center of which the greatest depths are observed. The strata of rocks prone to the development of exogenous geological processes in them is composed of Paleogene, Neogene and Quaternary deposits [9]. A large number of spits is a characteristic feature of the shores of the Azov Sea. All braids of this region are located in the zone of faults in the earth's crust, and their direction coincides with the direction of these faults. The zones of deep faults were an important belief-forming factor, since they contributed to the braking of the flow of the nanos and the formation of accumulative forms. There are braids in the east and south. However, there are spits oriented deep into the Sea of Azov only on the northern coast, this is the result of the long-term operation of sea waves and currents that have washed up shell rock along the coast (fig. 3). The velocities of currents in the bottom layer of the sea, caused by the action of storm winds, reaching values of  $0.59 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , can cause intense lithodynamic processes in the coastal zone of the Sea of Azov (fig. 4) [10, 11].

Sea level rising from 1977 to 2002 was linked with an increasing of the western component of the winds, which led to an increase in the frequency of surges, both in the Taganrog Bay and in the Azov Sea itself, as well as an increase of the amount of precipitation brought by western winds from the Atlantic [13]. At the same time, the average annual level of the Azov Sea tended to increase. The maximum average monthly levels were observed in June-July, the minimum – in October-November. In the coastal zone for the whole Azov Sea, a cyclicity of varying degrees of abrasion rate from 1 to 4 m high rates of coastal destruction were recorded in the periods of 2004-2005 and 2013-2014, which is linked with an increasing of the frequency of surge winds and waves, catastrophic level rises in the Southern part of the Sea and level drops in the Northern one [14, 15].

Fluctuations of the level of the Azov Sea are caused by many factors acting simultaneously and, in turn, are often reflected in abrasion processes. At the Sea, two main types of level fluctuations can be distinguished – volumetric perennial and displacement (surge and seiche). The largest range of fluctuations is linked with the upwelling and down welling phenomena. Strong Westerly and Southwesterly winds bring water from the Sea of Azov to the Taganrog Bay and create backwaters at the mouth of the Don. Eastern and Northeastern winds, the most likely in the Taganrog Bay, on the contrary, drive the water away, reducing its volume in the bay. With significant level rises, the flooding of ports, in particular, berths, destruction of hydraulic structures, storage facilities, and residential buildings is possible. With a significant decreasing of the Sea level, the depth in the approach channels decreases, which disrupts the operation of the fleet. Oscillations near the shores of the Taganrog Bay are the largest for the entire Azov Sea. Strong wind surges disrupt the normal operation of a number of industrial facilities and sometimes they take on the character of formidable natural disasters. As an example, private landslides in the Donetsk region should be noted: Mangush and Novoazovsky districts, Priazovsky district in Zaporozhye region. It has become catastrophic phenomena in the area of the Azov Sea coast in the last 10-12 years.

The average long-term sea level in the port of Mariupol, calculated from 1923 to 2007, is 471 cm. The average long-term level for the last 30 years (1977-2007) is 480 cm. The registered maximum level – 600 cm was 07/06/1985, and the minimum – 324 cm 11/11/1993 According to the Navigation of the Black and Azov Seas: 540 cm – critical during the water surge; 560 cm – dangerous during surge; 601 cm - spontaneous during the surge; 430 cm – critical when water driving; 411 cm – dangerous when water driven; 351 cm – spontaneous when water driven. When considering monthly average levels in the port of Mariupol from 1985 to 2016 and plotting a trend line, an increasing in sea level in the coastal area was noted (fig. 5).

In the figure 5, the value of the vertical axis is referred to November 2010, when, according to the State Emergency Service of Ukraine, the landslide process intensified and a new landslide block was formed. At the same time, from January to August 2010, an average monthly elevated sea level was recorded from 486 to 508 cm, and in February and March 2010, the maximum values of the level of 551 and 538 cm, respectively, were recorded, which is practically a critical level during a surge wind. Unfortunately, in the 80-90s of the last century, modern, profile observations were not carried out, and the geodetic network created in this research



Fig. 3. Bottom sediments, according to [7]

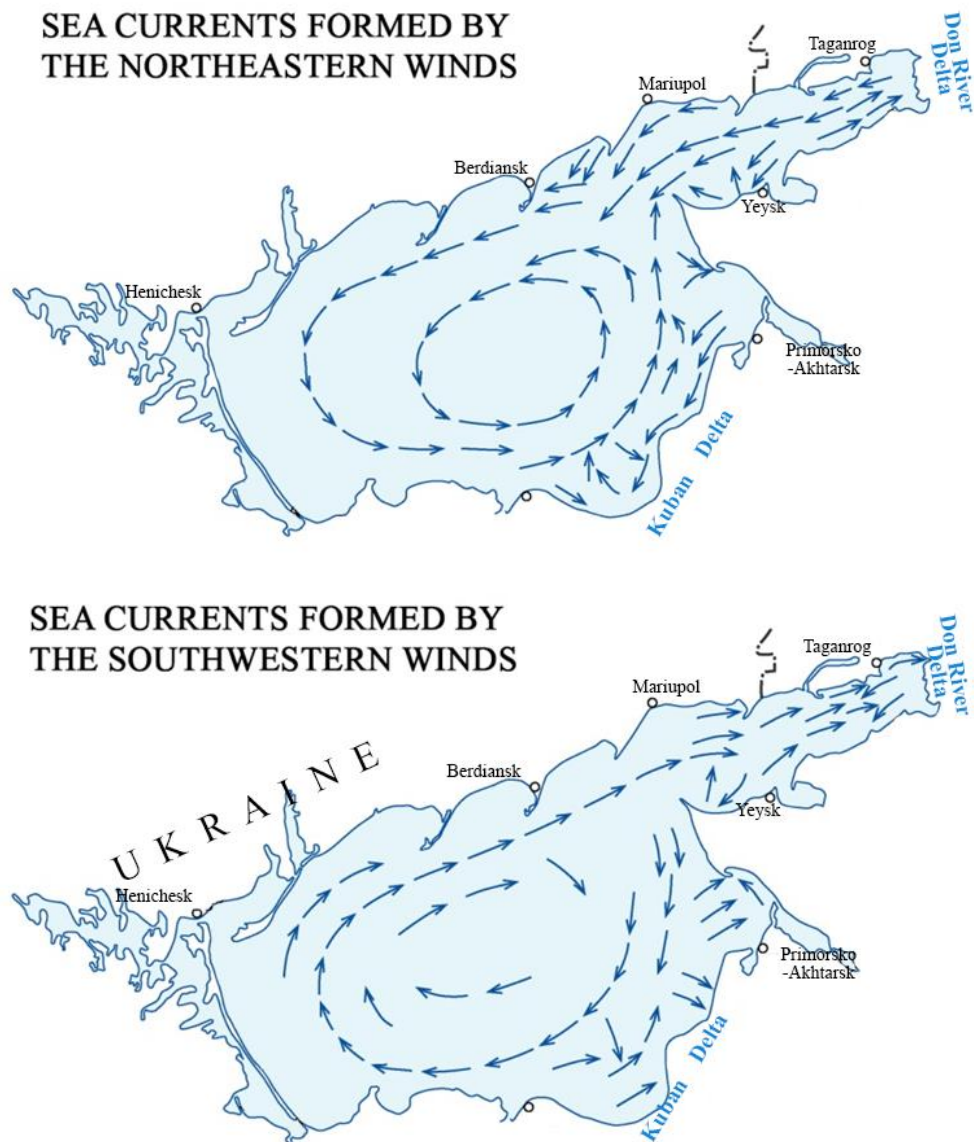


Fig. 4. Wind currents of the Sea of Azov, according to [12]



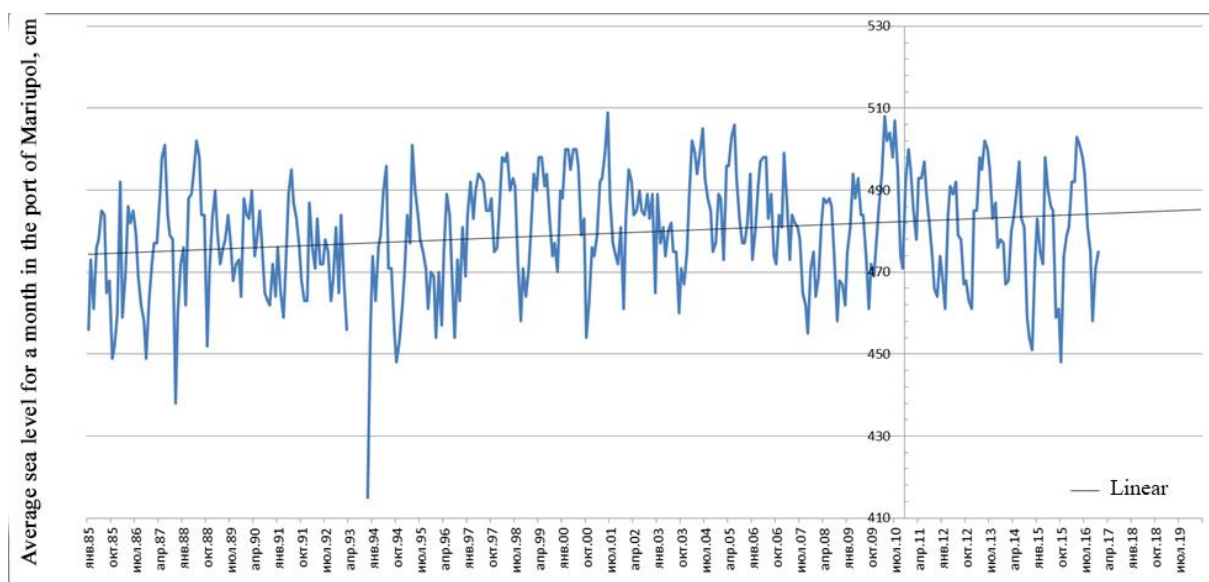


Fig. 5. Dynamics of sea level in the port of Mariupol

area and fixed on the ground by laying centers was absent at that time, which does not allow studying the dependence of processes in the previous terms.

As an example of the practical using and relevance of research, analysis of direct measurements data and graphic material in 2014 showed the sustainable development of landslides, in particular in the area of the village Melekino. At the same time, no direct statistical relationship between surface displacement and coastline erosion was noted. It is quite obvious that the main influence on the development of landslide processes in this area is determined by the erosion of the coastline, including by wind waves with an increasing of the average sea level, where the geodetic network of the Krymgeologiya enterprise was used. But after the events of 2014, these data were lost.

During the studying the images of Earth remote sensing satellites by DigitalGlobe, USGS LandLook and Sentinel, the following places with pronounced coastal dynamic processes (fig. 6) on the Ukrainian coast of the Sea of Azov can be identified, which require special attention: 1). The mouth of the Tonkaya channel (Genichesk, Kherson region); 2). Head of the Biryuchiy Island spit (Kherson region); 3). Mouth of the Molochny liman (Zaporozhye region); 4). Orlovka coastal region (Zaporozhye region); 5). Head of the Obitochnaya spit (Zaporozhye region); 6). Coastal region of Primorsk (Zaporozhye region); 7). Coastal region of Lunacharsky (Zaporozhye region); 8). Coastal region Babakh-Tarama (Donetsk region); 9). Coastal region of Yuryevka (Donetsk region); 10). Coastal region Melekino (Donetsk region); 11). Coastal region Bezymennoe (Donetsk region).

Analyzing of satellite images in the region of both branches (Tonky and Arabatsky), one can no-

tice a sharp increase of sediment input after 2014. One of the possible reasons is the termination of irrigated agriculture in Crimea since 2014 due to the cancellation of water supply to Crimea through the North Crimean Canal, as a result of which water discharges into the Sivash bay sharply decreased.

As for the Western Ukrainian coast, one should pay attention to the Genichesky Strait, which consists of two branches – Tonky and Arabatsky. In recent years, there has been a stable shallowing of the approach channel with the formation of a sediment island along the channel. The depths in the area of the Genichesk port are supported by the runoff from the Sivash.

The decreasing of depths in the area of the Genichesk and Arabat Strait began to be observed after March 1970, since the formation of the Arabat Strait. The current regime in the Genichesk Strait is determined mainly by the longitudinal pressure gradient due to the level difference at its boundaries and the prevailing winds in the region. A feature of the currents in the strait is their unidirectionality. An analysis of the field observations data [17-20] showed that the predominant water transport in the strait is observed from the Azov Sea to the Sivash bay. In April-May period characterized by elevated sea level values, due to the flood of the Don and Kuban, as well as fairly high average monthly wind speeds, the frequency of the Azov currents for 1939-2008 amounted to 61-67%, at average speeds of 23-24 cm·s<sup>-1</sup> and water flow rates of 58-62 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>. Sivash currents are observed in the Tonkiy Strait under the influence of winds from the West. For the period 1939-2008 their repeatability was 36% at an average speed of 16 cm·s<sup>-1</sup>. From 2007 to the present, the average annual values of the sea level rise of the

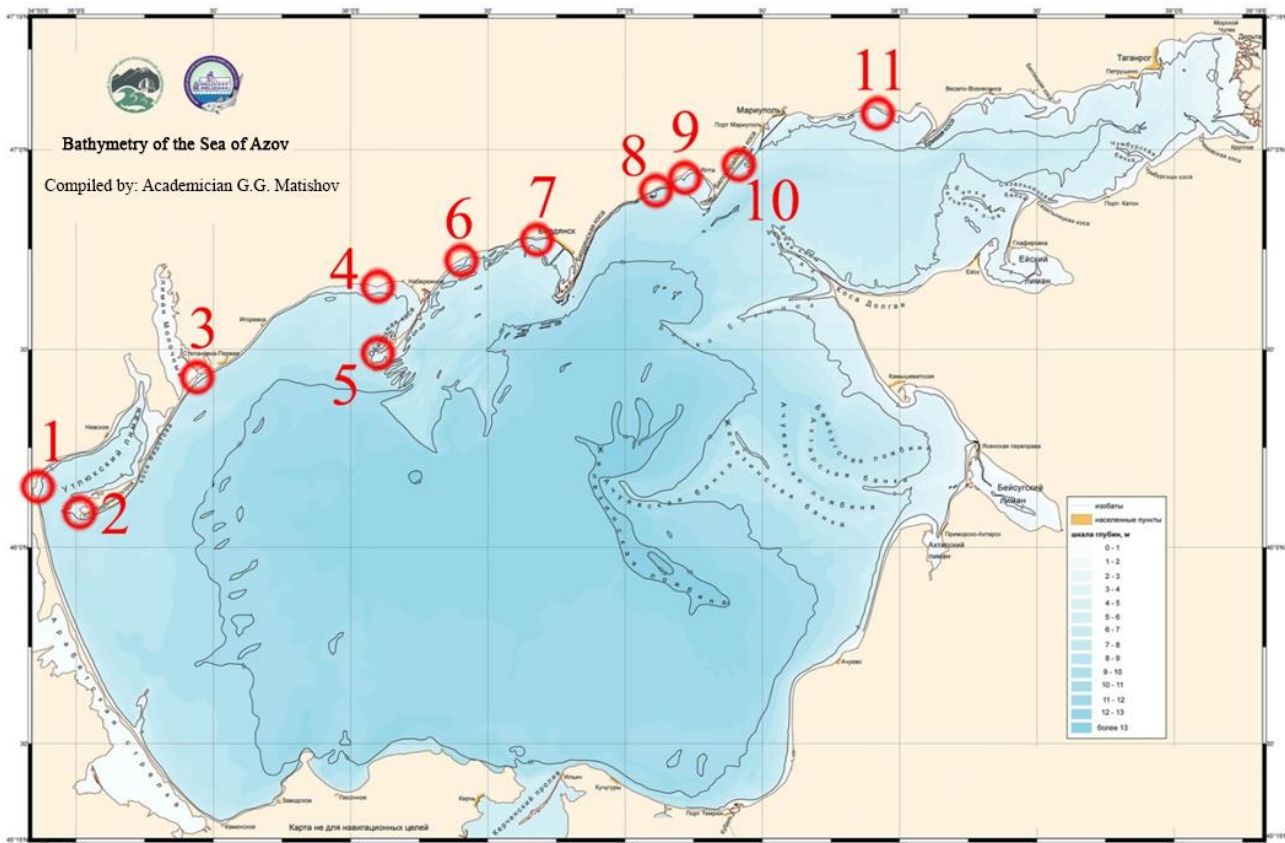


Fig. 6. Locations of pronounced coastal dynamic processes

Azov Sea over the Sivash bay have increased to 10-13 cm. The termination of irrigated agriculture in Crimea after 2014 led to the salinization of the Sivash bay and its shallowing. The increasing of the frequency of currents from the Azov Sea to the Sivash bay links with the transport of sediments in the coastal zone. At the same time the morphology of the shores and straits maintains the natural depths for the given water area in the channel of the water-course. East and North-east winds prevail for the coast and the open part of the Azov Sea. In the initial period, under the action of a moderate North-eastern direction of wind, the direction of the currents coincides with the direction of the wind throughout the sea area. Then, with a prolonged Northeastern wind near the Arabat Spit, a surge of water is noted and two different flow patterns are formed in the sea area. If over the whole Sea the speed of the northeastern wind is uniform or in the Northern part of the Sea it is higher than in the Southern part, then in the Western part of the Sea a cyclonic is formed. Observation of the coastline dynamic in the area of the head of the Biryuchiy Ostrov spit also shows the growth of coastal sediments because of the accumulation of shell rock.

**Conclusions.**

1. In the eastern regions of the Azov coast of Ukraine, there is a deficit of sediment and a high degree of variability of the abrasion form of the

coastal-sea relief is noted, and in the western and north-western regions, an excess of sediment is formed.

2. Sediments are formed by wind-wave currents from the Taganrog Bay towards to the Arabat Spit and then move counterclockwise to the Utlyutsky Liman.

3. The increasing of the frequency of currents from the Azov Sea to the Sivash Bay links with the transport and deposition of sediments in the coastal zone, where the morphology of the shores and straits is a concomitant factor, i.e. maintains natural depths in the stream bed for a given water area. Observation of the coastline dynamic in the area of the head of the Biryuchiy Ostrov spit also shows the growth of coastal sediments because of the accumulation of shell rock.

4. Since 2007 to the present, the average annual values of the sea level rise in the Azov Sea of over the gulf Sivash increased to 10-13 cm, except for the termination of the irrigated agriculture in Crimea after 2014, the gulf became salinized and shallowed.

As for recommendations, one should take into account the possibility of adjusting the regulated factors of anthropogenic impact, dredging and dumping, the expediency of which is based on the materials of seasonal, after the flood wave, monitoring of the investigated area.

### Bibliography

1. Шуйский Ю.Д. Взаимодействие геосфер в зоне сопряжения суши [Текст] / Ю.Д. Шуйский // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон морях. МГИ, 2013. – Вып. 27. – С. 341-352.
2. Ивлиева О.В. Современное состояние абразионных и аккумулятивных берегов Азовского моря [Текст] / О.В. Ивлиева, Л.А. Беспалова, А.Е. Цыганкова, К.С. Сушко, А.Ю. Комогоров // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. МГИ, 2015. – Вып. 1. – С. 40-46.
3. Выхованец Г.В. Эоловый процесс на морском берегу [Текст] / Г.В. Выхованец. – Одесса: Астропринт, 2003. – 368 с.
4. Выхованец Г.В. Экспедиционные исследования береговой зоны Черного и Азовского морей сотрудниками кафедры физической географии и природопользования (государственного) университета [Текст] / Г.В. Выхованец // Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки. – 2015. – Т. 20, вип. 1. – С. 114-130.
5. Ивлиева О.В. Техногенный седиментогенез в Азовском море [Текст] / О.В. Ивлиева // Автореф. дисс. ... д-ра геогр. наук. Ростов-на-Дону, 2007. – 48 с.
6. Копылов С.А. Донные осадки Азовского моря как основания подводных нефтегазопроводов. Автореф. дисс... к.-геол.-минер. наук. – 1984. <http://earthpapers.net/donnye-osadki-azovskogo-morya-kak-osnovaniya-podvodnyh-neftegazoprovodov>
7. Моря России – Азовское море <https://geographyofrussia.com/morya-rossii-azovskoe-more/>
8. Шуйский Ю.Д. Проблемы исследования баланса наносов в береговой зоне морей [Текст] / Ю.Д. Шуйский. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 240 с.
9. Шуйський Ю.Д. Вивчення берегової зони України [Текст] / Ю.Д. Шуйський // Український географічний журнал. – 1993. – No 2. – С. 26-32.
10. Кузьменко Э.Д. Избыточное увлажнение как фактор активизации оползней склонах Киевского водохранилища [Текст] / Э.Д. Кузьменко, А.П. Никитаиш, Е.А. Яковлев, Ю.В. Герук // Geoinformatica, 2017. – No 1, (61). – С. 51-62.
11. Sassa K., Canuti P., Yin Yu. Landslide Science for a Safer / Kyoji Sassa, Paolo Canuti, Yueping Yi // Geoenvironment. – Targeted Landslides. Bücher: Springer Link, Springer, 2014. – Vol. 3. – 717 p.
12. Климатический атлас Азовского моря 2006 NOAA Atlas NESDIS 59. National Oceanic and Atmospheric Administration. <https://www.nodc.noaa.gov/OC5/AZOV2006/DOC/russian.pdf>
13. Shuisky Y.D. Erosion and Coastal Defense on the Black Sea Shores / Y.D. Shuisky // Directions in European Coastal Management. Eds by M.G. Healy & J.P. Doody. – Cardigan: Samara Publ. Ltd (UK), 1995. – P. 207-212.
14. Arkhipkin V.S. Wind waves in the Black Sea: results of a hindcast study / V.S. Arkhipkin, F.N. Gippius, K.P. Koltermfnn, V.A. Surko // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. – 2014. – P. 2883-2897.
15. Oaie G., Seghedi A., Radulelescu V. Natural marine hazards in the Black Sea and the system of their monitoring and real-time warning / G. Oaie, A. Seghedi, V. Radulelescu // Geo-Eco-Marina. – 2016. – No.22. – P. 5-28.
16. Стешенко Е.С. Динамика уровня Азовского моря в современный период. Институт наук о Земле, Южный федеральный университет, Актуальные проблемы наук о земле [Текст] / Е.С. Стешенко, Л.А. Беспалова // Сб. тр. Ростов-Дон. – 2015. – С. 286.
17. Дьяков Н.Н. Водобмен залива Сиваш с Азовским морем через пролив Генический (Тонкий) [Текст] / Н.Н. Дьяков, А.А. Белогудов // Труды ГОИН. – 2015. – Вып. 216. – С.240-253.
18. Дашкевич Л.В. Средние температура воды и соленость Азовского моря – региональные аспекты [Текст] / Л.В. Дашкевич // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. – 2018. – Вып. 3. – С. 14-18. doi: <https://doi.org/10.23885/2500-123x-2018-2-3-14-20>
19. Дашкевич Л.В. Анализ климатических факторов по данным наземных наблюдений и спутниковым снимкам, на примере Таганрогского залива [Текст] / Л.В. Дашкевич, В.В. Кулыгин // Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем: мат-лы Всерос. конф. «Экология. Экономика. Информатика» (п. Дюрсо, 4–9 сентября 2017 г.). Ростов-Дон: Изд-во ЮФУ, 2017. – Т. 1, № 2. – С. 216-226.
20. Dashkevich L.V., Berdnikov S.V. Climatic changes and salinity of the Sea of Azov for 100 years // Proceedings of the 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016 (Albena, 28 June – 6 July, 2016). New York: Curran Associates, Inc., 2016. – Book 3. – Vol. 2. – P. 719-726. doi: <https://doi.org/10.5593/SGEM2016/B32/S15.094>

Submitted October 10, 2020

Accepted March 18, 2021

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

UDC 56.545

*Nikolai Berlinsky,*

DSc (Geography), Professor, Head of Oceanology and Marine Management Department,  
Odesa State Environmental University, 15 Lvivska St., Odesa, 65016, Ukraine,  
e-mail: [nberlinsky@ukr.net](mailto:nberlinsky@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-4576-4958>;

*Maksym Sahaidak,*

PhD Student, Oceanology and Marine Management Department,  
Odesa State Environmental University,  
e-mail: [sahaidak-ma@ukr.net](mailto:sahaidak-ma@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-2942-7625>

## HAZARDOUS PHENOMENA IN THE SLIDES ZONE OF THE UKRAINIAN SECTION IN AZOV SEA

**Formulation of the problem.** According long-term data analyses under the slides zone in Ukrainian part of the Azov sea sustainable processes had been marked. Landslides are most active in autumn and spring. The activation of landslides occurs under the influence of man-made and natural factors. The most significant factor is coastal abrasion.

**Review of previous publications.** It was established that the air temperature and precipitation, the temperature and salinity of sea waters and the hydrometeorological regime of the coastal zone and the water balance of the Black and Azov seas as well depends on climatic changes. The rising of the sea level has intensified over the past decades. These changes found a response in the coastal zone that reacted to them and acquired corresponding trends.

**Purpose** is to determine the reasons for the formation of dynamically unstable sectors and the possibility of protecting the shores on the Ukrainian coast in the Azov Sea, **the subject** is landslide processes, as the result of the abrasion of the shores, **the object** is the variability of the natural and anthropogenic conditions of the Ukrainian coast of the Azov Sea in the area of interaction between the sea and land.

**Methods.** Analyses of images space and temporal dynamic of Earth remote sensing satellites by DigitalGlobe, USGS LandLook and Sentinel were used and also retrospective long term of hydrometeorological data and standard statistical methods.

**Results.** The places (areas) with pronounced coastal dynamic processes on the Ukrainian coast of the Azov Sea were identified, that require special attention: two in the Kherson region, five in the Zaporozhye region and four in Donetsk. In the coastal zone of the Azov Sea the rate of abrasion from 1 to 4 m per year (in exceptional cases up to 15 m per year) was marked. In a period of significant level rises, the flooding of ports, berths, the destruction of hydraulic engineering structures, storage facilities, and residential buildings is possible. Also, during the period of the significant decreasing of the sea level, the already limited depth of the approach channels decreases again, that disrupts the operation of the fleet. **Conclusions.** Investigations of the current state of the Ukrainian coastal zone of the Azov Sea, that is significant importance for the sustainable the economy development, the recreational region's potential and the social level of the population.

It has been established that in the eastern regions of the Azov coast of Ukraine there are a deficit of sediments and a high degree of variability of the abrasion form of the coastal-sea relief is noted, and an excess of sediments are formed in the western and northwestern regions.

**Keywords:** Sea of Azov, landslide zone, abrasion and sedimentation, sea level variability.

### References

1. Shuisky Yu.D. (2013). *Vzaimodeystvie geosfer v zone sopryazheniya sushi [Interaction of geospheres in the land junction zone], Ekologicheskaya bezopasnost pribrezhnoy i shelfovoy zon moryakh. MGI, (27), 341-352. [in Russian]*
2. Ivlieva O.V., Bepalova L.A., Tsygankova A.E., Sushko K.S., Komogorov A.Yu. (2015). *Sovremennoe sostoyanie abrazionnykh i akumulativnykh beregov Azovskogo morya [The current state of the abrasion and accumulative shores of the Sea of Azov], Ekologicheskaya bezopasnost pribrezhnoy i shelfovoy zon moryakh. MGI, (1), 40-46. [in Russian]*
3. Vykhoanets G.V. (2003). *Eolovyy protsess na morskoy beregu [Aeolian process on the seashore]. Odessa, Astroprint, 368. [in Russian]*
4. Vykhoanets G.V. (2015). *Ekspeditsionnye issledovaniya beregovoy zony Chernogo i Azovskogo morey sotrudnikami kafedry fizicheskoy geografii i prirodopolzovaniya (gosudarstvennogo) universiteta [Expeditionary studies of the coastal zone of the Black and Azov seas by employees of the Department of Physical Geography and Nature Management (State) University]. Visnik ONU. Ser.: Geografichni ta geologichni nauki, (20), 114-130. [in Russian]*
5. Ivlieva O.V. (2007). *Tekhnogenyy sedimentogenez v Azovskom more [Technogenic sedimentogenesis in the Sea of Azov]. Avtoref. diss. ... d-ra geogr. nauk. Rostov-na-Donu, 48. [in Russian]*

6. Kopylov S.A. (1984). *Donnye osadki Azovskogo morya kak osnovaniya podvodnykh neftegazoprovodov*. [Bottom sediments of the Sea of Azov as the foundation of underwater oil and gas pipelines], Avtoref. diss... k.-geol.-miner. nauk. <http://earthpapers.net/donnye-osadki-azovskogo-morya-kak-osnovaniya-podvodnyh-neftegazoprovodov> [in Russian]
7. Seas of Russia – Sea of Azov <https://geographyofrussia.com/morya-rossii-azovskoe-more/> [in Russian]
8. Shuisky Yu.D. (1986). Problems of studying the sediment balance in the coastal zone of the seas. L.: Gidrometeoizdat, 240. [in Russian]
9. Shuisky Yu.D. (1993). *Vy`vchennyya beregovoyi zony` Ukrayiny`* [Study of the coastal zone of Ukraine]. *Ukrayins`ky`j geografichny`j zhurnal*, (2), 26-32. [in Ukrainian]
10. Kuzmenko E.D., Nikitash A.P., Yakovlev E.A., Geruk Yu.V. (2017). *Izbytochnoe uvlazhnenie kak faktor aktivizatsii opolzney sklonakh Kievskogo vodokhranilishcha* [Excessive moisture as a factor in the activation of landslides on the slopes of the Kiev reservoir]. *Geoinformatica*, 1(61), 51-62. [in Russian]
11. Kyoji Sassa, Paolo Canuti, Yueping Yin. (2014). *Landslide Science for a Safer Geoenvironment: Vol. 3. Targeted Landslides*. Bücher: Springer Link, Springer, 717.
12. *Klimaticheskiy atlas Azovskogo moray*. (2006). [Climate Atlas of the Sea of Azov] NOAA Atlas NESDIS 59. National Oceanic and Atmospheric Administration. <https://www.nodc.noaa.gov/OC5/AZOV2006/DOC/russian.pdf> [in Russian]
13. Shuisky Y.D. (1995). *Erosion and Coastal Defense on the Black Sea Shores / Directions in European Coastal Management*. Eds by M.G. Healy & J.P. Doody. Cardigan: Samara Publ. Ltd (UK), 207-212.
14. Arkhipkin V.S., Gippius F. N., Koltermfjn K.P., Surko V.A.G. V. (2014). Wind waves in the Black Sea: results of a hindcast study. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 14, 2883-2897.
15. Gheorghe OAIE, Antoneta Seghedi, Vlad Radulelescu (2016). [Natural marine hazards in the Black Sea and the system of their monitoring and real-time warning](#), *Geo-Eco-Marina*, no. 22, 5-28.
16. Steshenko E.S., Bespalova L.A. (2015). *Dinamika urovnya Azovskogo morya v sovremennyy period*. Institut nauk o Zemle, Yuzhnyy federalnyy universitet. Aktualnye problemy nauk o zemle [Dynamics of the level of the Sea of Azov in the modern period. Institute of Geosciences, Southern Federal University. Actual problems of geosciences, coll. of work]. Sb. tr. Rostov-Don, 286. [in Russian]
17. Dyakov N.N., Belogudov A.A. (2015). *Vodoobmen zaliva Sivash s Azovskim morem cherez proliv Genicheskiy*. [Water exchange of the Sivash Bay with the Sea of Azov through the Genicheskiy (Tonkiy) strait], *Trudy GOIN*, (216), 240-253. [in Russian]
18. Dashkevich L.V. (2018). *Srednie temperatura vody i solenost Azovskogo morya – regionalnye aspekty* [Average water temperature and salinity of the Sea of Azov-regional aspects]. *Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Seriya: Geoinformatsionnye tekhnologii i kosmicheskiy monitoring* (3), 14-18. doi: <https://doi.org/10.23885/2500-123x-2018-2-3-14-20> [in Russian]
19. Dashkevich L.V., Kulygin V.V. (2017). *Analiz klimaticheskikh faktorov po dannym nazemnykh nablyudeniy i sputnikovym snimkam, na primere Taganrogskogo zaliva*. [Analysis of climatic factors according to ground-based observations and satellite images, on the example of the Taganrog Bay]. *Sistemnyy analiz i modelirovanie ekonomicheskikh i ekologicheskikh sistem: mat-ly Vseros. konf. «Ekologiya. Ekonomika. nformatika»* (p. Dyurso, 4–9 sentyabrya 2017 g.). Rostov-Don: Izd-vo YuFU (2), 216-226. [in Russian]
20. Dashkevich L.V., Berdnikov S.V. (2016). *Climatic changes and salinity of the Sea of Azov for 100 years*. *Proceedings of the 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016* (Albena, 28 June – 6 July, 2016). New York: Curran Associates, Inc., 3, 2, 719-726. doi: <https://doi.org/10.5593/SGEM2016/B32/S15.094>

**Олександр Леонідович Василенко,**

к. геол. н., доцент, ст. наук. співробітник відділу газових ресурсів

Українського науково-дослідного інституту природних газів,

Гімназійна наб., 20, м. Харків, 61010, Україна,

e-mail: [vasilenko.alexandr@ndigas.com.ua](mailto:vasilenko.alexandr@ndigas.com.ua), <https://orcid.org/0000-0003-4054-6588>

## ГЕОФІЗИЧНА МОДЕЛЬ НАФТОГАЗОНОСНОСТІ ЗОН РОЗУЩІЛЬНЕННЯ ФУНДАМЕНТУ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ

*Розвиток концепції глобальної дегазації Землі може привести до кардинальному перегляду усталених думок щодо прогнозування та пошуку нафтогазових родовищ у фундаменті. Попередній аналіз наявної геолого-геофізичної інформації дозволяє виявити зв'язок між наявністю певних геолого-тектонічних, морфологічних та інших ознак глобальної дегазації зі ступенем ймовірності заповнення цих родовищ вуглеводнями. З огляду на те, що заповнення відбувається по зонах тектонічної активізації, акумуляторами (пастками) вуглеводнів можуть бути зони розущільнення фундаменту. На відміну від класичної картини наявності колектору вуглеводнів у склепіннях антикліналей осадового чохла, зона розущільнення може знаходитися в будь-якій частині структурного блоку фундаменту і, практично, не залежить від речовинного складу. Тому, першим етапом виділення зон розущільнення є проведення гравіметричних і магнітних зйомок із застосуванням різних методик інтерпретації математичної моделі картини хвильового поля з метою визначення джерел його аномалій. Показано, що структура фундаменту в хвильовому полі фіксується на всіх картах залишкових аномалій, а зона розущільнення - тільки на одній. У цьому випадку вона збігається з зоною трансформації осереднення у вигляді мінімуму повного нормованого градієнту, облямованого з обох боків максимумами, що і вказує на можливу наявність колектору вуглеводнів. Результатом цих досліджень є сейсмічний рисунок хвильового поля декомпресійних зон фундаменту. Проаналізовано та узагальнено методику щодо виявлення зон розущільнення та складено геофізичну модель хвильових полів реальних родовищ вуглеводнів в фундаменті, як структур-полігонів. На основі отриманих результатів в якості об'єкта досліджень зон розущільнення проаналізовано Розсошенську антиклінальну структура північного борту ДДЗ.*

**Ключові слова:** флюїди, фундамент, пастка, зона розущільнення, хвильове поле, аномалія, геофізична модель, сейсмічний рисунок, родовище.

**А. Л. Василенко. ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЗОН РАЗУПЛОТНЕНИЯ ФУНДАМЕНТА ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ.** Развитие концепции глобальной дегазации Земли может привести к кардинальному пересмотру устоявшихся мнений по прогнозированию и поискам нефтегазовых месторождений в фундаменте. Предварительный анализ имеющейся геолого-геофизической информации позволяет выявить связь между наличием определенных геолого-тектонических, морфологических и других признаков глобальной дегазации и степенью вероятности восполнения этих месторождений углеводородами. Учитывая, что восполнение происходит по зонам тектонической активизации, аккумуляторами (ловушками) углеводородов могут быть зоны разуплотнения фундамента. В отличие от классической картины наличия коллектора углеводородов в сводах антиклиналей осадочного чехла, зона разуплотнения может находиться в любой части структурного блока фундамента и, практически, не зависит от вещественного состава. Поэтому, первым этапом выделения зон разуплотнения является проведения гравиметрических и магнитных съемок с применением различных методик по интерпретации математической модели картин волнового поля с целью определения источников его аномалий. Показано, что структура фундамента в волновом поле фиксируется на всех картах остаточных аномалий, а зона разуплотнения – только на одной. В этом случае она совпадает с зоной трансформации осреднения в виде минимума полного нормированного градиента, обрамленного по краям максимумами, что и указывает на возможное наличие коллектора углеводородов. Результатом этих исследований является сейсмический рисунок волнового поля декомпрессионных зон фундамента. Проанализированы и обобщены методики по выявлению зон разуплотнения и предложена геофизическая модель волновых полей реальных месторождений углеводородов в фундаменте, как структур-полигонов. На основе полученных результатов в качестве объекта исследований зон разуплотнения проанализирована Розсошенская антиклинальная структура северного борта ДДЗ.

**Ключевые слова:** флюиды, фундамент, ловушка, зона разуплотнения, волновое поле, аномалия, геофизическая модель, сейсмический рисунок, месторождение.

**Вступ.** В даний час інтерес до фундаменту, як нафтогазопромислового об'єкту досліджень, значно зростає [1, 2].

Це пов'язано як з відкриттям промислових скупчень вуглеводнів у фундаменті, так і з виснаженням старих родовищ в осадових породах чохла. Варто відзначити, що в останні роки отримано дані з вертикальної розшаруватості різновікового кристалічного фундаменту платформних областей і існуванню в ньому великих зон розущільнення (ЗР), тріщинуватості і існування тут активних флюїдних систем, до складу яких входять вуглеводні (ВВ) [3]. Нова концепція глобальної дегазації Землі може привести до ка-

рдинального перегляду усталених думок щодо відкриття нафтогазових родовищ у фундаменті [4, 5, 6, 7]. Виходячи з цієї концепції, родовища нафти і газу зон розущільнення фундаменту слід розглядати як "довгограючі" родовища (long-playing fields) декомпресійних зон, але не за кількістю запасів вуглеводнів, а за специфікою їх генезису і постійного поповнення, що значно збільшує термін експлуатації.

Промислову нафтогазоносність фундаменту на сьогоднішній день достовірно встановлено. Родовища вуглеводнів в кристалічних породах відкриті і розробляються на всіх континентах. В даний час відомо більше 450 промислових пок-

ладів нафти, газу та конденсату в фундаменті нафтогазоносних басейнів.

З'явився ряд наукових статей, присвячених складу, віку, будові і нафтогазоносності фундаменту. Серед робіт загального плану треба згадати ґрунтовні публікації Р. Г. Гарецького, А. Е. Шлезінгера, А. Л. Яншина [8], В. Б. Порфір'єва і В. П. Клочка [9], В. А. Краюшкіна [10], А. І. Левтавіна [11], В. Л. Шустера [12, 13], Т. Конинга (Т. Koning) [41, 42, 43] та ін.

Крім того, опубліковано багато робіт, що стосуються складу і нафтогазоносності фундаменту конкретних територій, з яких треба відзначити унікальне родовище Білий Тигр на континентальному шельфі півдня В'єтнаму [14].

Родовище Білий Тигр і ряд інших (Дракон, Чорний Лев) відкриті у Кіулонзькій западині шельфу Південно-Китайського моря. У 1986 році отримано промисловий приплив нафти із мезозойського кристалічного фундаменту. Поклади нафти зосереджені в кавернозно-тріщинуватих, розущільнених резервуарах гранітного масиву і пов'язані з виступами кристалічного фундаменту, ускладненими тектонічними дислокаціями. Нафтогазоносність підтверджена до глибини 4350 м. Дебіт свердловин перевищує 1000 т/добу. Нафта включає 157-211 м<sup>3</sup>/т газу [15, 16, 17].

Звертає на себе увагу той факт, що поклади найбільших в світі родовищ ВВ в фундаменті приурочені до гранітоїдних порід, вірніше до зон розущільнення цих порід, включаючи кору вивітрювання.

Гранітоїди виявлені в фундаментах всіх платформ, які вони і утворюють спільно з іншими породами, а в деяких областях вони майже цілком складають фундамент.

Аналіз матеріалів більш ніж 100 родовищ ВВ в фундаменті включно з гранітоїдами та їх корами вивітрювання показав, що них приурочено 39,5 % покладів. У метаморфічних порід їх 29 %, у карбонатних порід їх 14 % а у вулканогенних – 12,5 % [18]. Якщо врахувати обсяг покладів, то вийде, що до гранітоїдів приурочено більш <sup>3</sup>/<sub>4</sub> запасів ВВ в фундаменті [19]. При цьому поклади в гранітоїдах часто мають велику площу і висоту. Так, родовище Хиогтон-Панхедл має площу 60 × 100 км, а на родовищі Білий Тигр товщина поверху нафтоносності перевищує 1,5 км. З огляду на це, гранітоїди є найбільш вірогідною групою порід у фундаменті, які можуть містити великі скупчення нафти і газу. Таким чином, породи фундаменту є об'єктом для специфічного нетрадиційного пошуку і розвідки покладів вуглеводнів.

Не є винятком і структурно-тектонічна будова Північного борту Дніпровсько-Донецького авлакогену (ДДА), в межах якого встановлена

промислова нафтогазоносність архейско-нижньо-протерозойського кристалічного фундаменту (КФ) [20, 21, 22, 23, 24]. Тут відкрито понад 30 родовищ з покладами в нижній частині редукованого осадового чохла. Однак і тут ефективність глибокого буріння на нафту і газ в КФ є невеликою. Для свердловин, що розкрили фундамент загальний коефіцієнт успішності пошуку ВВ не перевищує 0,15, для осадового комплексу Дніпровсько-Донецької западини він становить 0,33, а для окремих районів (зокрема, в Харківському районі) досягає 0,5. Тут промислові притоки нафти, газу і конденсату отримані з різних розущільнених кристалічних порід на Хухринському, Юліївському (переважно амфіболіти), Наріжнянському, Скворцівському та ін. (переважно гранітоїди з реліктами зеленокам'яних порід) родовищах [25]. Настільки великою є різниця ефективності пошуково-розвідувальних робіт на нафту і газ в породах фундаменту, зазвичай пояснюють відсутністю загальноприйнятих науково обґрунтованих уявлень про генезис нафти і газу (обґрунтуванням пошуково-розвідувальних робіт на нафту і газ в КФ займалися дослідники, серед яких були представники мантіїно-абіогенної концепції і прихильники осадово-міграційної "теорії") [1].

Проте, незважаючи на протилежність в цих концепціях, єдиним об'єднуючим фактором є наявність колектору, не в класичному розумінні, а у зв'язку зі специфічним колектором, пов'язаним з пастками зон розущільнення в фундаменті [26, 27].

Найбільш перспективний шлях такого підходу – вивчення структур-полігонів з промисловими скупченнями ВВ у певного типу породах фундаменту з наявністю зон розущільнення і встановлення характерного сейсмічного рисунку аномалій геофізичних полів з подальшим перенесенням цих закономірностей на досліджуваний об'єкт. Саме таким об'єктом є Розсошенська структура північного борту ДДЗ.

**Аналіз попередніх досліджень.** Нафтогазоносність в фундаменту визначається, як правило, трьома основними факторами виділення зон розущільнення фундаменту: структурно-тектонічним, речовим і хвильовим. Якщо перший визначається структурним рисунком, а другий – речовим складом, то третій фактор є найбільш складним для інтерпретації хвильового поля і отримання сейсмічного рисунку газонасної ЗРФ. На відміну від класичної картини наявності колектора вуглеводнів в склепіннях антикліналей осадового чохла, зона розущільнення в фундаменті може знаходитися в будь-якій частині його структурного блоку і, практично, не залежить від складу кристалічних порід. Але їх речовинний склад дуже впливає на нафтогазоносність.

Таким чином, під зоною розуцільнення фундаменту слід розуміти певний обсяг внутрішнього простору фундаменту, який повністю або частково втратив свої структурно-текстурні особливості внаслідок геодинамічного впливу і епігенетичного перетворення. Всім цим перетворенням характерні зони підвищеної тріщинуватості і каверзності, тобто втрата щільності та, як наслідок, зміна хвильового поля над цими зонами.

Тому, першим етапом виділення зон розуцільнення є проведення гравіметричних і магнітних зйомок і застосування різних методик по інтерпретації отриманої математичної моделі картини хвильового поля з метою локалізації джерел його аномалій [30]. Прогнозування колекторів в кристалічних утвореннях ґрунтується на характері загасання енергії в тріщиникавернозних породах. А по динамічних параметрах хвильових полів з використанням сейсмічного рисунку передбачаються ділянки з розуцільненою покривельною частиною фундаменту [24].

Пошуки флюїдних резервуарів в кристалічних породах вимагають застосування більш широких методик проведення геофізичних робіт з метою моделювання структурно-хвильових характеристик зон розуцільнення фундаменту. І якщо їх структурним показником поширення ЗРФ виступає структурний рисунок, то в хвильовій картині як індикатор епіцентру, свого роду "склепіння" цих зон, де як правило фіксуються найвищі показники фільтраційно-ємнісних властивостей, виступає *сейсмічний рисунок*. Застосування моделювання та алгоритмів обчислювальної математики в геофізиці призвело до появи нових ефективних і економічних методик пошуків різних родовищ корисних копалин, в тому числі – нафти і газу. Методику пошуків джерел аномалій на денній поверхні за допомогою розрахунку повного нормованого градієнту (ПНГ) гравітаційного або магнітного поля запропоновано в різних роботах [31, 32]. Зазначений підхід є одним з найбільш перспективних напрямків поширення інтерпретації даних геофізичної аеророзвідки за допомогою фільтраційних процедур. Методика цікава не тільки своєю економічністю, але і незначною (в порівнянні з підходом "залишкових аномалій") апріорною інформацією. В рамках використання рядів Фур'є для потенційних полів, цей метод є варіантом смугового фільтра, налаштованого відповідно до заданої кількості ланок ряду. Сутність його полягає в тому, що повний нормований градієнт В. М. Березкіна (1988) досягає максимальних значень саме в особливих точках потенційного поля, яке розповсюджується з денної поверхні в глибинний напівпростір [33].

Застосування даної методики для випадку магнітного поля дозволяє визначати магнітні вкраплення у приповерхневому шарі порід, які ідентифікують поклад вуглеводнів.

Кількісна реалізація цього підходу ґрунтується на методі "об'єкт – математична модель – кінцево-різницева апроксимація – обчислювальний алгоритм – програма – обчислювальний експеримент – аналіз результатів (побудова системи ізоліній фільтра)" [34, 35], де розглядаються двовимірний і тривимірний випадки. Фактично, це є накладанням звісно-різницевого фільтра повного нормованого градієнту на потенційне (гравітаційне або магнітне) поле.

В процесі вивчення об'єктів структурного типу методом "особливих точок", розроблено методику прямих пошуків нафти за даними гравірозвідки в сприятливих умовах, що базується на способі нормування функцій [31]. На рис. 1 зображені карти ізоліній повного нормованого градієнта над моделями як непродуктивної структури так і нафтогазового родовища. Незважаючи на те, що графіки прискорення сили тяжіння для цих моделей якісно не відрізняються один від одного, результати застосування методу "особливих точок" для них істотно різняться. В однорідній непродуктивній структурі "особлива точка", локалізована способом нормованих функцій, розташовується приблизно в її центрі мас. Для неоднорідної структури, верхня частина якої містить нафту або газ, розуцільнення порід призводить до зміни карти повного нормованого градієнту в вертикальній площині. Між двома максимумами, що характеризують структуру, з'являється мінімум, пов'язаний з зоною тріщинуватості. Зазвичай це явище може бути пов'язане і з неоднорідністю самої структури, що практично повсюдно призводить до ускладнення графіка аномалії сили тяжіння локальним мінімумом. Таким чином, перспективними на виявлення родовищ вуглеводнів можуть бути структури, що відзначалися локальними максимумами прискорення сили тяжіння і проявом розуцільнення в картах повного нормованого градієнта.

На рисунку 2 представлені результати застосування даної методики на нафтогазовому родовищі Жетибай (Казахстан), де при числі гармоніки  $N = 30$  в області покладу спостерігається мінімум повного нормованого градієнта, що облямований по краях максимумами. Це вказує на можливу наявність колектора вуглеводнів у вигляді зон розуцільнення, ліворуч від якої знаходиться подібна область, де відкрито нове родовище – Південний Жетибай [33].

Для локалізації зон розуцільнення може бути використано кореляційний метод поділу геофізичних аномалій [36], який є природним уза-



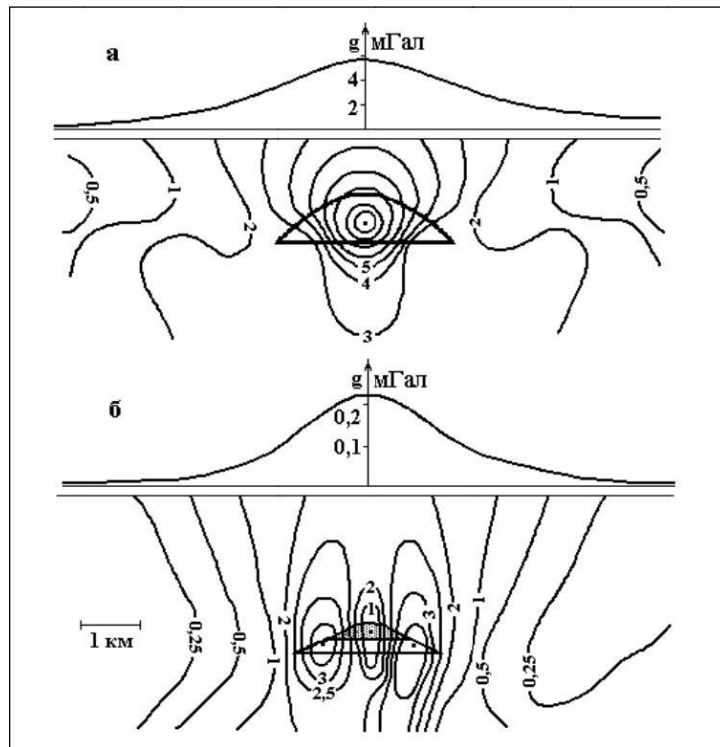


Рис. 1. Аномалії сили тяжіння і карти ізоліній повного нормованого градієнта  $\Delta g$  у вертикальній площині: а – для однорідної непродуктивної структури, б – для структури, верхня частина якої містить розуцільнення за рахунок нафтогазового родовища (за В. М. Березкіним, 1988)

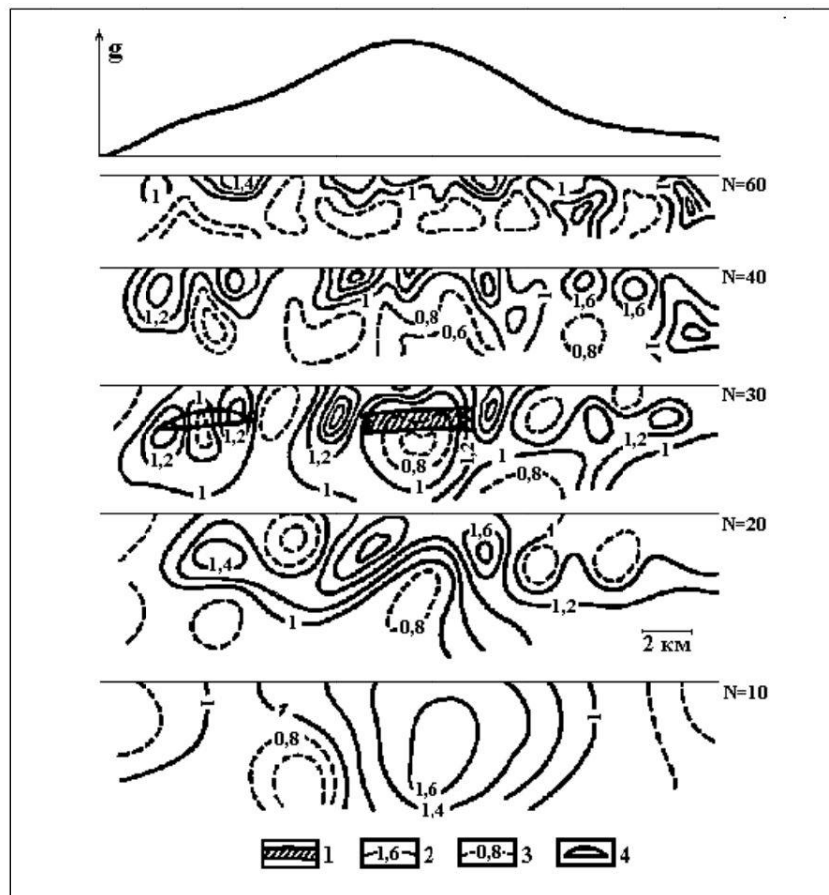


Рис. 2. Результати інтерпретації гравітаційної аномалії методом нормованих функцій  $\Delta g$  на нафтогазовому родовищі Жетибай (за В. М. Березкіним, 1988): 1 – поклад Жетибай; 2 – ізолінії повного нормованого градієнта при  $G_n > 1$ ; 3 – ізолінії повного нормованого градієнта при  $G_n < 1$ ; 4 – поклад Південний Жетибай

гальненням традиційного тренд-аналізу [37]. Аналіз трендів структурних поверхонь, а також відхилень від цих трендів може успішно застосовуватися для оконтурювання перспективних ділянок на нафту і газ [38], що дозволяє виявити єдину локальну структуру за комплексом геолого-геофізичних полів.

Лінії фонових трендів дозволяють провести процес своєрідної фільтрації аномалій геофізичних полів. В результаті на фоні "структурного" фактору можна виділити "неструктурний". Це пов'язано з тим, що оптимальна сумарна регресія полів має зазвичай структурну природу, а наступні регресії повинні містити ту частину поля, яка не "вписується" в структуру і, отже, має "неструктурний" характер у вигляді своєрідних зон розуцільнення. Сама ж структура може мати локальні особливості декількох порядків, що розріз-

нюються за горизонтальними розмірами. У багато-вимірному варіанті для пошуку оптимальної регресії зазвичай використовуються обидва геофізичних поля –  $\Delta g$  і  $T$  [37].

Грунтуючись на пуассонівських співвідношеннях, що пов'язують гравітаційний і магнітний потенціал, за наявності загальних джерел і подібності у відображенні скупчень УВ в аномаліях  $\Delta g$  і  $\Delta T$ : над скупченнями ВВ зазвичай фіксуються мінімуми  $\Delta g$  [39], які пояснюються тим, що дефекти щільності в склепіннях зон розуцільнення фундаменту обумовлюють зменшення сили тяжіння над покладом (неструктурний фактор) нафти і газу. В якості прикладів успішної локалізації  $\Delta g$  і  $\Delta T$  аномалій наведено дані з моделювання зон розуцільнення по одному з нафтогазоносних районів Західного Сибіру (рис. 3, 4) [40].

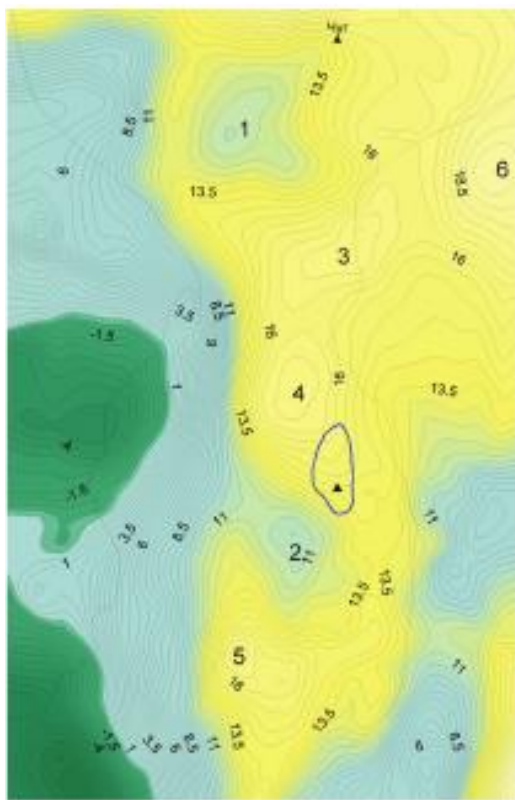


Рис. 3. Аномалії гравітаційного поля  $\Delta g$  в умовному рівні: цифрами позначені мінімуми (1 – 2) і максимуми (3 – 6)  $\Delta g_{\text{сер}}$  (за М. І. Риськіним, 2017)

Тонування допомагає відокремити ділянки з підвищеними і знизеними значеннями напруженості поля (рис. 3, 4) і виділити нафтогазоперспективний об'єкт, оскільки виявлена сейсморозвідкою структура адекватного відображення ні в одному з цих полів не має. Контур цієї структури розташований в "схиловій" частині більшої аномалії – позитивної за  $\Delta g$  і негативної за  $\Delta T$ . Од-



Рис. 4. Аномалії магнітного поля  $\Delta T$ : цифрами позначені мінімуми і максимуми  $\Delta T_{\text{сер}}$  (за М. І. Риськіним, 2017)

нак, залишкові аномалії  $\Delta T_{\text{ост}}$  з радіусом  $2 \times 2$  км локалізують цей об'єкт дуже впевнено (рис. 5). Трансформація аномалій у полі  $\Delta g$  з радіусами 3 км і 5 км проявляється в контурі підняття структури, у південній частині якого фіксується чіткий мінімум (рис. 6) [40]. Цей мінімум може бути найперспективнішою областю "склепіння" у контурі підняття, де вдалося виділити зону розуці-



Рис. 5. Аномалії  $\Delta T_{ост}$  з розмірами площі осереднення  $2 \times 2 \text{ км}^2$  (за М. І. Риськіним, 2017)

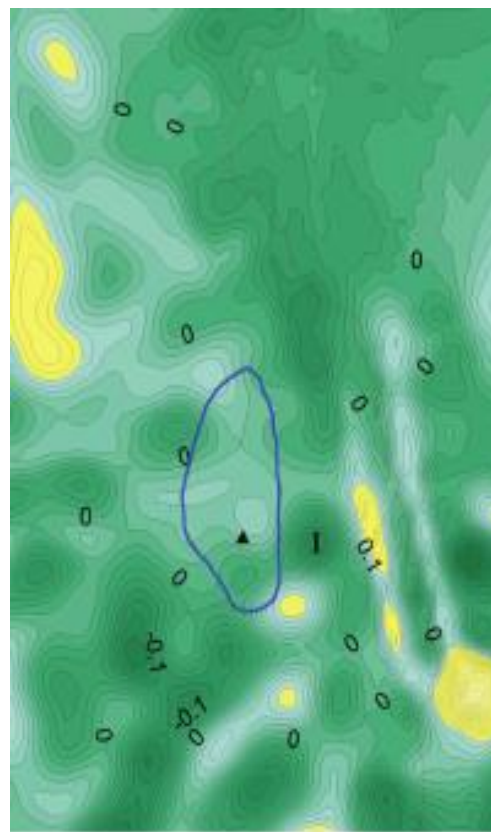


Рис. 6. Аномалії Саксова-Нигарда з радіусом 3 км і 5 км (за М. І. Риськіним, 2017)

льнення, з якою пов'язане родовище вуглеводнів.

#### Мета і завдання досліджень.

Метою роботи є встановлення сейсмічного рисунку аномалій геофізичних полів зон розущільнення фундаменту і зокрема вирішення таких задач:

- вдосконалити методику хвильової діагностики зон розущільнення фундаменту;
- встановити наявність структури-полігону газоносної зони розущільнення фундаменту;
- встановити геофізичну модель зони розущільнення фундаменту у вигляді сейсмічного рисунку аномалій гравіметричного і магнітного полів.

Об'єктом досліджень є зони розущільнення фундаменту північного борту Дніпровсько-Донецької западини.

Предметом дослідження є перспективи нафтогазонасності зон розущільнення фундаменту на прикладі Розсошенської структури.

#### Матеріали та методи досліджень.

Автором використано різні нечисленні публікації з виявлення та вивчення ЗРФ в нафтогазонасних басейнах світу та застосовано геологічні і геофізичні методи досліджень, серед яких: а) структурний, б) комплексний аналіз потенцій-

них геофізичних полів (гравіметричного, електричного, магнітного) та порівняльний аналіз сейсмічного рисунка.

Для дослідження ЗРФ було використано карти локальних аномалій гравітаційного ( $\Delta g_a$ ) і магнітного ( $\Delta T$ ) полів (автори В. Шемет, В. Омельченко, 2006-2008, 2009-2017).

#### Результати досліджень.

Площа досліджень (Північний борт ДДЗ) в цілому за ступенем вивченості розмежується на дві частини – південну і північну. Суттєво меншу південну частину, що прилягає до північного крайового розлому, майже на всій протяжності з різним ступенем детальності вивчено площевою сейсморовідкою методом СГТ [28, 29]. В цій частині площі зосереджено практично всі обсяги пошуково-розвідувального буріння на нафту та газ і відкрито значну кількість родовищ ВВ. Більша північна частина Північного борту з товщиною осадового чохла менше 2 км практично не вивчалась, через те, що вважалась малоперспективною або безперспективною. Хоча на сьогоднішній день північна границя можливого знаходження (формування) покладів ВВ Північного борту достовірно не встановлена, оскільки глибоке пошуково-розвідувальне буріння на нафту та газ проводилось лише в прилягаючій до

крайового розлому південній частині Північного борту. В північній частині борту бурились тільки структурно-пошукові на вугільні і картувальні свердловини. В західній частині площі такі свердловини повністю відсутні.

Геологічні побудови для докембрійських утворень Північного борту ДДЗ виконувались, головним чином, в масштабі 1:200 000 (В. Шемет, В. Омельченко, 2006-2008, 2009-2017) на основі гравімагнітних зйомок м-бу 1:200 000 і дуже обмежених даних по свердловинах.

У 2012 році у межах Розсошенської структури було пробурено параметричну свердловину № 558 глибиною 2231 м, що розкрила 329 м кристалічних порід. За даними ГДС покрівля фундаменту розкрита на глибині 1922 м, а породи фундаменту представлені тріщинуватими граніто-гнейсами, які значною мірою перетворені метасоматичними процесами. Тріщини зони заповнені чорними рудними мінералами.

При випробуванні ВПТ в інтервалі 2080-2162 м в породах кристалічного фундаменту отримано слабкий приплив фільтрату промивальної рідини з пластовою водою в об'ємі 1,66 м<sup>3</sup>/добу, що характеризує проникність цих зон.

Використовуючи отримані дані, були проаналізовані матеріали гравіметричної і магнітної зйомок на Розсошенській площі.

Розсошенська антиклінальна структура належить до Богодухівської зони тектонічної активізації, що Це зумовило розвиток контролюючих її тектонічних порушень. Розсошенська антикліналь є, по суті, припіднятим блоком, який обмежений тектонічними порушеннями, причому з півночі він екранується незгідним скидом (рис. 7).

Розсошинська антикліналь знаходиться в зоні перетину субширотного Розсошенського незгідного скиду та глибинного Богодухівського розлому, яким контролюється одна з найбільш значущих та досліджених субмеридіональних зон тектонічної активізації. Серед основних особливостей будови лінійних зон тектонічної активізації виявлено аномальність геофізичних полів та встановлена наявність зон динамометаморфізму, інтенсивної переробки порід гідротермально-метасоматичними процесами. Це вказує на те, що Розсошенська структура є оптимальною структурою для виявлення та вивчення зон розуцільнення.

Методика проведення нами хвильової діагностики зон розуцільнення фундаменту ґрунтувалася на аналізі інтерпретацій гравітаційного та магнітного полів, який проводився по локальних залишкових аномаліях від осереднення поля в межах квадратних палеток розміром 9 × 9 точок (4 × 4 км), 15 × 15 точок (7 × 7 км) та 21 × 21 точку (10 × 10 км).

На картах залишкових аномалій  $\Delta g$  з радіусом 10 × 10 км (рис. 8) і 7 × 7 км (рис. 9) цей об'єкт локалізується дуже впевнено, причому основна "аномалія склепіння" структури чітко фіксується в південно-західній частині кордону структури з характерними мінімальними значеннями  $\Delta g$ . На сейсмічному рисунку локальних аномалій осереднення поля 9 × 9 точок з радіусом (4 × 4 км) (рис. 10) спостерігається роздвоєння аномалії на дві більш дрібні ("мінісклепіння" мінімальними значеннями  $\Delta g$ ), що дуже схоже на ЗРФ по гранітоїдах, але швидше за все, безперспективна в нафтогазовому відношенні, тому що не відповідає виділеному нами аналогу-структури зони розуцільнення фундаменту.

Аналогічна картина спостерігається на сейсмічних картах аномалій  $\Delta T$ . (рис. 11), де "аномалії склепіння" по  $\Delta g$  відповідає ізометрична аналогічна "аномалія склепіння" по  $\Delta T$ , тільки з проявом додаткової аномалії  $\Delta T$  на схід від основної структури. Це "мінісклепіння" по  $\Delta T$  найбільш чітко проявляється на рис. 12. Такий сейсмічний рисунок відповідає, на нашу думку, зміні речовинного складу об'єкту дослідження і наявності так званої інтенсивно-дислокованої прирозломної зони, яка є занадто мала для утворення пастки вуглеводнів. Подібні прирозломні зони в щільних породах можуть бути найбільш перспективні для формування рудних проявів і родовищ.

Результати буріння свердловина № 558 показали, що її було пробурено в неоптимальних умовах зони розлому. Як видно з сейсмічних рисунків, розташування свердловини не відповідає жодній локальній аномалії хвильового поля.

Аналіз гравітаційного і магнітного полів навколо Розсошенської структури виявив нафтогазоперспективний об'єкт, який за всіма характеристиками відповідає виділеній раніше структурі-аналогу. Даний об'єкт знаходиться на схід від Розсошенської структури (на картах локальних аномалій виділено зеленим овалом). На картах залишкових аномалій  $\Delta g$  з радіусом 10 × 10 км (рис. 8) і 7 × 7 км (рис. 9) цей об'єкт фіксується дуже впевнено, причому конфігурація позитивної аномалії  $\Delta g$  практично ідентична в різних осередненнях. Повністю ЗРФ розкривається на карті аномалій  $\Delta g$  з розміром палетки 9 × 9 точок (4 × 4 км) (рис. 10). Тут спостерігається класична картина *сейсмічного рисунка зони розуцільнення фундаменту*: в межах структури над скупченнями ВВ зазвичай фіксуються мінімум по відношенню до оконтурюючого максимуму з двома "аномальними склепіннями". За речовинним складом об'єкт представлений останцями змінених зеленокам'яних порід серед гранітоїдів. Слід зазначити, що в даному типі порід фундаменту

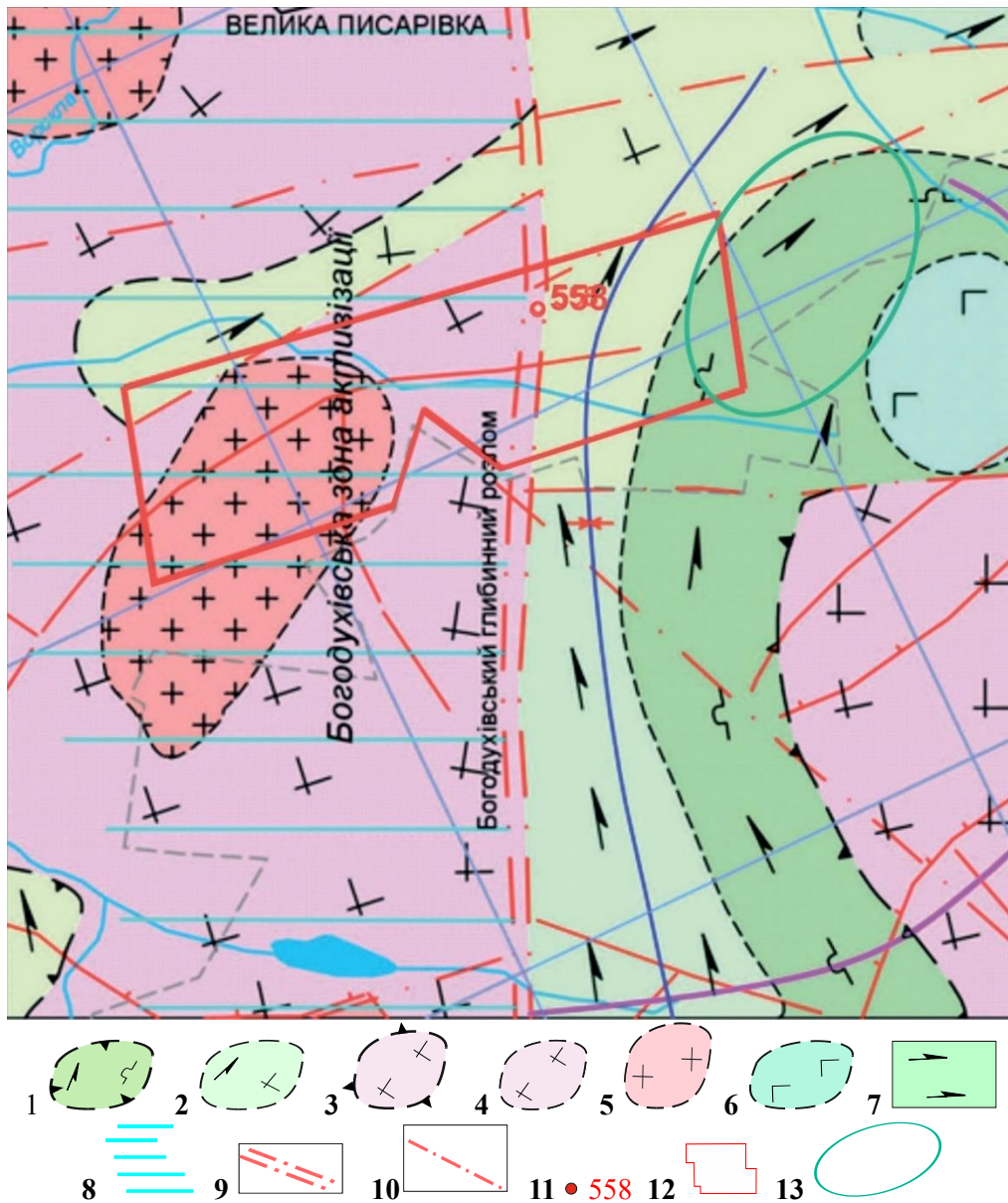


Рис. 7. Фрагмент структурно-геологічної схеми докембрійських утворень Північного борту ДДЗ (за матеріалами ДГЕ "Дніпрогеофізика", 2017).

*Умовні позначення:* 1 – неоархейські зеленокам'яні структури (синформи), складені михайлівською серією (витягнуті зони і окремі великі гравітаційні максимуми різної інтенсивності на фоні слабкодіференційованого магнітного поля або в кореляції із магнітними максимумами); 2 – останці (релікти) змінених зеленокам'яних порід серед гранітоїдів (локальні максимуми на фоні пониженого або градієнтного гравітаційного поля, які іноді корелюються з малоінтенсивними локальними магнітними максимумами); 3 – неоархейські гранітні (гнейсо-гранітні) куполи, складені плагіогранітами, гранітами, а в периферійних частинах – гнейсами (ізометричні локальні гравітаційні і магнітні мінімуми середніх і крупних розмірів на фоні понижених полів); 4 – поля (ділянки) розвідку частково мікроклінізованих плагіогранітів салтиківського комплексу з неясними формами залягання (градієнтні зони різної інтенсивності, обширні ділянки зниженого гравітаційного і магнітного полів); 5 – поля (ділянки) гранітоїдів протерозойського віку з неясними формами залягання (ділянки мінімальних значень гравітаційного і магнітного полів); 6 – інтрузії основного складу (ізометричні, що співпадають в плані, невеликі за розмірами інтенсивні локальні максимуми гравітаційного і магнітного полів); 7 – амфіболіти, горнблендити, рідше – сланці амфіболові, гнейси біотит-амфіболові ( $\sigma = 2,93-2,97$ ,  $\alpha = 50-400$ ); 8 – лінійні зони тектонічної активізації (гранітизація, мігматизація, мікроклінізація, тріщиноутворення, магматизм), пов'язані з глибинними розломами (протяжні вузькі лінійні зони інтенсивних гравітаційних і магнітних мінімумів); 9 – глибинні розломи, що обмежують або визначають окремі геоблоки і крупні тектонічні елементи; 10 – локальні розривні порушення; 11 – пробурені свердловини; 12 – межа Розсошинської структури; 13 – прогнозна зона розуцільнення фундаменту (ЗРФ)

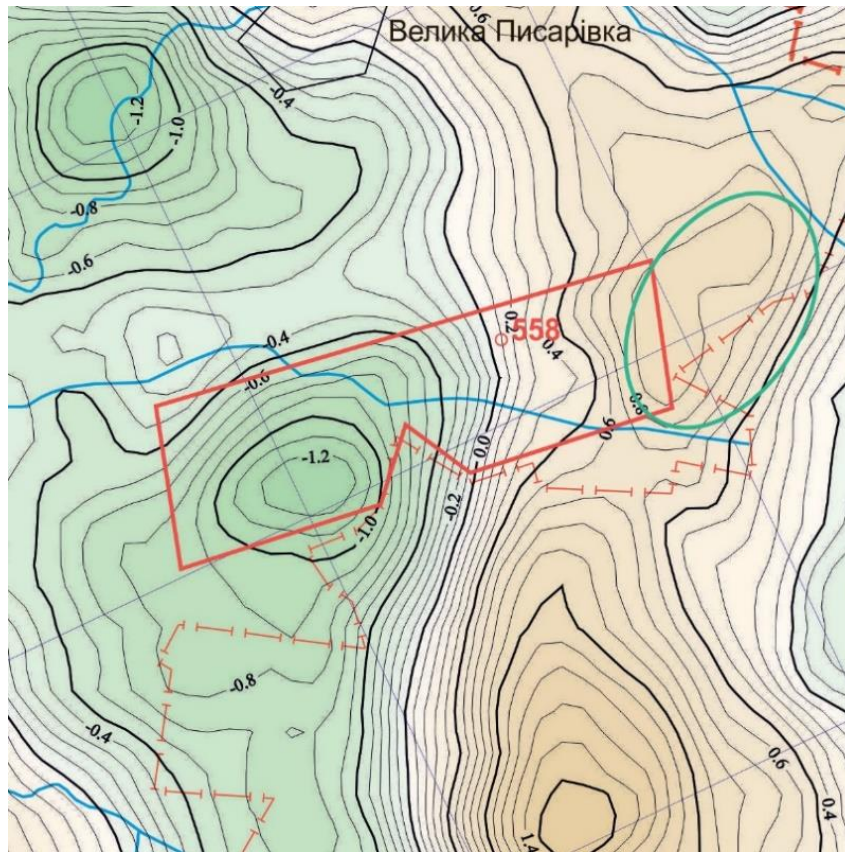


Рис. 8. Локальні аномалії  $\Delta g \text{ лок} = \Delta g \text{ згл. 3т.} - \Delta g \text{ згл. 21т.}$  з розмірами площі осереднення  $10 \times 10 \text{ км}$  (за матеріалами ДГЕ "Дніпрогеофізика", 2017)

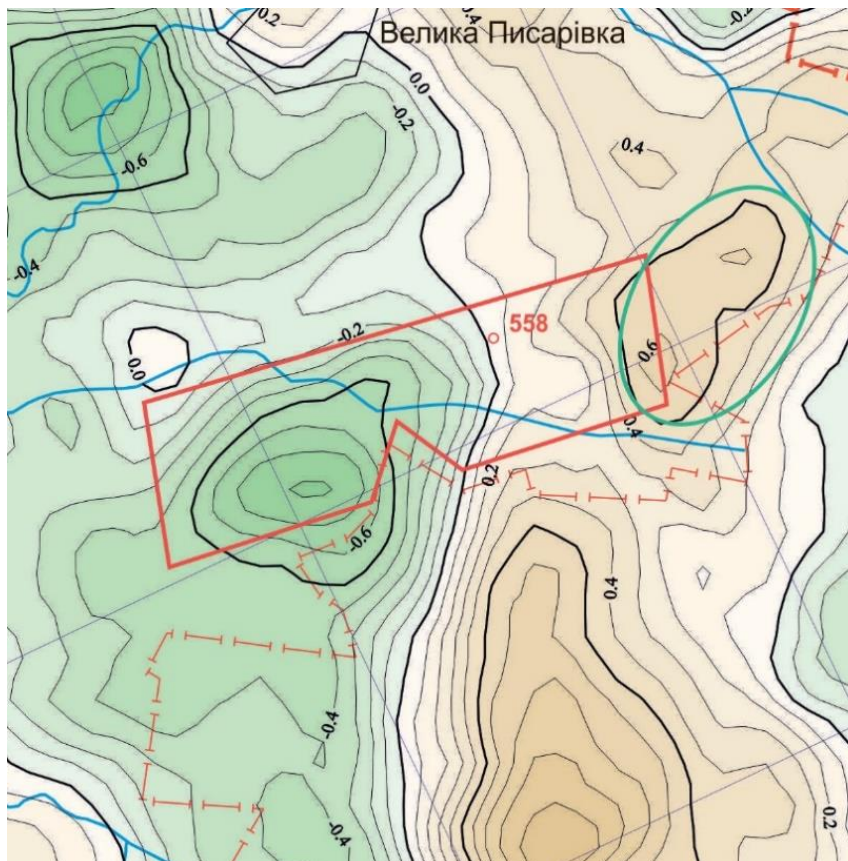


Рис. 9. Аномалії  $\Delta g \text{ лок} = \Delta g \text{ згл. 9т.} - \Delta g \text{ згл. 15т.}$  з розмірами площі осереднення  $7 \times 7 \text{ км}$  (за матеріалами ДГЕ "Дніпрогеофізика", 2017)

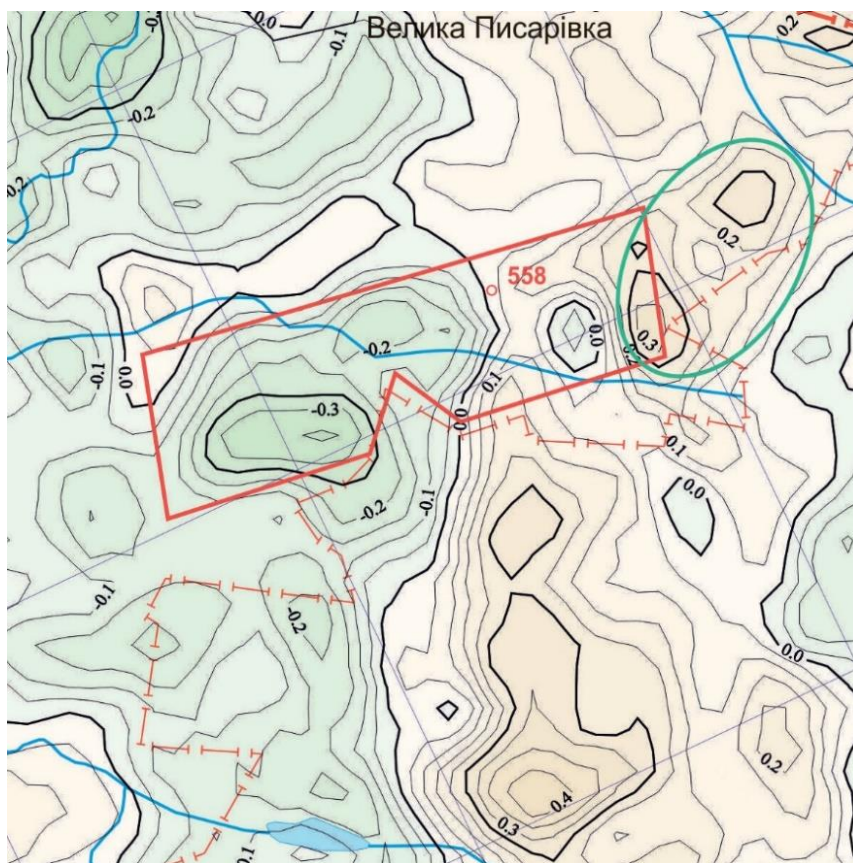


Рис. 10. Локальні аномалії гравітаційного поля ( $\Delta g_{\text{лок}} = \Delta g_{\text{згл. 3т}} - \Delta g_{\text{згл. 9т}}$ ) з розмірами площі осереднення  $4 \times 4$  км (за матеріалами ДГЕ "Дніпрогеофізика", 2017)

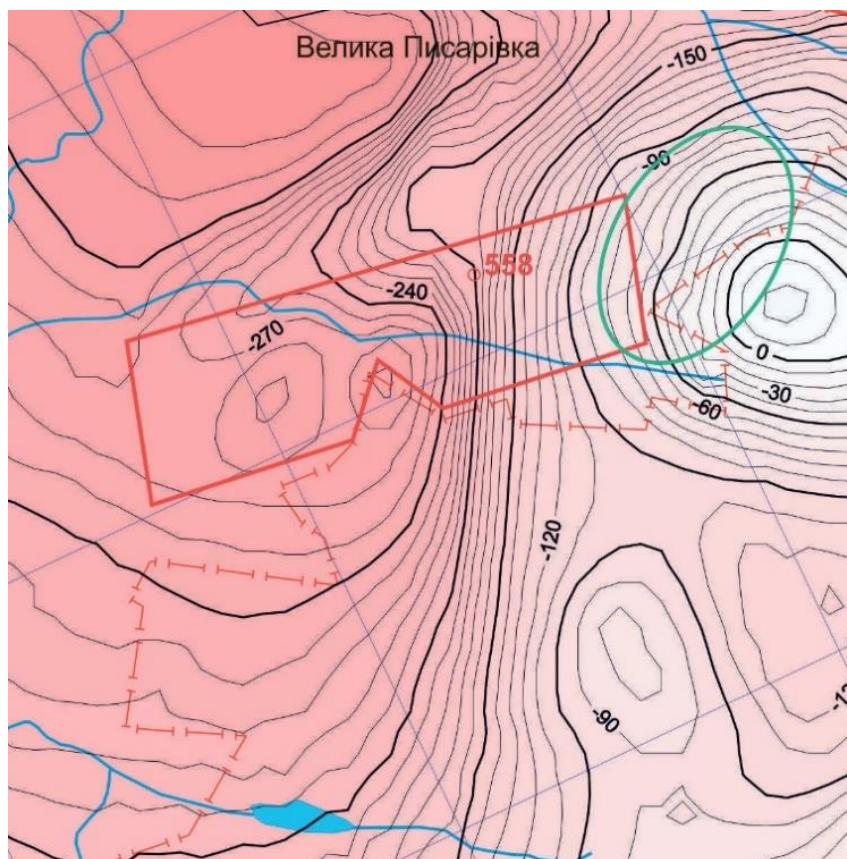


Рис. 11. Аномалії магнітного поля  $\Delta T$  (за матеріалами ДГЕ "Дніпрогеофізика", 2017)

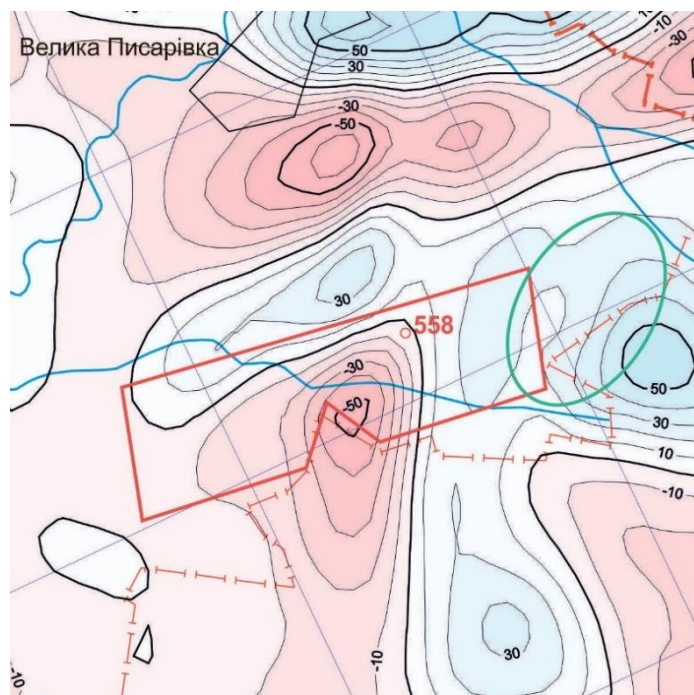


Рис. 12. Фрагмент карти локальних аномалії магнітного поля  $\Delta T_{\text{лок.}} = \Delta T_{\text{згл. 3т.}} - \Delta T_{\text{згл. 15т.}}$  з розмірами площі осереднення  $7 \times 7$  км (за матеріалами ДГЕ "Дніпрогеофізика")

встановлена газонасиченість на Скворцівському та Юліївському родовищах північного борту ДДЗ.

#### Висновки.

Запропонована геофізична модель зони розуцільнення фундаменту була відображена у вигляді сейсмічного рисунку аномалій гравіметричного і магнітного полів: над скупченнями ВВ фіксуються мінімуми по відношенню до оконтурюючих максимумів в межах виділеної аномалії.

Дана методика була застосована до діагностики хвильових полів на Розсошенській структурі.

Встановлено, що в межах структури спостерігається інтенсивно-дислокована прирозломна

зона, яка за обсягом занадто мала для акумуляції вуглеводнів. Однак, поблизу був виявлений нафтогазоперспективний об'єкт, який за всіма характеристиками відповідає виділеній структурі-аналогу ЗРФ. За речовинним складом об'єкт представлений останцями змінених зеленокам'яних порід серед гранитоїдів.

Виявлення ЗРФ полягає в послідовній інтерпретації площі осереднення від більшого до меншого при неухильному дотриманні наступного правила: досліджувана зона розуцільнення фундаменту повинна виявлятися в усіх аномаліях гравітаційного поля.

#### Література

1. Лукин А. Е. Проблема нефтегазоносности докембрийских комплексов Восточно-Европейской и других платформ [Текст] / А. Е. Лукин // Докембрий Восточно-Европейской платформы: геология и нефтегазоносность. – СПб.: Недра, 2002. – С. 392 с.
2. Лукин А.Е. Создание учения о нефтегазоносных кристаллических массивах – насущная проблема геологии XXI века [Текст] / А.Е. Лукин // Дегазация Земли и генезис нефтегазовых месторождений (к 100-летию со дня рождения академика П. Н. Кротова). – М.: ГЕОС, 2011. – С. 405–441.
3. Леонов М. Г. Тектоника континентального фундамента и вертикальная аккреция консолидированной земной коры [Текст] / М. Г. Леонов // Фундаментальные проблемы общей геотектоники. – М.: Науч. мир, 2001. – С. 91–154.
4. Соколова Н. В. Некоторые научные аспекты проблемы естественного восполнения месторождений УВ (по материалам отечественных публикаций) [Текст] / Н. В. Соколова // Актуальные проблемы нефти и газа, 2018. – Вып. 4(23). – С. 2-7.
5. Гаврилов В. П. Возможные механизмы естественного восполнения запасов на нефтяных и газовых месторождениях [Текст] / В. П. Гаврилов // Геология нефти и газа, 2008. – № 1. – С. 56–64.
6. Шевченко И. В. О восполняемости запасов углеводородов [Текст] / И. В. Шевченко // Экспозиция Нефть Газ, 2017. – Вып. 2(55). – С. 28–33.
7. Горюнов Е. Ю. Проявление современных подтоков углеводородов и нефтегазоносные комплексы на территории Волго-Уральской нефтегазоносной провинции [Текст] / Е. Ю. Горюнов, П. А. Игнатов, Д. Н. Климентьева, А. Н. Халиков, М. Н. Кравченко // Геология нефти и газа, 2015. – № 5. – С. 62-69.



8. Гарецкий Р. Г. Основные закономерности строения и развития молодых платформ [Текст] / Р. Г. Гарецкий, А. Е. Шлезингер, А. Я. Янин // Геотектоника, 1981. – № 5. – С. 3-8.
9. Порфирьев В. Б. Геологические аспекты нефтегазоносности фундамента (на примере Западной Сибири) [Текст] / В. Б. Порфирьев, В. П. Клочко // В сб. "Особенности глубинного строения земной коры и теоретическое обоснование неорганического генезиса нефти". – Киев.: Наук. думка, 1982. – 155 с.
10. Краюшкин В. А. Абиогенно-мантийный генезис нефти [Текст] / В. А. Краюшкин. – Киев.: Наук. думка, 1984. – 176 с.
11. Летавин А. И. Тектоника и нефтегазоносность Северного Кавказа [Текст] / А. И. Летавин, В. Е. Орел, С. М. Чернышев. – М.: Наука, 1987. – 237 с.
12. Шустер В. Л. Кристаллические породы фундамента -перспективный объект для прироста запасов нефти и газа в России [Текст] / В. Л. Шустер // Геология нефти и газа, 1994. – № 9. – С. 35-37.
13. Шустер В. Л. Нефтегазоносность кристаллического фундамента [Текст] / В. Л. Шустер // Геология нефти и газа, 1997. – № 8. – С. 17-19.
14. Арешев Е. Г. Модель геодинамического развития континентального шельфа юга СРВ [Текст] / Е. Г. Арешев, В. П. Гаврилов, Ч. Л. Чонг // Геология и геологоразведочные работы, 1996. – № 8. – С. 18-23.
15. Арешев Е. Г. Нефтегазоносность гранитоидов фундамента на примере месторождения Белый Тигр [Текст] / Е. Г. Арешев, Ч. Л. Донг, Ф. А. Киреев // Нефтяное хозяйство, 1996. – № 8. – С. 50-58.
16. Арешев Е. Г. Альтернативная модель формирования нефтяной залежи в фундаменте месторождения Белый Тигр [Текст] / Е. Г. Арешев, В. П. Гаврилов, В. В. Донцов // Нефтяное хозяйство, 2004. – № 9. – С. 34-41.
17. Донцов В. В., Лукин А. Е. Об эндогенных факторах формирования нефтяных залежей в кристаллическом фундаменте Кылуонгской впадины на шельфе Южного Вьетнама [Текст] / В. В. Донцов, А. Е. Лукин // Докл. РАН. – 2006. – Т. 407. – № 1. – С. 64–67.
18. Поспелов В. В. Особенности петрофизики и интерпретации ГИС в магматогенных коллекторах нефти и газа [Текст] / В. В. Поспелов // Обзор МГП "Геоинформ-марк", сер. "Разведочная геофизика". – М., 1998. № 4. – С. 79-88.
19. Арешев Е. Г. Нефтегазоносность фундамента различных регионов мира [Текст] / Е. Г. Арешев, В. П. Гаврилов, В. П. Поспелов // Горный вестник, 1998. – № 3. – С. 12-17.
20. Демьянчук В. Г. Поиски углеводородов в кристаллических породах фундамента на северном борту ДДВ [Текст] / В. Г. Демьянчук, В. В. Крот, И. И. Чебаненко, В. П. Клочко, Б. П. Кабышев – Киев, 1989. – 51 с. (Препр. / АН УССР. Ин-т геол. наук; № 89-11).
21. Порфирьев В. Б. Проблема поисков нефтяных и газовых залежей в докембрийском фундаменте ДДВ [Текст] / В. Б. Порфирьев, В. Б. Соллогуб, В. П. Клочко, А. Ф. Шевченко // Проблемы геологии и геохимии эндогенной нефти. – Киев: Наук. думка, 1975. – С. 175-196.
22. Демьянчук В. Г. Структурно-геологические особенности нефтегазопоявлений в Юльевской зоне ДДВ [Текст] / В. Г. Демьянчук, И. И. Чебаненко, В. В. Крот // Геологический журнал, 1988. – № 5. – С. 3-12.
23. Чебаненко И. И. Новое обнаружение нефти в кристаллических породах земной коры [Текст] / И. И. Чебаненко, Е. М. Довжжок, В. П. Клочко, М. И. Пономаренко // Докл. АН УССР. Сер. Б. – 1986. – № 6. – С. 20-21.
24. Чебаненко И. И. Проблемы нефтегазоносности кристаллических пород фундамента Днепровско-Донецкой впадины [Текст] / И. И. Чебаненко, В. В. Крот, В. П. Клочко. – Киев: Наук. думка, 1991. – 148 с.
25. Гейко Т. С. Тектоно-геодинамические критерии нефтегазоносности кристаллического фундамента северного борта Днепровско-Донецкого авлакогена [Текст] / Т. С. Гейко, А. Е. Лукин, В. В. Омельченко, О. Г. Цеха // Геолог. журнал, 2013. – № 4. – С. 7–23.
26. Высочанский И. В. Модели ловушек углеводородов в породах кристаллического фундамента [Текст] / И. В. Высочанский // – Киев: 1992. – 53 с.
27. Височанський І. В. Геологічні фактори формування несклепінних пасток в особливих зонах нафтогазонакопичення Дніпровсько-Донецького авлакогену [Текст] / І. В. Височанський // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Сер. : Геологія–Географія–Екологія". – 2013. – № 1084, Вип. 39. – С. 45-65.
28. Слободянюк С. О. Про перспективи нафтогазоносності південного борту ДДЗ за геофізичними методами (на прикладі досліджень на Східномагдалинівській площі) / С. О. Слободянюк, В. В. Омельченко, А. П. Толкунов // Геоінформатика, 2011. – № 4. – С. 17-23.
29. Сидоренко Г. Д. Виділення локальних неоднорідностей у фундаменті південного борту ДДЗ, як можливих скупчень вуглеводнів / Г. Д. Сидоренко, С. О. Слободянюк, С. Г. Слоніцька, М. І. Русаков, Ю. О. Литвиненко // Геоінформатика, 2013. – № 2 (46). – С. 22-28.
30. Молодцов И. В. Возможности выделения разуплотненных зон в породах кристаллического фундамента Южно-Татарского свода, перспективных на обнаружение углеводородов [Текст] / И. В. Молодцов, В. Г. Мавричев, В. Н. Баранов // Региональная геология и металлогения, 2016. – № 66 – С. 95-102.
31. Березкин В. М. Метод полного градиента при геофизической разведке [Текст] / В. М. Березкин. – М.: Недра, 1988. – 188 с.
32. Филатов В. Г. Устойчивые способы обработки и интерпретации потенциальных полей на основе регуляризации и концентрации источников [Текст] / В. Г. Филатов // Автореферат на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. – Киев: ИГ АН УССР, 1988.

33. Березкин В. М. Методические рекомендации по технологии площадной обработки и интерпретации гравимагнитных данных [Текст] / В. М. Березкин, Ю. В. Жбанков, В. Г. Филатов, П. Н. Трайнин, Е. В. Бульчов. – М.: Нефтегеофизика, 1992. – 80 с.
34. Самарский А. А. Разностные методы для эллиптических уравнений [Текст] / А. А. Самарский, В. Б. Андреев. – М.: Наука, 1976. – 352 с.
35. Самарский А. А., Вабищевич П. Н. Численные методы решения обратных задач математической физики [Текст] / А. А. Самарский, П. Н. Вабищевич. – М.: Эдиториал, 2004. – 400 с.
36. Жданов М. С. Корреляционный метод разделения геофизических аномалий [Текст] / М. С. Жданов, В. Н. Шрайбман. – М.: Недра, 1973. – 179 с.
37. Витвицкий О. В. Корреляционные преобразования геофизических полей. Состояние и перспективы [Текст] / О. В. Витвицкий // Геофизика и математика: материалы 1-й Всесоюз. конф. – М.: ОИФЗ РАН, 1999. – С. 51-59.
38. Девис Д. Статистика и анализ геологических данных [Текст] / Д. Девис. – М.: Мир, 1977. – 572 с.
39. Навальнева В. И. Возможности выделения нефтегазоперспективных участков корреляционным методом [Текст] / В. И. Навальнева // Разведочная геофизика. М.: Недра, 1986. – Вып. 102. – С. 82-87.
40. Рыскин М. И. Локализация аномалий геопотенциальных полей на основе применения частотных и корреляционных преобразований / М. И. Рыскин // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле, 2017. – Т. 17, вып. 1. – С. 52-57.
41. Koning, T. Oil and Gas Production from Basement Reservoirs – Examples from Indonesia, USA, and Venezuela, published in Special Publication 214 on «Hydrocarbons in Crystalline Rocks», Geological Society of London, 2003. – P. 83–92. This paper was also presented at the 16th World Petroleum Congress, Calgary, June 11–15, 2000.
42. Koning, T. Exploring in Asia for Oil & Gas in Naturally Fractured and Weathered Basement Reservoirs, GeoConvention, the Joint Annual Convention of the Canadian Society of Petroleum Geologists, the Canadian Society of Exploration Geophysicists, and the Canadian Well Logging Society, Calgary, Canada, May 13–17, 2019.
43. Koning, T. & Darmono, F.X. The Geology of the Beruk Northeast Field, Sumatra, Indonesia – Oil Production from Pre-Tertiary Basement Rocks, Proceedings of the 13th Annual Convention of the Indonesia Petroleum Association, Jakarta, 1984. – Vol 1. – P. 385–406.

Надійшла до редакції 18 січня 2021 р.  
Прийнята 2 березня 2021 р.

UDC 551.24:553.98 (477)

**Oleksandr Vasilenko,**

PhD (Geology), Associate Professor, Senior Researcher,  
Ukrainian Scientific Research Institute of Natural Gases,  
20 Gimnaziyna Naberegna, Kharkiv, 61010, Ukraine,

e-mail: [vasilenko.alexandr@ndigas.com.ua](mailto:vasilenko.alexandr@ndigas.com.ua), <https://orcid.org/0000-0003-4054-6588>

## TO THE ISSUE OF OIL AND GAS POTENTIAL IN THE DECOMPRESSION ZONES OF THE DNEIPER-DONETS DEPRESSION

**Formulation of the problem.** Currently, interest in the foundation as a gas and oil field facility has increased significantly. The low efficiency of oil and gas exploration in the basement rocks is usually explained by the absence of a generally accepted hypothesis about the genesis of oil and gas and as a result of migration and accumulation of hydrocarbons. One of the main factors of accumulation is the presence of decompression zones of the foundation, as potential hydrocarbon traps. The article is devoted to the problem of identifying oil and gas bearing zones of foundation decompression.

**Analysis of recent research and publications.** A number of scientific articles on the composition, age, structure and oil and gas potential of the foundation are analyzed. The first step in identifying decompression zones is to conduct gravimetric and magnetic surveys and apply various techniques to interpret the resulting mathematical model of the wave field pattern in order to localize the sources of its anomalies.

**Identification of previously unresolved parts of a common problem.** In order to save money when conducting prospecting and exploration for oil and gas, the foundation proposes an improvement in the methodology for separating gas-bearing “vaulted” parts of decompression zones.

**Formation of the purpose of the article.** The aim of the work is to establish a seismic pattern of anomalies in the geophysical fields of the base decompression zones. The object of research is the zone of decompression of the foundation on the northern side of the Dnieper-Donets depression. The subject of the study is a seismic drawing of the anomaly of the geophysical field of the gas-bearing zone of decompression of the foundation of the Rozsoshinsk structure.

**Report of the main material.** The article analyzes a few materials to identify areas of base decompression in various oil and gas regions. It was found that for localization of decompression zones, the Berezkin "singular points" method and the correlation method of separation of geophysical anomalies are most effective. The essence of these methods is a kind of filtering of field anomalies, where against the background of the "structural" factor, one can distinguish the "non-structural factor", i.e. decompression zone. This zone in wave fields ( $\Delta g$  and  $\Delta T$ ) is fixed by a seismic pattern, where minima are usually fixed over hydrocarbon accumulations in relation to contouring maxima. Based on the results of the application of these methods, the structure-testing ground of the gas-bearing decompression zone is established. As an illustrative example of the successful localization of  $\Delta g$  and  $\Delta T$ , data are presented on modeling the foundation softening zone in one of the oil and gas regions of the northern side of the Dnieper-Donets depression.

**Keywords:** method, technique, foundation, decompression zone, wave field, anomaly, seismic pattern, field.

#### References

1. Lukin, A. (2002). *The problem of oil and gas potential of the Precambrian complexes of the East European and other platforms. Precambrian of the East European Platform: geology and oil and gas potential. St. Petersburg: Nedra, 392. [in Russian]*
2. Lukin, A. (2011). *The creation of the doctrine of oil and gas crystalline massifs is an urgent problem of the geology of the 21st century. Degassing of the Earth and the genesis of oil and gas fields (on the 100th birthday of Academician P.N. Kropotkin). Moscow: GEOS, 405–441. [in Russian]*
3. Leonov, M. (2001). *Tectonics of the continental foundation and vertical accretion of the consolidated crust/ Fundamental problems of general geotectonics. Moscow: Science world, 91–154. [in Russian]*
4. Sokolova, N. (2018). *Some scientific aspects of the problem of natural replenishment of hydrocarbon deposits (based on materials from domestic publications). Actual problems of oil and gas, Release 4 (23), 2-7. [in Russian]*
5. Gavrilov, V. (2008). *Possible mechanisms for the natural replenishment of reserves in oil and gas fields. Geology of oil and gas, 1, 56–64. [in Russian]*
6. Shevchenko, I. (2017). *On the replenishment of hydrocarbon. Exposition Oil Gas, Release 2 (55), 28–33. [in Russian]*
7. Goryunov, E., Ignatov, P., Klimentyev, D., Khalikov, A., Kravchenko, M. (2015). *The manifestation of modern hydrocarbon flows e oil and gas complexes in the Volga-Ural oil and gas province. Geology of oil and gas, 5, 62-69. [in Russian]*
8. Garetsky, R., Schlesinger, A., Yanshin, A. (1981). *The main laws of the structure and development of young platforms. Geotectonics, 5, 3-8. [in Russian]*
9. Porfiruyev, V., Shred, V. (1982). *Geological aspects of the oil and gas potential of the basement (on the example of Western Siberia). Digest "Features of the deep structure of the earth's crust and theoretical justification of the inorganic genesis of oil. Kiev: Naukova Dumka, 155. [in Russian]*
10. Krajushkin, V. (1984). *Abiogenic-mantle oil genesis. Kiev: Naukova Dumka, 176. [in Russian]*
11. Letavin, A., Eagle, V., Chernyshev, S. (1987). *Tectonics and oil and gas potential of the North Caucasus. Moscow: Nauka, 237. [in Russian]*
12. Schuster, V. (1994). *The crystalline basement rocks are a promising object for the growth of oil and gas reserves in Russia. Geology of oil and gas, 9, 35-37. [in Russian]*
13. Schuster, V. (1997). *Oil and gas content of the crystalline basement. Geology of oil and gas, 8, 17-19. [in Russian]*
14. Areshev, E., Gavrilov, V., Chong, Ch. (1996). *Model of geodynamic development of the continental shelf of the south of the SRV. Geology and exploration, 8, 18-23. [in Russian]*
15. Areshev, E., Dong, Ch., F., Kireev, F. (1996). *The oil and gas potential of the granitoids of the basement on the example of the White Tiger field. Oil industry, 8, 50-58. [in Russian]*
16. Areshev, E., Gavrilov, V., Dontsov, V (2004). *An alternative model for the formation of an oil deposit in the foundation of the White Tiger field. Oil industry, 9, 34-41. [in Russian]*
17. Dontsov, V., Lukin, A. (2006). *On endogenous factors in the formation of oil deposits in the crystalline basement of the Kyulong depression on the shelf of South Vietnam. Reports RAS, Book, 407, 1, 64–67. [in Russian]*
18. Pospelov, V. (1998). *Features of petrophysics and GNS interpretation in magmatic oil and gas reservoirs. Moscow: Review of MGP "Geoinform-mark", ser. Exploration Geophysics, 4, 79-88. [in Russian]*
19. Areshev, E., Gavrilov, V., Pospelov, V., (1998). *Oil and gas bearing the foundation of various regions of the world. Mountain Herald, 3, 12-17. [in Russian]*
20. Demyanchuk, V., Krot, V., Chebanenko, I., Klochko, V., Kabyshev, B. (1989). *Search for hydrocarbons in crystalline rocks of the basement on the northern side of the DDD. Kiev: Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, Institute of Geological Sciences, 89-11, 51. [in Russian]*
21. Porfiruyev, V., Sollogub, V., Klochko, V., Shevchenko, A. (1975). *The problem of the search for oil and gas deposits in the Precambrian foundation of the DDD. Geology and geochemistry problems of endogenous oil. Kiev: Science Dumka, 1975. -- S. 175-196. [in Russian]*
22. Demyanchuk, V., Chebanenko, I. (1988). *Structural and geological features of oil and gas occurrences in the Yulievsky zone of the DDD. Geological journal, 5, 3-12. [in Russian]*

23. Chebanenko, I., Dovzhok, E., Klochko, V., Ponomarenko, M. (1986). A new discovery of oil in crystalline rocks of the earth's crust. *Dokl. USSR Academy of Sciences, Ser. B*, 6, 20-21. [in Russian]
24. Chebanenko, I., Krot, V., Klochko, V. (1991). Problems of oil and gas content of crystalline rocks of the basement of the Dnieper-Donets depression. Kiev: Science Dumka, 148. [in Russian]
25. Geiko, T., Lukin, A., Omelchenko, V., Workshops, O. (2013). Tectonic and geodynamic criteria of oil and gas content of the crystalline basement of the northern side of the Dnieper-Donetsk aulacogen. *Geological Journal*, 4, 7–23. [in Russian]
26. Visochansky, I. (1992). Models of hydrocarbon traps in the rocks of the crystalline basement. Kiev, 53. [in Russian]
27. Visochansky, I. (2013). Geological factors of the formulation of non-riveting pastes in the special zones of the naphtha-gas-accumulating Dnieper-Donetsk aulacogen. *News of the Kharkiv National University of Economics V.N. Karazina. Ser.: "Geology – Geography – Ecology"*, 1084, 39, 45-65. [in Ukrainian]
28. Slobodyanyuk, S., Omelchenko, V., Tolkunov, A. (2011). About the prospects of oil and gas bearing on the remote sensing board behind geophysical methods (on the application on the surface of the mine area). *Geoinformatics*, 4, 17-23. [in Ukrainian]
29. Sidorenko G., Slobodyanyuk, S., Slonitska, S., Rusakov, M., Litvinenko Yu. (2013). Vidilennya local heterogeneities at the base onboard the DDD, as a possible buying-up in the carbohydrates. *Geoinformatics*, 2 (46), 22-28. [in Ukrainian]
30. Molodtsov, I., Mavrichiev, V., Baranov, V. (2016). Possibilities of isolating decompressed zones in the rocks of the crystalline basement of the South Tatar Arch, promising for the detection of hydrocarbons. *Regional Geology and Metallogeny*, 66, 95-102. [in Russian]
31. Berezkin, V. (1988). *The full gradient method in geophysical exploration*. Moscow: Nedra, 188. [in Russian]
32. Filatov, V. (1988). Sustainable methods of processing and interpretation of potential fields based on regularization and concentration of sources. Abstract for the degree of Doctor of Physics and Mathematics. Kiev: IG Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. [in Russian]
33. Berezkin, V., Zhabankov, Yu., Filatov, V., Trainin, P., Bulychov, E. (1992). Methodological recommendations on the technology of areal processing and interpretation of gravimagnetic data. Moscow: *Neftegeofizika*, 80. [in Russian]
34. Samarsky, A., Andreev, V. (1976). *Difference methods for elliptic equations*. Moscow: Nauka, 352. [in Russian]
35. Samarsky, A., Vabishchevich, P. (2004). *Numerical methods for solving inverse problems of mathematical physics*. Moscow: Editorial, 400. [in Russian]
36. Zhdanov, M., Shreibman, V. (1973). *Correlation method of separation of geophysical anomalies*. Moscow: Nedra, 179. [in Russian]
37. Vitvitsky, O. (1999). Correlation transformations of geophysical fields. Status and prospects. Moscow: *Geophysics and Mathematics: Materials of the 1st All-Union. conf. OIFZ RAS*, 51-59. [in Russian]
38. Davis, D (1977). *Statistics and analysis of geological data*. Moscow: Mir, 572. [in Russian]
39. Navalneva, V. (1986). Possibilities of identifying oil and gas prospective sites by the correlation method. Moscow: *Nedra, Exploration Geophysics*, 102, 82-87. [in Russian]
40. Ryskin M. (2017). Localization of the Anomalies of Geopotential Fields on the Basis of the Frequency and Correlation of Change. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Earth Sciences*, 17, 1, 52-57 [in Russian].
41. Koning, T. (2003). Oil and Gas Production from Basement Reservoirs – Examples from Indonesia, USA, and Venezuela, published in Special Publication 214 on «Hydrocarbons in Crystalline Rocks», Geological Society of London; 83–92. This paper was also presented at the 16th World Petroleum Congress, Calgary, June 11–15, 2000.
42. Koning, T. (2019). Exploring in Asia for Oil & Gas in Naturally Fractured and Weathered Basement Reservoirs, GeoConvention, the Joint Annual Convention of the Canadian Society of Petroleum Geologists, the Canadian Society of Exploration Geophysicists, and the Canadian Well Logging Society, Calgary, Canada, May 13–17, 2019.
43. Koning, T. & Darmono, F.X. (1984). The Geology of the Beruk Northeast Field, Sumatra, Indonesia – Oil Production from Pre-Tertiary Basement Rocks, *Proceedings of the 13th Annual Convention of the Indonesia Petroleum Association, Jakarta*, 1, 385–406.

УДК 553.982.23.05

**Іларіон Володимирович Височанський,**

д. геол.-мінер. н., професор, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,  
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна,

e-mail: [visochansky\\_il@ukr.net](mailto:visochansky_il@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-1583-1929>;

**Геннадій Євгенович Святенко,**

к. геол. н., нач. сектору, Український науково-дослідний інститут природних газів,  
Гімназійна наб., 20, м. Харків, 61010, Україна,

e-mail: [henryfirst@ukr.net](mailto:henryfirst@ukr.net), <http://orcid.org/0000-0002-3117-2433>;

**Володимир Михайлович Абеленцев,**

к. геол. н., пров. наук. співробітник, Український науково-дослідний інститут природних газів,

e-mail: [abelentsev.vladimir@ndigas.com.ua](mailto:abelentsev.vladimir@ndigas.com.ua), <http://orcid.org/0000-0003-3490-6022>;

**Євгеній Євгенійович Волосник,**

нач. відділу надрокористування Східного регіону,

Український науково-дослідний інститут природних газів,

e-mail: [volosnyk.evgeniy@ndigas.com.ua](mailto:volosnyk.evgeniy@ndigas.com.ua), <https://orcid.org/0000-0002-1404-2629>;

**Андрій Олегович Некрасов,**

ст. наук. співробітник, Український науково-дослідний інститут природних газів,

e-mail: [nekrasov.andrey@ndigas.com.ua](mailto:nekrasov.andrey@ndigas.com.ua), <https://orcid.org/0000-0003-2181-1681>;

**Марія Василівна Купчинська,**

інженер, Український науково-дослідний інститут природних газів,

e-mail: [kupchinskaya.maria@ndigas.com.ua](mailto:kupchinskaya.maria@ndigas.com.ua), <https://orcid.org/0000-0002-9319-8807>;

**Артем Станіславович Захаров,**

мол. наук. співробітник, Український науково-дослідний інститут природних газів,

e-mail: [zakharov.artem@ndigas.com.ua](mailto:zakharov.artem@ndigas.com.ua), <https://orcid.org/0000-0003-0877-8223>;

**Юлія Михайлівна Спічаківа,**

наук. співробітник, Український науково-дослідний інститут природних газів,

e-mail: [spichakova@ukr.net](mailto:spichakova@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-0026-3989>

## ДО ПИТАННЯ ПРО ГЕОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ФОРМУВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПАСТОК У ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКІЙ ЗАПАДИНІ

У Дніпровсько-Донецькій западині (ДДЗ) результатами геофізичних, бурових і науково-дослідних робіт умови формування і закономірності поширення несклепінних пасток (літологічних, стратиграфічних, диз'юнктивно екранованих і комбінованих) тією чи іншою мірою вирішені, тоді як основні засадничі положення щодо пошуків гідродинамічних пасток (ГП) ще в необхідному обсязі не були предметом вивчення. Результати раніше виконаних робіт, базуючись на принципах аналогії з регіонами, де продуктивні ГП широко відомі дозволили окремим авторам (В. О. Краюшкін, 1972) віднести ДДЗ до числа високоперспективних регіонів для пошуків родовищ ВВ у пастках цього типу. Сприятливі геологічні умови і наявність вуглеводневих скупчень на схилах Сорочинської і Руденківської монокліналей послужили підставою іншому автору (О.О. Плотников, 2001) для аналогічного висновку. Основною задачею даної роботи передбачалось вивчення геологічних передумов, як базиса формування ГП у відповідності з геофлюїдодинамічною концепцією локалізації скупчень газу в пластах моноклінального чи близького до нього залягання. У межах дослідженого регіону до числа першочергових перспективних для вивчення територій віднесено північний борт западини, де прогноуються елізійний переточний режим водообміну і вперше намічений режим стикування в палеозойському комплексі, а також інфільтраційний режим водообміну в мезозойському комплексі, як базові умови для формування пасток цього типу. Другим першочерговим об'єктом, для цілеспрямованого вивчення визначена територія Кальміус-Торецької улоговини Красноармійської монокліналі, де прогноуються фільтраційний режим водообміну в середньокам'яновугільних відкладах. Вперше палеорічкові системи розглядаються як потенційно перспективні об'єкти для виникнення умов формування ГП у алювіальних відкладах нижнього карбону, а прогнозні траси палеорусел поєднуються з прогинами поверхні кристалічного фундаменту.

З метою визначення першочергових зон, перспективних для пошуків ГП, рекомендується здійснення комплексу досліджень, спрямованих для підтвердження реальності формування намічених теоретичних моделей, а також встановлення контурів алювіальних річкових систем та виділення сприятливих для пошуків ГП ділянок, шляхом побудови карт перетину ізогіс покривлі перспективних горизонтів з гідроізон'єзами для встановлення гідродинамічних мінімумів.

**Ключові слова:** гідродинаміка, водообмін, монокліналь, пастка, газ, елізійний, інфільтраційний, режим.

**И. В. Височанский, Г. Е. Святенко, В. М. Абеленцев, Е. Е. Волосник, А. О. Некрасов, М. В. Купчинская, А. С. Захаров, Ю. М. Спичакова. К ВОПРОСУ О ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕДПОСЫЛКАХ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ЛОВУШЕК В ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЕ.** В ДДЗ результатами геофизических работ, бурения и научных исследований условия формирования и закономерности распространения несводовых ловушек в той или иной степени решены, тогда как основные положения относительно поисков ГП в необходимом объеме ещё не были предметом исследований. Результаты ранее выполненных работ, основываясь на принципах аналогии с регионами, где продуктивные ГП широко известны позволили отдельным авторам (В. А. Краюшкин, 1972) отнести ДДВ к числу высокоперспективных регионов для поисков месторождений УВ в ловушках этого типа. Благоприятные геологические условия и наличие углеводородных скоплений на склонах Сорочинской и Руденковской монокліналей послужили основанием другому автору (А. Плотников,

© Височанський І. В., Святенко Г. Є., Абеленцев В. М., Волосник Є. Є.,

Некрасов А. О., Купчинська М. В., Захаров А. С., Спічаківа Ю. М., 2021

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-54-04>

2001) для аналогічного виводу. Головною задачею було вивчення геологічних передумов в регіоні, як базиса для формування ГЛ в відповідності з геофлюїдодинамічною концепцією локалізації скоплень газу в пластах моноклінального или близького к нему залягання і визначення шляхів для рішення цієї складної геолого-пошукової проблеми. В межах досліджуваного регіону к числу первоочередних перспективних для вивчення територій віднесено северний борт впадини, де прогножуються елізійний переточний режим водообміну і вперше намічений режим на стьіке в палеозойському комплексі, а також інфільтраційний режим водообміну в мезозойському комплексі. Вперше палеорічкові системи розглядаються як потенційно перспективні об'єкти для виникнення умов формування ГЛ в аллювіальних відкладеннях нижнього карбону, а прогнозні траси палеорічок поєднуються з прогибами поверхні фундаменту.

С метою виділення первоочередних зон, перспективних для пошуку ГЛ, рекомендується виконання комплексу досліджень, направлених на підтвердження реальності формування намічених теоретических моделей, а також встановлення контурів аллювіальних річкових систем і виділення благоприятних для пошуку ГЛ ділянок, шляхом побудови карт пересічення ізогіп кровлі перспективних горизонтів з гідроізоп'єзами для встановлення гідродинаміческих мінімумів.

**Ключеві слова:** гідродинаміка, водообмін, монокліналь, ловушка, газ, елізійний, інфільтраційний, режим.

**Постановка проблеми.** У межах багатьох нафтогазоносних провінцій відомі поклади вуглеводнів у пастках гідродинамічного типу. Дніпровсько-Донецька западина (ДДЗ) відноситься до числа регіонів, де несклепінні пастки майже всіх типів і пов'язані з ними поклади вуглеводнів (ВВ) мають значне поширення, водночас ГП в ДДЗ поки-що не є характерними, хоча особливості геологічної будови регіону засвідчують про можливість їх формування. Отже, обґрунтування ролі геологічних передумов в процесах формування пасток гідродинамічного типу і є основною задачею роботи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В монографії О.О. Плотнікова [17] до числа перспективних регіонів для пошуків ГП віднесена ДДЗ. Підставою для цього послужили дані про наявність в окремих продуктивних горизонтах, зокрема на Сорочинському і Руденківському родовищах, пластових вод, які залягають вище газових покладів. Вважається що у формуванні газових скупчень на вказаних родовищах провідна роль належить пластовим водам.

За результатами геолого-геофізичного вивчення південного схилу Кальміус-Торецької улоговини і Красноармійської моноклінали у південно-східній частині ДДЗ (А.С. Тердовідов та ін. [26], С.Д. Павлов та ін. [27]) попередньо встановлено сприятливі геологічні передумови для формування ГП у палеозойських відкладах.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Загальна проблема пошуків ГП в ДДЗ в цілому до цього часу практично не вирішувалась.

**Формулювання мети статті.** Оцінка можливостей обґрунтування нового напрямку пошуково-розвідувальних робіт в ДДЗ, а саме на нетрадиційні несклепінні пастки гідродинамічного типу.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Практика геологорозвідувальних робіт з пошуку нафтових і газових родовищ у багатьох нафтогазових провінціях свідчить, що пошуковий процес умовно поділяється на два етапи: перший – пошуки вуглеводневих скупчень у пастках,

пов'язаних з антиклінальними структурами, і другий, набагато складніший – пошуки таких скупчень у пастках, приурочених до неантиклінальних структур. Основними задачами, що підлягають вирішенню на другому етапі, є розробка методик наукового прогнозування регіональних зон літологічних виклиньвань і заміщень, стратиграфічних незгідностей і зрізань колектуючих товщ, визначення закономірностей поширення рифогенно-карбонатних утворень і особливостей формування в них зон розущільнення (в тому числі у породах кристалічного фундаменту), а також інших факторів, що забезпечують сприятливі умови для утворень несклепінних пасток.

Важливо відзначити, що в ДДЗ результатами робіт численних дослідників [1-16] та в багатьох інших наукових працях умови формування і закономірності поширення літологічних, стратиграфічних, диз'юнктивно екранованих і комбінованих пасток тією чи іншою мірою вирішені.

Водночас, ще недостатньо вивченою залишається (за термінологією О.О. Плотнікова [17]) геофлюїдодинамічна концепція гідродинамічної локалізації газу в пласті. Цей, на перший погляд складний термін, відтворює комплекс передумов, що сприяють формуванню газових покладів гідродинамічного типу у резервуарах на монокліналях.

Висвітлені в монографії [17] результати детальних досліджень цієї складної і одночасно надзвичайно актуальної (особливо для ДДЗ) проблеми свідчать, що пошукові роботи, спрямовані на виявлення гідродинамічних пасток, розглядаються як перспективні у межах Східно-Кубанської западини; Мирненсько-Аргизької структурної зони; Мургабської западини; Тіманно-Печорської провінції; в прогині Аніва (південний Сахалін); у Дніпровсько-Донецькій западині. В наукових працях цього автора розглядаються приклади промислової газоносності «відкритих» монокліналей, для яких характерною є промитість надр з наявністю активного водообміну з областей живлення до областей розвантаження, і «закритих» монокліналей, де промитість надр відсутня.

Зосередивши, природно, першочергову увагу на характеристиці флюїдодинамічних умов гідродинамічної локалізації газу в ДДЗ, перш за все відмітимо, що викладені теоретичні основи механізму формування ГП і пов'язаних з ними покладів вуглеводнів (ВВ) можуть розглядатися як надійне підґрунтя для прогнозування і розширення можливостей пошуків пасток цього типу і в ДДЗ.

Промислова газонасність в даному регіоні висвітлюється в цій роботі на прикладі монокліналей на Сорочинському родовищі та на Руденківському родовищі, розташованих у південній прибортовій зоні. Вважається, що у формуванні газових скупчень тут провідна роль належить пластовим водам. У свердловині № 469, пробу-

реній на Сорочинській монокліналі між Радченківським і Кошевойським родовищами, із горизонту В-19 (інт. 4000-4006 м) отримано промисловий приплив газу дебітом 310 тис.м<sup>3</sup>/добу і конденсату 55 м<sup>3</sup>/добу, тоді як у св. № 109 розташованій на монокліналі значно вище, розріз візейських відкладів водоносний. Отримання в св. № 109 припливу високомінералізованої води ( $\rho_{\text{в}}=1,17-1,18 \text{ г/см}^3$ ) девонського типу і в зоні підвищених пластових тисків регіонального характеру дозволили допустити можливість міграції вод із високонапірного девонського комплексу по розривних порушеннях і формування ГП (рис. 1). Нижчезалегаючі горизонти у відкладах нижнього візе, турне і надсолевого девону виділяються як можливо продуктивні.

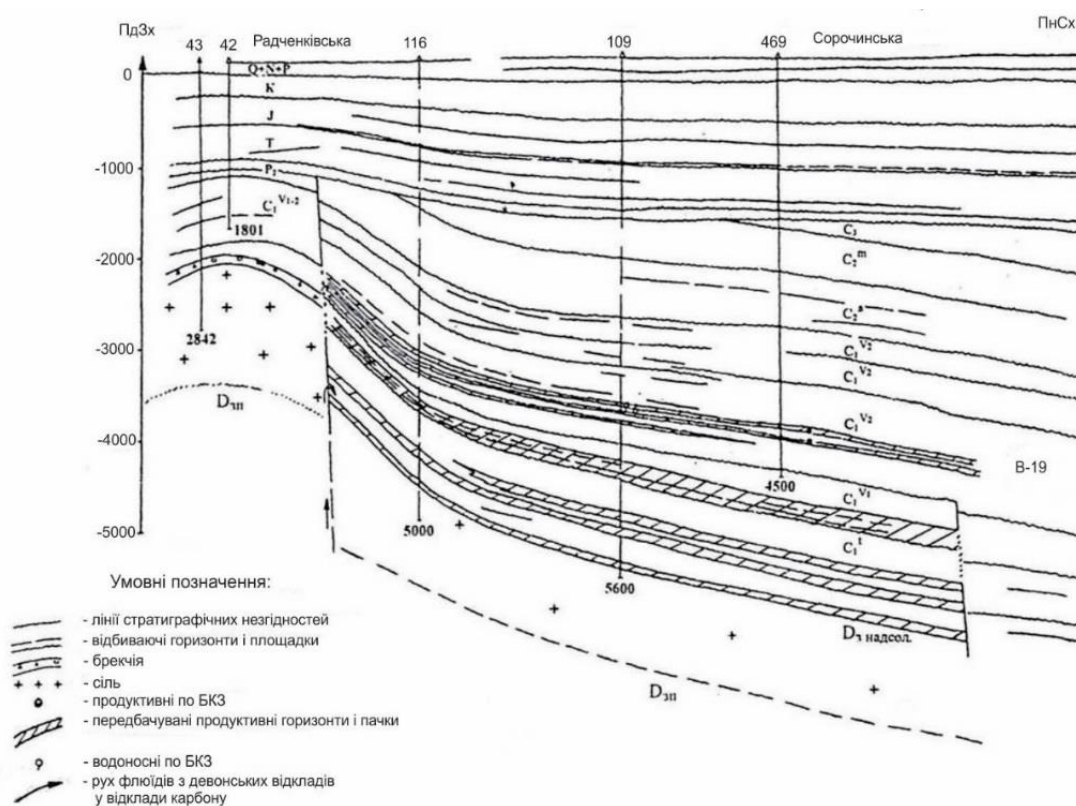


Рис. 1. Сорочинська площа. Геологічний профіль по лінії свердловин 43-469

Руденківське родовище, як відомо, розташовано на моноклінальному схилі компенсаційного прогину Новосанжарсько-Малоперещепинського штоку. Продуктивні горизонти приурочені до піщаних пластів у відкладах турнейського і візейського віку, які розмежовані крупним передвізейським розмивом (рис. 2). У розмитій товщі турнейського ярусу продуктивні горизонти Т-1 і Т-3 незгідно перекриваються породами раннього візе, утворюючи стратиграфічно екрановані пастки [17].

У вищезалегаючих візейських відкладах продуктивні горизонти В-21-В-22, В-24 - В-26 простежуються у межах родовища повсюдно, а

пов'язані з ними газові скупчення, як припускається, екрануються зверху пластовими високомінералізованими водами, припливи яких отримано в свердловинах №№ 7, 12, 13.

Для оцінки флюїдодинамічних умов формування ГП важливого значення набувають дані щодо поширення в осадовому чохлі високонапірних водоносних комплексів та їх взаємодія.

Використовуючи опис, наведений для ДДЗ у роботі [17], відмітимо, що девонський водоносний комплекс вміщує елізійні води, для якого характерним є широке розповсюдження розсолів вилуговування з мінералізацією до 370 г/л і більше, та розвитком як гідростатичних, так і ано-

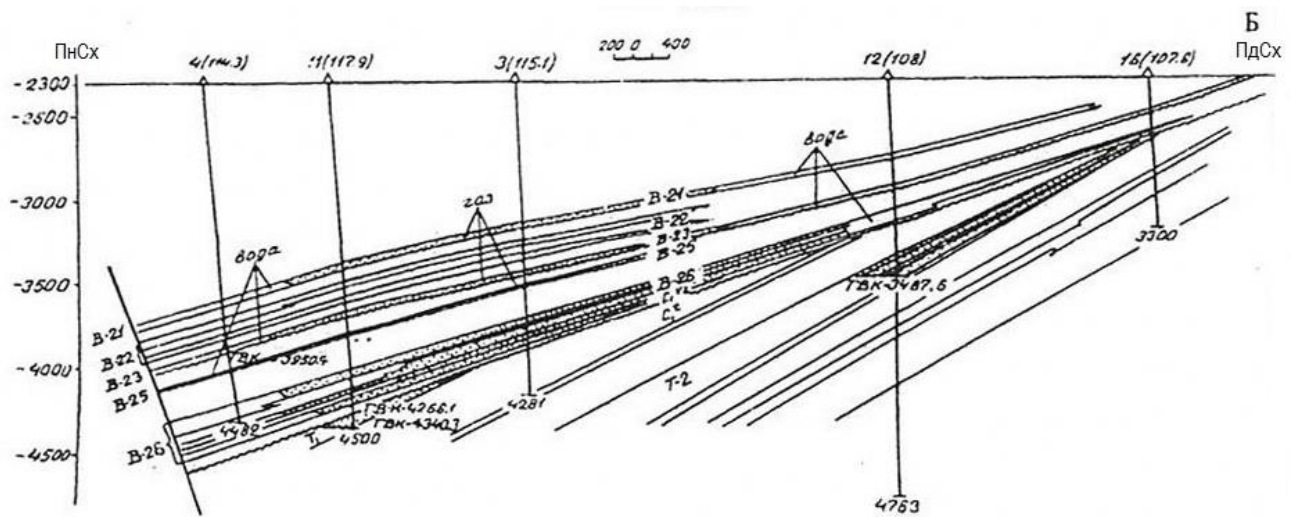


Рис. 2. Руденківське родовище. Розріз продуктивної частини за лінією свердловин 4–16 (за Ф.Д. Савченком, В.А. Лещенком, 1985 р.)

мально високих пластових тисків (АВПТ) з коефіцієнтом аномальності 1,6-1,7, та високих пластових температур.

Нижньокам'яновугільний водонапірний комплекс характеризується складною будовою. Регіональним флюїдоупором для нього служать глинисті товщі серпуховського та башкирського ярусів. Для комплексу характерним є розвиток розсолів хлоркальцієвого типу з мінералізацією 200-270 г/л і густиною 1,13-1,18 г/см<sup>3</sup>, проте роль елізійного водообміну дещо знижується у північно-західній частині западини, де помітним є вплив інфільтрогенних вод. Для даного комплексу характерним є розвиток близьких до гідростатичних пластових тисків, а зони аномально підвищених тисків приурочені до ділянок западини, де відбувається перетікання підсолевих девонських вод. Спостерігаються зони понижених і підвищених пластових тисків, які як вважає О.О. Плотніков, зумовлені гідродинамічним перерозподілом пластових вод із бортових зон западини до центральних її частин. У зв'язку з цим можна допускати, що на ряді ділянок бортових зон ДДЗ в умовах елізійного водообміну відбуваються спрямовані вниз за падінням горизонтів потоки пластових вод [17].

Водообмін у елізійній зоні ДДЗ реалізується шляхом латерально-вертикальних перетоків. Повсюдний розвиток джерел розвантаження вод палеозою дозволяє високо оцінювати гідродинамічний потенціал його водонапірних систем і допускати розвиток в ДДЗ процесів гідродинамічного уловлювання газу. До такого висновку, в результаті аналізу наявних гідрогеологічних матеріалів, дійшов автор вищевідміченої монографії [17].

Перспективи пошуків пасток газу гідродинамічного типу оцінені ним для нижньокам'яновугільних відкладів у межах окремих ча-

стин монокліналі південної прибортової зони з виділенням семи ділянок (рис. 3), коротку характеристику яких наводимо нижче.

I. Білоусівсько-Чорнухінська ділянка розташована на моноклінальному зануренні нижньокам'яновугільного комплексу на північ від Білоусівського (нижній візе) і Чорнухінського (верхній візе) газових родовищ. На монокліналі цієї ділянки із нижньовізейських відкладів отримано промисловий приплив газу. Глибина залягання продуктивних горизонтів карбону 3500-4000 м.

II. Сорочинсько-Кавердинська ділянка, де продуктивними є відклади верхнього візе на глибині 3900-4500 м, розташована між Малосорочинським і Радченківським газонафтовими родовищами на півдні та Кошевойським родовищем на півночі. У свердловині № 469, пробуреній на монокліналі, що розділяє два останні родовища, встановлена промислова газонасність візейських відкладів.

III. Сагайдаксько-Гоголівська (Тищенківська) ділянка розташована на монокліналі між Сагайдакським і Гоголівським газонафтовими родовищами з продуктивністю в серпуховських і башкирських відкладах.

IV. Горобцівська ділянка розташована на монокліналі на північний схід від Зачепилівського і Лиманського газонафтових родовищ. На Горобцівському родовищі із візейських відкладів (св. №12) отримано промисловий приплив газу дебітом 227 тис.м<sup>3</sup>/добу. Глибина залягання нижньокам'яновугільних відкладів 3500-4900 м.

V. Скарбно-Дорошівська ділянка приурочена до монокліналі, розташованої на північний схід від Руденківського родовища, де промислова газонасність візейських горизонтів пов'язується з екрануванням пластовими водами.

VI. Личківська моноклінальна ділянка розташована північніше Пролетарського (верхній ві-



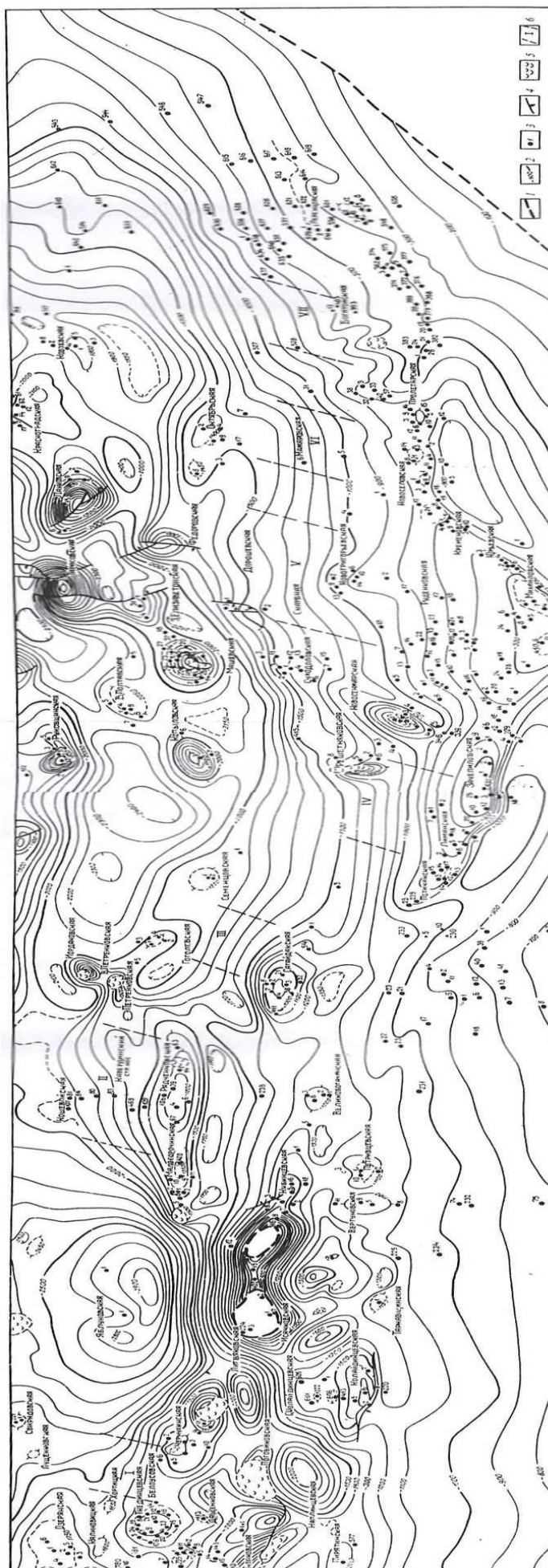


Рис. 3. Структурна карта підшоши верхньої пермі Дніпровсько-Донецької западини (фрагмент) (Під редакцією О.К. Ципко)

1 – границя поширення відкладів нижньої пермі; 2 – ізогіпси; 3 – глибокі свердловини; 4 – порушення; 5 – сіль;

6 – перспективні ділянки для пошуку гідродинамічних пасток газу (за О.О. Плотніковим, А.Ф. Овчинніковим)

зе) газового родовища. Глибина залягання карбону 3500 м.

VII. Богатойсько-Мажарівська ділянка розташована північніше Богатойського родовища. На Богатойській частині монокліналі із турнейських відкладів отримано промисловий газ. Глибина залягання нижнього карбону 3000-3500 м. Можливо газоносними на монокліналі даної ділянки будуть верхньо-візейські відклади.

Об'єктивно оцінюючи геологічні та гідрогеологічні параметри виділених ділянок, їх автор зауважує, що в ряді випадків певну роль у формуванні пасток на цій монокліналі можливо відіграють літологічний чи диз'юнктивний фактори, проте необхідним є врахування у всіх випадках і ролі гідродинаміки в локалізації газу в цих умовах.

Цілком зрозуміло, що сприятливі умови для оцінки вірогідного поширення ГП не можуть обмежуватися наявністю таких умов тільки у межах південної прибортової зони, де при всій важливості наведених результатів, виділено вищеперелічені перспективні ділянки. Для ДДЗ характерними є розлогі моноклінальні схили північного і південного бортів, як і монокліналі прибортових зон та схили крупних депресій, а також численні напівзамкнуті структурні форми – структурні носи і тераси, які теж заслуговують стати об'єктами вивчення. Варто відмітити що в межах структурних носів, виступів, терас, а також на крилах і периклінальних частинах складок пастки гідродинамічного типу виділяються [17].

Автори даної статті, у зв'язку з цим, здійснили спробу проаналізувати (вірогідно не в повному обсязі) наявний фактичний матеріал саме під кутом зору можливостей застосування геофлюїдодинамічної концепції формування ГП на монокліналях в інших частинах ДДЗ.

Для наближення до вирішення цієї вельми складної проблеми вважаємо доцільним розгляд окремих питань в такій послідовності: 1) районування ДДЗ за віком домінуючого за запасами комплексу для визначення серед інших пріоритетності застосування геофлюїдальної концепції формування ГП; 2) характер процесів осадконакопичення для виділення сприятливих зон щодо формування передусім теригенних порідколекторів; 3) виділення водонапірних комплексів та характеристика їх взаємодії на «закритих» і «розкритих» монокліналях.

У результаті аналізу розміщення геологічних запасів нафти і газу по родовищах ДДЗ [19], в осадовому чохлаї авторами цих досліджень виділено турнейсько-нижньовізейський, верхньовізейський, серпуховський, середньокам'яновугільний, верхньокам'яновугільно-нижньопермський домінуючі продуктивні комплекси, що лягло в основу складання відповідної карти нафтогазо-

геологічного районування регіону (рис. 4). Враховуючи домінуючу за запасами вуглеводнів значимість і нижченаведені аргументи, першочерговим стратиграфічним комплексом для цілеспрямованих досліджень розглядаємо візейський ярус. До числа аргументів відносяться:

1) вперше (згідно з уявленнями О.О. Плотнікова [17]) у відкладах цього віку виявлено в ДДЗ Сорочинське і Руденківське родовища, газові поклади у межах яких пов'язані з ГП в піщаних горизонтах;

2) літологічний розріз візейського віку, починаючи з продуктивного горизонту В-23, характеризується істотним зростанням теригенних утворень, в яких піщані колектори складають абсолютну перевагу (рис. 5). У сприятливих умовах, при наявності тріщинуватих зон в товщах карбонатів, утворення ГП теж не виключається;

3) як відмічалось вище, візейський водонапірний комплекс у межах центрального грабена ДДЗ знаходиться найближче до підсолевих високонапірних вод девону, які шляхом вертикального розвантаження по розривах здатні створювати сприятливі умови для формування униз спрямованих потоків пластових вод переважно у піщаних горизонтах візейського віку.

Для короткої характеристики процесу осадконакопичення обраного для досліджень візейського ярусу, відмітимо наступне: пізньотурнейські відклади, що їх підстеляють, на території північно-західної частини ДДЗ, яка представляла собою прибережну акумулятивну алювіально-озернодельтову рівнину, горизонти Т-1 і Т-3 представлені переважно пісковиками (80%) з прошарками сухарних глин (10%) і аргілітів (10%). На більшій частині западини чергувались морські умови мілководного шельфу та прибережної зони. Тільки у найбільш занурених зонах південного сходу існували умови більш глибокого шельфу [16]. Авторами цієї монографії на 12 картах всіх продуктивних горизонтів візейського ярусу (В-27+В-26 – В-14) відтворили послідовну зміну палеогеографічних обстановок, в яких відбувалось осадконакопичення відкладів кожного продуктивного горизонту, а це: 1 – рівнина горбиста; 2 – низинна озерно-алювіальна заболочена рівнина; 3 – приморська озерно-болотна рівнина, яка часом заливалась морем; 4 – море, прибережна зона; 5 – море, мілководний шельф; 6 – море, депресійна зона. Для першої – характерними були процеси денудації; для другої і третьої – транспортування продуктів розмиву і часткове накопичення у вигляді алювію в палеоруслах і дельтових протоках; для четвертої і п'ятої – повсюдне накопичення переважно теригенних і частково карбонатних відкладів. Границі поши-

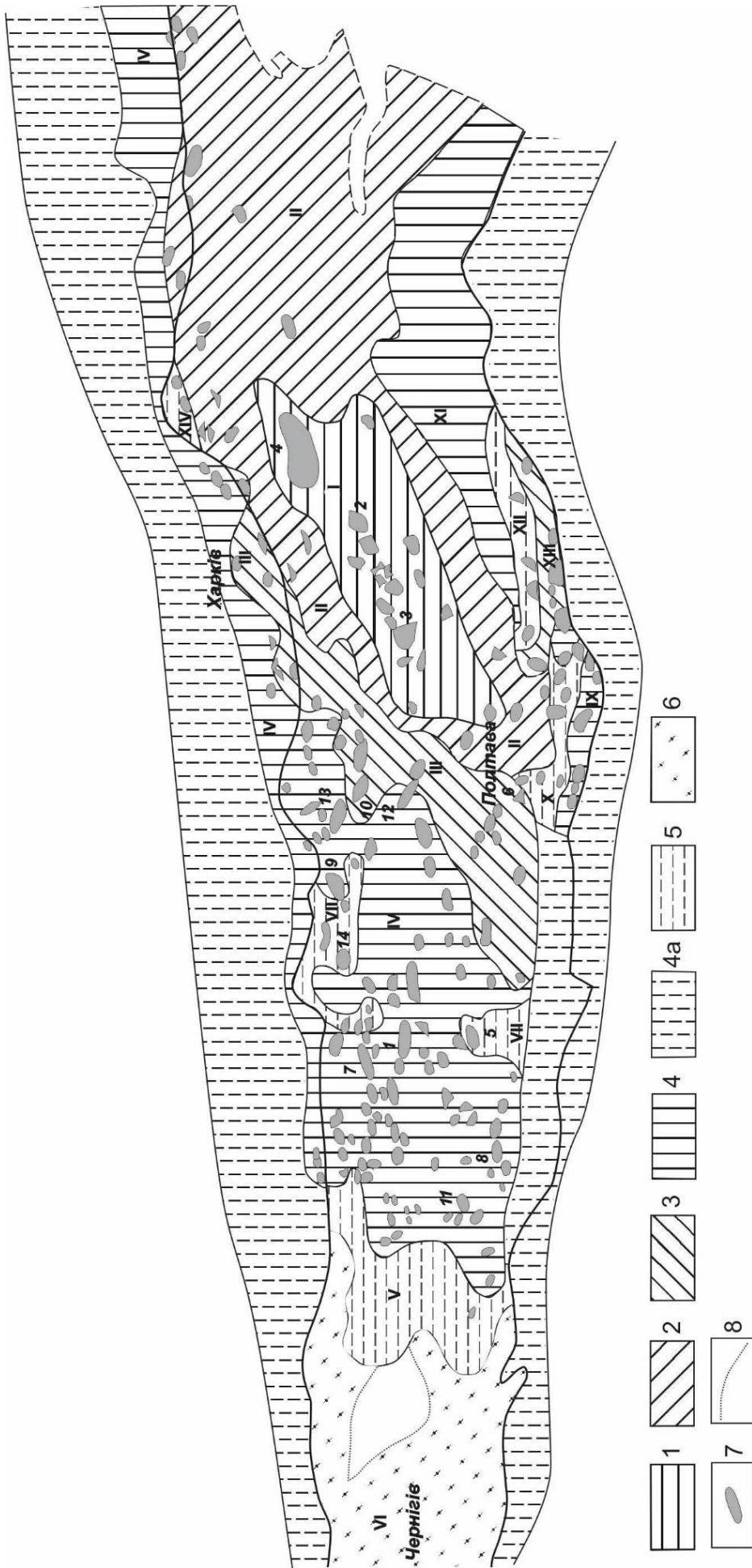


Рис. 4. Карта нафтогазогеологічного районування ДДЗ за віком домінуючого по запасам ВВ продуктивних комплексів [19]  
(зі змінами і доповненнями авторів статті)

Вік комплексу: 1 – пізній карбон – рання перм, 2 – середній карбон, 3 – серпуховський, 4 – верхній візе, 4а – поширення верхньовізейського комплексу на бортових монокліналах, перспективних для пошуків гідродинамічних пасток (за авторами статті), 5 – турне – ранній візе, 6 – девонський; 7 – родовища вуглеводнів; 8 – границя ділянки, де відсутні девонські відклади. *Нафтогазоносні райони*: I – Чугово-Шебелинський, II – Полтавсько-Боровський, III – Абазівсько-Безплідівський, IV – Срібненсько-Північно-Луганський, V – Монастирищенський, VI – Чернігівський, VII – Яблунівський, VIII – Тимофіївський, IX – Зачепилівсько-Кременівський, X – Мачехсько-Руденківський, XI – Близноківський, XII – Рясківсько-Богатойський,

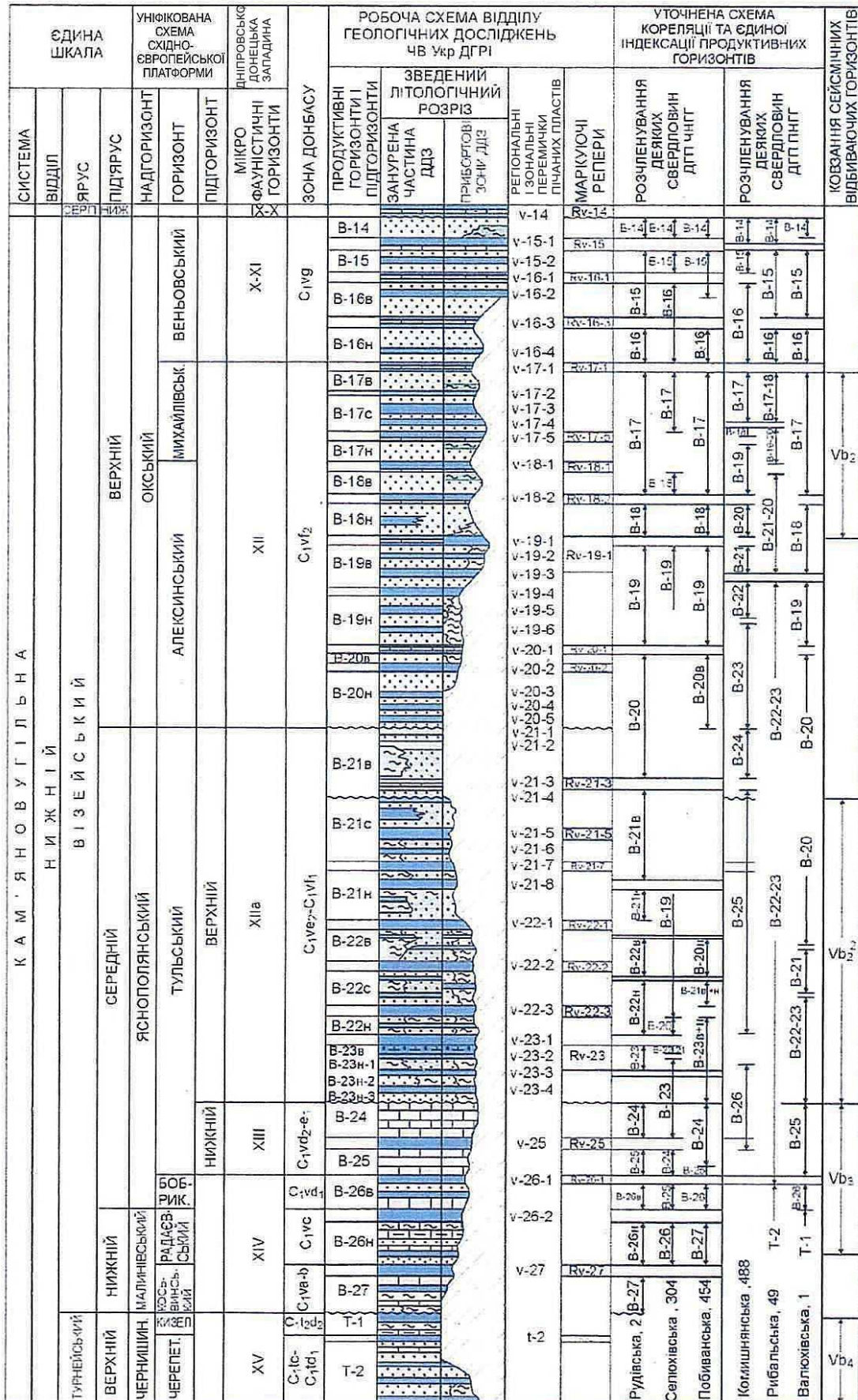


Рис. 5. Схема стратиграфії, єдина номенклатура продуктивних горизонтів, глинистих перемичок і реперів візейських відкладів ДДЗ та її зіставлення з «Уточненою схемою кореляції та єдиної індексації продуктивних горизонтів 1989 р.» (за [16])

рення палеогеографічних зон на протязі візейського віку зазнавали суттєвих змін. В міру зменшення глибини занурення грабена границя низинної озерно-алювіальної заболоченої рівнини просувалась на схід, збільшуючи територію, де роль континентального осадконакопичення зростала. При збільшенні глибини занурення виникали умови наступної палеогеографічної обстановки, тобто приморської рівнини, яка часом заливалася морем, завдяки чому стимулювалось збереження алювіальних утворень шляхом перекриття їх піщано-алеврито-глинистими відклада-

ми. Яскравим прикладом відміченої ситуації служить рис. 6, який відтворює умови осадконакопичення продуктивного горизонту В-23 – складової частини ХІІа м.ф.г.

Простеженням за даними буріння численних свердловин характер поширення відкладів ХІІа м.ф.г. [11], відтворено в плані систему палеорічок з напрямками течії, відповідно, від суходолу до шельфової зони і тим самим створено в цілому узагальнюючу модель відкладів цього горизонту на території північно-західної частини ДДЗ (рис. 7).

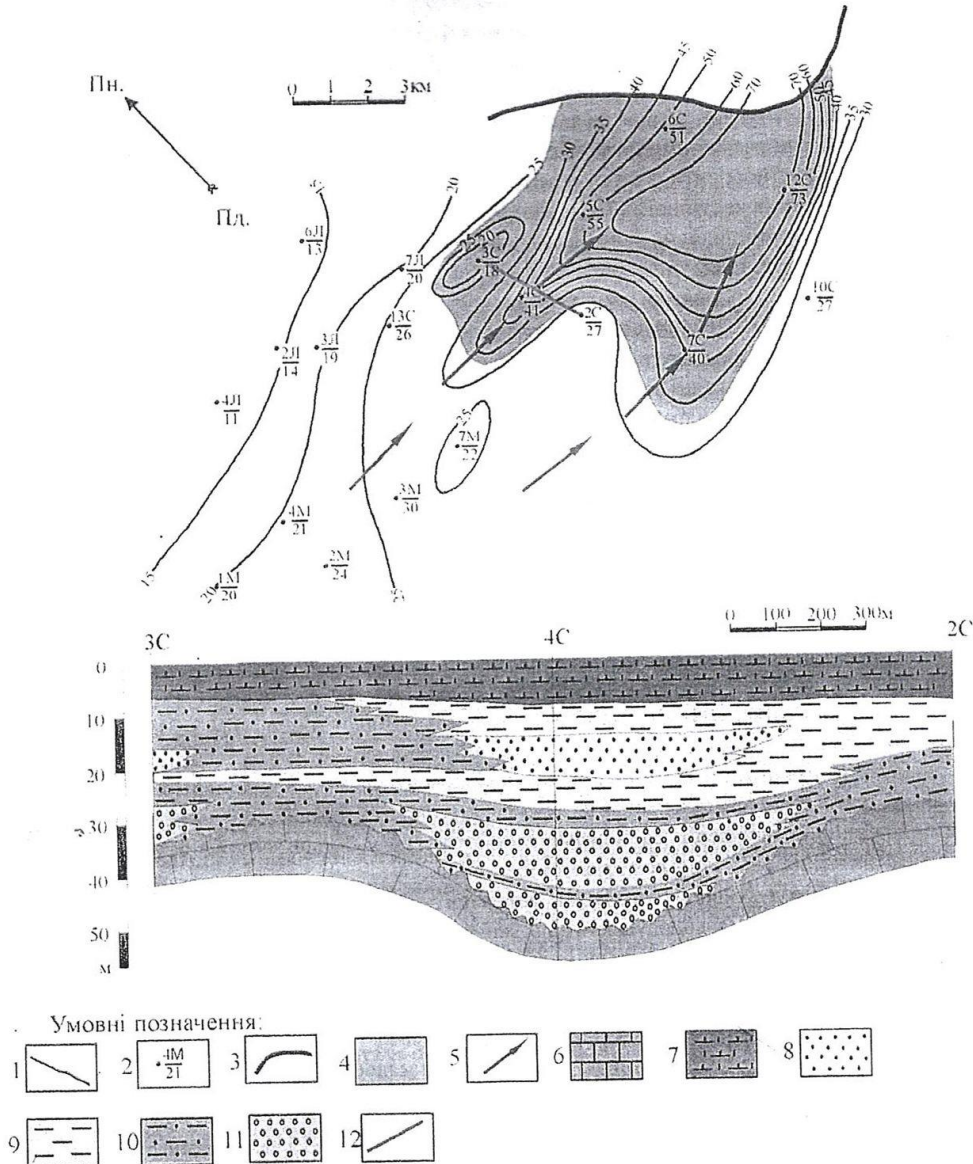


Рис. 6. Літолого-фаціальна схема осадконакопичення продуктивного горизонту В-23 на Луценківсько-Свиридівській ділянці (за [16])

- 1 – ізолінії товщ піщаних порід; 2 – свердловини: номер свердловини, площа (Л – Луценківська, М – Мехедівська, С – Свиридівська) / товщина піщаних пластів; 3 – берегова лінія морського басейну; 4 – ділянка локалізації дельтової системи; 5 – основні напрямки переносу піщаного матеріалу; 6 – карбонатні відклади ХІІ МФГ; 7 – карбонатно-глинисті бітумінозні відклади морського басейну із застійним гідродинамічним режимом; 8 – алевритово-піщані відклади підводних виносів рік; 9 – алевритово-піщані відклади прибережно-морські та дельтово лагунні; 10 – піщано-алевритово-глинисті відклади різних зон прибережної дельтової рівнини; 11 – піщані відклади русел та дельтових проток; 12 – лінія профілю

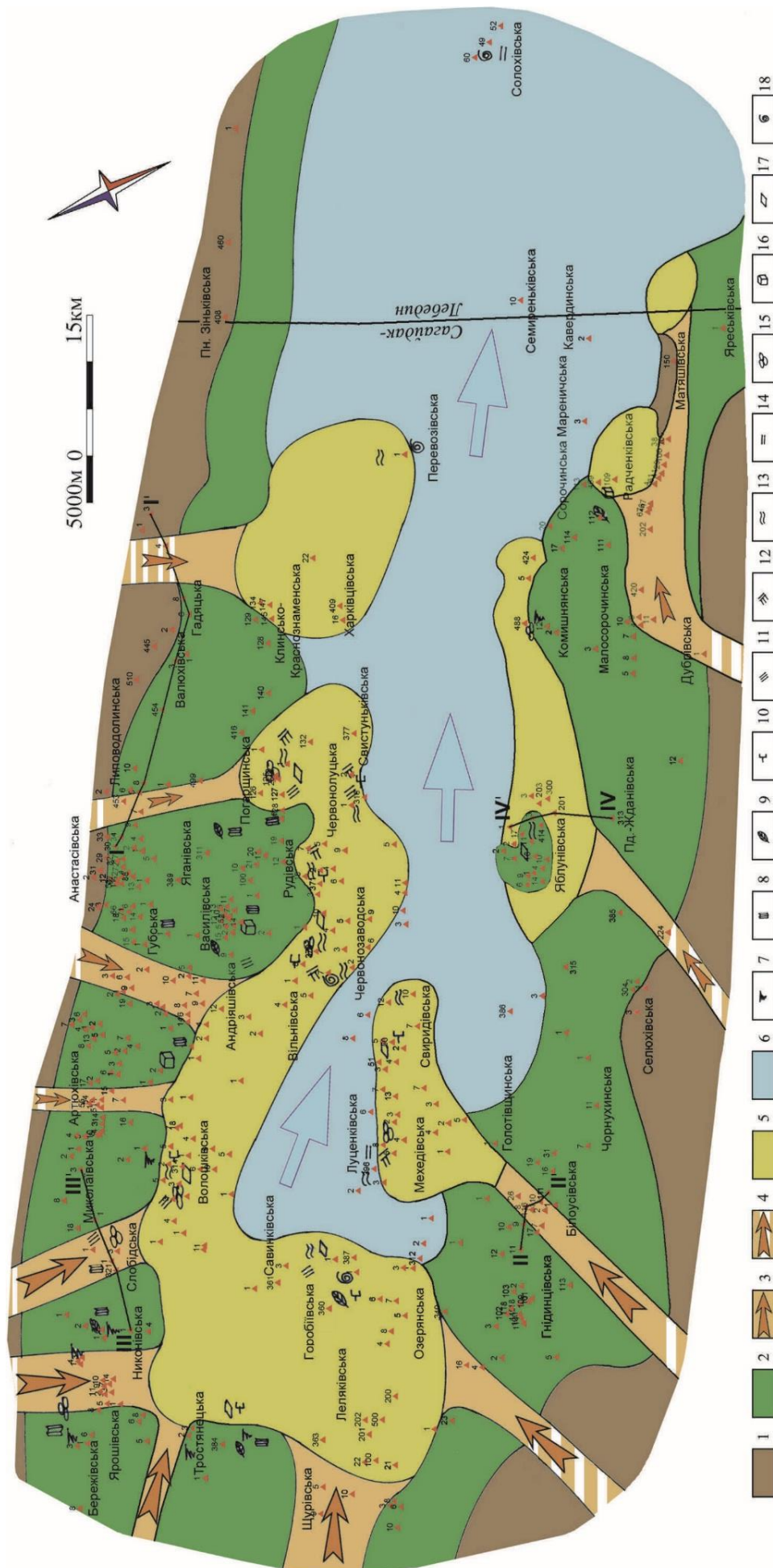


Рис. 7. Узагальнена модель відкладів ХІІа м.ф.г. центральної і північно-західної частин ДДЗ (за [11])

Елементи палеоландшафту: 1 – суходіл з відсутністю седиментації, 2 – заболочена приморська рівнина. Руслу рік з напрямками течії: 3 – встановлені, 4 – прогнозовані. Елементи палеобасейну: 5 – річкові виноси і морські пляжі, 6 – глинисті шельф (стрілками вказано напрямки регіональної течії).  
 Діагностичні фаціальні ознаки, а) відбитки решток рослин: 7 – коріння, 8 – кори та деревини, 9 – листя, 10 – тонкого детриту; б) текстури пісковиків: 11 – коса однонапрямована, 12 – коса перехресна, 13 – хвиляста, лінзовидно-хвиляста, 14 – горизонтальна; в) інші ознаки: 15 – включення гравію, гальки, грубозернистих пісковиків, 16 – піритизація, 17 – слюдистість на площинах седиментації, 18 – рештки фауни

На моноклінальних схилах западини, де девонський комплекс, більшою частиною, відсутній, формування водонапірних систем обґрунтовано в роботі [12], в якій, на прикладі узагальнення матеріалів по південно-східній частині ДДЗ, зроблено висновки про наявність двох гідрохімічних поверхів. З верхнім поверхом, в який входять водоносні комплекси кайнозойського, мезозойського, а на так званих «відкритих» палеозойських структурах, частково, - кам'яновугільного віку, пов'язані переважно прісні і слабокомінералізовані води. У нижньому гідрогеохі-

мічному поверсі, що охоплює відклади пермі, карбону і девону, підземні води представлені високомінералізованими розсолами.

Підземні води верхнього гідрогеохімічного поверху, у верхній частині, за своїм генезисом є інфільтраційними і характеризують зону активного водообміну; у нижній частині, де відбувається вплив високомінералізованих вод нижнього поверху, містяться води змішаного типу і характеризують зону уповільненого водообміну (рис. 8).

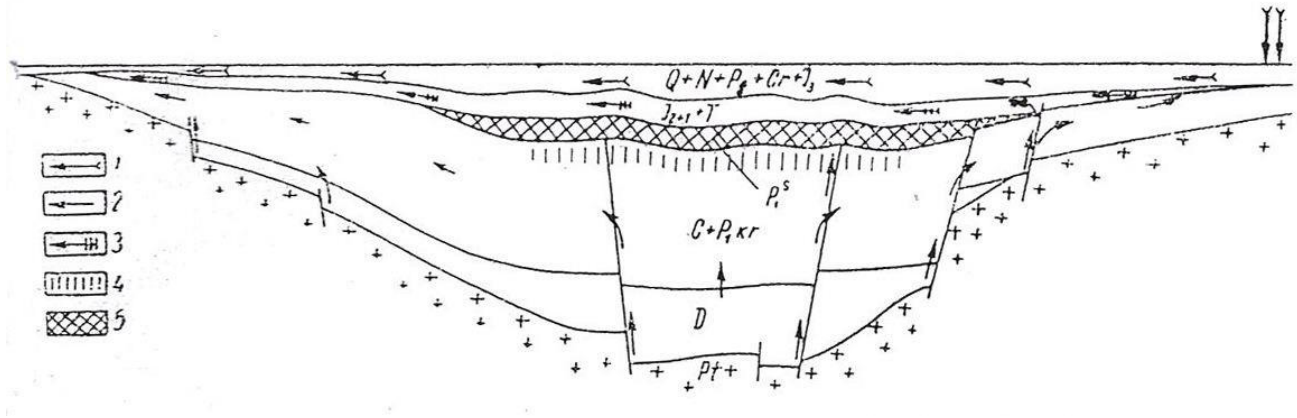


Рис. 8. Схема руху і розвантаження підземних вод південно-східної частини ДДЗ [12].

Напрямки руху вод: 1 – атмосферного походження (зона активного водообміну); 2 – метаморфізованого седиментаційного, давньоінфільтраційного і глибинного походження (зона значно уповільненого водообміну) 3 – змішаного походження (зона уповільненого водообміну); 4 – область максимальних гідростатичних тисків (максимальних приведених рівнів); 5 – регіонально газо-водонепроникні породи (соленосна товща нижньої пермі)

Рух вод у верхній водонапірній системі відбувається внаслідок різниці напорів між областями живлення (абсолютні відмітки поверхні водорозділу Воронізького масиву складають 280-300м) і розвантаження (річкові системи Дніпра і Сів. Дінця). Це типовий інфільтраційний режим водообміну.

За походженням підземні води нижнього гідрохімічного поверху є седиментаційними, давньоінфільтраційними, що захоронені разом з осадами і за ступенем циркуляції характеризують зону уповільненого водообміну.

Відповідну роль у балансі підземних вод нижнього поверху відіграють води глибинного походження, які проникають в осадову товщу по розломах у кристалічному фундаменті. Численні поліметалічні зруденіння гідротермального походження у межах відкритого Донбасу і на цілому ряді структур ДДЗ слугують яскравим цьому свідченням.

Рух вод у нижньому поверсі спричинюється різницею геостатичного навантаження, викликаного переважними товщинами осадових утворень у центральній частині порівняно з приоб'єктовими зонами, різницею пластових тисків, і направлений з областей підвищених тисків в обла-

сті знижених. Основний напрямок руху вод – висхідний. Шляхами їх міграції є розриви і тріщини, ослаблені зони соляних штоків та можливі літологічні вікна, які сприяють вертикальній міграції знизу вгору, і прониклі пласти, по яких латерально відбувається рух вод від центральної зони до північного і південного бортів ДДЗ (рис. 8). Це типовий елізійний режим водообміну в цілому для нижнього поверху.

Отже, північний борт ДДЗ найвірогідніше представляє собою тип монокліналі, де відбувається сполучення самостійних елізійного і інфільтраційного режимів водообміну. До першого відноситься вищеописана система водообміну в палеозойському комплексі порід з переважним рухом високомінералізованих вод з півдня на північ («закритий» тип монокліналі), а другий, у мезозойському комплексі, що характеризується зворотним напрямком їх руху, тобто з півночі на південь, уособлюючи тим самим інфільтраційний режим водообміну («розкритий» тип монокліналі), в якому основну роль відіграють прісні або слабкомінералізовані води переважно атмосферного походження.

Здавалося б, на перший погляд, що необхідні умови для формування ГП інфільтраційного

водообміну у відкладах палеозою наявні, проте зустрічне поєднання вищевідмічених різноспрямованих рухів вод є дещо проблематичним.

Роз'єднуючим фактором розглянутих водонапірних систем може виявитися регіональний флюїдоупор – глинисті товщі тріасу, що безпосередньо перекривають поверхню розмиву палеозою. Транзитними шляхами інфільтраційного руху на південь розглядаються територіально витримані піщані горизонти мезокайнозойського комплексу.

Моноклінальний схил південного борту, щодо режиму водообміну, суттєво відрізняється від північного, оскільки напрями руху вод як у палеозойському, так і в мезозойському комплексах збігаються.

Сугубо проблематичним можна розглядати відклади серпуховського віку на південному борту ДДЗ (у південно-східній його частині), в процесі накопичення яких певну роль, очевидно, відігравали Каховська, Мелітопольська і Нікопольська річкові системи [20].

Кінцеві результати переносу названими палеорічками уламкового матеріалу логічно пов'язуються з виділеними сейсморозвідкою потужними лінзовидними тілами [21], проте питання щодо участі алювіальних відкладів цих річок, як сучасних шляхів водотоку в північному напрямі та створення в цьому комплексі порід інфільтраційного типу водообміну на південному борту поки що не вивчалися. Можна тільки допустити, що у випадку руху в даний час по проникних горизонтах палеозою (включаючи названі палеорусл) інфільтраційних вод на північ і зустрічного руху в цих же відкладах елізійних вод із занурених частин регіону, створюються умови для формування системи стикуючого водообміну, що детальніше розглянуто нижче на прикладі північного борту ДДЗ.

Дещо відокремленою (в цілому від південного борту) слід розглядати південне крило Кальміус-Горецької улоговини разом з Красноармійською моноклінальною територією яких досить стрімко занурюється в північно-східному напрямку.

У південній частині цієї зони пісковики середнього карбону (товщиною від 20 м до 100 м) виходять на денну поверхню, перекриваючись кайнозойськими водоносними відкладами. Пісковики поширені у вигляді крупних лінз і полос довжиною від десятків до сотень кілометрів і шириною 16-60 кілометрів. Дослідженнями пластовипробувачем КП-65 виявлено у багатьох випадках їх продуктивність [26]. За результатами геолого-геофізичного вивчення встановлено, що з позиції оцінки геологічних передумов для фо-

рмування ГП ця територія, навіть без особливих завищених очікувань, представляє пошуковий інтерес і може розглядатися в числі першочергових для подальшого вивчення.

Розглянемо прогнозний варіант виникнення сприятливих умов для формування ГП у палеозойському комплексі порід на північному борту ДДЗ. Виходячи із прикладу Сорочинського родовища, де, згідно з опублікованими даними [17] роль гідродинамічного чинника у формуванні пастки, можливо, відіграла високомінералізована вода, що мігрувала із девонського комплексу по розривних порушеннях, допускаємо аналогічний механізм проникнення вод з більших глибин у пласти з латеральною міграцією вуглеводнів і формуванні їх скупчень (рис. 9).

Сукупність залежності можливого формування вуглеводневих скупчень у мезозойському комплексі полягає в тому чи проникають диз'юнктивні порушення, в його межі, які стали б шляхами вертикальної міграції ВВ. Наявний фактичний матеріал дозволяє на це запитання дати позитивну відповідь.

Принциповий механізм можливого утворення ГП для газу, який мігрує по тектонічному порушенню із палеозойських відкладів і досягає пласта-колектора в зоні інфільтрації мезозойського комплексу ілюструється на рис. 10.

Наведені схеми передбачуваних механізмів утворення сприятливих умов для формування ГП стосуються окремо функціонуючих елізійного та інфільтраційного режимів водообміну.

Водночас для крайньої північної частини північного борту ДДЗ в зоні активного водообміну в кам'яновугільних відкладах, що виходять на денну поверхню на схилі Воронізької антеклізи, напрям руху підземних вод на певній частині монокліналі теж стає південним, тоді як для палеозойського комплексу характерним є північний напрям міграції флюїдів. Отже логічним і обгрунтованим передбачається стикування елізійного та інфільтраційного режимів водообміну (рис. 11), що цілком виділяється як самостійний режим.

Результати аналізу хімічного складу вод (таблиця 1) засвідчують, що в цьому районі, який знаходиться на значній відстані від центрального грабену, води фундаменту і палеозойських відкладів мають ознаки глибинних вод (хлоридний тип). Низькі значення мінералізації вказують на розбавленість підземних вод прісними інфільтраційними, але не на повну їх заміну. Отже наявна ілюстрація змішування типових ознак вод глибинного і атмосферного походження. Звідси випливає висновок, що масштаби міграції флюїдів із грабену на борт (рис. 8) були значними і, можливо, здійснюються в даний час.



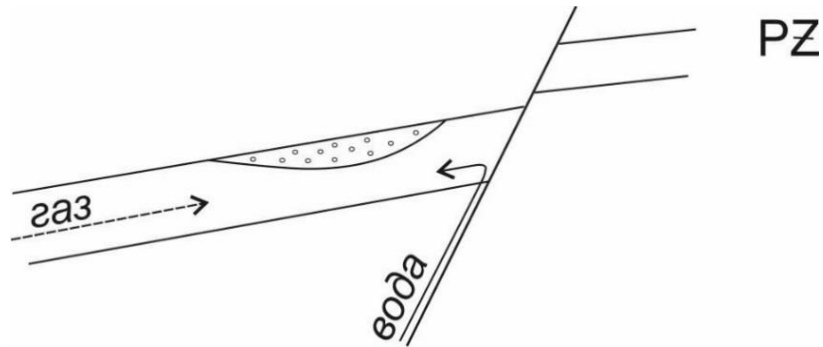


Рис. 9. Схематичний розріз монокліналі з елізійним перетікаючим режимом водообміну у палеозойських відкладах північного борту ДДЗ («закритий» тип монокліналі)

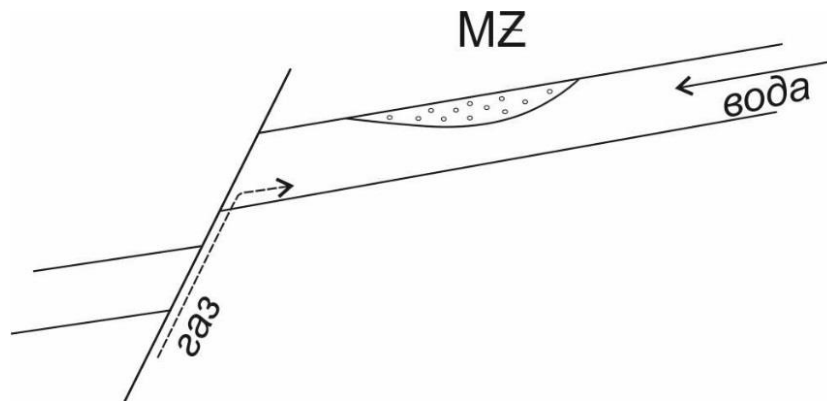


Рис. 10. Схематичний розріз монокліналі з інфільтраційним режимом водообміну в мезозойських відкладах північного борту ДДЗ («розкритий» тип монокліналі)

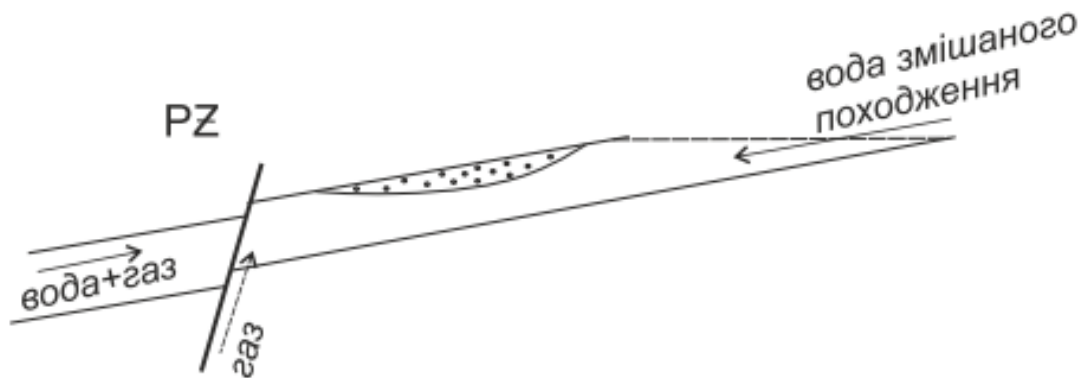


Рис. 11. Схематичний розріз монокліналі на стикуванні елізійного та інфільтраційного режимів водообміну у палеозойських відкладах північного борту ДДЗ і південного схилу Воронізької антекклізи («закритий» тип монокліналі)

Проведені дослідження комплексного складу розчинного газу в пробах вод району КМА (таблиця 2) показують, що вуглеводнева частка в окремих пробах сягає 34,35 – 38,43%. Враховуючи те, що одна із цих проб води взята із штреку Яковлівського рудника, можна зробити висновок про сучасне існування міграційних процесів. Головним джерелом руху пластових флюїдів є геодинамічні процеси, які підтримують гідродинамічну систему в стані високої енергетичної напруженості.

Співзвучним до викладеної точки зору може розглядатися висновок В.О.Терещенка [25], який висвітлює положення про те, що на елізійних етапах розвитку відбувалась крупномасштабна міграція перенасичених газом седиментогенних вод із приосьової частини рифтогена до його бортових частин. В таких умовах всі пастки будь-яких типів можуть бути заповнені газом.

Сучасний стан розповсюдження генетичних типів підземних вод у верхньовізейському комплексі порід (рис. 12) вказує що на північному

Таблиця 1

## Хімічний склад вод

№ п/п	№№ св.	Площа	Пит. вага води г/см <sup>3</sup>	Вміст іонів, мг/л										Мінералізація, г/л	Na / Cl	Cl - Na / Mg	Ca / Mg	Інтервали і вік порід, в яких відібрано проби
				Cl	SO <sub>4</sub> <sup>''</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>'</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>''</sup>	Na+K <sup>'</sup>	Ca <sup>''</sup>	Mg <sup>''</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>'</sup>	Г'	Br'					
1	921Г	Білгородський пивзавод	1,002	2392,65	отс.	305,0	отс.	1414,27	171,14	29,66	3,69	отс.	отс.	3,14	0,91	2,45	3,51	523-538, С <sub>1</sub> <sup>у</sup>
2	10 <sup>В</sup>	с. Муром	1,004	5594,59	отс.	24,4	24,0	2870,36	410,57	166,09	9,22	2,0	6,3	3,92	0,79	2,41	1,5	909-1012, С <sub>2</sub>
3	677Г	с. Біловське	1,000	501,43	отс.	6,1	102,0	396,75	4,81	1,7	-	отс.	отс.	2,74	1,22		1,58	476,3-590, С <sub>1</sub> <sup>у</sup>
4	632Г	с. Біловське	1,000	281,49	отс.	128,1	102,0	294,53	7,82	2,97	-	отс.	отс.	3,14	1,61		1,63	558-660, С <sub>1</sub> <sup>у</sup>
5	штрек	Яковлівський рудник	1,005	5823,30	отс.	170,8	отс.	3011,16	498,6	136,44	3,69	22,0	18,89	4,17	0,8	2,97	2,22	At-PR
6	1111Г	с. Маслово Пристань	1,000	527,79	отс.	48,8	84,0	400,20	9,82	7,17	-	отс.	отс.	3,73	1,17		0,84	805-900 PR (вода розбавлена)
7	2061Г	с. Біловське	1,002	2691,74	отс.	79,3	отс.	1405,53	303,0	11,92	1,84	отс.	6,3	3,92	0,8	14,98	15,3	704,2-725, С <sub>1</sub> -PR

Таблиця 2

## Результати аналізу компонентного складу газу

№ п/п	Місце відбору проби	Свердловина	Дата відбору	Склад газу		
				O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Сума ВВ
1	с. Біловське	632Г	16.12.94	13,55	83,0	3,45
2	с. Біловське	677Г	15.12.94	13,61	86,39	сліди
3	Білвино	921Г	09.12.94	17,85	82,15	сліди
4	с. Біловське	2061Г	15.12.94	2,37	59,20	38,43
5	Яковлівський рудник	Яковлівський рудник	20.12.94	2,56	63,09	34,35
6	с. Маслово Пристань	1111Г	16.12.94	15,61	81,40	2,99
7	с. Муром	10 <sup>В</sup>	27.12.94	13,7583,0	81,82	4,43

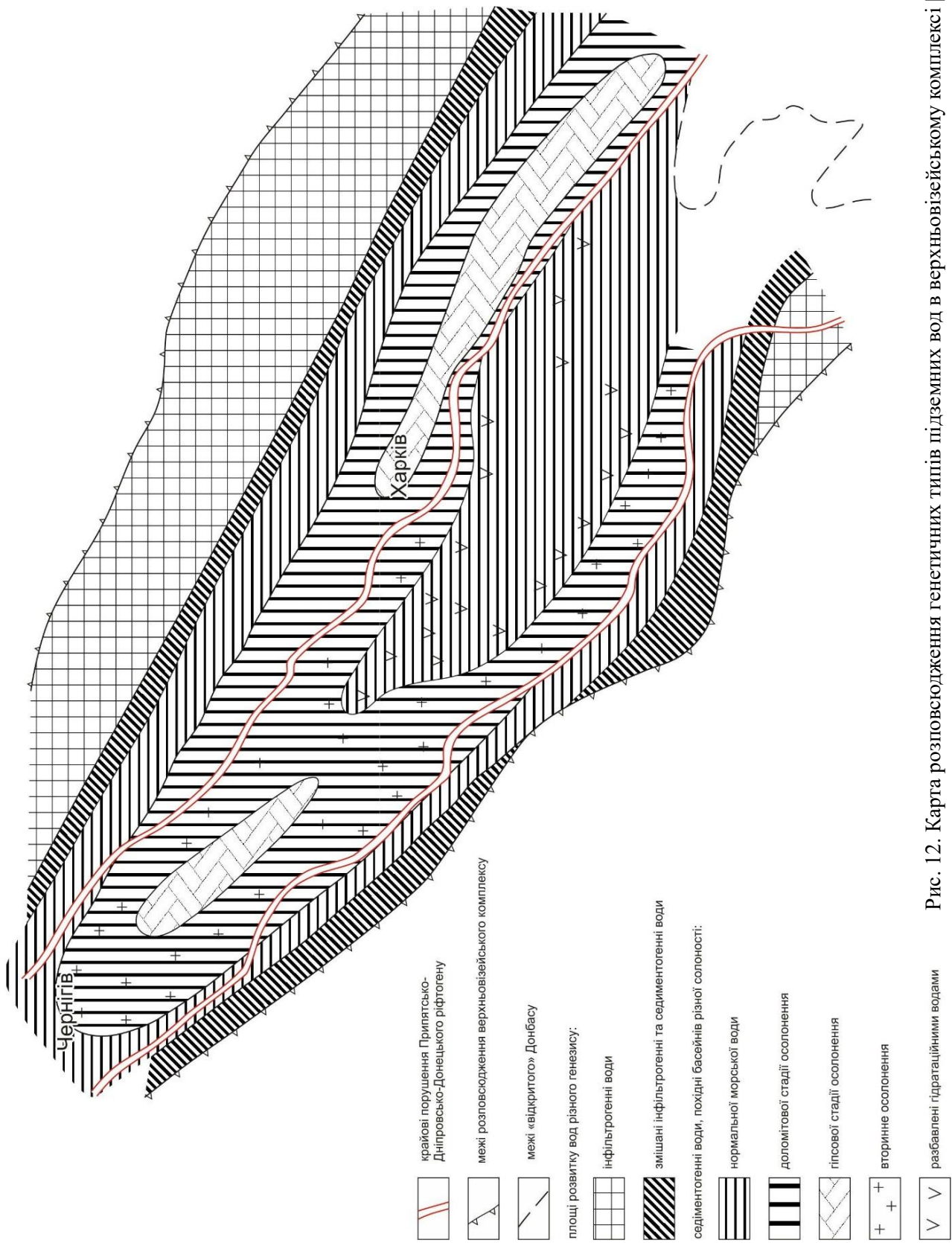


Рис. 12. Карта розповсюдження генетичних типів підземних вод в верхньовізейському комплексі [25]

борті спостерігається закономірна зміна їх типів: зона поширення інфільтраційних вод граничить зі смуго змішаних інфільтраційних і седиментогенних вод, яка переходить в зону седиментогенних вод (з різною стадією осолонення). Зниження швидкості руху інфільтраційних вод до вкрай незначних величин повинно трактуватись як типове явище для «закритих» монокліналей, у межах яких відбулось усталення рівноваги між напором інфільтраційних вод і протидією елізійних флюїдів, що мігрували ввєрх латерально чи вертикально диз'юнктивними порушеннями. Саме така рівновага є невід'ємною запорукою створення умов для гідродинамічного пасткоутворення, що і прогнозується на схематичному розрізі (рис. 11).

Зберігаючи формат інформації щодо поширення різновидів режимів водообміну на північному борту ДДЗ, слід відмітити наступне: враховуючи масштабність розмиву палеозойських відкладів у крайових частинах монокліналей та перекриття їх водоносним мезокайнозойським комплексом (рис. 13) створюються умови для функціонування інфільтраційних режимів водообміну, сприятливого для формування ГП у серії пластів палеозойського віку.

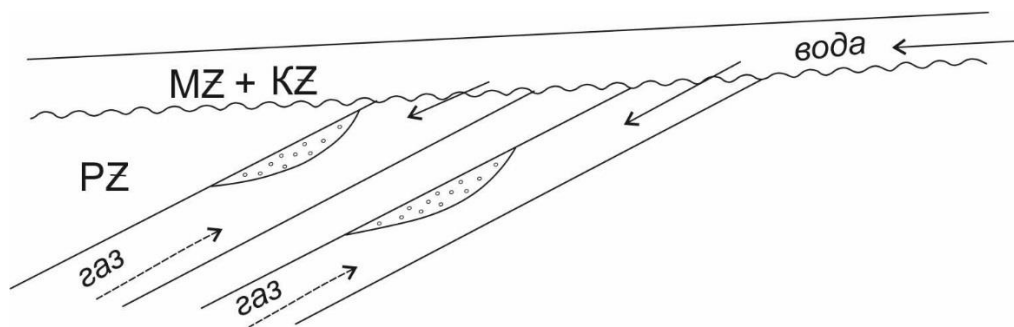


Рис. 13. Схематичний розріз монокліналей з інфільтраційним режимом водообміну в мезозойських відкладах північного борту ДДЗ

Отже, в межах північного борту стає можливим вперше виділення трьох режимів водообміну: інфільтраційного, елізійного і за [17] режиму стикування.

Практикою геологорозвідувальних робіт у різних регіонах підтверджується наявність тих різновидів ГП і пов'язаних з ними покладів вуглеводнів, які прогноуються нами в межах ДДЗ. В зоні інфільтрації виявлені відомі Малаканське, Армавірське, Соколовське, Хьюгтон, Прадхобей, Бісті та ін.; в зоні елізії – Томнез, Руденківське, Двлетабат та ін.; на стикуванні інфільтраційного та елізійного водообміну – Зарза-Ітін, Баракаївське, Кат-Бенк та ін. [17].

Окремо, з принципово нових позицій, щодо формування режиму водообміну на моноклінальних схилах бортових зон, а також частково у північно-західній частині западини, розглядаються умови, які на прогнозному рівні вперше пов'язуються з розгалуженою системою палеорічок (рис. 14, 6, 7).

Детальне вивчення умов формування руслових піщаних тіл викладено в спеціальній науковій праці [28], де серед шести типів виділяється зокрема «вріз і заповнення після ущільнення порід ложа», виповнені піщаними відкладами, що мають плоско-опуклу форму. Слід відмітити, що цей найбільш, очевидно, поширений різновид знаходить свою аналогію на типовому прикладі палеорусел і в ДДЗ (рис. 6).

Наведені в зазначеній роботі окремі приклади пов'язаних з русловими піщаниками родовищ нафти і газу (рис. 15-18) ілюструють особливості геологічної будови району, де під монокліналлю пролягають траси руслових утворень. На рис.17, зокрема, у результаті наступного розбурювання встановлено, що поклади X і Y сполучаються, формуючи протяжне родовище.

Траса руслових піщаників Черокі (рис. 17), що включає продуктивні нафтогазоносні горизонти (поперечний їх розріз наведений по лінії А-А') свідчить про масштабність розвитку цих пошукових об'єктів, підкреслюючи актуальність і перспективність їх вивчення.

Конфігурація алювіальних русел може ускладнюватися, приймаючи розгалужений вигляд дельти, з окремими галузками якої пов'язані нафтові і газові поклади (рис. 18). Розглядаючи приклад будови типової дельти з вмістом в її руслах піщаників Буч (східна Оклахома) і пов'язаних з ними нафтових покладів, Д. А. Буш [28] стверджує, що ні один із покладів не пов'язаний зі структурами. Їх утворення, імовірно, зумовлено наявністю непроникних бар'єрів, що ізолюють більш пористі та проникливі ділянки руслового піщаника. Можливий вплив геофлюїдодинамічних чинників на формування покладів ВВ у пастках палеорічкових систем у згаданій роботі не розглядається.



Рис. 14. Схемика карта джерел зносу та напрямків річкових систем у пізньодніпровський, алексинський та михайлівський час (за [16])  
 Границі сучасно розповсюдження: 1 – верхньодніпровських відкладів (ХІа МФГ); 2 – алексинських та михайлівських відкладів (ХІІ МФГ);  
 3 – річкові палеосистеми

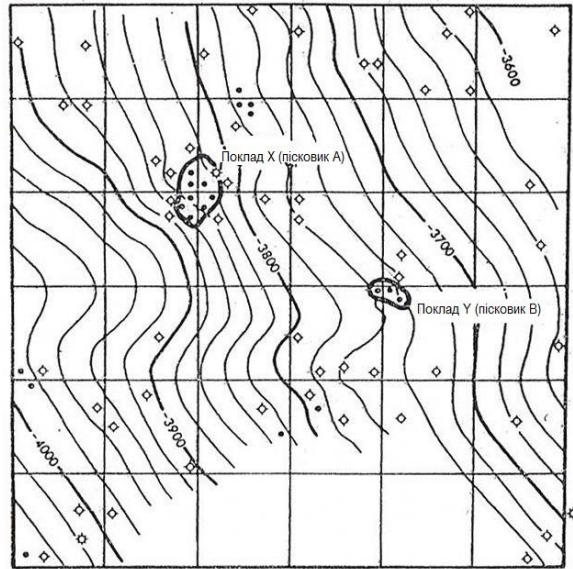


Рис. 15. Структурна карта покрівлі вапняка 2 (на рис. 16)

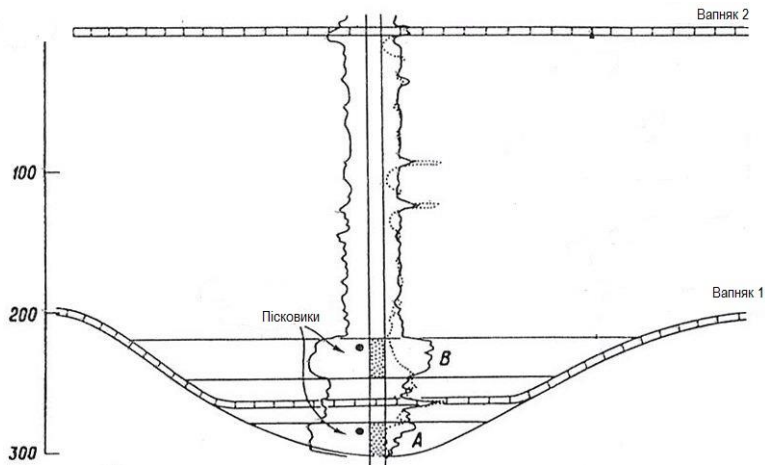


Рис. 16. Схематичний профіль через товщу руслових пісковиків А і В для району, показано на рис. 15

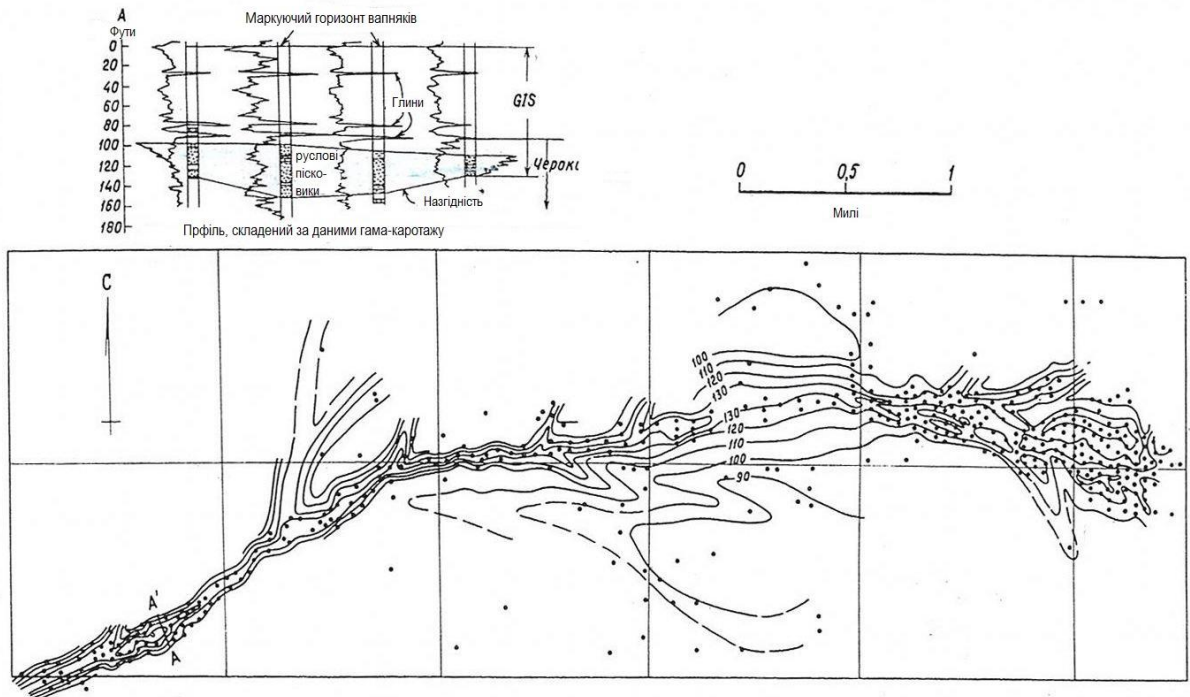


Рис. 17. Карта ізопахіт товщі GIS, що включає нафтоносні руслові пісковики (із [28])  
Закартований інтервал показаний на профілі гама-каротажу по лінії А-А'. Перетин ізопахіт 10 футів

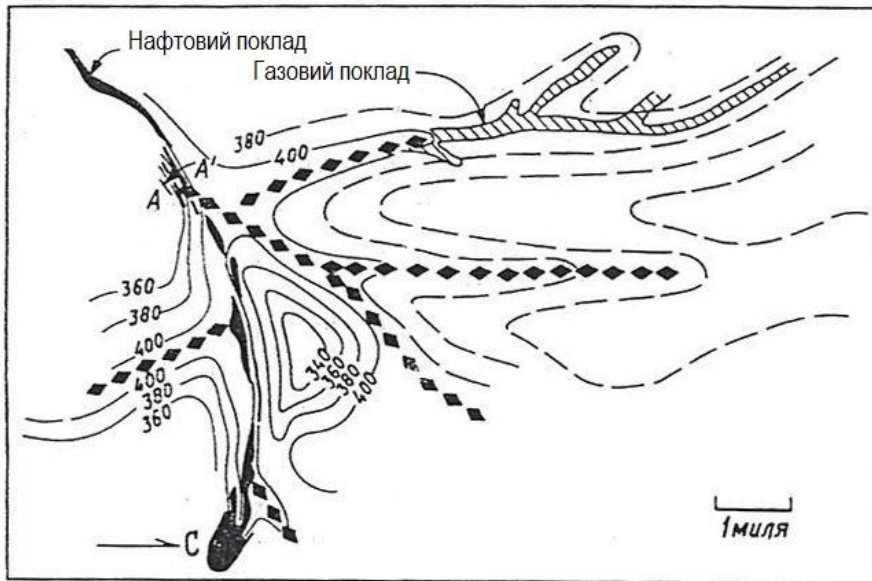


Рис. 18. Карта ізопахіт групи Черокі (нижній пенсільваній) з покладами нафти і газу в верхній частині пісковиків Черокі.

*Простягання цих витягнутих покладів збігається з вузькими зонами збільшених товщин відкладів групи Черокі. Точковими лініями показано вісі трендів підвищеної товщини відкладів Черокі*

У зонах розвитку палеорічкових систем ДДЗ, що впадали у візейське море (пізньютульський, алексинський, михайлівський час), схематично відтворено вірогідні джерела зносу та напрямки транспортування продуктів розмиву (рис. 14). Варто розуміти, що наведена схема символізує собою лише висхідні умови для необхідності подальшого поглибленого аналізу фактичних даних, які б дозволили наблизитись до створення реальної картини поширення алювіальних утворень цього віку для визначення ролі їх у процесах пасткоутворення і локалізації конкретних пошукових об'єктів. Водночас відмітимо, що новою і практично невивченою складовою частиною цієї масштабної задачі є питання геологічних передумов формування ГП, пов'язаних саме з алювіальними утвореннями. Сприятливі умови для утворення інфільтраційного водообміну в палеорусласх виникають вже на початковій стадії його зародження, коли атмосферними потоками із джерел денудації перенос продуктів розмиву відбувається річковими системами. Ухил бортових частин у бік грабену просідання зберігався на протязі всієї історії розвитку останнього, а значить зберігалась можливість латеральної міграції атмосферних вод по трасах палеорічкових систем у бік їх занурення. Реальність згаданої міграції детермінована безпосереднім контактом в зоні розмиву з перекриваючими водоносними горизонтами. Водночас із занурених частин цих трас рух флюїдів відбувався у зворотному напрямку, тобто із зон високого тиску у вищезалягаючі горизонти, де тиск закономірно зменшений, що і зумовлювало міграцію флюїдів у тому

числі і вуглеводнів. В зоні зустрічі протилежно спрямованої міграції флюїдів різного генезису в алювіальній споруді створювалась особлива флюїдодинамічна обстановка, сприятлива для формування ГП.

Найважливішого значення для оцінки можливостей формування ГП в палеорічкових системах бортів ДДЗ набуває прогнозування, а згодом і виділення трас цих систем. Одним із надійних факторів прогнозування ймовірних трас палеоруслас розглядається будова ложа, тобто поверхні кристалічного фундаменту. На значній частині північного борту ДДЗ (від меридіанів м. Сум до м. Сватове) на схематичній структурній карті поверхні фундаменту, виділяється Песельський, Полянський, Мерлівсько-Ворсклянський, Муромський, Велико-Бурлуцький, Оскольський і Краснорічинський прогини, які чергуються з серією близьких до співрозмірності виступів Боромлянським, Готнянським, Харківсько-Білгородським, Молодовським, Андріївським, Троїцьким і Білолуцьким [24].

Аналогічна хвиляста структура поверхні фундаменту встановлена спеціальними сейсморозвідувальними роботами КМЗХ (В.О. Шиманський та ін., 1989) у Північно-Охтирському районі, де виявлено Будновський, Микитівський, Тростянецький, Правдинський та Воскресенівський виступи, розділені відповідно серією прогинів. За своїми параметрами розглянуті території є надто різними, але за будовою є характерними, як для макро-, так і для мезоструктурного рівня бортових монокліналей.

Об'єктом зацікавлення може стати те, що з

абсолютною більшістю прогинів так чи інакше пов'язані сучасні річкові системи, що свідчить і про теперішнє функціонування їх взаємозв'язку. Такий зв'язок на ранніх етапах осадконакопичення, зокрема у візейській час, встановлено параметричними свердловинами 676-Дворічна та 663-Молодовська.

Свердловиною 676-Дворічна, пробуреною у межах Оскольського прогину, з підшовної частини візейського ярусу, з горизонтів, умовно віднесених до регіональних пачок В-17-21, які на цій площі складають базальну товщу осадового чохла, розкрита пачка алювіальних пісковиків. В інтервалі 1140-1175 м в керні, відібраного безпосередньо з приконтротної зони з породами фундаменту, підняті коричнево-сірі і світло-сірі пісковики з високими колекторськими властивостями: пористість їх варіює в межах 7,6-26,0 % при проникності  $(18,6-795,0) \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$ . Пісковики кварцові, середньо-дрібнозернисті, різного ступіню цементації, слабко глинисті та вапняковисті, в цілому нечіткошаруваті, текстура місцями підкреслюється прошарками крупно-грубозернистих пісковиків та вуглефікованим рослинним детритом. Контакт з підстеляючою поверхнею вивітрілого граніто-гнейсу чіткий, пологохвилястий, орієнтований під кутом 87-90° до вісі керну, по контакту розвинені лінзоподібні конкреції піриту.

В параметричній свердловині 663-Молодовська, пробуреній на схилі Молодовського виступу, в інтервалі 1260-1268 м підняті світло-коричнево-сірі пісковики візейського ярусу. Вони тонко-дрібнозернисті, мають запах ВВ, пористість 19,1-24,8 %, проникність  $(46,88-95,25) \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$ . В інтервалі 1300-1308 м (С<sub>1v</sub>, базальний горизонт чохла) піднятий керн, представлений світло-сіро-коричневими дрібнозернистими слабкоцементованими карбонатною речовиною пісковиками з пористістю 20,4-30,5 %, проникністю  $(90,63-3014,85) \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$ . (С.Ф. Поверенний, В.М. Бухтатий, 2004-05 рр).

Наведені дані дають підставу намітити в межах виділених прогинів траси палеорічкових систем і вважати їх об'єктами подальших цілеспрямованих досліджень з метою уточнення контурів, літологічного складу, дислокованості, флюїдного заповнення та ін.

У північно-західній частині ДДЗ (рис. 7) на підставі багатого фактичного матеріалу відтворена схема розвитку палеорічкових систем ХІІа м.ф.г. Схема охоплює територію розташування значної кількості родовищ нафти і газу, де скупчення ВВ пов'язані з традиційними в тому числі несклепінними пастками. Можлива роль гідродинамічного фактора в локалізації покладів ВВ ще не розглядалась. Водночас слід зауважити,

що в цій частині регіону, враховуючи напрям руху інфільтраційних вод, який згідно з результатами досліджень Л.П. Швая [22-23] відбувся із заходу на схід, а вуглеводневі флюїди із занурених східних частин латерально мігрували в західному напрямку, не виключається можливість виникнення сприятливих умов для формування ГП, як у межах монокліналей в цілому, так і особливо в алювіальних відкладах палеорічкових систем.

#### Висновки.

Із розгляду викладеного матеріалу випливають важливі висновки:

1. У межах ДДЗ перспективними для пошуків ГП, окрім виділених О.О. Плотніковим [17] семи моноклінальних ділянок у південній прибортовій зоні, до числа першочергових для вивчення перспективних територій віднесено північний борт, де прогнозується елізійний перетікаючий режим водообміну і вперше режим стикування в палеозойському комплексі та інфільтраційний режим водообміну в мезозойському комплексі, як базові умови для формування пасток цього типу. Другим першочерговим об'єктом для подальшого вивчення слід вважати територію південного крила Кальміус-Торецької улоговини і Красноармійської монокліналі, де прогнозується інфільтраційний режим водообміну в середньокам'яновугільних відкладах [26-27].

2. У північно-західній частині регіону результати діяльності палеорічкових систем у вигляді алювіальних утворень встановлено на базі фактичних даних буріння, тоді як на північному борту вперше траси палеорусел прогноуються уздовж прогинів поверхні кристалічного фундаменту. Стабільність в розвитку останніх у часі (від нижньокам'яновугільної епохи і до сьогодення) підтверджується розкриттям алювіальних відкладів у візейському ярусі (в Оскольському прогині) та приуроченість до прогинів сучасної річкової мережі.

3. Незважаючи на принципову відмінність водообмінів у межах «закритих» чи «розкритих» монокліналей, вперше розглядається взаємозв'язок ГП у алювіальних палеорічкових системах, як незалежний, що може функціонувати паралельно з прогнозними (рис. 9-11), базуючись на генетично стабільному зв'язку виключно з інфільтраційним водообміном.

4. Доцільність і необхідність продовження досліджень з проблеми геофлюїдодинаміки газу в ДДЗ обґрунтовується наявністю розглянутих позитивних передумов для формування пасток цього типу. У свій час, зіставивши гідродинамічні умови бортових частин регіону з моноклінальними схилами Східно-Венесуельського, Західно-Канадського, регіону Голф Кост та ін., В.О.



Краюшкін [18] дійшов висновку, що в ДДЗ «можна очікувати відкриття гігантських і надгігантських газових і нафтових скупчень». Така оцінка, скоріш за все, є проблематичною і, мабуть, явно перебільшеною, проте віднесення регіону до перспективних є цілком обґрунтованим і правомірним. В несклепінних пастках вміщується більше 25% світових запасів ВВ [30], а в ДДЗ співвідношення величини ресурсів несклепінних пасток до прогнозних ресурсів вцілому категорії  $D_1+D_2$  складає 63,8% [31]. Отже доля запасів вуглеводнів у ГП в цьому регіоні може виявитися значною, що і спонукає приділити цій проблемі подальшу належну увагу.

5. Для наближення до вирішення цієї найменш дослідженої у порівнянні з іншими несклепінними пастками геолого-пошукової проблеми, необхідно здійснити комплекс досліджень які в загальних рисах сформульовані раніше [29]. Деталізуючи ці задачі відмітимо необхідність

проведення узагальнень, спрямованих на визначення: а) характеру поєднання пластів-колекторів в зонах їх розмиву і перекриттям водоносними мезокайнозойськими горизонтами; б) раціонального комплексу геофізичних, геологічних, гідрогеологічних і геохімічних методів досліджень для підтвердження реальності формування намічених теоретичних моделей водообміну, а також встановлення контурів алювіальних річкових систем, ступеня їх дислокованості, як одного із об'єктів для першочергового цілеспрямованого вивчення з позиції пошуків ГП; в) виділення сприятливих для вивчення ділянок шляхом побудови карт перетину ізогіпс покривлі перспективних горизонтів з гідроізоп'єзами (за розробленою методикою [17]), для встановлення гідродинамічних мінімумів, у межах яких і відбувається скупчення ВВ.

Результати запланованих досліджень передбачається висвітлити в наступній статті.

#### Література

1. Арсирий Ю.А. Геологические критерии нефтегазоносности моноклинальных склонов Днепровско-Донецкой впадины. Автореферат дис. канд. геол.-мин. наук. – Ивано-Франковск, 1966.
2. Кабышев Б.П. Перспективы поисков тектонически экранированных залежей нефти и газа на моноклинальных участках Днепровского грабена [Текст] / Б.П. Кабышев // Нефтегазовая геология и геофизика, 1970. – №3. – С.60-63
3. Витенко В.А. Закономерности строения и формирования тектонически экранированных залежей нефти и газа [Текст] /В.А. Витенко, Б.П. Кабышев// труды УкрНИГРИ. Вып. XXVIII – Изд-во Львовского университета, 1971. – 123с.
4. Лукин А.Е. Перспективы поисков неантиклинальных залежей нефти и газа в Днепровско-Донецкой впадине [Текст] /А.Е. Лукин// советская геология, 1976. – №8. – С.14-25.
5. Лукин А.Е. Поиски неантиклинальных ловушек нефти и газа в полифациальных отложениях на основе детальной стратиграфической корреляции [Текст] /А.Е. Лукин, В.Т. Кривошеев// IV Межведомственная стратиграфическая конференция. – Ашхабад, 1983. – С.45-47.
6. Лукин А.Е. Результаты поисков неантиклинальных ловушек различного типа в глубокозалегающих нижнекаменноугольных отложениях ДДВ [Текст] /А.Е. Лукин, В.Т. Кривошеев, Е.З. Иванова // сборник «Методы прогноза, поисков и разведки неантиклинальных ловушек нефти и газа». – Л.: 1991, – С.132-140.
7. Берченко О.И. Методика прогнозирования комбинированных нефтегазоносных ловушек (на примере Днепровско-Донецкой впадины) [Текст] /О.И. Берченко, М.В. Вдовиченко, В.К. Гавриш и др.// К.: Наукова думка, 1986. – 152с.
8. Демьяненко И.И. Классификация ловушек углеводородов Днепровско-Донецкой впадины [Текст] /И.И. Демьяненко // Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений. – Львів: Світ, 1990. – Вып.27. – С.3-7.
9. Вакарчук Г.И. Перспективы нефтегазоносности ловушек неантиклинального типа в северо-западной части ДДВ [Текст] /Г.И. Вакарчук, Б.П. Кабышев, Т.М. Пригарина, А.Ф. Шевченко // Геол. журнал, 1990. – №4. – С.11-19.
10. Кабышев Б.П. Классификация стратиграфических залежей нефти и газа [Текст] / Б.П. Кабышев, Г.И. Вакарчук // Отечественная геология, 1994. - №2. – С.3-10.
11. Лазарук Я.Г. Теоретичні аспекти та методика пошуків покладів вуглеводнів у неантиклинальних пастках [Текст]/ Я.Г. Лазарук // - К.: УкрДГРІ, 2006. – 110с.
12. Височанський І.В. Про гідродинамічні особливості південно-східної частини Дніпровсько-Донецької западини [Текст] /І.В. Височанський, Р.Г. Гірич, А.О. Ігнатенко, І.М. Шевченко // Геологія і геохімія горючих копалин, Вып. 24. – Наукова думка. – Київ. – 1971. - С.32-37.
13. Височанский И.В. Структуры – ловушки нефти и газа на моноклиналях Т. I Тектонически экранированные ловушки [Текст] / И.В. Височанский, Н.И. Галабуда, Л.Е. Фильштинский // Львов: Ин-т геологии и геохимии горючих ископаемых, 1989. – 52с. – (Препр./АН УССР, №89-6).
14. Височанский И.В. Структуры – ловушки нефти и газа на моноклиналях Т. II Стратиграфические экранированные ловушки [Текст] / И.В. Височанский, Н.И. Галабуда, Л.Е. Фильштинский // Львов: Ин-т геологии и геохимии горючих ископаемых, 1989. – 56с. – (Препр./АН УССР, №89-7).

15. Височанський І.В. Наукові засади пошуку несклепінних пасток вуглеводнів у Дніпровсько-Донбаському авлакогені [Текст] / І.В. Височанський // Монографія. – Х: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2015. – 236 с.
16. Кривошеєв В.Т. Літолого-палеогеографічні карти турнейських і візейських продуктивних горизонтів Дніпровсько-Донецької западини та прогноз нафтогазоносності [Текст] / В.Т. Кривошеєв, В.В. Макогон, С.З. Іванова // Монографія. – Київ. – УкрДГРІ. – 2019. – 259с.
17. Плотников А.А. Геофлюидодинамика газа [Текст] / А.А. Плотников // Монографія. – М. – 2001. – 273с.
18. Краюшкин В.А. Поиски гигантских и сверхгигантских газовых залежей на бортах Днепровско-Донецкой впадины – новые перспективные направления работ по ускорению приростов ресурсов природного газа в УССР [Текст] / В.А. Краюшкин // Перспективы обеспечения газовой промышленности УССР ресурсами природного газа. – М.: Недра, 1972. – С.23-25.
19. Евдоицук Н.И. и др. Закономерности размещения и прогнозирование значительных скоплений нефти и газа в Днепровско-Донецкой впадине [Текст] / Н.И. Евдоицук, Б.П. Кабышев, Т.М. Пригарина и др. // Монография. – Киев, Наукова думка, 1998. – 207с.
20. Шульга В.Ф. Нижнекарбоновая угленосная формация Донецкого бассейна [Текст] / В.Ф. Шульга // Монография. – М.: Наука, 1981. – 176с.
21. Височанський І.В. Східний сегмент південної крайової частини Дніпровсько-Донецької западини – проблемні шляхи їх вирішення [Текст] / І.В. Височанський, В.М. Тесленко-Пономаренко // Питання розвитку газової промисловості України. Збірник наукових праць, вип. XXXVIII. – Харків, 2010. – С.3-10.
22. Швай Л.П. Подземные воды Днепровско-Донецкой впадины в связи с нефтегазоносностью [Текст] / Л.П. Швай // Монография. – М.: Недра, 1973. – 105с.
23. Швай Л.П. К вопросу происхождения подземных вод Днепровско-Донецкой впадины [Текст] / Л.П. Швай // Геол. и геох. горюч. ископ. (Киев), 1985. – №64 – С.29-34.
24. Височанський І.В. Тангенціальний тиск і горизонтальні здвиги як важливі чинники формування структури докембрійського фундаменту [Текст] / І.В. Височанський, В.М. Тесленко-Пономаренко // Геодинамика, тектоника і флюїдодинамика нафтегазоносних регіонів України. Тезиси докладів VII міжнародної конференції «Крым – 2007». – Симферополь. - 2007. – С.197-198.
25. Терещенко В.А. Гидрогеологические условия газонакопления в Днепровско-Донецкой впадине [Текст] / В.А. Терещенко – Харьков. – 2015. – 244 с.
26. Тердовидов А.С. Перспективы поисков крупных месторождений газа в Кальмиус-Торецкой котловине Донецкого бассейна [Текст] / А.С. Тердовидов, С.Д. Павлов, В.В. Бережной, С. В. Горяйнов, Х.Ф. Джамалова, М.Г. Ульянов // Питання розвитку газової промисловості України. Збірник наукових праць, вип. XXVII. – Харків, 2000. – С.104-108.
27. Павлов С.Д. Рекомендації по пошукам газу у пастках неантиклінального типу на південно-західному схилі і в донній частині Кальмиус-Торецької котловини [Текст] / С.Д. Павлов, В.В. Бережной, С. В. Горяйнов // Тези доповідей 3-ї Міжнародної конференції метановугільних родовищ України. Дніпропетровськ, ІГТМ, 20-23 жовтня, 2004.
28. Буш Д.А. Стратиграфические ловушки в песчаниках [Текст] / Д.А. Буш // Монография. – изд. «Мир», Москва, 1977. – 215с.
29. Височанський І.В. Пошуки покладів вуглеводнів у несклепінних пастках Дніпровсько-Донецької западини – невідкладна задача сьогодення [Текст] / І.В. Височанський // Питання розвитку газової промисловості України. Збірник наукових праць, вип. XXXV. – Харків, 2007. – С.83-88.
30. Paraschiv V. Cu privier la campanele de hidrocarburi neclasice. /Mine, petrol si gaze. 1988.39. №5. P.258-260.
31. Височанський І.В. До оцінки ресурсного потенціалу несклепінних пасток вуглеводнів у Дніпровсько-Донбаському авлакогені [Текст] / І.В. Височанський // Всеукраїнська наук.-прак. конференція з міжнародною участю «Сучасні проблеми нафтогазової геології», присвячена пам'яті П.С. Шпака. – Київ, 16-17 червня 2016 р. – С. 101-103.

Надійшла до редакції 17 лютого 2021 р.  
Прийнята 23 квітня 2021 р.

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

UDC 553.982.23.05

**Ilarion Vysochanskiy,**

DSc (Geology and Mineralogy), Professor,  
V.N.Karazin Kharkiv University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,  
e-mail: [visochansky\\_il@ukr.net](mailto:visochansky_il@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-1583-1929>;

**Gennadiy Svyatenko,**

PhD (Geology), Head of Geological Exploration Projection Sector,  
Department of Hydrocarbones Calculation, Ukrainian Scientific Research Institute for Natural Gases,  
20 Gimnaziyna Naberejna, Kharkiv, 61010, Ukraine,  
e-mail: [henryfirst@ukr.net](mailto:henryfirst@ukr.net), <http://orcid.org/0000-0002-3117-2433>;

**Volodymyr Abelentsev,**

PhD (Geology), Leading Researcher, Ukrainian Scientific Research Institute for Natural Gases,  
e-mail: [abelentsev.vladimir@ndigas.com.ua](mailto:abelentsev.vladimir@ndigas.com.ua), <http://orcid.org/0000-0003-3490-6022>;

**Yevhenii Volosnyk,**

Head of Subsoil Use Department, Ukrainian Scientific Research Institute for Natural Gases,  
e-mail: [volosnyk.evgeniy@ndigas.com.ua](mailto:volosnyk.evgeniy@ndigas.com.ua), <https://orcid.org/0000-0002-1404-2629>;

**Andrii Nekrasov,**

Senior Researcher, Ukrainian Scientific Research Institute for Natural Gases,  
e-mail: [nekrasov.andrey@ndigas.com.ua](mailto:nekrasov.andrey@ndigas.com.ua), <https://orcid.org/0000-0003-2181-1681>;

**Mariia Kupchinska,**

Engineer, Ukrainian Scientific Research Institute for Natural Gases,  
e-mail: [kupchinskaya\\_maria@ndigas.com.ua](mailto:kupchinskaya_maria@ndigas.com.ua), <https://orcid.org/0000-0002-9319-8807>;

**Artem Zakharov,**

Junior Researcher, Ukrainian Scientific Research Institute for Natural Gases,  
e-mail: [zakharov.artem@ndigas.com.ua](mailto:zakharov.artem@ndigas.com.ua), <https://orcid.org/0000-0003-0877-8223>;

**Yuliia Spichakova,**

Researcher, Ukrainian Scientific Research Institute for Natural Gases,  
e-mail: [spichakova@ukr.net](mailto:spichakova@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-0026-3989>

## ON THE QUESTION OF GEOLOGICAL PREREQUISITES OF DNEIPER-DONETS DEPRESSION HYDRODYNAMIC TRAPS FORMATION

**Formulation of the problem.** Hydrocarbon pools in hydrodynamic traps are known within many oil and gas provinces. The Dnieper-Donets basin is one of the regions where non-vault traps of almost all types and associated with them hydrocarbon pools are widespread, while HT in DDD are not yet typical, although the geological structure of the region indicates the possibility of their formation. Thus, substantiation of the role of geological preconditions in the processes of hydrodynamic type traps formation is the main task of the work.

**Analysis of recent research and publications.** In the monograph of O. Plotnikov (2001) among the promising regions for the search for HT defined DDD. The reason for this was the data on the presence in some productive horizons, in particular in the Sorochinsky and Rudenkivsky fields, of formation waters that lie above gas-bearing deposits. It is believed by some researchers, that the leading role in the formation of gas accumulations at these fields belongs to formation waters. According to the results of geological and geophysical study of the southern slope of the Kalmius-Torets depression and the Krasnoarmijska monocline in the south-eastern part of the DDD (A. Terdovidov (2000), S. Pavlov (2004), favorable geological prerequisites for the formation of HT in Paleozoic sediments established.

**Selection of previously unsolved parts of the overall problem.** The general problem of searching for HT in the DDD as a whole task has not been solved so far.

**Formulation of the purpose of the article.** Estimation of possibilities of a new direction of search and reconnaissance works in DDD, namely on non-traditional non-vault traps of hydrodynamic type substantiation.

**Results.** The Visean dominant productive complex, regionally extended on the monocline slopes of the northern and southern sides of the depression and lithologically represented mainly by sandy horizons, was selected for priority research.

The significant content of alluvial sandstones in Visean sediments section allowed the authors to consider them as special reservoirs of fluids, and paleoalluvial systems to study in the rank of independent search objects. Their territorial location is logically related to the existing deflections of the surface of the crystal-

line basement, most of which are associated with modern river systems, which indicates the current functioning of their relationship. The authors made an attempt to substantiate within the northern side of the DDD the following forecast water exchange systems: 1) expulational overflowing; 2) docking regime (both in the terminology of O. Plotnikov) in Paleozoic sediments; 3) infiltration water exchange in Mesozoic sediments, as necessary conditions for catching migrating upward hydrocarbons. The decrease in the infiltration waters velocity to insignificant values is interpreted by the authors as a typical phenomenon for "closed" monoclines, within which there was an equilibrium between the pressure of infiltrative waters and the resistance of expulational fluids. This equilibrium is seen as a term of creating conditions for hydrodynamic trapping. The conclusions emphasize the need for comprehensive research to confirm the predictive models of water exchange and obtain data for mapping piezometric minimums, where there is an presumable accumulation of hydrocarbons.

**Keywords:** hydrodynamics, water exchange, monocline, trap, gas, expulational, infiltrational, condition.

#### References

1. Arsirij Yu. A. (1966). *Geologicheskie kriterii neftegazonosnosti monoklinal'nykh sklonov Dneprovsko-Donetskoy vpadiny* [Geological criteria for oil and gas content of monoclinal slopes of the Dnieper-Donetsk depression]. (Avtoreferat dissertatsii kandidata geol.-min. nauk.) Ivano-Frankivsk [in Russian].
2. Kabyshev B.P. (1970). *Perspektivy poiskov tektonicheski ekranirovannykh zalezhey nefi i gaza na monoklinal'nykh uchastkakh Dneprovskogo grabena* [Search prospects for tectonically shielded oil and gas deposits in monoclinal areas of the Dnieper graben]. *Neftegazovaya geologiya i geofizika*, 3, 60-63 [in Russian].
3. Vitenko V.A., Kabyshev B.P. (1971). *Zakonomernosti stroeniya i formirovaniya tektonicheski ekranirovannykh zalezhey nefi i gaza* [Structure and formation patterns of tectonically shielded oil and gas deposits]. *UkrNIGRI*, XXVIII, 123 [in Russian].
4. Lukin A.E. (1976) *Perspektivy poiskov neantiklinal'nykh zalezhey nefi i gaza v Dneprovsko-Donetskoy vpadine* [Search prospects for non-anticlinal oil and gas deposits in the Dnieper-Donetsk depression]. *Sovetskaya geologiya*, 8, 14-25 [in Russian].
5. Lukin A. E., Krivosheev V.T. (1983). *Poiski neantiklinal'nykh lovushek nefi i gaza v polifacial'nykh otlozheniyakh na osnove detal'noj stratigraficheskoy korrelyaczii* [Searches for non-anticlinal oil and gas traps in polyfacies based on detailed stratigraphic correlation]. *IV Mezhdvdomstvennaya stratigraficheskaya konferenciya*. – Ashkhabad, 45-47 [in Russian].
6. Lukin A. E., Krivosheev V.T., Ivanova E.Z. (1991). *Rezultaty poiskov neantiklinal'nykh lovushek razlichnogo tipa v glubokozalezgayushhikh nizhnkamennougol'nykh otlozheniyakh DDV* [Search results for various types of non-anticlinal traps in deep-lying Lower Carboniferous sediments of the DDD]. *Sbornik «Metody prognoza, poiskov i razvedki neantiklinal'nykh lovushek nefi i gaza»*, 132-140 [in Russian].
7. Berchenko O.I., Vdovichenko M.V., Gavrish V.K. i dr. (1986). *Metodika prognozirovaniya kombinirovannykh neftegazonosnykh lovushek (na primere Dneprovsko-Donetskoy vpadiny)* [Forecasting methodology for oil and gas combined traps (on the example of the Dnieper-Donetsk depression)]. *Naukova dumka*, 152 [in Russian].
8. Dem'yanenko I.I. (1990) *Klassifikaciya lovushek uglevodorodov Dneprovsko-Donetskoy vpadiny* [Classification of hydrocarbon traps in the Dnieper-Donetsk depression]. *Razvedka i razrobotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdenij*, 27, 3-7 [in Russian].
9. Vakarchuk G.I., Kabyshev B.P., Prigarina T.M., Shevchenko A.F. (1990). *Perspektivy neftegazonosnosti lovushek neantiklinal'nogo tipa v severo-zapadnoj chasti DDV* [Oil and gas non-anticlinal traps potential prospects in the northwestern part of the DDD]. *Geological journal*, 4, 11-19 [in Russian].
10. Kaby'shev B.P., Vakarchuk G.I. (1994). *Klassifikaciya stratigraficheskikh zalezhey nefi i gaza* [Classification of stratigraphic oil and gas deposits]. *Otechestvennaya geologiya*, 2, 3-10 [in Russian].
11. Lazaruk Ya.H. (2006) *Teoretychni aspekty ta metodyka poshukiv pokladiv vuhlevodniv u neantyklinalnykh pastkakh* [Theoretical aspects and methods of searching for hydrocarbon deposits in non-anticline traps]. *UkrDHRI*, 110 [in Ukrainian].
12. Vysochanskyi I.V., Hirych R.H., Ihnatenko A.O., Shevchenko I.M. (1971). *Pro hidrodinamichni osoblyvosti pivdenno-skhidnoi chastyny Dniprovsko-Donetskoi zapadyny* [In relation to hydrodynamic features of the south-eastern part of the Dnieper-Donetsk depression]. *Heolohiia i heokhimiia horiuchykh kopalyn*, 24, 32-37 [in Ukrainian].
13. Vysochanskyi I.V., Galabuda N.I., Fil'shtinskij L.E. (1989). *Struktury – lovushki nefi i gaza na monoklinalyakh T. I. Tektonicheski ekranirovannye lovushki* [Oil and gas trap-structures on monoclines Vol. I Tectonically screened traps]. *Institut geologii i geokhimii goryuchikh iskopaemykh*, 89-6, 52 [in Russian].
14. Vysochanskyi I.V., Galabuda N.I., Fil'shtinskij L.E. (1989). *Struktury – lovushki nefi i gaza na monoklinalyakh T. II. Stratigraficheaki ekranirovannye lovushki* [Oil and gas trap-structures on monoclines Vol. II Stratigraphic shielded traps]. *Institut geologii i geokhimii goryuchikh iskopaemykh*, 89-7, 56 [in Russian].
15. Vysochanskyi I.V. (2015). *Naukovi zasady poshukiv nesklepinnykh pastok vuhlevodniv u Dniprovsko-Donbaskomu avlakoheni* [Scientific basis of the search for non-anticlinal hydrocarbon traps in the Dnirovsko-Donbas aulacogen]. *Monohrafiia*. V. N. Karazin Kharkiv National University, 236 [in Ukrainian].
16. Kryvosheiev V.T., Makohon V.V., Ivanova Ye.Z. (2019). *Litoloho-paleoheohrafichni karty turneiskykh i vizeiskykh produktyvnykh horizontiv Dnirovsko-Donetskoi zapadyny ta prohnaz naftohazonosnosti* [Lithological and paleo-

- geographic maps of Tournai and Viseu productive horizons of the Dnieper-Donetsk basin and oil and gas potential forecast]. *Monografiya*. Kiev. UkrDHRI, 259 [in Ukrainian].
17. Plotnikov A.A. (2001) *Geoflyuidodinamika gaza [Geofluidodynamics of gas]*. Monografiya. Moscow, 273 [in Russian].
  18. Krayushkin V.A. (1972) *Poiski gigantskikh i sverkhgigantskikh gazovykh zalezhej na bortakh Dneprovsko-Donetskoj vpadiny – novye perspektivnye napravleniya rabot po uskoreniyu prirostov resursov prirodnogo gaza v USSR [The search for giant and supergiant gas deposits on the edge sides of the Dnieper-Donetsk depression - new prospective directions of work to accelerate the growth of natural gas resources in the Ukrainian SSR]. Perspektivy obespecheniya gazovoj promyshlennosti USSR resursami prirodnogo gaza. 23-25 [in Russian]*.
  19. Evdoshuk N.I., Kabyshev B.P., Prigarina T.M. i dr. (1998). *Zakonomernosti razmeshheniya i prognozirovaniye znachitel'nykh skoplenij nefiti i gaza v Dneprovsko-Donetskoj vpadine [Patterns of placement and forecasting significant oil and gas accumulations in the Dnieper-Donetsk depression]*. Monografiya. Kiev, Naukova dumka, 207 [in Russian].
  20. Shul'ga V.F. (1981) *Nizhnekarbonovaya uglenosnaya formacziya Doneczkogo bassejna [Lower Carboniferous coal-bearing formation of the Donetsk basin]*. Monografiya. Moscow: Nauka, 176 [in Russian].
  21. Vysochanskyi I.V., Teslenko-Ponomarenko V.M. (2010). *Skhidnyi sehment pivdennoi kraiovoi chastyny Dniprovsko-Donetskoj zapadyny – problemni shliakhy yikh vyrishennia [Eastern segment of the southern edge of the Dnieper-Donetsk depression - problematic ways to solve them]*. Zbirnyk «Pytannia rozvytku hazovoi promyslovosti Ukrainy». XXXVIII, 3-10 [in Ukrainian].
  22. Shvaj L.P. (1973). *Podzemnye vody Dneprovsko-Donetskoj vpadiny` v svyazi s neftegazonosnost'yu [Underground waters of the Dnieper-Donetsk depression due to oil and gas content]*. Monografiya. Moscow, 105 [in Russian].
  23. Shvaj L.P. (1985). *K voprosu proiskhozhdeniya podzemnykh vod Dneprovsko-Donetskoj vpadiny` [On the origin of groundwater in the Dnieper-Donetsk depression]*. Geologiya i geokhimiya goryuchikh iskopaemykh. Kiev. 64, 29-34 [in Russian].
  24. Vysochanskyi I.V., Teslenko-Ponomarenko V.M. (2007). *Tanhentzialnyi stysk i horyzontalni zdvyhy yak vazhlyvi chynnyky formuvannya struktury dokembriiskoho fundamentu [Tangential compression and horizontal displacements as important factors in the formation of the structure of the Precambrian foundation]*. Geodinamika, tektonika i flyuidodinamika neftegazonosnykh regionov Ukrainy. Tezisy dokladov VII mezhdunarodnoj konferenczii «Krym – 2007», Simferopol, 197-198 [in Ukrainian].
  25. Tereshhenko V.A. (2015). *Gidrogeologicheskie usloviya gazonakopleniya v Dneprovsko-Donetskoj vpadine [Hydrogeological conditions of gas accumulation in the Dnieper-Donetsk depression]*. Kharkiv, 244 [in Russian].
  26. Terdovidov A.S., Pavlov S.D., Berezhnoj V.V., Goryajnov S. V., Dzhamalova Kh.F., Ul'yanov M.G. (2000). *Perspektivy` poiskov krupny`kh mestorozhdenij gaza v Kal'mius-Toretskoj kotlovine Doneczkogo bassejna [Dispositions for the prospecting for the largest gas fields in the Kalmius-Toretskiy depression of the Donetsk basin]*. Zbirnyk «Pytannia rozvytku hazovoi promyslovosti Ukrainy», XXVII, 104-108 [in Russian].
  27. Pavlov S.D., Berezhnoi V.V., Horiainov S. V. (2004). *Rekomendatsii po poshukam haza u pastkakh neantyklinalnoho typu na pivdenno-zakhidnomu skhyli i v donnii chastyni Kalmius-Toretskoj kotlovyny [Recommendations for gas exploration in non-anticline-type traps on the south-western slope and in the lower part of the Kalmius-Toretsk depression]*. Dnipropetrovsk. Tezy dopovidei 3 Mizhnarodnoi konferentsii metanovuhilnykh rodovyshch Ukrainy [in Ukrainian].
  28. Bush D.A. (1977). *Stratigraficheskie lovushki v peschanikakh [Stratigraphic traps in sandstones]*. Monografiya. Moscow, «Mir», 215 [in Russian].
  29. Vysochanskyi I.V. *Poshuky pokladiv vuhlevodniv u nesklepinnykh pastkakh Dniprovsko-Donetskoj zapadyny – nevidkladna zadacha sohodennia [Search for hydrocarbon deposits in non- anticline traps of the Dniprovsko-Donetsk depression - an urgent task today]*. Zbirnyk «Pytannia rozvytku hazovoi promyslovosti Ukrainy», XXXV, 83-88 [in Ukrainian].
  30. Paraschiv B. *Cu privier la campanele de hidrocarburi neclasice. /Mine, petrol si gaze. 1988.39., 5, 258-260 [in Russian]*.
  31. Vysochanskyi I.V. (2016). *Do otsinky resursnoho potentsialu nesklepinnykh pastok vuhlevodniv u Dniprovsko-Donbaskomu avlakoheni [To assess the resource potential of non- anticline hydrocarbon traps in the Dniprovsko-Donbas avlacogen]*. Vseukrainska nauk.-prak. konferentsiia z mizhnarodnoiu uchastiu «Suchasni problemy nafto-hazovoi heolohii», prysviachena pamiati P.S. Shpaka. Kyiv, 101-103 [in Ukrainian].

УДК 551:338.48(477.54)

**Володимир Георгійович Космачов,**

к. г.-м. н., доцент, кафедра геології, факультет ГПРТ,  
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,  
м. Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна,

e-mail: [kosmachov@karazin.ua](mailto:kosmachov@karazin.ua), <https://orcid.org/0000-0003-3365-5524>;

**Марія Володимирівна Космачова,**

к. геогр. н., доцент, кафедра геології, факультет ГПРТ,  
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,  
e-mail: [kosmachovamv@gmail.com](mailto:kosmachovamv@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-5642-8709>

## ЕСТЕТИЧНО-ПРИВАБЛИВІ МІСЦЕВОСТІ ХАРКІВЩИНИ ЯК ОБ'ЄКТИ ГЕОТУРИЗМУ

Розглянуто чудові за красою місцевості, які містять важливі геологічні пам'ятки природи. Відвідування таких місцевостей дає естетичну наснагу і створює добрий настрій, що сприяє спостереженням у природі. Обґрунтовано доцільність їх використання в якості об'єктів геотуризму – комплексного краєзнавчого заходу з акцентом на геологічних особливостях території мандрів. Найкращими для цього на Харківщині є такі місцевості: гора Кременець, Протопівська балка, пониззя р. Греківка на Ізюмщині; урочище Кручі, Городищенська і Козача гори на Зміївщині; екзотична крейдова скеля у колишнього хутора Байдаки поблизу с. Протопопівка Балаклійського району; крейдові гори у долинах річок Оскіл і Вовча у Дворічанському і Вовчанському районах; урочище Крутий Лог у с. Руські Тишки Харківського району. Докладно розглянуті геотуристичні об'єкти Ізюмщини – широко відомі пам'ятки природи, що увійшли до складу геологічної спадщини України. Вони дозволяють ознайомитися з важливими у науковому і пізнавальному відношенні вартими уваги об'єктами, з проявами сучасних геологічних процесів, а також з меморіальними об'єктами з історії освоєння надр і наукових досліджень. Зокрема, це керівні скам'янілості, рештки тварин і рослин як свідчення розвитку органічного світу, носії палеогеографічної інформації, колекційний матеріал. Найбільші скупчення фауністичних залишків встановлені у карбонатній товщі юри (келовей-нижній кимеридж), відбитків рослин - в ретському ярусі. Важливими стратиграфічними компонентами ізюмських об'єктів геотуризму являються стратотипи світ, які є валідними для Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ), а саме протопівської (карнійський і норійський яруси), ізюмської (келовей, оксфорд і нижній кимеридж), донецької (верхній кимеридж і титон), кременецької (нижній сеноман) і приізьомської світи (верхня частина верхнього сеноману). Варті уваги об'єкти, що розглядаються, достатньо повно характеризують мезозой східної частини ДДЗ.

**Ключові слова:** геологічні пам'ятки природи, варті уваги геологічні об'єкти, привабливі місцевості, геотуризм.

**В. Г. Космачев, М. В. Космачева. ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫЕ МЕСТНОСТИ ХАРЬКОВЩИНЫ КАК ОБЪЕКТЫ ГЕОТУРИЗМА.** Рассмотрены живописные, привлекательные для туризма местности, содержащие геологические памятники природы. Их посещение дает эстетическое удовлетворение и создает хорошее настроение, способствующее проведению наблюдений в природе. Обоснована целесообразность их использования в качестве объектов геотуризма - комплексного краеведческого мероприятия с акцентом на геологических особенностях территории походов. На Харьковщине наибольший интерес для геотуризма представляют следующие местности: гора Кременец, Протопивская балка, низовье долины р. Грековка на Изюмщине; урочище Кручи, Городищенская и Козачья горы на Змиевщине; экзотическая меловая скала у бывшего хутора Байдаки близ с. Протопоповка Балаклійского района; меловые горы в долинах рек Оскол и Волчья в Дворечанском и Волчанском районах; урочище Крутой Лог в с. Русские Тишки Харьковского района. Подробно рассмотрены геотуристические объекты Изюмщины - широко известные памятники природы, вошедшие в состав геологического наследия Украины. Они позволяют ознакомиться с важными в научном и познавательном отношении достопримечательными объектами, с проявлениями современных геологических процессов, а также с мемориальными объектами истории освоения недр и научных исследований региона. В частности, это руководящие ископаемые, окаменелости как свидетельства развития органического мира, носители палеогеографической информации и коллекционный материал. Наиболее богата фауністическими остатками юрская карбонатная толща (келовей-нижний кимеридж), отпечатками растений - рэтский ярус. Важными стратиграфическими компонентами ізюмских объектов геотуризма являются валідные для Днепро-Донецкой впадины (ДДВ) стратотипы свет - протопивской (карнійский и норійский ярусы), ізюмской (келовей, оксфорд и нижний кимеридж), донецкой (верхний кимеридж и титон), кременецкой (нижний сеноман) и приізьомской світы (верхняя часть верхнего сеномана). Рассматриваемые достопримечательности достаточно полно характеризуют мезозой восточной части ДДВ.

**Ключевые слова:** геологические памятники природы, геологические достопримечательности, замечательные местности, геотуризм.

**Вступ.** Чудові місцевості завжди приваблюють людей і часто викликають науковий інтерес. Прикладом присвячених ним наукових публікацій можна вважати дуже цікаву статтю [5], в якій дано захоплений нарис мальовничих місцевостей північного сходу України з метою привернути до них увагу туристів. Ця інформація дає уявлення переважно про географічні ознаки і красоти території. Геологічні спостереження під час подорожей значно підвищують науковість походів і сприятимуть інтересу туристів до наук природ-

ничого змісту. Тобто, якщо мальовничі місцевості ще й містять визначні геологічні пам'ятки природи, то вони стають дуже привабливими об'єктами геотуризму - подорожей з суттєвою роллю геологічних спостережень.

**Актуальність.** Проблема геотуризму останнім часом набула міжнародного значення [8, 18]. Геотури забезпечують не тільки емоційне задоволення екскурсантів від красот ландшафтів, але ще і дозволяють їм глибше пізнати природу, особливо геологічну будову і процеси, які властиві

місцевості де вони подорожують. Геотури не виключають знайомства з культурно-історичною спадщиною, як і проведення біологічних і фенологічних спостережень і являються комплексними краєзнавчими заходами. Геологічна інформація, яку одержують туристи від керівника-екскурсовода має бути адаптованою до їх рівня культури з врахуванням їх інтересу до наукових проблем.

**Виклад основного матеріалу.** Привабливість багатьох місцевостей Харківщини визначається спокійною природою вододілів і динамічною - крутих схилів долин річок Сіверський Донець, Оскіл і ін., розбитих численними ярами; наявністю своєрідних карстових і скельних форм рельєфу на юрських вапняках і виходах верхньої крейди. Велике враження викликають нависаючі глиби вапняків і величезні їх уламки у ярах Великих Кам'янських відслонень і долини р. Журавка (Сука Кам'янка), яка у нижній своїй частині має вигляд гірської річки. Чудові краєвиди відкриваються з гори Кремінець, Кам'янського і Сухокам'янського пагорбів на Ізюмщині, з Козачої гори та місцевості Кручі на Зміївщині. Велику роль у сприйманні ландшафту відіграє рослинність, яка є прикрасою багатьох місць особливо у долині р. Сіверський Донець. З цікавих явищ, що супроводжують сприймання ландшафту, значимо своєрідний гуркіт на річковому перекаці у м. Ізюм, який місцеві мешканці так і називають - "Шум". Красоти Харківщини знайшли відображення у художній літературі (Майк Йогансен) і

образотворчому мистецтві (С. І. Васильківський, З. Є. Серебрякова і ін.). Отже, в якості привабливих ми розглядаємо місцевості, які своєю красою викликають естетичну насолоду і позитивний емоційний настрій, що важливо для проведення туристичних заходів.

До числа найважливіших і за красою, і за науковим значенням маршрутів на Харківщині віднесені геотури у таких місцевостях: гора Кремінець, Протопівська балка, пониззя долини р. Греківка на Ізюмщині; урочище Кручі, Городищенська і Козача гори на Зміївщині; крейдова скеля у Байдаках біля с. Протопопівка Балаклійського району; крейдові гори у долині р. Оскіл у Дворічанському районі; схожі об'єкти у долині р. Вовча у Вовчанському районі; Крутий Лог у с. Руські Тишки Харківського району.

Нижче, як приклад, даємо інформацію про геологічний зміст найбільш цікавих геотурів на Ізюмщині. Для інших місцевостей геологічні дані можна почерпнути з публікацій [2, 10-12].

**Гора Кремінець** у м. Ізюм є найбільш змістовною геологічною пам'яткою природи регіону, яку включено в перелік найважливіших геологічних об'єктів України [7]. Це широко відомі відслонення юри у підніжжі і нижній частині гори і виходи крейди у її верхній частині.

З вершини гори, яка височіє над рівнем р. Сіверський Донець майже на 150 м, відкривається чудовий краєвид на м. Ізюм, його околиці і долину р. Сіверський Донець (рис. 1), що крутою дугою огинає її з заходу, півночі і сходу.



Рис. 1. Видгляд долини р. Сіверський Донець з західної бровки гори Кремінець

З бровки західного схилу Кремінця добре проглядається великий Ізюмський закрут навколо Співаківського підняття з родовищем природ-

ного газу, яке було відкрите у 1954 р. Значимо, що це підняття ще у 1936 р. проф. Харківського університету видатний геолог Д. М. Соболев роз-

глядав у числі перспективних на вуглеводні структур, наполягаючи на проведенні на них пошукового буріння. Звідсіля також добре спостерігається будова долини р. Сіверський Донець - заплава з численними старичними озерами, бора і ін. акумулятивні четвертинні тераси. У нижній частині схилу гори знаходяться ерозійні тераси на корінних відносно міцних вапняках верхньої юри. Удалині проглядається плоска вододільна поверхня, яка приблизно на 20 м є нижчою за поверхню Кременця. Поблизу у самої бровки схилу знаходяться руїни обпалювальних печей з переробки на вапно писальної крейди, яку видобували тут же у невеликому кар'єрі.

Довгий час відслонення гори Кременець залишаються в числі опорних для дослідження геології Харківщини і об'єктом численних геологічних і краєзнавчих екскурсій. Перші публікації, які містять геологічну інформацію про цю місцевість, датуються XVIII ст. і пов'язані з експедиціями академіка І. А. Гюльденштедта на південь Росії (в Ізюмі він побував у 1774 р.). В подальшому тут працювали такі видатні вчені як Є. П. Ковалевський, Б. К. Блєде, Р. І. Мурчисон, Н. Д. Борисяк, І. Ф. Леваківський, О. В. Гуров, В. О. Налівкін, М. В. Григор'єв, О. О. Борисяк, А. Д. Архангельський, М. С. Шатський і ін. У першій третині минулого століття гора Кременець досліджувалася рядом фахівців в зв'язку з проблемою сеноманських фосфоритів, які навіть часом роз-

роблялися в цьому родовищі до 1941 р. Подальші роботи значною мірою були пов'язані з дослідженням стратиграфії і палеогеографії регіону у крейдовий і юрський періоди [2, 3, 9 та ін.].

Кременець відомий відслоненнями юри та крейди.



**Відслонення юрської системи на горі Кременець.**

Найкраще з відслонень юри міститься в підшві західного схилу гори, на стику вулиць Кременецький квартал і Народна. Воно являє собою покинуту виробку вапняків (рис. 2).



**Рис. 2. Відслонення юри у підшві західного схилу гори Кременець**

Тут відслонено такий розріз (знизу уверх): **1** - келовейський ярус (*нижньоізіумська підсвіта*) - пісок сірий грубозернистий і коричнево-бурий дрібнозернистий глинистий з тонкими прошар-

ками сірої глини і поодинокими залізистими стяжіннями, а також пісковики коричнево-бурі кварцові різно- і грубозернисті з добре обкатаним кварцовим гравієм і прошарками сильно залізис-



того пісковика - 10 м; 2-5 - оксфордський ярус і нижньокимериджський під'ярус (верхньоізіумська підсвіта): 2 - пісковик сірий грубозернистий з базальним карбонатним цементом з залишками двостулкових молюсків і амонітів *Cardioceras cordatum* Sow. і ін. - 0,95-1,75 м; 3 - глина сіра і оолітові піски з великими черепашками двостулкових молюсків родів *Pecten*, *Ostrea*, *Gryphaea* і брахіоподами (*Cyclothyris moiseevi* Makrid.), з устричними банками, населеними дрібними устрицями, морськими черв'яками роду *Serpula*, морськими їжаками роду *Nucleolites*, вапнистими водоростями, а також прошарками оолітових вапняків, в яких знайдені залишки амонітів *Perisphinctes plicatilis* Sow. і ін. - 2,5-3,4 м; вище - перешарування вапняків оолітових сірих без фауністичних залишків з такими ж, переповненими відбитками і ядрами великих двостулкових молюсків і нечисленними амонітами *Perisphinctes biplex* Lor. - 9 м; 4 - піс-

ковик сірий вапняковий пухкий з залишками морських їжаків і уламками черепашок брахіопод *Terebratula bauchini nalivekini* Makrid. - 0,3 м; вище - вапняки білі і світло-сірі водоростево-коралові, що утворюють біогерми, які складаються переважно коркоподібними поліпнямиками *Thamnasteria concinna* (Goldf.) і оточені детритовими глинистими вапняками, мергелями і глинами сірими з численними залишками тварин - 6 м; 5 - глини і алевроліти глинисті сірі вапнисті з прошарками мергелів і оолітових глинистих вапняків з залишками брахіопод *Septaliphoria inconstans* Sim. і ін. - 4,6 м; вище - вапняк сірий і рожево-сірий дрібнозернистий з ядрами черевонігих молюсків - 0,4 м; 6 - верхньокимериджський під'ярус-титонський ярус (донецька світа) - глини червоні і сіро-рожеві щільні в'язкі і алевроліти (рис. 3). Порооди залягають похило - з азимутом падіння 80° і кутом падіння близько 10°.

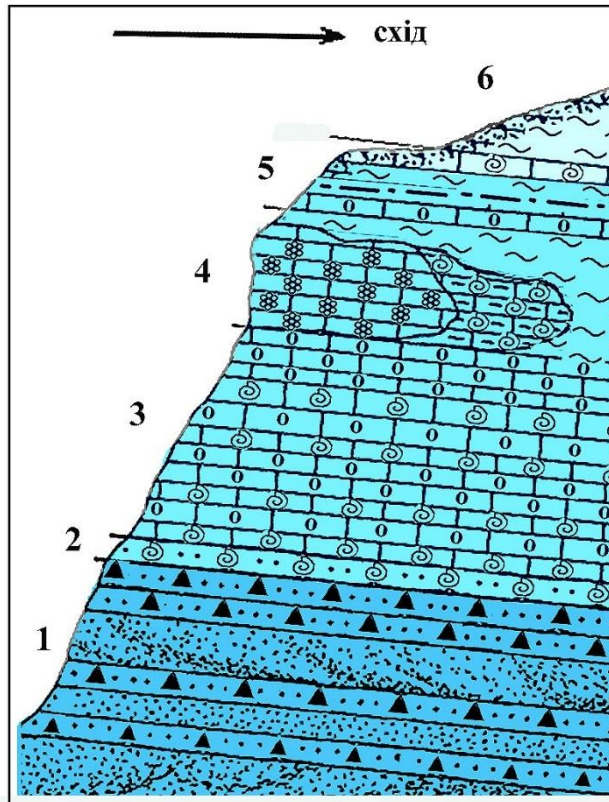


Рис. 3. Схематичний розріз юри у підшві гори Кремінець: 1 - келовей (нижньоізіумська підсвіта), 2-5 – оксфорд і нижній кимеридж (верхньоізіумська підсвіта), 6 – верхньокимериджський під'ярус і титонський ярус (донецька світа)

Зазначимо, що дуже докладний опис юрського розрізу гори Кремінець дано у публікації [14], яка сприяла виділенню тут декількох світ. Ці виходи юри здобули широкої відомості у науковому світі завдяки інформації про них в публікаціях видатного англійського геолога Р. І. Мурчисона і його співвітчизника відомого дослідника В. Д. Аркелла [1].

Р. І. Мурчисон у 1841 р. після робіт на Уралі і Приураллі досліджував Донецький басейн, геології якого було приділена велика увага в його всевітньо відомій монографії "The Geology of Russia in Europe and the Ural Mountains". Ці дослідження завершилися вивченням мезозою у басейні Сіверського Донця - у Святих горах і околицях Ізюма. Розглядаючи оксфордську товщу

"донецької карбонатної юри" Кременця і відслонень Кам'янки, він зіставляв її з відповідними відкладами Центральної Європи.

В теперішній час значна частина відслонен-

ня сильно задернована, найбільш відслонені нижньоізомська підсвіта і верстви з водоростево-кораловим біогермом верхньоізомської підсвіти (рис. 4).



Рис. 4. Відслонення водоростево-коралового біогерма в підшві західного схилу гори Кременець

#### **Відслонення крейдової системи на горі Кременець.**

Виходи знаходяться у верхній частині західного схилу і на вершині гори Кременець. Тут відслонено (знизу уверх): **1** - нижньокрейдвий відділ, альбський ярус (*заводська світа*) - піски білі кварцові дрібно- і крупнозернисті з кварцовим гравієм і галькою і домішкою каолініту - відкрито біля 10 м; **2-6** - верхньокрейдвий відділ: **2-4** - сеноманський ярус: **2** - *кремінецька світа* - пісковики зеленувато-сірі кремєністі, халцедонові спонголіти і прошарки глауконітово-кварцових пісків - 4 м; **3** - *секменівська світа* - алевроліти і дрібнозернисті пісковики зеленувато-сірі, глауконітово-кварцові, місцями вохристі - 10 м; **4** - *прізіюмська світа* - схожі породи, але вапністі, з фосфоритовими стяжіннями - 0,5 м; **5-6** - туронський ярус: **5** - вапняк білий крейдоподібний відносно міцний, шорсткий на дотик - 1 м; **6** - крейда біла писальна з кремєневими конкреціями - відкрито близько 20 м; **7** - кайнозой - суглинок бурувато-червоний та ґрунтово-рослинний шар (рис. 5). Товща крейди залягає з азимутом падіння 60° і кутом падіння близько 5°.

Найкращі відслонення писальної крейди - у бортових виїмках шосе на верху Кременця. Тут добре спостерігаються карстові форми (рис. 6). Вони представлені воронками і колодзями діаметром до 6 м. Ці форми виникли на початку палеоцену, коли більш давні відклади були виведені на денну поверхню і протягом палеоцену відбувалося формування кори вивітрювання, а карбонатні породи зазнали карсту. Продукти цієї кори вивіт-

рювання збереглися саме у карстових формах і представлені яскраво-червоними піщаним, алевритовим і глинистим матеріалом.

Ще два геотури проходять у с. Кам'янка, у 7-10 км на південь від м. Ізіум.



#### **Відслонення тріасової системи в Протопівській балці.**

Знаходяться на південній околиці с. Кам'янка. Тріас відслонено в середній і нижній частинах балки, де в її правому борті міститься ціла низка ярів (рис. 7). Найкраще відслонення розташовано у 0,8 км від устя балки у не дуже великому ярі.

Тут відслонено (знизу уверх): верхній тріас: **1-4** - норійський ярус (*протопівська світа*): **1** - глини строкатобарвні, переважно червоні, з окисленими до стану лімоніту невеликими сидеритовими стяжіннями - відкрито біля 3 м (решта пе-



Рис. 5. Схематичний розріз крейди у верхній частині гори Кремінець: 1 - альб (заводська світа); сеноман: 2 - кремінецька світа, 3 - секменівська світа, 4 - прип'язьська світа; 5, 6 - турон, 7 - кайнозойські відклади



Рис. 6. Штучне відслонення писальної крейди на верху гори Кремінець

рекрита осипом); 2 - пісковики і гравеліти світло-сірі кварцові косошаруваті з скупченнями гравію в основі косих серій та пісковик світло-сірий місцями вохристій кварцовий дрібнозернистий - 5 м; 3 - лімонітовий прошарок темний коричнево-бурий (окислений сидерит) з шкаралуповатою окремністю - 0,3 м; 4 - глина сіра і жовтувато-сіра, вище - строкатобарвна - червона, малиново-червона, бура, жовто-зелена, зеленувато- і синю-

вато-сіра, білувата - з лімонітованими сидеритовими стяжіннями - до 12 м; 5 - ретський ярус (новорайська світа) - глини сірі, які в нижній частині містять великі (до 0,7 м у поперечнику) округлі в різній мірі лімонітовані сидеритові конкреції з залишками папоротей *Clathropteris meniscioides* Brongn., *Dictyophillum exile* (Brauns) і ін. - відкрито близько 4 м; 6 - кайнозой - червоні суглинки з базальним шаром уламків кременів і

грунтово-рослинний шар (рис. 8). Тріас складає ядро Кам'янської антикліналі і складно дислоко-

ваний. В цьому відслоненні він має кути падіння близько 20° на північний схід.



Рис. 7. Виходи тріасу в правому борті Протопівської балки

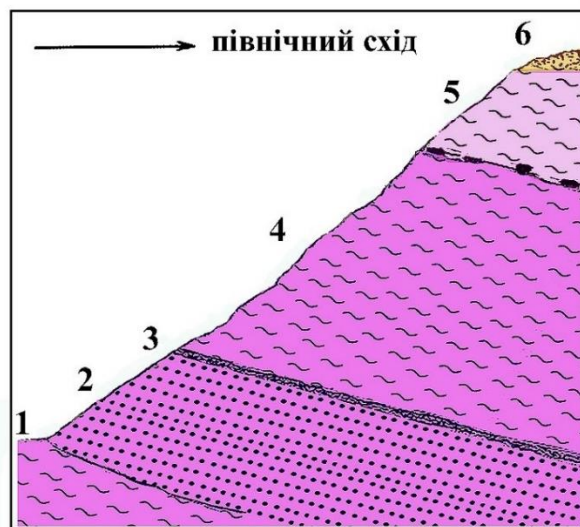


Рис. 8. Схематичний розріз тріасових відкладів балки Протопівська: 1-4 – норійський ярус (протопівська світа), 5 - ретський ярус (новорайська світа), 6 - кайнозойські відклади

Розглянуті відслонення вперше були описані у 1882 р. О. В. Гуровим. Подальші роботи проводили М. В. Григор'єв, 1899, 1900, О. О. Борисьяк, 1905, А. Д. Архангельський та ін., 1924. Л. Ф. Лунгерсгаузен у тріасі регіону виділив ряд світ [13]. Верхньому тріасу відповідають протопівська і новорайська світи, що і спостерігаються в Протопівській балці, яка є стратотиповою місцевістю протопівської світи. На підставі вивчення рослинних залишків Ф. А. Станіславський довів норійський вік верхньої частини протопівської світи і ретський - новорайської [15]. Ці відслонення відомі в якості стратиграфічної пам'ятки [7] і розглядалися як об'єкти майбутнього геопарку [19].



Відслонення юрської системи у пониззі долини р. Греківка (Великі Кам'янські відслонення)

Це один з найбільш важливих геологічних об'єктів регіону. Знаходиться у 7 км на південь від м. Ізюм, на північній околиці с. Кам'янка. Історія досліджень юри регіону почалася насамперед з вивчення цих відслонень. О. О. Борисяк писав що "... решительно, кажется, все исследователи донецкой юры, кто только изучал ее на месте, а не по литературным данным, посещали эти классические обнажения..." ([4], с. 290). Справа в тому, що у той час ці відслонення являли собою чудовий суцільний вихід юри на протязі трохи більше 1 км. Після терасування схилу наприкінці минулого століття і його закріплення лісом відслоненість значно погіршилася.

Широкий відомості цієї пам'ятки, як і відслонень гори Кремінець, сприяла інформація про юрські відклади регіону, що міститься в монографіях Р. І. Мурчисона і В. Д. Аркелла [1]. Великі Кам'янські відслонення подібні до виходів юри у підніжжі гори Кремінець [14], але тут краще відслонена товща оолітових вапняків і більш яскраво проявлені геоморфологічні об'єкти. Найбільш інформативним є яр, що знаходиться в центральній частині цієї місцевості.

Тут відслонено (знизу уверх): **1** - келовейський ярус (*нижньоізіумська підсвіта*) - піски сірі і коричнево-бурі кварцові різнозернисті з домішкою гравію, який підкреслює крупну перехресну шаруватість, а також пісковики і гравеліти різної міцності - від слабких до міцних, озалізнених; верхній шар товщиною 5 см утворений гравелітом плямистого - бурого і світло-жовтува-

того забарвлення; - 10 м; **2-6** - оксфордський ярус і нижньокимериджський під'ярус (*верхньоізіумська підсвіта*): **2** - вапняк коричнево-жовтий оолітовий грудкуватої будови малої міцності, з черепашковим детритом, відбитками, ядрами і черепашками молюсків, залишками коралів і ін.; вище - чергування вапняків оолітових світло-жовтих і сірих міцних без фауністичних залишків з такими ж, переповненими відбитками і зліпками внутрішніх ядер переважно двостулкових молюсків і нечисленними залишками амонітів *Perisphinctes biplex* Lor. - 10 м; **3** - вапняки оолітові світло-сірі слабозцементовані (аж до оолітових пісків) - 6 м; **4** - вапняки білі і рожеві водоростево-коралові, що утворюють біогерми, які складаються коркоподібними поліпніями *Thamnasteria concinna* (Goldf.) - 4 м; **5** - глина темно-сіра з кристалами гіпсу - 1 м; **6** - чергування пластів оолітових вапняків різної міцності товщиною 0,2-0,4 м та вапняк рожево-сірий мрамуроподібний місцями з численними залишками червоногих молюсків (зокрема *Nerinea ursicinensis* Lor., *Nerinella gurovi* Lapk. - "неріневий" вапняк) - 6 м.; **7** - верхньокимериджський під'ярус і титонський ярус (*донецька світа*) - глини червоні пластичні - до 15 м; **8, 9** - кайнозой: **8** - суглинок бурувато-червоний з базальним шаром слабообкатаних уламків кременистих пісковиків і кременів - 4 м, **9** - ґрунтово-рослинний шар - 1 м. Уся юрська товща має азимут падіння 34° і кут падіння близько 12° (рис. 9).

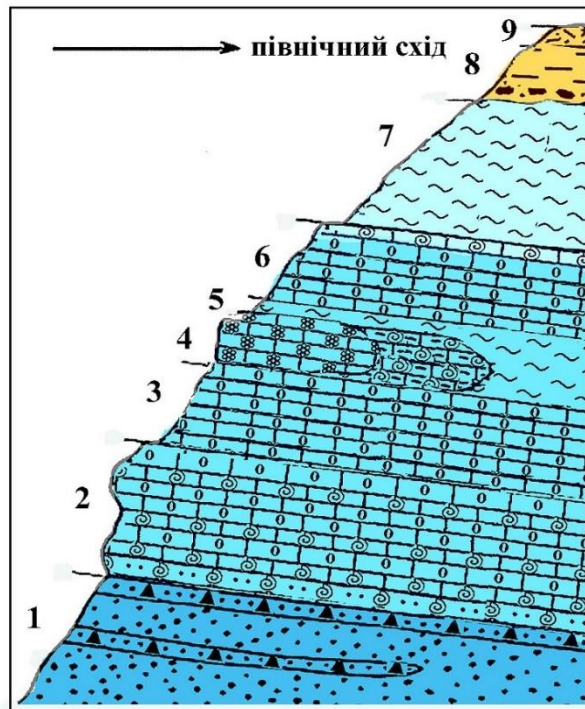


Рис. 9. Схематичний розріз Великих Кам'янських відслонень: 1 – келовей (нижньоізіумська підсвіта), 2-6 – оксфорд і нижній кимеридж (верхньоізіумська підсвіта), 7 – верхній кимеридж і титон (донецька світа), 8-9 – кайнозойські відклади

Своєрідністю Великих Кам'янських відслонень є чудово проявлені геоморфологічні об'єкти - обвальні-осипні схили і грубоуламкові яружні накопичення, а також глибокі яри зі скельними виступами, які утворюють надзвичайно живописний ландшафт (рис. 10).

Велику естетичну наснагу дає чудовий краєвид, що відкривається з вершини Кам'янського горба на долини р. Сіверський Донець і р. Греківка. Цей об'єкт розглядався в якості стратиграфічної і комплексної геологічної



Рис. 10. Виходи карбонатної яри у Великих Кам'янських відслоненнях

пам'ятки природи [7, 12].

**Висновки.** Розглянуті екскурсії дають уяву про історію геологічного розвитку території протягом мезозойського періоду. Ця інформація, важлива в науковому відношенні, може бути цікавою для звичайних туристів. Розглянуті геологічні відслонення відбивають події, які тут відбувалися протягом 220 млн. років [16]. У триасовий період територія являла собою рівнинний суходіл в умовах аридного клімату, що підтверджується накопиченням переважно строкатих глин (протопівська світа). З початком юрського періоду (205 млн. р., [2]) пов'язано підняття території, що зумовило відсутність більшої частини нижньої яри у розрізі, який починається звичайно тоарським ярусом - останнім в об'ємі цього відділу. Потім територія за часи яри зазнала низку трансгресій, остання з яких дала досить потужну карбонатну товщу (ізюмська світа). Регресія призвела до накопичення лагунних, а потім континентальних відкладів (донецька світа). На рубежі яри і крейди (близько 135 млн. р.) знов відбулося підняття території, так що нижня частина нижньої крейди в розрізі відсутня. Далі осадконакопичення відбувалося в континентальних гумідних умовах, коли формувалася заводська світа, яка містить глини, алевроліти і пісковики з

суттєвою домішкою каолініту - типового мінералу гумідних кір вивітрювання. Початок пізньокрейдової епохи (96 млн. р.) ознаменувався дуже великою трансгресією з формуванням спочатку уламкових порід (кремінецька, секменівська і призіюмська світи, які відповідають сеноманському ярусу), а починаючи з туронського віку (91 млн. р.) - потужної товщі писальної крейди і мергелів. На початку кайнозою (65 млн. р.) територія зазнала підняття і являла собою гумідний суходіл з розвитком карстових процесів на карбонатних породах (карстові воронки у крейді верхньої частини гори Кремінець). З сучасних геологічних процесів, зокрема, великий інтерес мають висхідні рухи Співаківської структури, що зумовили утворення Ізюмської луки р. Сіверський Донець, який примушений обгинати це підняття. Сучасне підняття гори Кремінець підтверджується перевищенням гори над оточуючим вододільним простором майже на 20 м.

Розглянуті геотури дозволяють ознайомитися з численними вартими уваги спеціалістів і туристів геологічними об'єктами, а також з проявами сучасних геологічних процесів, меморіальними даними з історії освоєння надр і наукових досліджень території. Встановлено такі найважливіші варті уваги компоненти: *палеонтоло-*

гічні – скам'янілості як носії палеогеографічної інформації, колекційний матеріал, а також керівні скам'янілості, важливі для стратиграфії і геохронології - у верхньоізіумській підсвіті, залишки рослин у новорайській світі (ретський ярус); *стратиграфічні* - валідні для ДДЗ стратотипи протопівської, ізіумської, донецької, кремінецької і приізіумської світ [3, 6, 13]; *мінералогічні* - *халцедон* - коломорфні виділення в порожнинах пісковиків кремінецької світи, конкреції крейдово-мергельної товщі; *гідроксиди заліза* – виділення гетиту типу бурої скляної голови, лімонітові псевдоморфози по конкреціям дисульфідів заліза в нижній частині туронського ярусу; *кальцит* – інкрустації стінок пустот вилуговування коралів і стулок молосків у вапняках ізіумської світи; *сидерит* - конкреції в глинистих породах новорайської світи; *курськіт* – у складі фосфоритових стяжін і у вигляді псевдоморфоз по дереву (приізіумська світа); *петрографічні (літологічні)* – породи, що відбивають фаціальні і палеогеографічні умови седиментації - *спонголіти* кремінецької світи, *бентоніти апопеліні* у вигляді прошарків товщиною до 10 см у крейдово-мергельної товщі; *коралові вапняки* біогермів верхньоізіумської підсвіті; *тектонічні* - стратиграфічні перерви, кутові незгідності, особливо помітні між тріасом і юрою; наслідки неотектонічних рухів, що проявляються, зокрема, в плановому розміщенні річкових долин; породи з похи-

лим заляганням, розривні порушення і т. п.; *палеогеографічні* - наприклад, глауконітово-кварцові породи сеноману як типові накопичення шельфових прохолодних басейнів гумідної зони; строкатобарвні глинисті породи тріасу як утворення, властиві умовам аридного теплого клімату; коралові й інші вапняки біогермів верхньої юри, що формувалися в тропічній зоні при нормальній солоності моря і на невеликій глибині; та ін.; *геоморфологічні* – екзотичні і мальовничі форми земної поверхні, зокрема, яри каньйоноподібні у верхньоюрських вапняках, обвальні-осипні схили і грубоуламкові яружні накопичення; зсуви; карстові воронки і колодязі у крейдово-мергельній товщі; броньовані схили, зумовлені стійкими корінними породами; техногенні форми - зокрема, терасовані схили; *гідрологічні* – джерела як пункти розвантаження верхньоюрського і тріасового водоносних комплексів; *мінерально-сировинні* – пісковики кременисті (кремінецька світа) та оолітові вапняки як будівельне каміння, сеноманські фосфорити як мінеральне добриво та ін.; *історико-горнотехнічні* - покинуті кар'єри з видобутку будівельних матеріалів, руїни випалювальних печей для одержання вапна і т. ін.; *меморіальні* – місця знахідок унікальних скам'янілостей, зокрема, місце єдиної в Україні знахідки залишків (хребці, кістки ластоподібних кінцівок) сеноманського плезіозавра на горі Кремінець в 1899 р. (рис. 11), а також досліджень



Рис. 11. Залишки *Cimoliosaurus bernardi* Owen з сеноману гори Кремінець. Експонат Музею природи ХНУ імені В. Н. Каразіна

видатних вчених, починаючи з XVIII ст. [9].

В ході екскурсій можна спостерігати сучасні геологічні процеси, такі як вивітрювання – дезінтеграція порід, розбухання й опливання глинистих порід, окислення мінералів двохвалентного заліза (пірит, сидерит, глауконіт); яроутворення, робота річок, вітру, гравітаційні процеси на схилах – обвали, осипи, зсуви і перекриття схилів

делювієм з вододілів і т. ін.

З геологічною будовою околиць с. Кам'янка доцільно ознайомитись в навчальному класі бази практик ХНУ, яка розташована в цьому селі. Тут представлені графічні матеріали і колекції, зібрані безпосередньо на відслоненнях Кам'янської площі. Експозиція відбиває своєрідність будови цієї території, головним структурним елементом

якої є Кам'янська антикліналь з триасом у ядрі, юрою на крилах і крейдою у депресіях, що її оточують. Вона сама може розглядатися як об'єкт геотурів.

Отже, розглянуті геосайти містяться в дуже мальовничих місцевостях, які дають естетичну насолоду, зумовлюють добрий настрій і заохочують до ознайомлення з природою території подорожей, у тому числі з її геологічними

об'єктами. В даному випадку це геологічна будова і мезозойські відклади нашого регіону. Також змістовними являються геотури з палеозойськими і кайнозойськими об'єктами, які проходять в також чудових місцевостях Харківщини [10-12]. Розвиток геотуризму в регіоні з використанням геологічних пам'яток природи послужить популяризації геологічної спадщини і сприятиме її охороні як це передбачено ProGEO [17, 20].

#### Література

1. Аркелл В. Юрские отложения земного шара / В. Аркелл. – М.: Изд-во иностр. лит., 1961. – 837 с.
2. Билык О. Д. Фацции и палеогеография юрских отложений Восточно-Украинского газонефтеносного бассейна / Билык О. Д., Канский Н. Е., Макридин В. П., Стерлин Б. П., Сухорский Р. Ф. – Харьков: Изд-во Харьк. ун-та, 1960. – 73 с.
3. Бланк М. Я. О стратиграфии верхнемеловых отложений Северного Донбасса / М. Я. Бланк, В. Ф. Горбенко // Докл. АН СССР. – 1965. – Т. 162. – № 2. – С. 397–400.
4. Борисьяк А. А. Геологический очерк Изюмского уезда и прилегающей полосы Павлоградского и Змиевского уездов / А. А. Борисьяк // Тр. Геол. комитета, новая сер. – 1905. – Вып. 3. – 344 с.
5. Виленкин В. Л. Замечательные местности северо-восточной Украины / В. Л. Виленкин // Материалы Харьк. отдела Геогр. об-ва Украины. – 1971. – Вып. 8. – С. 221–235.
6. Геология и нефтегазоносность Днепровско-Донецкой впадины. Стратиграфия / Д. Е. Айзенберг, О. И. Берченко, Н. Е. Бражникова и др. – К.: Наук. думка, 1988. – 148 с.
7. Геологічні пам'ятки України : У 4 т. – Т. IV / ред. В. І. Калінін, Д. С. Гурський. – Львів : ЗУКЦ, 2011. – 280 с.
8. Геотуризм: практика і досвід. Матеріали III міжнародної науково-практичної конференції. – Львів: Каменяр, 2018. – 256 с.
9. Космачев В. Г. Вклад харьковской геологической школы в изучение северо-восточного региона Украины / В. Г. Космачев // Вісн. Харьк. нац. ун-ту. – 2005. – № 655: Геологія – Географія – Екологія. – С. 3–10.
10. Космачов В. Г. Геологічні науково-освітні екскурсії по Харківщині. Палеозойський геотур / В. Г. Космачов, М. В. Космачова // Вісн. Харьк. нац. ун-ту. – 2010. – № 909: Геологія – Географія – Екологія. – Вип. 32. – С. 32–37.
11. Космачов В. Г. Геологічні науково-освітні екскурсії на кайнозойські об'єкти Харківщини / В. Г. Космачов, М. В. Космачова // Вісн. Харьк. нац. ун-ту. – 2012. – № 997: Геологія – Географія – Екологія. – Вип. 36. – С. 38–43.
12. Космачова М. В. Геологічна будова та спадщина Харківщини: навчальний посібник / М. В. Космачова. – Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014. – 112 с.
13. Лунгерсгаузен Л. Стратиграфия триаса Донецкого края / Л. Лунгерсгаузен // Докл. АН СССР. – 1942. – Т. 34. – № 3. – С. 105–108.
14. Ремизов И. Н. О фациях верхнеюрских отложений горы Кременец у г. Изюма / И. Н. Ремизов, В. П. Макридин // Бюлл. Моск. об-ва испытателей природы. Отдел геол. – 1952. – Т. XXVII. – Вып. 6. – С. 59–68.
15. Станиславский Ф. А. Рэтская флора северо-западной окраины Донбасса / Ф. А. Станиславский. – К.: Наук. думка, 1987. – 96 с.
16. Стратиграфічний кодекс України. – К.: Національний стратиграфічний комітет України, 1997. – 40 с.
17. Уїмблдон В. А. П. Проект ГЕОСАЙТИ – мета, методологія, шляхи впровадження в Україні / В. А. П. Уїмблдон, Н. П. Герасименко, А. А. Іщенко // Проблеми охорони геологічної спадщини України. – К.: ДНЦ РНС НАНУ, 1999. – С. 9–42.
18. Kapica R. Geoattractions of the Podkarpacie region. Students of tourism and recreation perspective / R. Kapica, L. Szymud // Геотуризм: практика і досвід. Матеріали III міжнародної науково-практичної конференції. – Львів: Каменяр, 2018. – С. 43–45.
19. Manyuk V. Potential objects for creation of a network national geoparks in Ukraine / V. Manyuk // Volume of abstracts of ProGEO Symposium "Safeguarding our Geological heritage" 4–8 September, 2006. – Kyiv and Kamianets-Podil'sky, Ukraine. – P. 30–32.
20. Wimbledon W. A. P. The development of a British methodology for selection of geological sites for conservation: Part 1 / W. A. P. Wimbledon, M. J. Benton, R. E. Bevins et al // Modern Geology. – 1995. – P. 159–202.

Надійшла до редакції 1 жовтня 2020 р.

Прийнята 1 березня 2021 р.

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



UDC 551:338.48(477.54)

**Volodymir Kosmachov,**

PhD (Geology and Mineralogy), Associate Professor, Department of Geology,  
V.N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,  
e-mail: [kosmachov@karazin.ua](mailto:kosmachov@karazin.ua), <https://orcid.org/0000-003-3365-5524>;

**Mariia Kosmachova,**

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Geology,  
V.N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [kosmachovamv@gmail.com](mailto:kosmachovamv@gmail.com), <https://orcid.org/0000-001-5642-8709>

## AESTHETIC-REMARKABLE LOCALITIES OF KHARKIV REGION AS GEOTOURISM OBJECTS

**Formulation of the problem.** The aim of work is to prove the expedience of using the beautiful localities with valuable geosites of the Kharkiv region as geotourism objects.

**Presentation of the main material.** The most interesting objects of geotourism in the Kharkiv region are Izyum district, Gorodishhenska and Kozacha mountains, locality Kruchi in Zmijov district, Bajdaki cretaceous rock near Protopopivka village in Balakliya district, cretaceous mountains in Oskil and the Volcha river valleys in Dvorichna and Volchansk districts, locality Krutyj Log near Ruski Tyshki village in Kharkiv district. The objects of Izyum district are described in details. They are located in the south-east of the Kharkiv region near Izyum town, at the distance of 130 km from Kharkiv. Apart from picturesque landscapes, there are 3 remarkable geosites in this locality: Kremeneц mountain, Protopivska ravine and lower part of the Grekivka river valley, which is also called the Big Kamenka outcrops. Kremeneц mountain is situated on the territory of the Izyum town. The outcrops are located on the crest and western slope of this upland and are composed of Jurassic and Cretaceous deposits. The Big Kamenka outcrops and Protopivska ravine are located on the territory of the Kamenka village. The Big Kamenka outcrops are composed of Jurassic gritstones, sandstones, aleurolites, clay deposits and limestones. The Protopivska ravine is located in the core of Kamenka anticline and is composed of Triassic deposits.

In the Izyum district different types of valuable geological objects have been discovered, namely: *paleontological* – Triassic flora, Jurassic fauna; *stratigraphical* – the stratotypes of regional suites of Triassic, Jurassic, Cretaceous sediments – Protopivska, Izyumska, Kremenecka, Priizyumska suites; *mineralogical* – quartz, chalcidony, calcite, limonite; *petrographical* – non-ordinary rocks as coral limestones etc.; *tectonic* – are visible folds and faults – for example, Kamenska anticline; *paleogeographical* – consists of geological evidences of different conditions of sedimentation – for example, the Oxfordian bioherms, Kimmeridgian lagoonal deposits; *geomorphological* – remarkable forms of surface, such as limestone rocky outcrops of Izyumska Suites; *hydrogeological* – the Jurassic springs (Big Kamenka outcrops); *raw materials* – Turonian chalk, phosphorite concretions in the Cenomanian sediments, which have practical value; *mining history* – remainders of chalk quarry on the summit of the Kremeneц hill; *memorial* – prominent geologists' work-places and spots of findings of valuable geological materials, such as Cenomanian plesiosaur *Cimoliosaurus bernardi* Owen in Kremeneц and others.

**Conclusion.** The Izyum area contains numerous remarkable geological objects, beautiful landscapes and can be successfully used for geotourism.

**Keywords:** remarkable localities, objects of geological value, geosites, geotourism.

### References

1. Arkell V. (1961). *Jurassic of The World. M.: Publishing house of foreign lit*, 837.
2. Bilyk O. D., Kanskij N. E., Makridin V. P., Sterlin B. P., Suxorskij R. F. (1960). *Facies and paleogeography of Jurassic deposits of East-Ukrainian gas-oil-bearing basin. - Publishing house of Kharkiv university*, 73.
3. Blank M. Ya., Gorbenko V. F. (1965). *Stratigraphy of Upper Cretaceous depositions of North Donbass. Report of USSR Academy science*, 162, 2, 397-400.
4. Borisyak A. A. (1905). *Geological sketch of Izyum district and neighbouring strip of Pavlograd and Zmijov districts. Works of Geol. Committee, New. Series*, 3, 344.
5. Vilenkin V. L. (1971). *Remarkable localities of North-East Ukraine. Materials of Kharkiv department of Ukrainian Geographical society*, 8, 221-235.
6. Ajzenverg D. E., Berchenko O. I., Brazhnikova N. E. at al. (1988). *Geology and gas-oil-bearing of Dniprivsko-Donetska Depression. Stratigraphy. Kiev: Scientific thought*, 148.
7. Bezvinnyj, V.P., Bileckij, S.V., Bobrov, O.B. at al. (2011). *Geological landmarks of Ukraine. V. 4. Lviv, Ukraine: ZUKC*, 280.

8. *Geotourism: Practice and Experience. (2018). III International scientific-practical conference. Lviv: Kamenyar. 256.*
9. *Kosmachev V. G. (2005). Deposit of Kharkiv geologists to study of North-East Ukraine. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", 655, 3-10.*
10. *Kosmachov V. G., Kosmachova M. V. (2010). Geological scientific-educational excursions in Kharkiv region. Paleozoic geotour. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", 909, 32, 32-37.*
11. *Kosmachov V. G., Kosmachova M. V. (2012). Geological scientific-educational excursions on Cenozoic objects of Kharkiv region. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", 997, 36, 38-43.*
12. *Kosmachova, M.V. (2014). Geological structure and heritage of Kharkiv region. Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University, 112.*
13. *Lungersgauzen L. (1942). Triassic stratigraphy of Donec ridge. Report of USSR Academy science, 34, 3, 105-108.*
14. *Remizov I. N., Makridin V. P. (1952). Facies of Jurassic deposits of Kremenech mount in Izyum town. Bulletin of Moskov test of nature society. Geological department, XXVII, 6, 59-68.*
15. *Stanislavskij F. A. (1987). Rhetian flora of Nord-West outskirts of Donbass. Kiev: Scientific thought, 96.*
16. *Stratigraphic code of Ukraine. (1997). Kiev: National Stratigraphic Committee of Ukraine, 40.*
17. *Wimbledon W. A. P., Gerasimenko N. P., Ishhenko A. A. (1999). The Geosites Project: aims, methodology and Ukrainian implication. Problems of the protection of the geological heritage of Ukraine. Kiev, 9-42.*
18. *Kapica R., Szmyd L. (2018). Geoattractions of the Podkarpacie region. Students of tourism and recreation perspective. Geotourism: Practice and Experience. (2018). III International scientific-practical conference. Lviv: Kamenyar, 256, 43-45.*
19. *Manyuk V. (2006). Potential objects for creation of a network national geoparks in Ukraine. Volume of abstracts of ProGEO Symposium "Safeguarding our Geological heritage" 4-8 September, 2006. Kyiv and Kamianets-Podil'sky, Ukraine, 30-32.*
20. *Wimbledon W. A. P., Benton M. J., Bevins R. E. (1995). The development of a British methodology for selection of geological sites for conservation: Part 1. Modern Geology, 159-202.*

УДК 550.84:552.58

**Олександр Володимирович Любчак,**

к. геол. н., ст. наук. співроб., Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України,  
вул. Наукова, 3-а, м. Львів, 79060, Україна,  
e-mail: [lubchak1973@ukr.net](mailto:lubchak1973@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-0700-6929>;

**Мирослав Іванович Павлюк,**

академік НАН України, д. геол.-мін. н, проф., директор,  
Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України,  
e-mail: [pavlyuk.myroslav@gmail.com](mailto:pavlyuk.myroslav@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8741-0624>;

**Юрій Володимирович Хоха,**

к. геол. н., ст. досл., ст. наук. співроб., Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України,  
e-mail: [khoha\\_yury@ukr.net](mailto:khoha_yury@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-8997-9766>;

**Мирослава Богданівна Яковенко,**

к. геол. н., ст. досл., учений секретар, Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України,  
e-mail: [myroslavakoshil@ukr.net](mailto:myroslavakoshil@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0001-8967-0489>

## МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСФОРМАЦІЇ КЕРОГЕНУ І ТА ІІІ ТИПІВ МЕТОДОМ МАКСИМІЗАЦІЇ ЕНТРОПІЇ

У статті за допомогою засобів термодинамічного моделювання, заснованих на формалізмі Джейнса, встановлені тренди трансформації геохімічної системи, яка складається з керогену I-A та III-A типу та індивідуальних компонентів. Наведені характеристики керогену I та III типів та подано відомості щодо їхнього поширення в межах основних нафтогазоносних регіонів України. Проведена оцінка основних реакцій конденсації, що супроводжують перетворення речовини, яка пододала біодеградаційний бар'єр та показана їхня надзвичайна складність та, як наслідок, неможливість достовірного розрахунку кінетичних параметрів. Показані результати розрахунку загальної ентропії та енергії Гіббса всієї системи. Аналіз змін загальної ентропії системи з глибиною засвідчив, що консолідуючий вплив тиску є вагомим фактором, що впливає на склад геохімічної системи у діапазоні глибин 6-13 км. Складний характер залежності загальної ентропії системи від глибини демонструє наявність особливих зон трансформації для глибин 6 та 12 км. Аналіз динаміки зміни енергії Гіббса за глибиною свідчить про наявність ділянки, яка відповідає дефініції «нафтового вікна», в межах глибин 4-7 км, ця зона зміщується залежно від теплового потоку. В роботі введено коефіцієнт, який віддзеркалює різноманіття ізомерних форм алканів. Аналіз його залежності від глибини свідчить про різнонаправленість процесів ізомеризації для геополімеру та індивідуальних компонентів геохімічної системи. Також, у роботі введена константа рівноваги дегідратації, яка віддзеркалює складний процес дегідратації керогену із зануренням із одночасним процесом метилювання ароматичної складової літобазису. Обчислення газогенеративного потенціалу засвідчило, що найбільш продуктивним є кероген I типу, найменше – III типу, що підтверджується експериментальними даними. Проведено обчислення константи рівноваги реакції Кольбе-Шмітта. Її аналіз засвідчив, що незалежно від теплового потоку, із зростанням глибини темпи декарбоксілізації керогену зменшуються внаслідок зсуву рівноваги вліво, а сам внесок цієї реакції у перетворення керогену є незначним.

**Ключові слова:** органічна речовина, кероген I та III типів, рівноважна термодинаміка, формалізм Джейнса, газогенеративний потенціал, нафтогазоносність, нафтогазоносні регіони України.

**А. В. Любчак, М. І. Павлюк, Ю. В. Хоха, М. Б. Яковенко. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ КЕРОГЕНА I И III ТИПОВ МЕТОДОМ МАКСИМИЗАЦИИ ЭНТРОПИИ.** В статье с помощью средств термодинамического моделирования, основанных на формализме Джейнса, показаны тренды трансформации геохимической системы, состоящей из керогена I-A и III-A типа и индивидуальных компонентов. Приведены основные свойства керогена I и III типов и представлены сведения об их распространенности в пределах основных нефтегазоносных регионов Украины. Проведена оценка основных реакций конденсации, сопровождающих преобразование вещества, преодолевшего биодеграционный барьер и показана их чрезвычайная сложность и, как следствие, невозможность достоверного расчета кинетических параметров. Представлены результаты расчета общей энтропии и энергии Гиббса всей системы. Анализ изменений общей энтропии системы с глубиной показал, что консолидирующий вклад давления является весомым фактором, влияющим на состав геохимической системы в диапазоне глубин 6-13 км. Сложный характер зависимости общей энтропии системы от глубины демонстрирует наличие особых зон трансформации для глубин 6 и 12 км. Анализ динамики изменения энергии Гиббса с глубиной свидетельствует о наличии участка, который отвечает определению «нефтяного окна», в пределах глубин 4-7 км, эта зона смещается в зависимости от теплового потока. В работе введенный коэффициент, который отражает многообразие изомерных форм алканов. Анализ его зависимости от глубины свидетельствует о разнонаправленности процессов изомеризации для геополимера и индивидуальных компонентов геохимической системы. Также в работе введена константа равновесия дегидратации, которая отражает сложный процесс дегидратации керогена с погружением и с одновременным процессом метилирования ароматической составляющей литобазиса. Вычисления газогенеративного потенциала показали, что наиболее продуктивным является кероген I типа, наименее - III типа, что подтверждается экспериментальными данными. Проведены вычисления константы равновесия реакции Кольбе-Шмитта. Ее анализ показал, что независимо от теплового потока, с ростом глубины темпы декарбокисилизации керогена уменьшаются вследствие смещения равновесия влево, а сам вклад этой реакции в преобразовании керогена незначителен.

**Ключевые слова:** органическое вещество, кероген I и III типов, равновесная термодинамика, формализм Джейнса, газогенерационный потенциал, нефтегазоносность, нефтегазоносные регионы Украины.

**Постановка проблеми.** Хімічні трансформації, які супроводжують перетворення залишків біоти, що пройшли біодеградаційний бар'єр, характеризуються прогнозованою складністю та

різноманіттям. Загальні уявлення про напрямки та черговість цих трансформацій, кінцевим результатом яких є утворення низки геополімерів, полягають у послідовності деструктивних подій на початку процесу та конденсації наприкінці [1, 2]. Під деструкцією насамперед мають на увазі гідроліз біополімерів (полісахаридів, білків) та індивідуальних речовин (складні естери моно- та багатоатомних спиртів та жирних кислот). На подальших стадіях прогнозується відновлення киснево-вмісних груп та ароматизація. Слід зауважити, що ароматизація за помірних температур може відбуватись в окисному середовищі, за умови наявності оксидів перехідних металів у якості каталізатору із властивостями переносника електрону.

Зазначені вище та інші деструктивні процеси є необхідною ланкою в переході до стадії нарощування молекулярної маси в низці реакцій, кінцевим продуктом яких будуть гумати, та, у подальшому, керогени.

Популярною в органічній геохімії є реакція Майяра, що відбувається між амінокислотами та цукрами-відновниками та призводить до утворення складних структур нерегулярної будови. Реакція Майяра відбувається із утворенням  $\text{CO}_2$  в воді у широкому температурному діапазоні 30-100 °С. Подальші дослідження показали, що внаслідок реакції утворюється не тільки вуглекислий газ, а й вода. З часом кількість конденсованих сполук зростає, і в реакційному середовищі поступово утворюються спочатку нерозчинні у воді жовті, потім – коричневі та темно-коричневі сполуки, що отримали назву «меланоїди» [3, 4]. Часто дослідники пояснюють цією реакцією темне забарвлення природної нафти, втім у складі нафти меланоїдинові структури не поширені. Подальші дослідження виявили, що в конденсацію вступають різні амінокислоти та широкий спектр цукрів, які мають відновні властивості (містять альдегідну або кетоніву групу). Більш того, конденсація відбувалася паралельно з гідролізом поліпептидів та нейтральних цукрів. Зауважимо, що поширеність цієї реакції на природне середовище викликає певні сумніви – вільні амінокислоти складають вкрай малу фракцію (до 4%) від загальних амінокислот, яких і без того невелика кількість як в морських та і наземних обстановках.

Утворення геополімерів також пояснюють низкою інших реакцій, таких як окисне зшивання поліненасичених жирних кислот [5], естерифікація між жирними кислотами та фенолами [6], окислювальна конденсація фенолів тощо. Реакції з фенолами є дуже важливими для пояснення утворення геополімерів, адже її прекурсор – природні поліфеноли, складають значну частку

живої речовини наземної біоти і характеризуються високою здатністю долати біодеградаційний бар'єр [1]. Феноли володіють здатністю вступати в низку реакцій конденсації, наприклад з амінокислотами, які надходять з біодеградації протеїнів та утворюють з фенолами складні ароматичні азотовмісні структури [7].

Весь комплекс перелічених вище реакцій відбувається фактично водночас, супроводжується маловивченим впливом мінеральної компоненти осадових порід та залежить від наявності води та окисно-відновного потенціалу системи. Така складність процесу не дозволяє виробити адекватної моделі перетворень ОР в пост-діагенезі на базі розуміння кінетики окремих реакцій та груп реакцій.

Ми вважаємо, що для опису таких складних систем найкращим чином застосувати статистичну механіку, представлену аналітичними засобами термодинаміки [8, 9]. Ці засоби вже використовуються для опису еволюції систем речовин в широких межах умов - від осадових товщ до верхньої мантії Землі. Вміст компоненти в стані термодинамічної рівноваги визначається за їх термодинамічним потенціалом, для розрахунку якого наявна низка перевірених методів, які спираються на рівняння стану речовини.

Серед засобів, якими володіє термодинаміка, особливу увагу привертають методи, засновані на використанні математичного апарату, який надає можливість визначитись з числовими значеннями функцій системи, для повного розрахунку яких за класичною моделлю не вистачає даних. Якщо розглядати процеси трансформації ОР на стадії діагенезу та катагенезу, то серед вхідних даних доступні лише усереднений склад ОР по атомах або функціональних групах та термобаричні умови, в яких відбуваються трансформації. Водночас, для розуміння трендів перетворень необхідно одержати відомості про склад компонентів системи та структуру ОР після перерозподілу атомів між функціональними групами.

У 1957 році Е. Т. Джейнс [10] зробив висновок, що методи статистичної механіки, які є основою термодинаміки, являють собою окремий випадок загальної методики попередження помилок за Шенноном, та розробив методику, яка отримала назву «формалізм Джейнса». За Шенноном для системи визначають функцію ймовірності на основі заданих середніх значень, та розраховують окремі ймовірності, в ролі яких у нашому розрахунку виступають мольні частки компонентів системи. Якщо застосувати положення формалізму Джейнса до системи кероген/гази, а сам кероген уявити у вигляді суми адитивних складових, то за результатом розрахунку можна встановити найменш суперечливий

(отже, найбільш імовірний) розподіл атомарних груп у стані термодинамічної рівноваги для пари тиск-температура.

**Мета роботи:** із застосуванням засобів термодинамічного моделювання прослідкувати та порівняти тренди перетворень органічної речовини керогенів I-A та III-A типів в контакт з органічними та неорганічними газами в процесі занурення органомісткуючих порід.

**Об'єкт досліджень:** для моделювання нами обраний кероген I та III типів з мінімальною «зрілістю», які позначено I-A та III-A відповідно. Їх можна вважати граничними моделями геополімерів за здатністю до генерування вуглеводнів, що спричинено особливостями їхнього елементного складу:

Кероген III типу характеризується відносно малими значеннями атомарного відношення Н/С, яке переважно менше за 1, та високими значеннями відношення О/С, яке подекуди сягає 0,3. В той самий час перший тип керогену серед усіх інших характеризується найбільшим початковим значенням співвідношення Н/С, яке перевищує 1,5 та малим ступенем окислення, яке представлено співвідношенням О/С та становить менше 0,1 (рис. 1).

Кероген III типу характеризується відносно малими значеннями атомарного відношення Н/С, яке переважно менше за 1, та високими значеннями відношення О/С, яке подекуди сягає 0,3. В той самий час перший тип керогену серед усіх інших характеризується найбільшим початковим значенням співвідношення Н/С, яке перевищує 1,5 та малим ступенем окислення, яке представлено співвідношенням О/С та становить менше 0,1 (рис. 1).

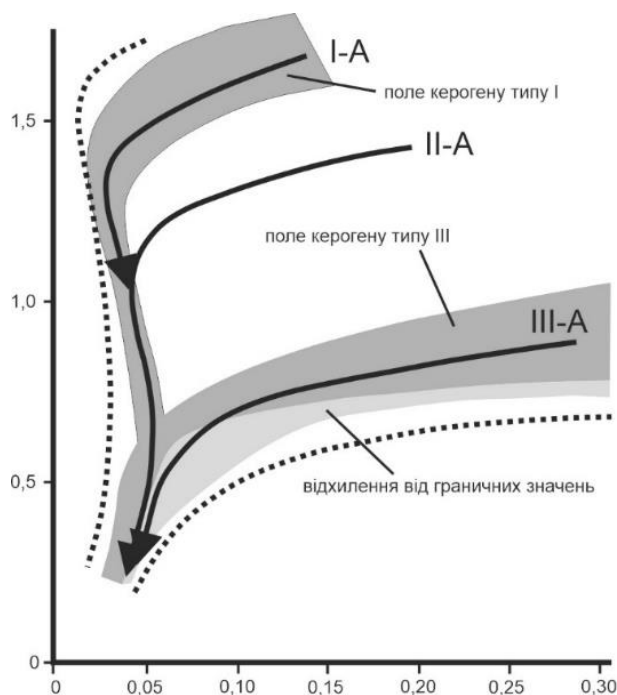


Рис. 1. Діаграма ван Кревелена (адаптовано з [1])

Причина такої відмінності полягає у будові гіпотетичних продуцентів первинного біоматеріалу для їхнього утворення. Припускається, що кероген III типу утворено компонентами вищих наземних рослин. Вони містять значну кількість поліароматичних фенольних структур, які відіграють роль каркасу, прикликаного компенсувати вплив гравітаційної сили, малопомітної у водному середовищі, за рахунок компенсації силою Архимеда. Водночас, джерело матеріалу керогену I типу дискутується. Багато дослідників припускають, що цей тип керогену складається з матеріалу ліпідного походження; це підтверджується спектроскопічними методами досліджень, які фіксують наявність алканових структур [1, 2, 11]. Крім того, запропоновано механізм його утворення внаслідок вкрай глибокої трансформації невизначеної первинної речовини мікробними співтовариствами [1], висловлюються також припущення, що це суміш геополімерів різного

походження. Всі автори вказують на відносно низьке поширення керогену типу I порівняно з іншими типами. За оцінками окремих авторів, родовища вуглеводнів сформовані керогеном I типу складають лише 2,7% від всіх разом взятих.

Кероген III типу також не являє собою однакової картини для всіх зразків. В деяких випадках ОР керогену III типу на стадії діагенезу та початкових стадіях катагенезу проходить шлях глибокої трансформації в окисному середовищі верхніх сантиметрів ґрунту, після чого повторно седиментується у вигляді ґрунтового гуміну та частинок типу інертеніту [1]. Саме з цієї причини деякі зразки керогену III типу виходять за границі, передбачені для цього типу діаграмою ван Кревелена (див. рис. 1).

Відповідно до первинного матеріалу, кероген типу III складено переважно з поліароматичних ядер, поєднаних етерними, але не естерними зв'язками. Ароматичні ядра містять численні ка-

рбоксильні, гідроксильні, кетонів та метоксильні групи, на утворення яких розподіляється значна частка кисню. Крім того, в структурі цього керогену виявлені аліфатичні довголанцюгові структури, які успадковані від ліпідів різної природи – тригліцеридів жирних кислот, ефірів вищих спиртів та жирних кислот (воску) тощо.

В керогені I типу, відповідно до зростання вмісту насичених складників, зменшується вміст поліароматичних ядер та гетероатомних структур, насамперед кисневоміщуючих – гідроксильний, карбоксільний, естерних, етерних, фуранових тощо. Кисень концентрується переважно в естерних групах [12] з малою хімічною активністю. З огляду на високе вихідне співвідношення Н/С, екстракти та продукти піролізу керогену I типу багаті на довголанцюгові n-алкани (довжина до 40 атомів вуглецю), без помітного непарного характеру [2].

Кероген III типу часто зустрічається в дельтових умовах і характеризується високим ступенем трансформації первинної речовини внаслідок окислення під час транспортування первинного матеріалу [13]. Лише найстабільніші компоненти наземної рослинності досягають області седиментації, де вони швидко перекриваються осадовими породами, згідно з умовами дельтового осадконагромадження. Насичені структури складають невелику частину керогену III типу, що не дуже добре корелюється із високопарафіновими сполуками, які ним генеруються.

Геохімічні дослідження осадових материнських порід з промислових родовищ нафти, проведені в дельтових районах за останні десятки років, показали, що розсіяна ОР, складена з керогену типу III, незалежно від того, пов'язана вона з гуміновим вугіллям чи ні, подібна до типу II, та являє собою однорідний і хімічно чітко визначений тип ОР, на відміну від керогену I типу [13].

Кероген III типу достатньо поширений в осадових товщах континентальних окраїн та, разом із керогеном II типу, складає вагому частку керогену нафтогазоносних басейнів України. Наприклад, за аналізом просторового поширення типів керогену в межах Дніпровсько-Донецької западини [14] виявлено, що у виділених зразках ОР переважає кероген III типу, який, відповідно до існуючих класифікацій, утворений переважно із решток наземної рослинності в палеоумовах континентальних окраїн і дельт.

Значну поширеність має кероген III типу в межах Південного нафтогазоносного регіону. Органічна речовина продуктивної майкопської світи за даними [15, 16] відповідає керогену III типу, має високий потенціал до газогенерування та низький до утворення нафти, насичений паліноморфами та складається як з органічного

фітопланктону, так і з алохтоної частини, що представлена спорами і пилом хвойних і вітринізованими частками рослинних тканин; у верхній частині розрізу з'являється інертиніт.

В межах Західного нафтогазоносного регіону України цей тип керогену зустрічається нечасто, переважно як компонент суміші з керогеном II типу, наприклад в породах шипотської і спаської світи, які широко розповсюджені в межах Зовнішніх Карпат і, будучи збагаченими розсіяною органічною речовиною, являють значний інтерес з точки зору їхнього нафтогенеративного потенціалу [17].

На відміну від керогену III типу, I тип в осадових комплексах порід нафтогазоносних регіонів України зустрічається доволі рідко. За даними [17] в межах Західного нафтогазоносного регіону цей тип керогену простежується в породах менілітової світи Бориславського та Соколовецького нафтогазоносних районів Українських Карпат.

В межах Східного нафтогазоносного регіону кероген I типу простежується в відкладах турнейських, верхньовізейських і серпуховських осадових комплексів в межах Мачуського газового родовища Руденківсько-Пролетарського нафтогазоносного району та Кисівського газоконденсатного родовища в Рябухінсько-Північно-голубівському нафтогазоносному районі [14].

В межах Південного нафтогазоносного регіону найпоширенішим кероген I типу є у верхньоеоценових (кумських) відкладах Західно-Кубанського прогину (разом з керогеном II типу) [16, 18].

**Методика.** Основою розрахунків трендів трансформації керогену I та III типів був алгоритм, розроблений на базі апарату формалізму Джейнса, застосування якого дозволило встановити найменш суперечливий розподіл атомарних груп та компонентів довільної системи у стані термодинамічної рівноваги для обраних термобаричних умов [19]. Алгоритм полягав у встановленні випадковими числами початкових значень потенціалів кожного з елементів системи (C, H, O, N, S) та подальшого розрахунку методом максимізації ентропії функціональних груп, з яких складено нерегулярний геополімер [20] та інших компонентів, що знаходяться з ним у рівновазі. Обчислення здійснювалось до 10000 разів, після чого з одержаного масиву результатів обирався такий, що володів найменшим значенням енергії Гіббса всієї системи. В такий спосіб була реалізована схема Монте-Карло для багатокомпонентної системи, що знаходиться в стані термодинамічної рівноваги.

Для розрахунку, крім початкового співвідношення елементів у системі та припущення про склад індивідуальних компонентів, необхідні та-

кож відомості про їхній хімічний потенціал, який можна вирахувати зі значень енергії Гіббса утворення кожного компоненту. Такий розрахунок при стандартному тиску можна провести за допомогою квантово-хімічних методів. Якщо тиск відрізняється від стандартного (0,1 МПа в цій роботі), необхідно мати відомості про рівняння стану, яке врахує його консолідуючий вплив на сили міжмолекулярної взаємодії.

Для кожного з газоподібних компонентів системи обрано надійне рівняння стану, рекомендоване NIST. Якщо межі застосування рівняння стану менші, ніж тиск або температура розрахунку, то нами проводилась екстраполяція згідно з рекомендаціями NIST. Детальний опис та алгоритм застосування положень формалізму Джейнса для розрахунку геохімічних систем наведено у [19].

Вихідними даними для розрахунків є елементний склад керогену I та III типу, а також температура і тиск, за яких відбувається його трансформація. Передбачається, що тривалість такої трансформації є достатньою для досягнення термодинамічної рівноваги, тобто час прямує до безмежності, а термобаричні умови є незмінними. Елементний склад отримано усередненням декількох досліджень [1, 11, 21] із урахуванням

даних [22]. На розрахунок надходив такий склад керогену III типу (у мас. %): C – 73,77, H – 5,64, O – 17,45, N – 2,16, S – 0,98; I типу: C – 77,84, H – 10,09, O – 7,83, N – 1,83, S – 2,41.

Обчислення здійснювались в середовищі MS Excel; алгоритм було представлено у вигляді модуля класу, поєднаному із загальними модулями, для визначення термодинамічних функцій компонентів системи у рідкій та газоподібній фазі застосоване програмне забезпечення з відкрити кодом CoolProp [23].

**Результати.** Результатами обчислень є молярні частки 44 адитивних складових, які описують тверду фазу керогенів I та III для кожної глибини до 20 км включно, та органічних і неорганічних індивідуальних речовин, а саме: H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, n-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>, i-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>, n-C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>, i-C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>, neo-C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>. Крім мольних часток, сумою яких перевірялась точність та достовірність розрахунку, нами оцінювались важливі функції всієї системи – загальна ентропія, енергія Гіббса, ентальпія, потенціали Планка елементів.

Основними параметрами, що описують одночасно всю систему, є ентропія та енергія Гіббса. Тенденції зміни ентропії зі зміною рівноважної глибини для керогенів I та III типів показана на рис. 2:

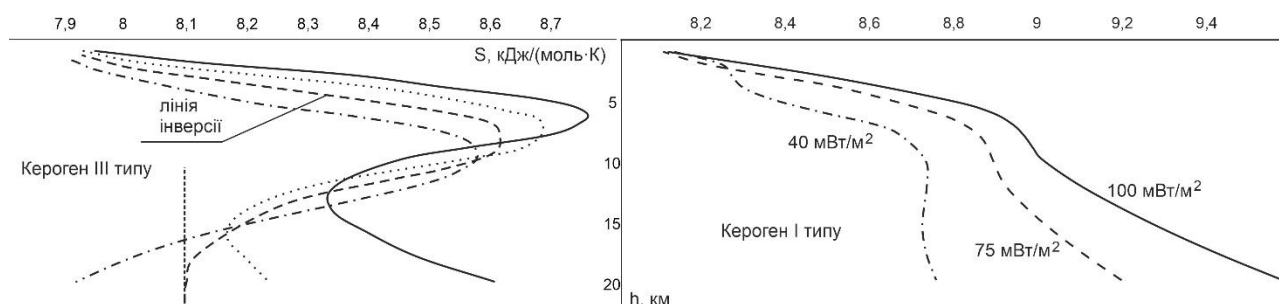


Рис. 2. Загальна ентропія системи кероген/індивідуальні компоненти, як функція глибини

З огляду на важливість трендів зміни абсолютних значень ентропії, для обраної моделі формалізму, необхідно проаналізувати зміни її характеру з глибиною для всього діапазону пар тиск-температура, що реалізуються на проміжку глибин 1-20 км. Обрані граничні межі теплових потоків 40-100 мВт/м<sup>2</sup> достатні для опису всіх нафтогазових регіонів України.

Із загальних міркувань випливає, що тиск та температура чинять різноспрямований вплив на систему – консолідуючий та деструктивний, відповідно. За умови переважання впливу тиску над температурою відбувається зростання мольної маси продуктів трансформації і навпаки – надмірний вплив температури призводить до зменшення молекулярної маси індивідуальних компонентів системи.

З рис. 2. випливає, що елементний склад системи суттєво впливає на характер залежності

ентропії від глибин, водночас ця залежність зберігає монотонність та загальну подібність. Для керогену III типу, багатого на кисень та бідного на водень, спостерігається максимум ентропії із подальшою інверсією, а для високих значень теплових потоків – двома інверсіями в обраному діапазоні глибин. Кероген I типу фактично не демонструє інверсії, лише на малому тепловому потоці помітним є незначний максимум.

Складний характер залежності загальної ентропії системи від глибини демонструє наявність особливих зон трансформації для глибин 6 та 12 км. Зростання абсолютних значень ентропії свідчить про постійне переважання деструктивного фактору температури, що цілком корелюється з уявленнями про генезис викопних вуглеводнів шляхом термодеструкції геополімерів.

На рис. 3 показана зміна енергії Гіббса системи кероген I типу / індивідуальні компоненти

для теплових потоків в межах глибин 1-20 км.

Для обох типів керогену енергія Гіббса розглянутої системи має монотонний характер з

екстремумом в діапазоні глибин 2-7 км, який свідчить про стабільність вуглеводневих систем саме в цьому діапазоні. На рис. 3 для керогену I ти-

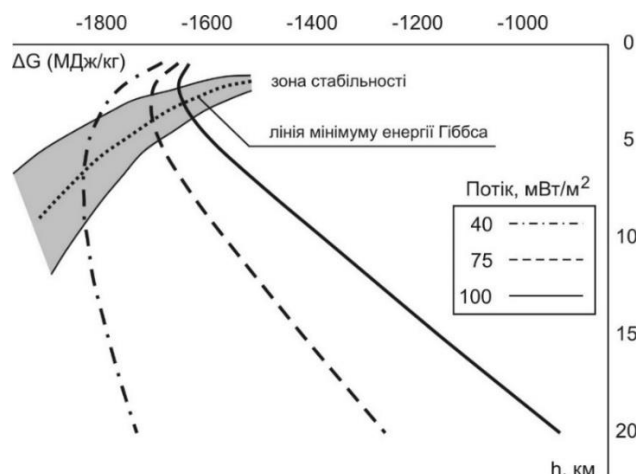


Рис. 3. Зміна енергії Гіббса системи кероген I типу / газу як функція глибини та теплового потоку

пу виділена зона стабільності (або консервації) систем кероген/газу та позначена лінія мінімуму енергії Гіббса, яка відповідає максимально термодинамічно «вигідними» умовам перебування системи. Подібно до керогенів II та III типу, аналіз динаміки зміни енергії Гіббса за глибиною для керогену I типу свідчить про наявність ділянки, яка відповідає дефініції «нафтового вікна», прийнятої в органічній геохімії. Абсолютні значення енергій Гіббса систем з участю керогену I та III типу є близькими, втім системи, що базуються на керогені III типу у рівновазі з газами є більш «вигідними» з позицій термодинаміки.

Для оцінки спрямованості перетворень ОР різного типу із зануренням ми пропонуємо ввести коефіцієнт, який віддзеркалює різноманіття

ізомерних форм алканів. Цей коефіцієнт названо «коефіцієнт розгалуження», позначено малою літерою «*r*». Він являє відношення сум розгалужених ізомерів алканів до нерозгалужених (нормальних) та обчислюється за формулою:

$$r = \frac{\sum_{i=2}^5 (i-1)v_i}{\sum_2^5 v_i}; \quad (1)$$

де *v* – мольна частка *i*-го компоненту, під компонентом мається на увазі індивідуальний алкан, а *i* – кількість розгалужень (у метані – 0, етан – 1, пропан – 2 і т.д.). Наприклад, коефіцієнт розгалуження твердої фази, якою є кероген I та III типів, в стані рівноваги із газами, обчислений за (1):

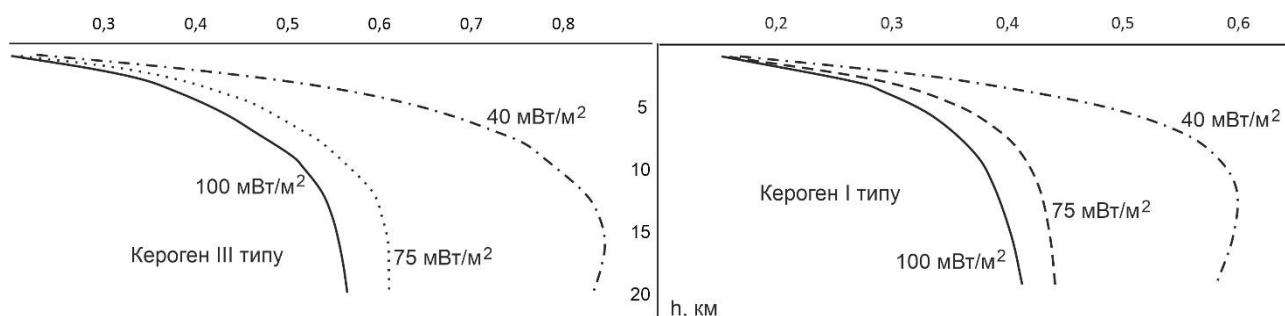


Рис. 4. Коефіцієнт розгалуження твердої фази для керогену I та III типів

Як свідчить аналіз рис. 4, коефіцієнт розгалуження монотонно зростає із збільшенням глибини, що вказує на поступове нарощування кількості алканів, відмінних від нормальних. Лише для ділянок найменшої прогрітості в межах глибин 12-15 км спостерігається незначна інверсія в бік зменшення. Зростання кількості ізомерних форм із збільшенням тиску та температури є відомим фактом з галузі нафтохімії, наприклад в процесі риформінгу. Кероген I типу відзначається

більшими абсолютними значеннями *r*, що є наслідком високого відносного вмісту водню. Ми вважаємо, що збільшення значення *r* для обох типів керогену свідчить про фосилізацію первинної ОР і підтверджує загальнотеоретичні міркування про спрямованість процесів трансформації керогену із зануренням, що опосередковано доводиться чисельними дослідженнями з його піролізу [2].

Водночас, зміна *r* у газо-рідинному флюїді,



який знаходиться у термодинамічній рівновазі із керогеном, мають зворотний характер – із зануренням коефіцієнт розгалуження зменшується,

як показано на рис. 5.

Поведінка алканів, яка ілюструється кривими на рис. 5 свідчить, вочевидь, про активний

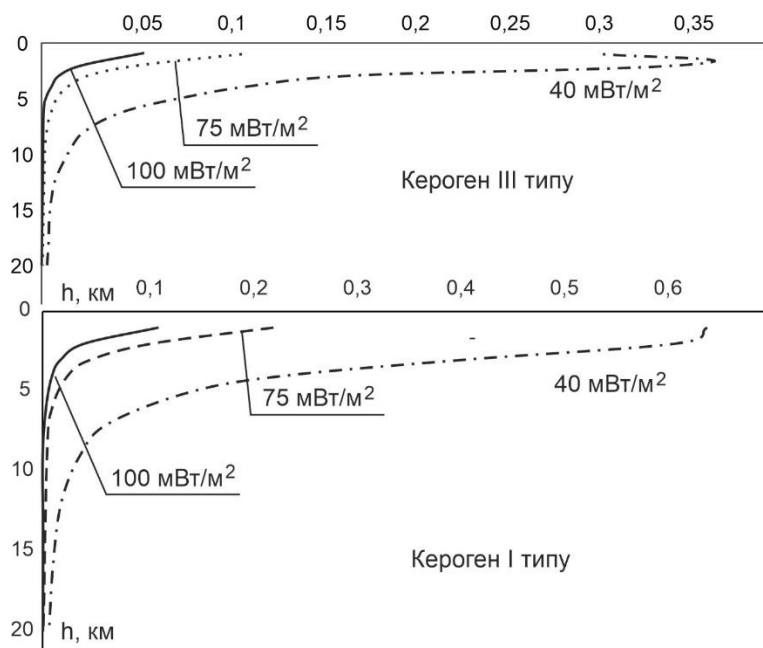


Рис. 5. Коефіцієнт розгалуження газо-рідинного флюїду для керогенів I та III типу

процес деполімеризації, який відбувається із зануренням внаслідок переважання фактору температури над тиском, як це припускалось вище. Винятком є ділянки найменшої прогрітості для керогену III типу, де спостерігається незначна інверсія в ділянці помірних глибин із максимумом 2 км.

Оцінка здатності геополімеру до генерування низькомолекулярних вуглеводнів без застосування вартісних лабораторних досліджень відіграє важливу роль при визначенні потенційних перспективних ділянок пошуку нафтогазових родовищ. В цій роботі здатність ОР ( $\Gamma_2$ ) до генерування газу визначаємо у  $\text{нм}^3/\text{кг}$  на суху масу керогену, та обчислюємо за формулою:

$$\Gamma_2 = \frac{V_m \cdot \sum_{i=1}^{12} v(i.k.)_i}{\sum_{i=1}^{44} M_i v(\text{рад.})_i}, \quad (2)$$

де  $v$  – мольна частка компонента,  $M_i$  – молярна маса  $i$ -го компонента в г/моль,  $V_m$  – об'єм моля речовини у газовому стані (прийнято  $22,4 \text{ дм}^3/\text{моль}$ ),  $i.k.$  – індекс, що відповідає індивідуальному компоненту системи,  $\text{рад.}$  – індекс, що вказує на радикал з адитивної моделі за ван Кревеленом.

Результати визначення газогенеративної здатності керогену I та III типів для всіх теплових потоків за формулою (2) наведено на рис. 6.

З рис. 6 випливає, що для всіх теплових потоків із заглибленням спостерігається незначне, але очевидне зменшення газогенеративної здат-

ності керогену III типу. Загалом, це явище відповідає уявленням про «зрілість» керогену [2], зі зростанням якої відбувається карбонізація, втрата водню та, відповідно, зменшення здатності до продукування газоподібних вуглеводнів. Для керогену I типу спостерігаються відхилення від тенденції до монотонного зменшення в межах глибин 10-12 км, що може свідчити про наявність альтернативних процесів, які призводять до тимчасового посилення газогенерації. Порівняння газогенеративної здатності керогенів засвідчило, що I тип здатен утворити значно більше вуглеводнів, ніж III, що цілком збігається з піролітичними дослідженнями.

В наших попередніх роботах [24] було показано, що моделювання трансформації ОР формалізмом Джейнса дає можливість достовірно визначати кількість неорганічних компонентів, у тому числі води, які знаходяться у рівновазі із геополімером. Для обох типів керогенів проведено аналіз співвідношення маси води, що генерується під час еволюції (автохтонної води) до маси залишкового керогену (твердої фази). Ця залежність показана на рис 7.

Вода, кількість якої обрахована за розробленою моделлю, є продуктом деструкції керогену III типу, тобто не йдеться про «мокрый» піроліз або гідролітичне диспропорціонування за Хелгесоном [22].

Подібно до алюмосилікатних порід із зануренням ОР генерує воду, але цей процес, як свідчить рис. 7, не є нескінченним, і при вичерпанні

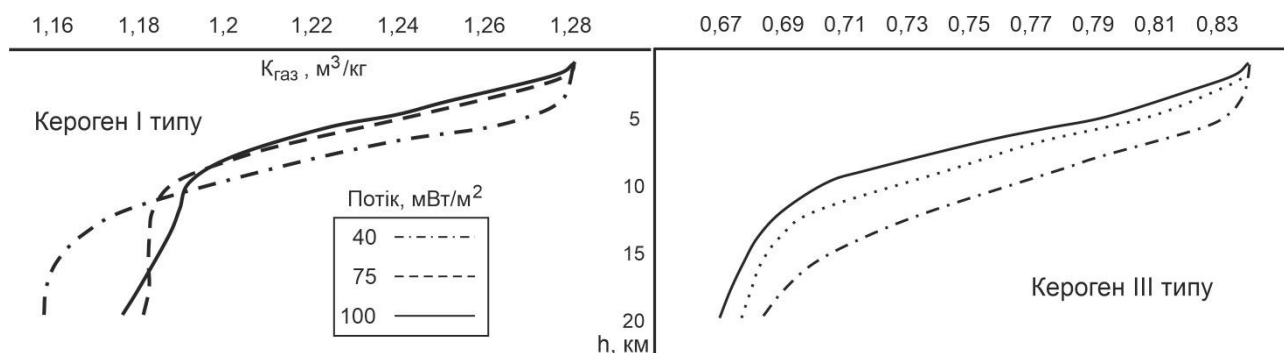


Рис. 6. Газогенеративний потенціал керогену I та III типу, обчислених за (2)

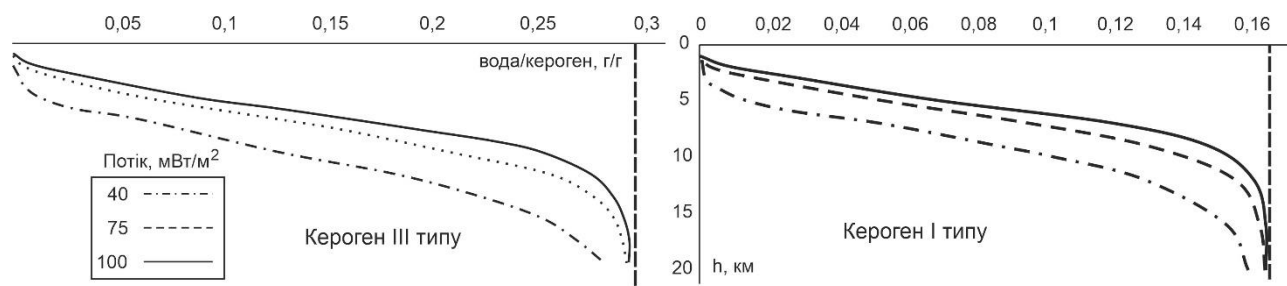


Рис. 7. Співвідношення маси води до керогену як функція глибини та теплового потоку

ресурсу водню генерування води речовиною керогену III типу припиняється за відношенням вода/кероген  $\approx 0,3$ . Цілком логічно, що при більшому тепловому потоці в породних масивах відбувається швидша дегідратація ОР. Порівняно з асимптотою дегідратації керогену III типу, яка складає 0,3, у керогена I типу вона дещо перевищує 0,16. Це є очевидним наслідком малого початкового вмісту кисню у системі загалом та відомостей з будови керогену I типу, де засвідчено перебування кисню виключно в малоактивних естерних групах. Зауважимо, що цей результат одержано виключно моделюванням, без введення будь-яких припущень про будову всіх фаз.

Для кількісного опису процесу генерування води літобазою геополімерів нами запропонована константа рівноваги дегідратації ( $Kd$ ), яку розраховуємо так:

$$Kd = \frac{v_{H_2O} \cdot v_{-CH_3}}{v_{CH_4} (v_{-OH} + v_{-COOH})}, \quad (3)$$

де  $v$  – мольна частка компонента, а наявність в індексі символу « $\rightarrow$ » (наприклад  $-CH_3$ ) вказує, що це адитивна складова твердої фази керогену. Ця константа описує складний хімічний процес, в якому прекурсорами утворення води є киснево-вмісні радикали (гідроксильна та карбоксильна групи), що представлені у твердій фазі в найбільшій кількості. Зазначені киснево-вмісні групи відщеплюються від макромолекули керогену із захопленням додаткового водню, джерелом якого є метан. Втрата водню призводить до появи другого продукту – метильного радикалу, отже ми припускаємо метилювання літобазу керогену в

процесі дегідратації.

Графічно залежність десятичного логарифму константи реакції дегідратації від глибини для розглянутих теплових потоків наведена на рис. 8.

На відміну від простої оцінки кількості згенерованої води (рис. 7) константа реакції дегідратації демонструє складну залежність від глибини та теплового потоку. Загалом наявна тенденція до зростання значення  $Kd$  в діапазоні 6-10 км для всіх теплових потоків і типів керогенів, що означає переважання процесу виділення води над її хімічним зв'язуванням. Після досягнення максимуму дегідратації при достатньому тепловому потоці відбувається зворотній процес, який пояснюється значним зростанням хімічної активності води на великих глибинах [8] та полягає у перерозподілі водню та кисню між іншими компонентами системи, як флюїдним так і твердою фазою. Винятком є слабкопрогріті зони, для яких подібна інверсія не спостерігалась. На рис. 8 також наведена штрихова лінія інверсії, яка обмежена асимптотою із значенням  $Kd \approx 2500$  ( $\text{Log } Kd = 2,4$ ). Лінія інверсії та асимптота для всіх типів керогенів збігається, що означає незалежність цього процесу від початкового складу геополімеру.

Для оцінки пропорційного складу вуглеводневих газів у рівновазі з керогеном обчислено коефіцієнт жирності газової фази, який являє відношення суми вуглеводнів від етану до пентану, включно із ізомерами до метану. Коефіцієнти жирності газів, що генеруються керогеном I типу, як функція глибини та теплового потоку наведено на рис. 9; така сама залежність для керо-

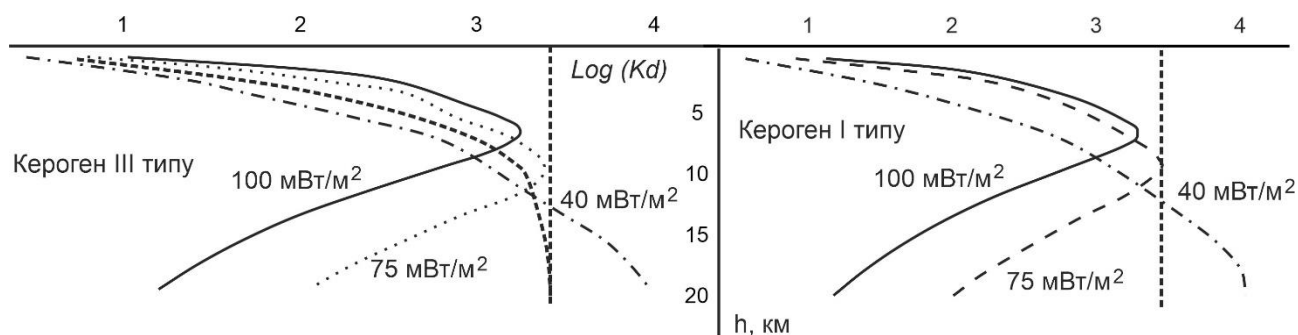


Рис. 8. Константа реакції дегідратації керогену, обчислена за (3)

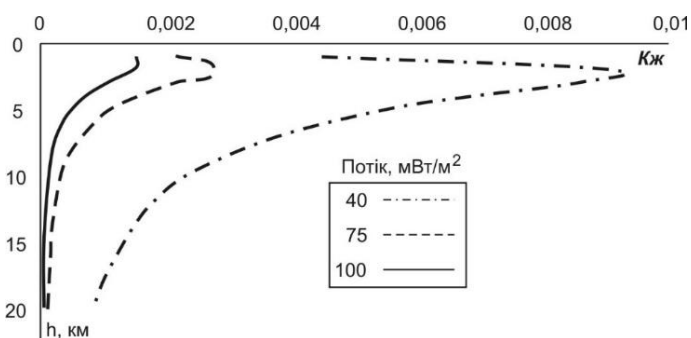


Рис. 9. Коефіцієнт жирності газів, що генеруються керогеном I типу, як функція глибини та теплового потоку

гену III типу має ідентичну спрямованість та близькі абсолютні значення.

Як свідчить рис. 9, із зануренням коефіцієнт жирності спочатку стрімко зростає, що свідчить про збільшення пропорційного вмісту алканів, важчих за метан. Це зростання сягає максимуму в межах 2-3 км для всіх розглянутих теплових потоків, після чого так само стрімко коефіцієнт жирності зменшується. Для менших значень теплових потоків ця закономірність виражена більш очевидно, проте вона справджується у всьому діапазоні. Очевидним є відповідність максимуму коефіцієнта жирності «нафтовому вікну» та іншим параметрам системи кероген/гази, що розглянуто вище.

Серед реакцій, що призводять до зростання молекулярної маси твердої фази, нами розглянутий синтез за Кольбе-Шміттом. Суть реакції полягає у зворотному приєднанні молекули  $\text{CO}_2$  до ароматичного карбону із утворенням карбоксильної групи [25]. Для опису реакції Кольбе-Шмітта для керогенів нами обчислена константа рівноваги  $K_k$  за формулою 4:

$$K_k = \frac{v_{-\text{COOH}} \cdot v_{\text{Ar}}}{v_{\text{CO}_2} \cdot v_{\text{Ar-H}}}, \quad (4)$$

де  $v$  – мольна частка компоненту, а індекси відповідають:  $-\text{COOH}$  – карбоксильна група керогену,  $\text{Ar}$  – вуглець в ароматичному кільці, сполучений з радикалом, відмінним від водню, але не третинний,  $\text{Ar-H}$  – вуглець в ароматичному кіль-

ці сполучений з воднем,  $\text{CO}_2$  – вільний вуглекислий газ (див. табл. 1).

За результатами обчислень побудовано графіки залежності  $K_k$  від глибини та теплового потоку, приклад якого для керогену III типу подано на рис. 10.

З рис. 10 випливає, що в межах глибин до 5 км для системи кероген / газ характерною є реакція декарбоксилізації із утворенням вуглекислого газу. Із зростанням глибини вплив тиску стає вагомим, темпи декарбоксилізації сповільнюються, а для ділянок найменшої прогрітості спостерігається зворотний процес. Малі значення константи  $K_k$  свідчать про незначний внесок реакції Кольбе-Шмітта у нарощування молекулярної маси органічної речовини керогену III типу в пост-седиментаційних процесах.

**Висновки.** Методи термодинамічного моделювання, засновані на формалізмі Джейнса, дають можливість кількісно визначати компоненти складних систем типу тверда речовина/флюїд для випадків, коли твердою речовиною є кероген III або I типів, а флюїдом – суміш вуглеводневих та неорганічних сполук, які знаходяться в рідкому, газоподібному та надкритичному стані, залежно від термобаричних умов, якими керує глибина залягання.

Найбільш продуктивним за газогенеративним потенціалом, розрахованим термодинамічними методами, є кероген I типу, найменше – III типу, що підтверджується експериментальними даними, а запропоновані коефіцієнти розгалуження

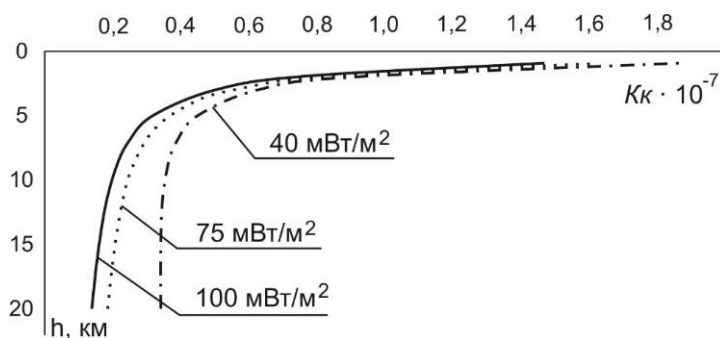


Рис. 10. Константа рівноваги реакції Кольбе-Шмітта як функція глибини для керогену III типу

ності для твердої (керогени I та III типів) та газофлюїдної фази підтверджують результати експериментів з оцінки спрямованості процесів трансформації керогену із зануренням органомішучих порід.

Аналіз змін загальної ентропії системи з глибиною засвідчив, що консолідуючий вплив тиску є вагомим фактором, що впливає на склад геохімічної системи, що включає кероген, у діапазоні глибин 6-13 км, в той самий час із подальшим зануренням переважає деструктивний фактор температури. За ентропією встановлено, що діапазон глибин від 6 до 15 км з максимумом 7,5 км можна вважати найбільш придатним для

формування вуглеводневого флюїду.

Встановлений складний характер рівноваги між конституційною водою та керогеном, залежно від теплового потоку та глибини. Для аналізу цієї рівноваги запропонована проста константа рівноваги дегідратації, яка узагальнює перетворення води в матриці керогенів. Обчислена константа рівноваги реакції Кольбе-Шмітта показала, що незалежно від теплового потоку, із зростанням глибини темпи декарбоксілізації керогену зменшуються внаслідок зсуву рівноваги вліво, а сам внесок цієї реакції у перетворення керогену є незначним, з огляду на її порядок.

#### Література

1. Tissot B.P. *Petroleum Formation and Occurrence* [Текст] / B.P. Tissot, D. H. Welte. – Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer-Verlag, 1984. – 348 p.
2. Vandenbroucke M. *Kerogen origin, evolution and structure* [Текст] / M. Vandenbroucke, C. Largeau // *Organic Geochemistry*. – 2007. – Volume 38, Issue 5. – P. 719-833. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2007.01.001>
3. Yamamoto S. *A study of the formation mechanism of sedimentary humic substances—II. Protein-based melanoidin model* [Текст] / S. Yamamoto, R. Ishiwatari // *Organic Geochemistry*. – 1989. – Volume 14, Issue 5. – P. 479-489. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(89\)90028-4](https://doi.org/10.1016/0146-6380(89)90028-4)
4. Larter S. R. *Melanoidins – kerogen precursors and geochemical lipid sinks: a study using pyrolysis gas chromatography (PGC)* [Текст] / S. R. Larter, A. G. Douglas // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 1980. – Volume 44, Issue 12. – P. 2087-2095. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(80\)90206-9](https://doi.org/10.1016/0016-7037(80)90206-9)
5. *The structure of marine fulvic and humic acids* [Текст] / G. R. Harvey, D. A. Boran, L. A. Chesal, J. M. Tokar // *Marine Chemistry*. – 1983. – Volume 12, Issues 2–3, – P. 119–132. [https://doi.org/10.1016/0304-4203\(83\)90075-0](https://doi.org/10.1016/0304-4203(83)90075-0)
6. Schnitzer M. *Chapter 1 Humic substances: chemistry and reactions* [Текст] / M. Schnitzer // *Developments in soil science*. – 1978. – Volume 8 – P. 1-64. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)70016-3](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)70016-3)
7. Stevenson F. J. *Chemistry of humic acids and related pigments* [Текст] / F. J. Stevenson, J. H. A. Butler // *Organic geochemistry*. – 1969. – P. 534-557. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-87734-6\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-642-87734-6_28)
8. Чекалюк Э. Б. *Термодинамические основы теории минерального происхождения нефти* [Текст] / Э. Б. Чекалюк. – Киев: Наукова думка, 1971. – 256 с.
9. Хоха Ю. В. *Термодинаміка глибинних вуглеводнів у прогнозуванні регіональної нафтогазоносності* [Текст] / Ю. В. Хоха. – Київ: Наукова думка, 2014 – 57 с.
10. Jaynes E. T. *Information theory and statistical mechanics* [Текст] / E. T. Jaynes // *Physical review*. – 1957. – № 106 (4), 620. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.106.620>
11. Ungerer P. *Molecular modeling of the volumetric and thermodynamic properties of kerogen: Influence of organic type and maturity* [Текст] / P. Ungerer, J. Collell, M. Yiannourakou // *Energy & Fuels*. – 2015. – 29 (1). – P. 91-105. <https://doi.org/10.1021/ef502154k>
12. Fester J.I. *Oxygen functional groups in Green River oil-shale kerogen and trona acids* [Текст]. / J.I. Fester, W.E. Robinson // *Coal Science*, 1966. – pp. 22-31.
13. Vandenbroucke M. *Kerogen: from types to models of chemical structure* [Текст] / M. Vandenbroucke // *Oil & gas science and technology*. – 2003. – Volume 58, Number 2. – P. 243-269. <https://doi.org/10.2516/ogst:2003016>
14. Зеленко Ю. М. *Просторове поширення типів керогену на основі обробки даних методу піролізу зразків в межах Дніпровсько-Донецької западини* / Ю. М. Зеленко, О. В. Дзюба, О. М. Карпенко // *Геоінформатика*. – 2016. – № 3 (59). – С. 20-24.

15. Павлюк М. І. Геодинамічна еволюція та нафтогазоносність Азово-Чорноморського і Баренцевоморського периконтинентальних шельфів. / М.І. Павлюк. – Львів: ТзОВ “ПРОМАН”, 2014. – 268 с.
16. Нетрадиційні джерела вуглеводнів України: монографія. У 8 кн. Кн. 3. Південний нафтогазоносний регіон [Текст] / В. А. Михайлов, І. М. Куровець, Ю. М. Сеньковський, С. А. Вишва, К. Г. Григорчук, В. М. Загнітко, В. П. Гнідець, О. М. Карпенко, С. С. Куровець – К.: ВПЦ «Київський університет», 2014. – 222 с.
17. Колтун Ю. В. Еволюція чорносланцевих товщ та генерація вуглеводнів в межах давньої континентальної окраїни Тетису (Українські Карпати та суміжні території) [Текст] / Ю. В. Колтун // Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України. – 2008. – Вип. 1. – С. 87-92. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2008.152429>
18. Условия осадконакопления в восточном океане Паратетис в олигоцене–раннем миоцене [Текст] / О. К. Баженова, Н. П. Фадеева, М. Л. Сент-Жермес, Е. Е. Тихомирова // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. – 2003. – № 6. – С. 12-19.
19. Khokha Yu. V., Yakovenko M. B., Lyubchak O.V. Entropy maximization method in thermodynamic modelling of organic matter evolution at geodynamic regime changing [Текст] / Yu. V. Khokha, M. B. Yakovenko, O.V. Lyubchak // *Geodynamics*. – 2020. – Volume 2 (29). – P. 79-88. <https://doi.org/10.23939/jgd2020.02.079>
20. Любчак О. В. Співвідношення структурних елементів вуглеводневої складової аргілітів Східних Карпат за формалізмом Джейнса [Текст] / О. В. Любчак, Ю. В. Хоха, М. Б. Яковенко // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія.» – 2018. – № 49. – С. 83-94. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-07>
21. Behar F. Role of NSO compounds during primary cracking of a Type II kerogen and a Type III lignite [Текст] / F. Behar, F. Lorant, M. Lewan // *Organic Geochemistry*. – 2008. – № 39 (1). – P. 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2007.10.007>
22. Helgeson H. C. A chemical and thermodynamic model of oil generation in hydrocarbon source rocks [Текст] / H. C. Helgeson, L. Richard, W. F. McKenzie, D. L. Norton, A. Schmitt // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2009. – Volume 73, Issue 3. – P. 594-695. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2008.03.004>
23. Pure and Pseudo-pure Fluid Thermophysical Property Evaluation and the Open-Source Thermophysical Property Library CoolProp [Текст] / I. H. Bell, J. Wronski, S. Quoilin, V. Lemort // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. – 2014. – № 53(6). – P. 2498-2508. <https://doi.org/10.1021/ie4033999>
24. Хоха Ю. Термодинаміка трансформації керогену II типу [Текст] / Ю. Хоха, О. Любчак, М. Яковенко // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2019. – № 3 (180). – С. 25–40. <https://doi.org/10.15407/ggcm2019.03.025>
25. Lindsey A.S. The Kolbe-Schmitt Reaction [Текст] / A.S. Lindsey, H. Jeskey // *Chemical Reviews*. – 1957. – 57 (4). – P. 583-620. <https://doi.org/10.1021/cr50016a001>

Надійшла до редакції 7 травня 2021 р.  
Прийнята 31 травня 2021 р.

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

UDC 550.84:552.58

**Oleksandr Lyubchak,**

PhD (Geology), Senior Researcher,  
Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine,  
3a Naukova St., Lviv, 79060, Ukraine,  
e-mail: [lubchak1973@ukr.net](mailto:lubchak1973@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-0700-6929>;

**Myroslav Pavlyuk,**

Academician of the National Academy of Science of Ukraine, DSc (Geology and Mineralogy), Professor,  
Director, Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine,  
e-mail: [pavlyuk.myroslav@gmail.com](mailto:pavlyuk.myroslav@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8741-0624>;

**Yurii Khokha,**

PhD (Geology), Senior Researcher, Senior Research Officer,  
Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine,  
e-mail: [khoha\\_yury@ukr.net](mailto:khoha_yury@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-8997-9766>;

**Myroslava Yakovenko**

PhD (Geology), Senior Researcher, Scientific Secretary,  
Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine,  
e-mail: [myroslavakoshil@ukr.net](mailto:myroslavakoshil@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0001-8967-0489>

## MODELING THE TRANSFORMATION OF I AND III TYPES KEROGEN BY THE METHOD OF ENTROPY MAXIMIZATION

**Purpose, methods and research methodology.** The aim of the work is to calculate and compare the trends of transformation of organic matter of I-A and III-A type kerogen, which is in contact with organic and inorganic gases in the process of immersion of organ-containing rocks. The calculations were performed for I and III type kerogen and a mixture of organic and inorganic gases within depths of 1-20 km and heat flows from 40 to 100 mW / m<sup>2</sup>.

**Results, scientific novelty and practical significance of research.** A comparison and analysis of changes in the total entropy of the system was performed for I and III type kerogen, which showed the complex nature of the total entropy functional dependence on depth. It was revealed that the entropy has two reversible sections, the maxima of which are at a depth of 6 and 12 km.

The analysis of changes in the Gibbs energy during the immersion of the geochemical system unambiguously indicates the presence of a stability zone for the hydrocarbon component. The maximum of this zone corresponds to the minimum value of the Gibbs energy, depends on the kerogen type and heat flow, is in the range of 4-7 km and indicates the area of stability, or "oil window".

The complex nature of the balance between constitutional water and kerogen, depending on the heat flow and depth, has been established. To analyze this equilibrium, a simple dehydration equilibrium constant (K<sub>d</sub>) was proposed, which generalizes the transformations of water in the kerogen matrix. Thermodynamic methods were used to calculate and compare the gas-generating capacity of I and III type kerogen for all heat flows, which showed that I type kerogen is the most productive with gas-generating potential, and III type is the least productive.

To estimate the proportional composition of hydrocarbon gases in equilibrium with kerogen, the fat content coefficient of the gas generated by I and III type kerogen was calculated. It is shown that with immersion, the fat content coefficient first increases rapidly, which indicates an increase in the proportional content of alkanes heavier than methane. This growth reaches a maximum within 2-3 km for all considered heat flows, after which the fat content coefficient decreases.

The equilibrium constant of the Kolbe-Schmitt reaction is calculated, which showed that regardless of the heat flow, the rate of kerosene decarboxylation decreases with increasing depth due to the shift of equilibrium to the left, and the contribution of this reaction to kerogen conversion is insignificant.

**Keywords:** organic matter, I and III type kerogen, equilibrium thermodynamics, Jane's formalism, gas-generating potential, oil and gas potential, Ukraine oil and gas regions.

### References

1. Tissot, B.P., & Welte, D. H. (1984). *Petroleum Formation and Occurrence*. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer-Verlag.
2. Vandenbroucke, M., & Largeau, C. (2007). Kerogen origin, evolution and structure. *Organic Geochemistry*, 38 (5), 719–833. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2007.01.001>

3. Yamamoto, S., & Ishiwatari, R. (1989). A study of the formation mechanism of sedimentary humic substances—II. Protein-based melanoidin model. *Organic Geochemistry*, 14(5), 479-489. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(89\)90028-4](https://doi.org/10.1016/0146-6380(89)90028-4)
4. Larter, S. R., & Douglas, A. G. (1980). Melanoidins – kerogen precursors and geochemical lipid sinks: a study using pyrolysis gas chromatography (PGC). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44 (12), 2087-2095. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(80\)90206-9](https://doi.org/10.1016/0016-7037(80)90206-9)
5. Harvey, G.R., Boran, D.A., Chesal, L.A., & Tokar, J. M. (1983). The structure of marine fulvic and humic acids. *Marine Chemistry*, 12 (2–3), 119–132. [https://doi.org/10.1016/0304-4203\(83\)90075-0](https://doi.org/10.1016/0304-4203(83)90075-0)
6. Schnitzer, M. (1978). Humic substances: chemistry and reactions. In *Developments in soil science* (Vol. 8, pp. 1-64). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)70016-3](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)70016-3)
7. Stevenson, F. J., & Butler, J. H. A. (1969). Chemistry of humic acids and related pigments. In *Organic geochemistry* (pp. 534-557). Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-87734-6\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-642-87734-6_28)
8. Chekalyuk, E. B. (1971). Thermodynamic principles of the theory of oils mineral origin [Termodinamicheskiye osnovy teorii mineralnogo proiskhozhdeniya nefiti]. Kiev, Naukova dumka, 256.
9. Khokha, Yu. V. (2014) Thermodynamics of abyssal hydrocarbons in the forecast of oil and gas deposits [Termodinamika hlybnykh vuhlevodiv u prohnuzuvanni rehiona-lnoi naftohazonosnosti]. Kyiv: Naukova dumka, 57.
10. Jaynes, E. T. (1957). Information theory and statistical mechanics. *Physical review*, 106(4), 620. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.106.620>
11. Ungerer, P., Collett, J., & Yiannourakou, M. (2015). Molecular modeling of the volumetric and thermodynamic properties of kerogen: Influence of organic type and maturity. *Energy & Fuels*, 29 (1), 91-105. <https://doi.org/10.1021/ef502154k>
12. Fester, J.I., & Robinson, W.E. (1966). Oxygen functional groups in Green River oil-shale kerogen and trona acids. In: Gould, R.F. (Ed.), *Coal Science* (pp. 22–31). American Chemical Society, Washington, DC. <https://doi.org/10.1021/ba-1966-0055.ch002>
13. Vandenbroucke, M. (2003). Kerogen: from types to models of chemical structure. *Oil & gas science and technology*, 58(2), 243-269. <https://doi.org/10.2516/ogst:2003016>
14. Zelenko, Yu. M., Dziuba, O. V., & Karpenko, O. M. (2016). Spatial distribution of kerogen types based on data processing of samples by pyrolysis method within the Dnieper-Donetsk depression. *Geoinformatika*, 3 (59), 20-24.
15. Pavlyuk, M. I. (2014). Geodynamic evolution and oil and gas potential of the Azov-Black Sea and Barents Sea pericontinental shelves [Heodynamichna evolyutsiya ta naftohazonosnist' Azovo-Chornomors'koho i Barentsevomors'koho perykontynental'nykh shel'fiv]. Lviv, PROMAN LTD, 365.
16. Mykhailov, V. A., Kurovets, I. M., Senkovskiy, Yu. M., Vyzhva, S. A., Hryhorchuk, K. H., Zahnitko, V. M., Hnidets, V. P., Karpenko, O. M., & Kurovets, S. S. (2014). Unconventional sources of hydrocarbons of Ukraine. Southern oil and gas region [Netradytsiini dzhherela vuhlevodiv Ukrainy. Pivdenni naftohazonosnyi rehion]. Kyiv: VPTs «Kyivskiy universytet», 222.
17. Koltun, Yu. V. (2008). Evolution of black shale formations and related hydrocarbons generation within the ancient continental margin of Tethys (Ukrainian Carpathians and adjacent territories) [Evolutsiia chornoslantsevnykh tovshch ta heneratsiia vuhlevodiv v mezhakh davnoi kontynentalnoi okrainy Tetisu (Ukrainski Karpaty ta sumizhni terytorii)]. Collection of Scientific Works of the Institute of Geological Sciences NAS of Ukraine, 1, 87-92. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2008.152429>
18. Bazhenova, O. K., Fadeeva, N. P., Sent-Zhermes, M. L., Tihomirova, E. E. (2003). Sedimentation Conditions in the Eastern Ocean of Paratethys in the Oligocene – Early Miocene [Usloviya osadkonakopleniya v vostochnom okeane Paratetis v oligotsene–rannem miotsene]. *Vestnik MGU. Ser. 4. Geologiya*, 6, 12-19.
19. Khokha Yu. V., Yakovenko M. B., Lyubchak O.V. (2020). Entropy maximization method in thermodynamic modelling of organic matter evolution at geodynamic regime changing. *Geodynamics*, 2 (29), 79-88. <https://doi.org/10.23939/jgd2020.02.079>
20. Liubchak, O., Khokha, Yu. & Yakovenko, M. (2018). Correlation of the hydrocarbon components structural elements of the Eastern Carpathians argillites by the Jaynes' formalism. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (49), 83-94. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-07>
21. Behar, F., Lorant, F., & Lewan, M. (2008). Role of NSO compounds during primary cracking of a Type II kerogen and a Type III lignite. *Organic Geochemistry*, 39(1), 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2007.10.007>
22. Helgeson, H. C., Richard, L., McKenzie, W. F., Norton, D. L., & Schmitt, A. (2009). A chemical and thermodynamic model of oil generation in hydrocarbon source rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 73(3), 594-695. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2008.03.004>
23. Bell I.H., Wronski, J., Quoilin, S., & Lemort, V. (2014). Pure and Pseudo-pure Fluid Thermophysical Property Evaluation and the Open-Source Thermophysical Property Library CoolProp. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53(6), 2498-2508. <https://doi.org/10.1021/ie4033999>
24. Liubchak, O., Khokha, Yu. & Yakovenko, M. (2019). Thermodynamics of type II kerogen transformation. *Geology & Geochemistry of Combustible Minerals*, 3 (180), 25–40. <https://doi.org/10.15407/ggcm2019.03.025>
25. Lindsey, A.S., & Jeskey, H. (1957). The Kolbe-Schmitt Reaction. *Chemical Reviews*, 57 (4), 583-620. <https://doi.org/10.1021/cr50016a001>

**Mamoy Ibrahim ogly Mansurov,**  
PhD (Geology and Mineralogy), Associate Professor,  
Department of Minerals, Faculty of Geology,  
Baku State University, 23 Z. Khalilov St., Baku, AZ1148, Azerbaijan,  
e-mail: [mmansurov@bsu.edu.az](mailto:mmansurov@bsu.edu.az), <https://orcid.org/0000-0001-8673-3034>

## DISTRIBUTION PECULIARITIES OF BASIC ORE COMPONENTS IN GOSHGARCHAY PORPHYROUS COPPER DEPOSIT (LESSER CAUCASUS, AZERBAIJAN)

**Мамой Ібрагім огли Мансуров. ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ ГОЛОВНИХ РУДНИХ КОМПОНЕНТІВ КОШКАРЧАЙСЬКОГО МІДНО-ПОРФІРОВОГО РОДОВИЩА (МАЛИЙ КАВКАЗ, АЗЕРБАЙДЖАН).** У статті вивчалися особливості розподілу головних рудних компонентів. При проведенні роботи по визначенню хімічних елементів, аналітичні дані оброблені методами математичної статистики. За вибіркою елементів були обчислені кореляційна матриця, факторні навантаження, власні значення і ваги факторів. Встановлено, що значення фактора Ф1 корелюють з кількістю халькопіриту, борніту і піриту, що дає підставу пов'язати геохімічну асоціацію Cu (Mo, Pb, Sb) з найбільш ранньою халькопірит-борніт-піритовою мінералізацією порфірового етапу формування рудоносної структури. Значення фактора Ф2, що відповідають асоціації Mo (Cu, Pb, Co), статистично пов'язані з утриманням халькопіриту і молібденіту, що утворюють основний мінеральний парагенезис мідь-молібден-порфірового зруденіння. За результатами факторного аналізу даних свердловин виявлені геохімічні асоціації, що дозволяють локалізувати області розвитку мінералізації різних стадій формування порфірово-епітермальної системи. Для з'ясування повної статистичної характеристики геохімії рудних компонентів родовища будували точкові діаграми залежності. З аналізів діаграм точкової залежності між вмістами рудних елементів можна прийти до висновку, що переважна більшість вивчених хімічних елементів пов'язана позитивним кореляційним зв'язком. Виявлено, що кореляція між елементами мідно-порфірового зруденіння характеризується широким діапазоном елементних домішок. Сюди входять як халькофільні (As, Sb, Cu, Bi, Cd, Ga, In, Ge, Au, Ag, Te), так і сідерофільні (Co, Ni, Mo, Fe, Cr) елементи. Наведені дані дозволяють говорити про різні умови міграції та концентрації молібдену і міді в головних рудоутворюючих процесах.

**Ключові слова:** Кошкарчай, мідно-порфірове зруденіння, структурно-морфологічні особливості, мінеральний склад, геохімічні особливості, рудні компоненти, факторний аналіз, точкова залежність, кореляційний зв'язок.

**Мамой Ібрагім огли Мансуров. ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛАВНЫХ РУДНЫХ КОМПОНЕНТОВ КОШКАРЧАЙСКОГО МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (МАЛИЙ КАВКАЗ, АЗЕРБАЙДЖАН).** В статье изучались особенности распределения главных рудных компонентов. При проведении работы по определению химических элементов, аналитические данные обработаны методами математической статистики. По выборке элементов были вычислены корреляционная матрица, факторные нагрузки, собственные значения и веса факторов. Установлено, что значения фактора Ф1 коррелируют с количеством халькопирита, борнита и пирита, что дает основание связать геохимическую ассоциацию Cu (Mo, Pb, Sb) с наиболее ранней халькопирит-борнит-пиритовой минерализацией порфирового этапа формирования рудоносной структуры. Значения фактора Ф2, отвечающие ассоциации Mo (Cu, Pb, Co), статистически связаны с содержанием халькопирита и молибденита, образующих основной минеральный парагенезис мідь-молібден-порфірового оруденення. По результатам факторного анализа данных скважин выявлены геохимические ассоциации, позволяющие локализовать области развития минерализации различных стадий формирования порфирово-эпитептермальной системы. Для выяснения полной статистической характеристики геохимии рудных компонентов месторождения строили точечные диаграммы зависимости. Из анализов диаграммы точечной зависимости между содержаниями рудных элементов можно прийти к выводу, что подавляющее большинство изученных химических элементов связано положительной корреляционной связью. Выведено, что корреляция между элементами медно-порфирового оруденення характеризуется широким диапазоном элементных примесей. Сюда входят как халькофильные (As, Sb, Cu, Bi, Cd, Ga, In, Ge, Au, Ag, Te), так и сидерофильные (Co, Ni, Mo, Fe, Cr) элементы. Приведенные данные позволяют говорить о различных условиях миграции и концентрации молибдена и меди в главных рудообразующих процессах.

**Ключевые слова:** Кошкарчай, медно-порфиоровое оруденення, структурно-морфологические особенности, минеральный состав, геохимические особенности, рудные компоненты, факторный анализ, точечная зависимость, корреляционная связь.

### Scientific novelty and practical importance.

To solve the problem, the author studied behavior of chemical elements in ore-bearing rocks and mineral associations, building a series of dependency dot plots, showing dependency relationships between the elements. As one can see from the analysis, the scatter plots of dependence repeat in pairs symmetrically about the diagonal. In order to study the characteristics of the indicator elements, the author clarified relationships between them and statistically analyzed geochemical properties of the field. The obtained geochemical information on the main ore components in porphyry copper ores and

ore-hosting rocks can be used in the improved technological scheme for ore processing. The scheme is aimed at a complete complex extraction of the main and accompanying elements, copper and molybdenum, other valuable components of the studied deposits.

**Introduction.** Porphyry copper deposits are among the main sources of Cu, Mo, Au, Ag, Sn with accompanying Re, W, In, Pt, Pd, and Se. They account for 50 to 60% of world copper production and more than 95% of world Mo production. Numerous studies of porphyry copper deposits are aimed primarily at identifying the features of their formation



in different geodynamic settings, creating descriptive and genetic models as the basis for effective forecasting, prospecting and assessment of territories with economically important mineral deposits [1-8].

The problem of forecasting, studying and evaluating copper-molybdenum-porphyry deposits in the volcanogenic belts of the Azerbaijani part of the Lesser Caucasus is one of the most urgent. It is extremely important for solving the issue of expanding the mineral resource base not only of copper and molybdenum, but also gold and silver, platinum group elements, poly-metals, rare and rare-earth elements. In the Lesser Caucasus, copper deposits and ore occurrences are widespread in all metallogenic zones. They belong to three genetic types of industrial importance: copper-porphyry, copper-pyrite, and copper-polymetallic. All of them are associated with volcano-intrusive and plutonic complexes of the Lesser Caucasus [2]. Porphyry copper mineralization associated with plutonic granitoid massifs of the Murovdag ore region is the most promising. There are also several deposits and ore occurrences of copper-porphyry type, in which copper ores can be classified as large deposits. The Goshgarchay deposit is the most well-studied and explored, and this makes it a very promising one. Thus, using the example of this deposit, we consider the distribution features of the main ore components of this ore region.

**Analysis of previous studies.** Large sizes and large reserves, as well as the possibility of using rational methods of metal extraction predetermined an increased interest in porphyry copper deposits, which are currently the main raw material base for Cu, Mo. Deposits often contain a number of associated components in industrial quantities among which Au, Ag, Bi, Te, Re and Se play a leading role. Their accounting significantly increases the total value of ores [2, 4-8]. They are accompanied by numerous polymetallic, gold-silver, pyrite satellite deposits and placers. The study of porphyry copper mineralization of the Murovdag ore region began during the period of intensive exploration of porphyry deposits in the Lesser Caucasus [1, 2, 23]. Endogenous deposits of the Lesser Caucasus are represented by a wide range of genetic and formational types. At present, there is sufficiently substantiated opinion that these deposits form a complex polygenic group with pronounced features of polycyclic development, a variety of tectonic conditions and forms of magmatism manifestations. [2, 4, 5, 7].

A significant amount of the research as well as their wide geography is devoted to the problems of endogenous ore deposits of the Murovdag ore region. Deposits of different age and different formations of various ores are concentrated there.

The features of these deposits are highlighted in monographic summaries, numerous publications [1-3, 12,13, 23], such as monographs by Baba-zade and others [1], Baba-zade and others [2]. They include articles on geology, mineralogy, geochemistry, formation parameters, isotopic studies of objects of the Goshgarchay ore field [3, 12, 13]. In the work on the Porphyry Copper Formation of Azerbaijan, V.G. Ramazanov touched upon a number of geological and geochemical features of the Goshgarchay porphyry copper deposit, its connection with magmatism and other issues. Later, we conducted research in this area and published a number of articles in various journals [2, 12, 13, 15]. At the same time, studies devoted to the compilation of geological-genetic models of porphyry copper and polymetallic deposits were incomplete. This is explained by their rather large diversity, the idea of their formational affiliation, connection with magmatism and peculiarities of ore components and impurity elements distribution [2, 4, 10]. The results, presented in the works, indicate the exceptional relevance of this issue. When processing the materials, the author used both classical literature [1, 2, 9, 11, 23] and modern publications [3,12,13,15, 19]. The distribution features of the main ore components in the host rocks and ores of the Goshgarchay deposit have not been sufficiently studied in these works.

The value of porphyry copper deposits primarily lies in the fact that they have been discovered in geologically well-studied areas. The ores, with a relatively low content of the main (Cu, Mo) and associated components (Au, Ag, Bi, Re, Se, Te), in them, are characterized by more areal distribution and significant reserves. These features of porphyry copper deposits make them potentially promising. Therefore, a comprehensive geological study of them, including the distribution features of the main ore components of the Goshgarchay deposit, is very relevant. Our goal here was to study these distribution features of ore-generating components by means of mathematical - statistical calculation of analytical data. The obtained results can form the basis for geochemical criteria for direct prospecting and forecasting of hidden porphyry copper ores.

**Subject and object of the research.** The subject of this research is the study of distribution regularities of ore and nonmetallic components in ores; the object is geochemical features of trace elements distribution and behavior of chemical elements of ores during the Goshgarchay deposit formation.

**Features of the geological structure of the field.** Features of the geological structure of the Goshgarchay porphyry copper deposit are detailed in previously published works [1-3, 9]. The Murovdag ore region, which includes the Goshgarchay deposit, being an integral part of the Lok-

Karabakh island arc [9] (Fig. 1), occupies the NW uplifted part of the Murovdag anticlinorium of asymmetric structure, composed of rocks of the Lower Bayosky volcanogenic strata in the core and the Upper Bathyesian Basalite and -ryolite sequentially differentiated formation on the wings [10]. The intrusive components of the ore region are the Goshgarchay complex of granitoid intrusions Goshgardag, Ojagdag, Baladzha Goshgardag) and their dike formations, which break through a powerful complex of effusive-pyroclastic formations, exerting a contact effect on them. Geological and petrological features of intrusive complexes with porphyry copper mineralization belong to the Late Jurassic-Early Cretaceous gabbro-diorite-granodiorite formation [9, 11].

In the ore region, porphyry copper mineralization encompasses the Goshgarchay, Goshgardag, Kyzylarkhach, Kechaldag, Erik-Manuks and other

deposits and ore occurrences, where it is in close spatial and genetic connection with the Murovdag granitoid massifs [2, 10]. According to their geological position and spatial distribution, the intrusive formations of the Murovdag group are divided into the Goshgardag and Kyzylarkhach groups [11].

Intrusive formations are represented mainly by quartz diorite, gabbro-diorite and slightly diorite, gabbro, banatite. When approaching the endocontact, the rocks acquire a more basic character. Gabbro-norites are medium-grained almost black rocks, consisting of plagioclase, pyroxenes, small amounts of biotite, hornblende, olivine, as well as secondary and accessory minerals. Quartz diorites are fine-medium-grained, full-crystalline rocks, represented mainly by plagioclases, hornblende, biotite, quartz, sometimes with an admixture of pyroxene, potassium feldspar, and albite [2, 11].

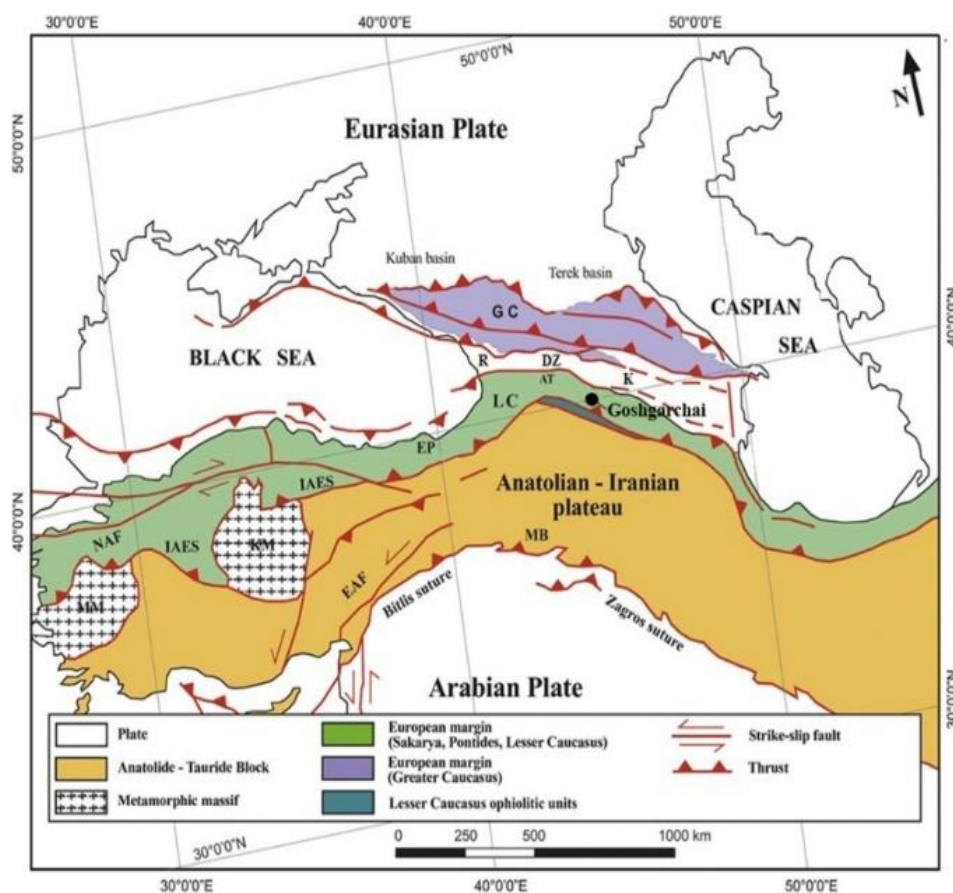


Fig. 1. Tectonic map of the Arabian-Eurasian collision zones. The location of the Goshgarchay deposit is shown by a circle. (Sosson et al., 2010). Abbreviations: GC-Greater Caucasus; LC-Lesser Caucasus; AT-Achara-Trialeti; R-Rioni; Dz-Jirula; K-Kura; MB - Mus Basin; EP - Eastern Pontids; KM - Kirsehir massif; EAF - Eastern Anatolian Fault; NAF - North Anatolian Fault; IAES-Izmir-Ankara-Erzincan seam; MM- Menderes Massif

The spatial distribution of porphyry copper mineralization is controlled by faults of various directions, which determine the block structure of the ore region [3]. Many of them are accompanied by hydrothermal alteration of rocks: silicification, se-

ricitization, chloritization, and epidotization. Hydrothermal-metasomatic alterations are also developed along the contacts of intrusive rocks, selvages, dikes and veins. The original rocks transformed into metasomatites are both intrusive and host volcanic for-

mations [13, 14]. Metasomatites and host igneous rocks of the studied deposits have similar distribution parameters, which may indicate that similar igneous rocks have become a substrate for metasomatism [15].

**Structural and morphological features and mineral composition of the deposit.** The deposit is dominated by vein-disseminated stockwork ores. The vein type of mineralization is of subordinate importance and is confined to zones of crushing and zones of hydrothermal alteration among diabase porphyrites. The named type of mineralization is represented by quartz and carbonate veins and veins impregnated with pyrite, chalcopyrite and molybdenite [1,2].

The stockwork body, occupying the central part of the Goshgarchay deposit, is confined to the apical and peripheral parts of the intrusion of the same name, more precisely, to its endo- and exo-contact strip and in the sub-latitudinal direction occupies an area of about 0.8 km<sup>2</sup>.

Copper content of 0.4% and 10 ore pillars were identified within the stockwork on the surface. Interpretation of the analysis results of core materials allows us to consider these enriched areas as merging at depth into a single ore body, forming a stockwork with a complex morphology. The surface of the stockwork body is especially complex. In the stockwork, cracks of the northwestern (280-3200), submeridional (345-100) and sublatitudinal directions are developed, filled with no ore and quartz-sulfide matter [2, 12]. The veins, represented by quartz-carbonate fillers, have sub-latitudinal spread. They are confined to crushing zones with a thickness of 30-60 m among diabase porphyrites.

The main useful component is copper. Its content within the stockwork body is unstable and fluctuates in a wide range - from 0.2 to 2.5%, averaging 0.41%. Molybdenum and precious metals should be noted among a number of ore minerals that significantly affect the importance of the deposit. In some intervals, the average gold grade is 2.0 g/t and more. Along with gold, an increased silver content has also been established, its value reaching 30-45 g/t, which can positively affect the overall value of the deposit.

We can say that based on the structural and morphological features, mineralization of the Goshgarchay deposit is a stockwork-vein disseminated type, in which dissemination prevails over veinlets and veins.

In deposits, mineral composition of ores is not very diverse and is characterized mainly by the small size of ore minerals, their close intergrowths. As a result of the study of polished sections in ores, the author identified the following ore minerals: pyrite, chalcopyrite, sphalerite, arsenopyrite, melni-

kovite - pyrite, marcasite-pyrite, marcasite, fahlore, cobalt-pyrite, enargite, galena, cobaltin, molybdenite, bismuthin, boronite ilmenite, hematite, chrome spinelite, chalcocite, covellite, malachite, azurite, limonite, etc. Of these, the main ore minerals of the deposit are chalcopyrite, bornite, pyrite, molybdenite, tenantite, chalcocine, enargite, native copper, gold and rutile. Vein minerals are represented by quartz, calcite, epidote, kaolinite, sericite, chlorite, biotite, muscovite, etc. [2, 3].

**The purpose and objectives of the research.** The aim of the research is to study the distribution features of the main ore components in the Goshgarchay porphyry copper deposit. To achieve the set goal of the study, the author considered statistical distribution of chemical elements content in ores and host rocks as well as the possibility of using them as geochemical indicators for the detection of hidden ore bodies.

**Materials and research methods.** The basis for the factual material was a collection of samples (about 150 pieces) taken inside and around the stockwork with vein-disseminated mineralization and on its flank to a depth of more than 500 m from the surface. Data from geochemical sampling of ore-hosting rocks and ores in mine workings and core samples from boreholes were used for this along sections directed perpendicular to the strike of ore-concentrating structures. The collection includes samples taken from gabbroids, quartz diorites, quartz veins with galena-sphalerite-chalcopyrite mineralization. Atomic absorption analysis on a Perkin Elmer device allowed to quantitatively determine such elements as Cu, Mo, Au, Ag, Se, Te, Cr, Ni, Co, Pb, Zn, Sr, Cd, As, Bi. The geochemical data for the wells were processed in the STATISTIKA program, using the factor analysis of the main components. Methods of semi-quantitative spectral analysis were applied to study the contents of chemical elements in the host rocks and porphyry copper ores. The main ore samples were taken from the vein-disseminated stockwork type ores. The rock samples were examined by inductively coupled plasma mass spectroscopy (ISP-MS). Silicate chemical analysis was carried out in the laboratory of Izmir University, Turkey. The rock samples were examined by inductively coupled plasma mass spectroscopy (ISP-MS). Analytical studies were performed at the USGS Analytical Laboratory of the United States Geological Survey (Denver).

**Results of the research. Geochemical features of ore-forming systems.** The study of geochemical features of the porphyry copper systems in the Murovdag ore region was based on the results of the chemical analysis of core samples from wells at a depth of up to 280 m on average. The geochemical data for the wells were processed in the STATICTI-

KA program by the method of factor analysis of the main components [16,17]. Chemical elements in the ores of the Goshgarchay deposit were studied, using different analytical methods. Semi-quantitative analysis studied the content of 14 chemical elements, focusing on the geochemistry of the deposit ores itself. To study peculiarities of the main ore components distribution, the author used the methods of factor analysis and the matrix of graphs, reflecting the correlations between the ore elements. As a result of the processing, we obtained three factors, reflecting the correlations between the fourteen ore elements.

According to the weights, the elements are grouped into factors or geochemical associations that can be compared with the mineral parageneses of the main stages of ore deposition [8,16]. The cor-

relation of geochemical and mineral associations is confirmed by the correlation coefficients between the factor analysis of elements and the sulfide content according to the data from well core sampling.

The F1 values correlate with the amount of chalcopyrite, bornite, and pyrite, which gives grounds to associate the geochemical association of Cu (Mo, Pb, Sb) with the earliest chalcopyrite-bornite-pyrite mineralization of the porphyry stage of the ore-bearing structure formation. The F2 values, corresponding to the Mo (Cu, Pb, Co) associations, are statistically related to the content of chalcopyrite and molybdenite, which form the main mineral paragenesis of copper-molybdenum-porphyry mineralization [8, 16]. The plots of dependence F1 and F2 based on the results of factor analysis are shown in Figure 2.

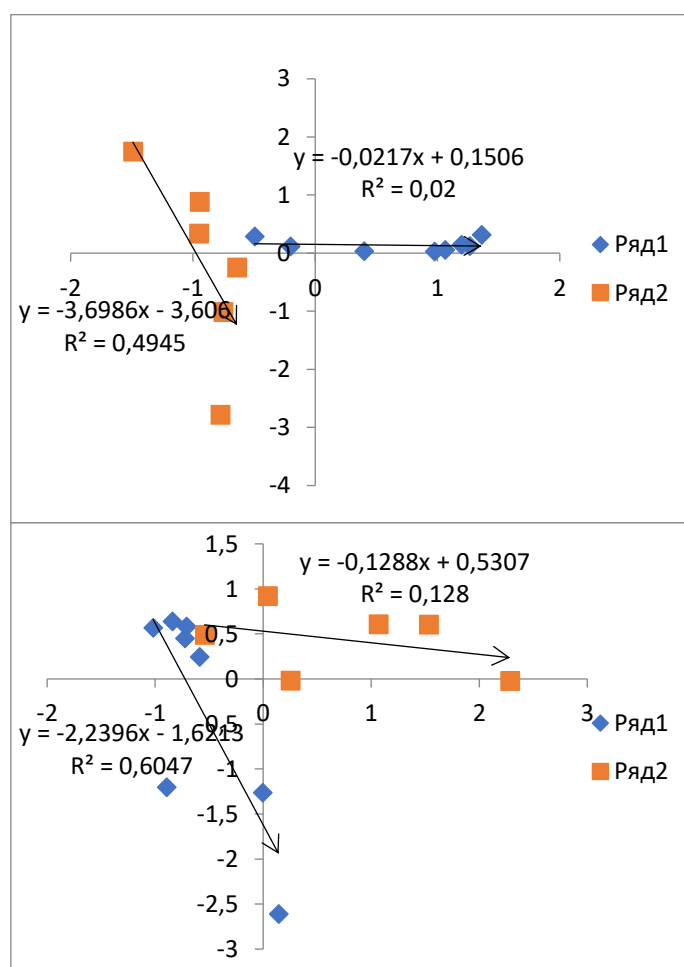


Fig. 2. Dependence of F1 and F2 based on the result of factor analysis

Based on the results of a factorial analysis of well testing data, the author has identified geochemical associations, which made it possible to localize the areas of mineralization development at various stages of the porphyry-epithermal system formation. The range of vertical geochemical zoning values for individual sections of the field makes it possible to

assess the level of the erosional section in the porphyry-epithermal system [8,17].

To clarify the complete statistical characteristics of the geochemistry of the ore components in the deposit, we built point dependence diagrams. Scatter plots of the dependence are repeated in pairs symmetrically about the diagonal. The vertical axis

is the dependent variable, the horizontal axis is independent. Figures 3 and 4 show well-correlated variables. Close correlation between Cu and Ag, As, Bi, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, La, Li, Mo is much more interesting. Here the scatter of points near the regression line is larger and the correlation coefficient is rather high ( $r = 0.73$ ). The analysis of scatter diagrams shows that all the elements of this graph are

interconnected by a direct positive relationship [18]. In this diagram, three point clouds are highlighted and the largest compact point cloud corresponds to the primary sulphide ores of the deposit. Two more clouds with a small number of points are characterized by anomalous contents of ore-forming elements. The clouds of these points with anomalous contents correspond to the oxide ores of the deposit.

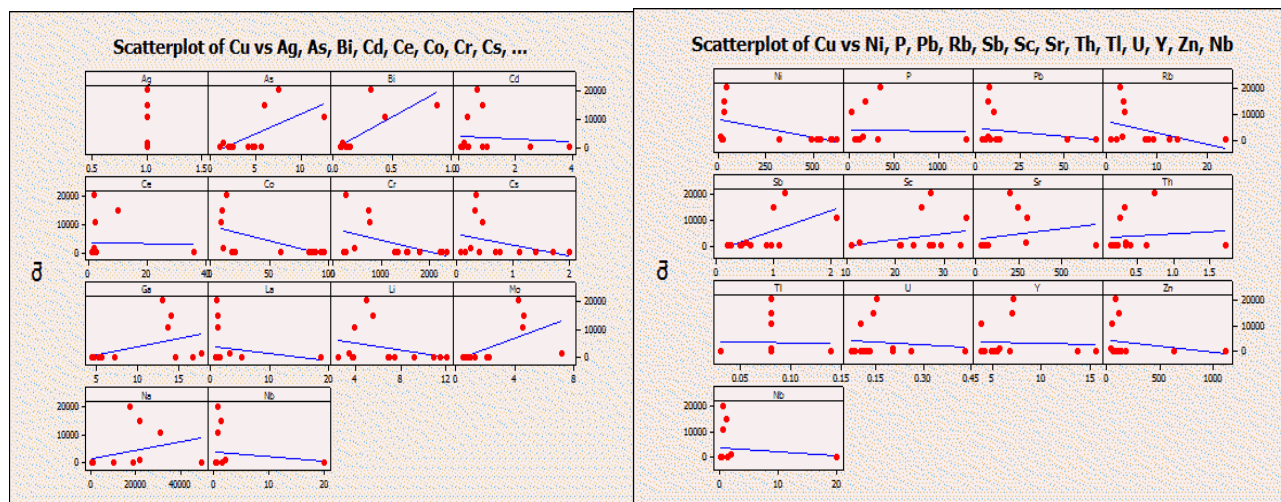


Fig 3. Diagram of the point relationship between Cu contents and other basic ore elements

Fig. 4 shows dot diagrams of the relationship between Mo contents with other elements (Pb, Sb, Cu, Rb, P, Se, Sr, Th, Ti, Zn, Ni, V, Cr, etc.).

These diagrams unambiguously show that the point cloud is stretched in a completely clear direction for individual elements, and the red straight line, which should follow exactly along the axis of this elongated cloud. In our diagram, copper in the Goshgarchay deposit in the upper part of the

ore body has undergone dramatic enrichment due to oxidation and secondary sulfide enrichment processes. Large Cu contents as well as newly formed sulfides (chalcocite, bornite, covellite) and even native copper appeared because of this. This shows that our sample includes products of both the hypogenic and hypergene mineral formation stages [5, 7].

We can conclude from the analyses of the dia-

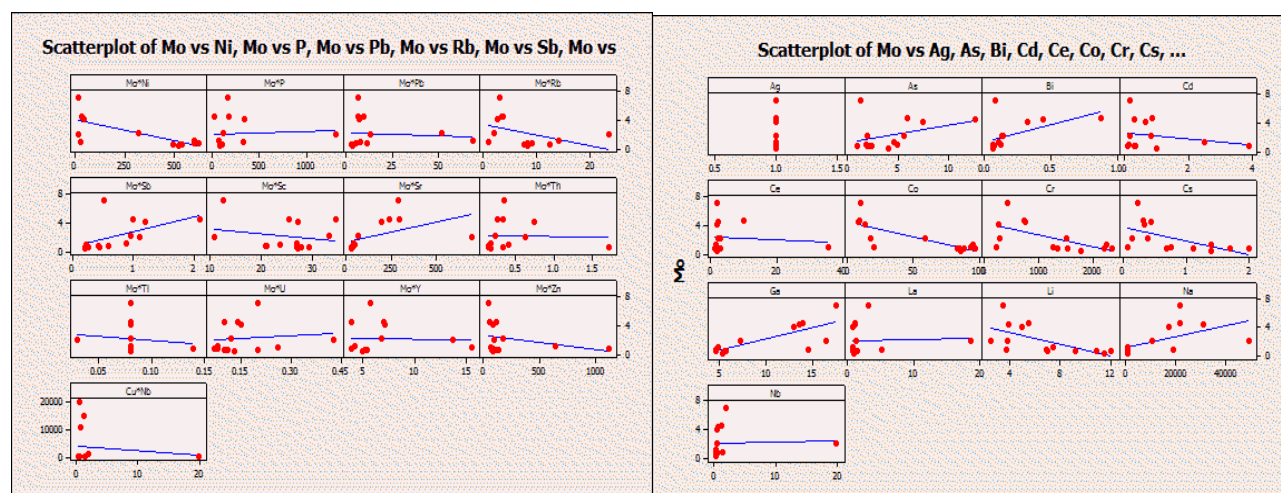


Fig.4. Diagram of the point relationship between Mo contents and other basic ore elements

gram of the point dependence between the contents of ore elements that the overwhelming majority of the studied chemical elements are associated with a positive correlation. As you can see, in the diagram

of the connection of Cu and Mo with other components, the overwhelming majority of all point clouds are located along a straight line, and some are outside this line. This is normal in defining elements

when high and low values of the elements do not deviate too much from the straight line. This shows that all the elements were formed in a single geochemical process.

As we see from the correlation between the elements, the porphyry copper mineralization is characterized by a wide range of elemental impurities. This includes both chalcophilous (As, Sb, Cu, Bi, Cd, Ga, In, Ge, Au, Ag, Te) and siderophilous (Co, Ni, Mo, Fe, Cr) elements. Determination of elemental impurities is not the same in different types of ores and mineral associations, their amount is thousand times higher than the clark amount and the concentration coefficient. Three different mineral associations coexist in the ore body: 1-primary sulfide-chalcopyrite and bornite-chalcopyrite ore; 2-oxidized ore and secondary sulphide concentration zones; 3-primary sulfide ores, significantly enriched in copper [8].

One can find a similar picture in a number of deposits of the porphyry copper proper type in the Lesser Caucasus. That is, along the main ore zones, characterized by a good correlation of all ore elements, there are distinguished local essentially monometallic areas with high copper and molybdenum contents [4]. In large deposits, this corresponds to a frequent spatial discrepancy between zones of maximum concentration of copper, gold, silver and molybdenum, usually distributed in accordance with the typical ore-geochemical zoning (molybdenum-copper-base metals, silver upward and laterally) [5].

As follows from the analysis of the above results, elements that are of little character for hydrothermal solutions (Cr, Ni, V, Co, Mn, Ti) retain their independence in all rock groups. Presence of their groups is most likely associated with the process of crystallization differentiation of magma. Such elements as Cu, Pb, Zn, Ag and, partly, Mo, do not have their specific places. Therefore, their presence in one or another group is associated with the degree of rocks exposure to hydrothermal effects, which is the source of these elements [19, 20].

These data allow us to speak about different conditions of migration and concentration of molybdenum and copper in the main ore-forming processes. However, these do not exclude the possibility of finding copper in molybdenum-containing, and molybdenum in copper-containing mineralizing solutions. Elucidation of these conditions, along with the study of the solubility of molybdenum and copper natural sulphides, is important for clarifying the concepts of transport forms, as well as understanding the features of the redistribution and removal of molybdenum and copper when the late hydrothermal-metasomatic formations are superimposed on earlier ones [21, 22, 23].

**Conclusions.** 1. From the point of view of structure and morphology, mineralization of the Goshgarchay deposit belongs to the stockwork-vein disseminated type, in which disseminations prevail over streaks and veins.

2. The values of F1 factor correlate with the amount of chalcopyrite, bornite and pyrite, and the values of F2 factor are statistically related to the content of chalcopyrite and molybdenite.

3. There is a close positive correlation between the chemical elements of mineralization, indicating the fact that they are the product of a single geochemical process.

4. Geochemically, the porphyry copper mineralization of the Goshgarchay deposit is characterized by a wide range of various elemental impurities, including both chalcophilous (As, Sb, Cu, Bi, Cd, Ga, In, Ge, Au, Ag, Te) and siderophilous (Co, Ni, Mo, Fe, Cr) elements.

5. Ore mineralization contains three different mineral associations: 1-primary sulfide-chalcopyrite and bornite-chalcopyrite ore; 2-oxidized ore and secondary sulphide concentration zones; 3-primary sulphide ores, significantly enriched in copper.

6. The revealed regularities in the distribution of Cu and Mo can become a direct geochemical criterion for prospecting for hidden porphyry copper ores in the region.

#### **Bibliography**

1. Минерально-сырьевые ресурсы Азербайджана (условия формирования, закономерности размещения, научные основы прогнозирования) [Текст] / ред. В.М. Баба-заде. – Баку: Озан. – 2005. – 808 с.
2. Баба-заде В.М. Медно- и молибден-порфировые месторождения [Текст] / В.М. Баба-заде, А.И. Махмудов, В.Г. Рамазанов. – Баку: Азернешр. – 1990. – 367с.
3. Мансуров М.И. Модели рудно-магматических систем медно-порфировых месторождений Гошгарчайского рудного поля (Малый Кавказ, Азербайджан) [Текст] / М.И. Мансуров // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений, 2014. – 4 (47). – С. 29 – 42.
4. Попов В.С. Геология и генезис медно-молибден-порфировых месторождений [Текст] / В.С. Попов. – Москва: Наука. – 1977. – 201с.
5. Тутли С.Р. Медно-порфировые месторождения. Генезис рудных месторождений [Текст] / С.Р. Тутли, Р.Е. Бин. – Москва: Мир. – 1984. – 385с.
6. Волков А.В. Закономерности размещения и условия образования Си-Аи-порфировых месторождений Северо-

- Востока России [Текст] / А.В. Волков, Н.Е. Савва, А.А. Сидиров // Геология рудных месторождения –2006. – 48 (6), –С.512–539.
7. Sillitoe R.H. *Porphyry Copper Systems, Society of Economic Geologists, Inc.* [Text] / R.H. Sillitoe // *Economic Geology*, 2010. – Vol. 105. – P. 3 – 41.
8. Николаев Ю.Н. *Аи-Аг минерализация порфирово-эпитермальных систем Баимской зоны (Западная Чукотка, Россия)* [Текст] / Ю.Н. Николаев, И.А. Бакиев, В.Ю. Прокофьев, Е.В. Нагорная, Л.И. Марущенко, Ю.Н. Сидорина, А.Ф. Читалин, И.А. Калько // *Геология рудных месторождения*, 2016. –Т. 58 (4). – С.319–345.
9. *Геология Азербайджана. Тектоника* [Текст] / ред. А. Али-заде. –Баку: Nafta-Press, –2005. – 565с.
10. Абдуллаев Р.Н. *Мезозойские магматические формации Малою Кавказа и связанное с ними эндогенное оруденение* [Текст] / Р.Н. Абдуллаев, Г.В. Мустафаев, М.А. Мустафаев. –Баку: Элм, 1998. –185с.
11. *Геология Азербайджана, Магматизм* [Текст] / ред. А.Али-заде. –Баку: Nafta-Press, 2003. – 505с.
12. Мансуров М.И. *Геолого-генетическая модель Гошгарчайской рудно-магматической системы Муровдагского поднятия (Малый Кавказ, Азербайджан)* [Текст] / М.И. Мансуров // *Известия Национальной академии наук Азербайджана, Науки о Земле*, 2013. – №4. – С.16–22.
13. Мансуров М.И. *Зональность оруденения и метасоматитов в медно-порфириновых месторождениях Гошгарчайской рудно-магматической системы (Малый Кавказ, Азербайджан)* [Текст] / М.И. Мансуров, М.Г. Сафаров, Б.Г. Каландаров, В.М. Керимов, А.Г. Мамедова // *Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской Академии Естественных Наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых*, 2018. –Т.41(1). – С. 38–53.
14. Марущенко Л.И. *Кварц-серицитовые метасоматиты и аргиллизиты Аи-Мо-Си месторождения Песчанка (Чукотка)* [Текст] / Л.И. Марущенко, И.А. Бакиев, Е.В. Нагорная, А.Ф. Читалин, Ю.Н. Николаев, И.А.Калько, В.Ю. Прокофьев // *Геология рудных месторождения*, 2015. –Т. 57 (3). – С.239–252.
15. Имамвердиев Н.А. *Редкоземельные элементы в магматических и метасоматических породах Муровдагского рудного района (Малый Кавказ)* [Текст] / Н.А. Имамвердиев, В.М. Баба-заде, М.И. Мансуров, Ш.Ф. Абдуллаева // *Геохимия*, 2020. – Т. 65, № 2. – С. 178-184.
16. Белонин М.Д. *Факторный анализ в геологии.* [Текст] / М.Д. Белонин, В.А. Голубева, Г.Т. Скублов. –Москва: Недра, 1982. –265с.
17. Боровиков В.П. *Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA. Учебное пособие для вузов.* [Текст] /В.П. Боровиков Москва: Горячая линия-Телеком, 2013. – 156с.
18. Грабежев А.И., Чапурнина В.А. *О корреляции между элементами медно-порфириновых месторождений* [Текст] / А.И. Грабежев, В.А. Чапурнина // *Геохимия*, – Москва, 1985. – № 12. – С. 1792–1794.
19. Баба-заде В.М. *Минералого-геохимические факторы золотоносности руд медно-порфириновых месторождений Ордубадского рудного района* [Текст] / В.М. Баба-заде, В.Г. Рамазанов, Н.А. Аббасов // *Вестник Бакинского Университета. Серия естественных наук*. – Баку, 2015. – №3. – С.122–129.
20. Наумов Н.Б. *Концентрация рудных элементов в магматических расплавах и природных флюидах по данным изучения включений в минералах* [Текст] / Н.Б. Наумов, А.В. Гирнис, В.А. Дорофеева, В.А. Коваленкер // *Геология рудных месторождения*, 2016. – Т. 58 (4). – С. 367–384.
21. *Геохимия процессов миграций рудных элементов* [Текст] / Ред. Н.И. Хитаров. –Москва: Наука, – 1977. – 270 с.
22. Керимли У. (2020). *Стадии минерализации и факторы локализации Агюртского золото-медно-молибденового месторождения (Малый Кавказ, Азербайджан)* [Текст] / У. Керимли // *Вестник Киевского национального университета имени Тараса Шевченко*, 2020. – № 2. – С. 96–101. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.69.13>
23. Рамазанов В.Г. *Медно-порфириновая формация Азербайджана* [Текст] / В.Г. Рамазанов–Баку: Элм, 1993. – 45 с.

Submitted February 26, 2021

Accepted April 28, 2021

UDC 553.3/4.078

**Mamoy Mansurov,**

PhD (Geology and Mineralogy), Associate Professor,

Department of Minerals, Faculty of Geology,

Baku State University, 23 Z. Khalilov St., Baku, AZ1148, Azerbaijan,

e-mail: [mmansurov@bsu.edu.az](mailto:mmansurov@bsu.edu.az), <https://orcid.org/0000-0001-8673-3034>

## DISTRIBUTION PECULIARITIES OF BASIC ORE COMPONENTS IN GOSHGARCHAY PORPHYROUS COPPER DEPOSIT (LESSER CAUCASUS, AZERBAIJAN)

**Formulation of the problem.** Large size and great reserves, as well as the possibility to apply rational methods of metals extraction predetermined the increasing interest to the copper-porphyry deposits. Today, they are the main raw material based on Cu, Mo, accompanying metals all over the world. The value of these

deposits lie in the fact that they are located in geologically well-studied regions. However, their ores in basic and associated components have relatively small content of Cu, Mo, Au, Ag, Bi, Re, Se, Te, spreading in large area.

**The purpose of the article.** The main objective of the research is to study distribution peculiarities of basic ore components of Goshgarchay deposits, to detect geochemical features and behaviour of elements in the process of sedimentation by developing geochemical criteria of the search and the prognosis of hidden mineralization.

**Methods.** The author studied the distribution problem of basic ore components of copper-porphyry mineralization, carried out field investigations (field researches), documented and tested underground mine working and core samples of over seventy well bores.

When choosing the type of analysis, a special attention was paid to the sensitivity and exactness of the determination method. Analytical work was conducted according to the definition of chemical elements. The following types of analytical methods were used: chemical, atomic-absorption, spectral-chemical, etc. The analytical data were processed by the method of mathematical statistics.

**Results.** As follows from the analysis of the above-mentioned results, the elements flaccid for hydrothermal solutions (Cr, Ni, V, Co, Mn, Ti) keep their independence in all groups of rocks. Their grouping is probably associated with the process of crystallized differentiation of magma. The elements Cu, Pb, Zn, Ag and partly Mo, don't have specific place. Their presence is likely associated with the degree of rocks susceptibility, hydrothermal interaction being the source of these elements. In various types of ores and mineral associations the definition of elemental impurities is different. Their amount increases the amount (quantity) of clark and coefficient of concentration a thousand times. Three different mineral associations coexist in the ore body: 1-primary sulphide-chalcopyrite and bornite-chalcopyrite ore. 2-oxidized ore and zone of secondary enrichment. 3-primary sulphide ore, significantly enriched in copper.

**Scientific novelty.** Based on existing analytical data, the author studied distribution of basic ore and admixture components (gangue) and basic sulphide minerals. The concentration in series of elemental impurities were detailed in ore-bearing rocks of copper-porphyry deposits of Goshgarchay. The primary geochemical zonation was revealed in the distribution of basic ore-containing components in the ore body of copper-porphyry deposits of Goshgarchay ore field.

**Practical significance.** The revealed peculiarities of the distribution of basic ore components in the ore body and host rocks (wallrock), the factors contributing to the accumulation of indicated elemental impurities can be used as geochemical criteria for the prognosis of copper-porphyry mineralization, supporting the effective directions of the research.

**Keywords:** Goshgarchay, copper-porphyry mineralization, structural-morphological, mineral composition, geochemical features, ore components, factorial analysis, pointed dependence, correlation relationship.

#### References

1. *Mineral-raw resources of Azerbaijan (formation conditions, distribution patterns, scientific basis of prediction. (2005). Ed. By V.M. Babazadeh. Baku: Ozan Publ., 808. [in Russian]*
2. Babazadeh V.M., Makhmudov A.I., Ramazanov V.G. (1990). *Copper and molybdenum porphyry deposits: Baku: Azerneshr. 369. [in Russian]*
3. Mansurov, M.I. (2014). *Models of ore-magmatic systems of copper-porphyry in the deposits of Goshgarchay ore field (Lesser Caucasus, Azerbaijan). Journal of News of the Siberian department of the section of earth Sciences of the Russian Academy of Natural of Sciences. Geology, Exploration and Development of mineral deposits, 4(47), 29-42. [in Russian]*
4. Popov, V.S. (1977). *Geology and genesis of copper-molybdenum-porphyry deposits. Moscow: Science, 201. [in Russian]*
5. Titley, S.R., Bean R.E. (1984). *Porphyry copper deposits. Genesis of ore deposits. Moscow: Mir, 385. [in Russian]*
6. Volkov, A.V., Savva, N.E., Sidirov, A.A. (2006). *Regularities of distribution and conditions of formation of Cu-Au-porphyry deposits in the North-East of Russia. Geology of ore deposits, 48 (6), 512–539. [in Russian]*
7. Sillitoe, R.H. (2010). *Porphyry Copper Systems, Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology, 105, 3–41.*
8. Nikolaev, Yu. N., Baksheev, I.A., Prokofiev, V.Yu., Nagornaya, E.V., Marushchenko, L.I., Sidorina, Yu.N., Chitalin, A.F., Kalko, I.A. (2016). *Au-Ag mineralization of porphyry-epithermal systems of the Baim zone (Western Chukotka, Russia). Geology of ore deposits, 58 (4), 319–345. [in Russian]*
9. *Geology of Azerbaijan, Tectonics, (2005). Baku: publishing house Nafta-Press, 565. [in Russian]*
10. Abdullayev, R.N., Mustafayev. G.V., Mustafayev, M.A. (1988). *Mesozoic magmatic formations of Lesser Caucasus and associated endogenous mineralization. Baku: Elm. 185. [in Russian]*
11. *Geology of Azerbaijan, Magmatism (2003). Baku: publishing house Nafta-Press, 505. [in Russian]*
12. Mansurov, M.I. (2013). *Geological-genetical model of Goshgarchay ore-magmatic system of Murovdag uplift. (Lesser Caucasus, Azerbaijan). Journal of News of ANAS. Earth Sciences, 4, 16-22. [in Russian]*



13. Mansurov, M.I., Safari, M.G., Kalandarov, B.G., Kerimov, V.M., Mammadova, A.G. (2018). Zonation of mineralization and metasomatites in porphyry copper deposits of the Goshgarchay ore-magmatic system (Lesser Caucasus, Azerbaijan). *Bulletin of the Siberian Branch of the Earth Sciences Section of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, exploration and development of mineral deposits*, 41 (1), 38-53. [in Russian]
14. Marushenko, L.I., Baksheev, I.A., Nagornaya, E.V., Chitalin, A.F., Nikolaev, Yu.N., Kalko, I.A., Prokofiev, V. Yu. (2015). Quartz-sericite metasomatites and mudlissites Au-Mo-Cu from the Peschanka deposit (Chukotka). *Geology of ore deposits*, 57(3), 239–252. [in Russian]
15. Imamverdiyev N.A., Baba-zadeh V.M., Mansurov M.I., Abdullayeva Sh. F.(2020). Rare-Earth elements in magmatic and metasomatic rocks of Murovdag ore area (Lesser Caucasus). *Geochemistry International*, 2, 229-234. [in Russian]
16. Belonin, M.D., Golubeva, V.A., Skublov, G.T. (1982). *Factor Analysis in Geology*. Moscow, Nedra, 265. [in Russian]
17. Borovikov V.P. (2013). *A popular introduction to modern data analysis in STATISTICA. Textbook for universities. [Text] / V.P. Borovikov*. Moscow: Telecom hotline, 156. [in Russian]
18. Grabezhev A.I., Chashchukhina V.A. (1985). On the correlation between the elements of porphyry copper deposits // *Geochemistry*, 12, 1792-1794. [in Russian]
19. Baba-zade V.M. Ramazanov V.G., Abbasov N.A. (2015). Mineralogical and geochemical factors of gold content in ores of porphyry copper deposits of the Ordubad ore region. *Bulletin of the Baku University. Series of natural sciences*, 3, 122-129. [in Russian]
20. Naumov, N.B., Girnis, A.V., Dorofeeva, V.A., Kovalenker, V.A. (2016). Concentration of ore elements in magmatic melts and natural fluids according to the study of inclusions in minerals. *Geology of ore deposits*, 58(4), 367–384. [in Russian]
21. *Geochemistry of migration processes of ore elements (1977)*. Under. ed. N.I. Khitarov. Moscow; Science, 270. [in Russian]
22. Karimli U. (2020). Stages of mineralization and localization factors of the Agyurt gold-copper-molybdenum deposit (Lesser Caucasus, Azerbaijan). *Bulletin of Taras Shevchenko Kiev National University*, 2, 96-101. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.89.13> [in Russian]
23. Ramazanov V.G. (1993). *Porphyry copper formation of Azerbaijan*. Baku: Elm, 45. [in Russian]

УДК 556.3:502.21:621.131

**Віктор Артемович Соколов,**

к. техн. н., доцент кафедри гідрогеології Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна,  
пл. Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна,  
e-mail: [v.sokolov@gmail.com](mailto:v.sokolov@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-2619-6553>;

**Ігор Валерійович Удалов,**

д. геол. н., доцент, зав. кафедри гідрогеології  
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна,  
e-mail: [igorudalov8@gmail.com](mailto:igorudalov8@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-3844-6481>;

**Аліна Володимирівна Кононенко,**

к. геол. н., ст. викладач кафедри гідрогеології  
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна,  
e-mail: [kononenko\\_alina01@ukr.net](mailto:kononenko_alina01@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-0382-3910>

## ВИКОНАННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НА ТЕРИТОРІЯХ ПРОМИСЛОВО-МІСЬКИХ АГЛОМЕРАЦІЙ

У статті описані можливості використання спеціальних геофізичних досліджень при вивченні небезпечних геологічних процесів і для визначення фізико-механічних властивостей ґрунтів під фундаментами будівель в умовах щільної міської забудови промислово-міських агломерацій. В якості прикладу виконання таких геофізичних досліджень розглянуті інженерно-геологічні вишукування на ділянці аварійного цеху № 22 ПО «Краситель» в м. Рубіжне Луганської області та на ділянці реконструкції гуртожитку по вул. Студентській, 4 в м. Харкові. Для дослідження ґрунтів під фундаментами будівель використана установка горизонтального зондування і каротажу (УГЗК-1).

Для з'ясування причини аварійної деформації споруди аварійного цеху № 22 ПО «Краситель» виконано дослідження ґрунтів методом радіоактивного каротажу. Отримані результати представлені у вигляді схеми ізоцильностей ґрунтів фундаменту. Виявлено та оконтурено зону розуцільнення ґрунтів фундаменту. Ґрунтуючись на цих результатах, виконано завірочне буріння, проходка шурфів, випробування і лабораторні дослідження ґрунтів, польові дослідні роботи. На підставі отриманих матеріалів зроблено висновок, що основною причиною обвалу частини будівлі є додаткова просадка фундаментів в результаті механічного виносу ґрунтів в зруйнований каналізаційний колектор, розташований нижче подошви фундаментів. На ділянці реконструкції гуртожитку по вул. Студентській, 4 в м. Харкові здійснено визначення щільності ґрунтів під фундаментами існуючої будівлі методом гамма-гамма каротажу. Встановлено, що під фундаментами в зоні розвитку напружень фіксується збільшення щільності цих ґрунтів. За межами напруженої зони (між фундаментами) щільність ґрунтів істотно знижується і відповідає фоновим значенням.

Таким чином, проведені інженерно-геологічні дослідження підтвердили правомочність використання геофізичних методів в практиці вишукувальних робіт нарівні з традиційно використовуваним обладнанням.

**Ключові слова:** природно-техногенне геологічне середовище, інженерно-геологічні вишукування, безпека будівництва, небезпечні геологічні процеси, картаж, промислово-міська агломерація.

**В. А. Соколов, І. В. Удалов, А. В. Кононенко. ВЫПОЛНЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ТЕРРИТОРИЯХ ПРОМЫШЛЕННО-ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ.** В статье описаны возможности использования специальных геофизических исследований при изучении опасных геологических процессов и для определения физико-механических свойств грунтов под фундаментами зданий в условиях плотной городской застройки промышленно-городских агломераций. В качестве примера выполнения таких геофизических исследований рассмотрены инженерно-геологические изыскания на участке аварийного цеха № 22 ПО «Краситель» в г. Рубежное Луганской области и на участке реконструкции общежития по ул. Студенческой, 4 в г. Харькове. Для исследования грунтов под фундаментами зданий использована установка горизонтального зондирования и каротажа (УГЗК-1).

Для выяснения причины аварийной деформации сооружения аварийного цеха № 22 ПО «Краситель» выполнено исследование грунтов методом радиоактивного каротажа. Полученные результаты представлены в виде схемы изоплотностей грунтов основания. Выявлена и оконтурена зона разуплотнения грунтов основания. Основываясь на этих результатах, выполнено заверочное бурение, проходка шурфов, испытания и лабораторные исследования грунтов, полевые исследовательские работы. На основании полученных материалов сделан вывод, что основной причиной обрушения части здания является дополнительная осадка фундаментов в результате механического выноса грунтов в разрушенный канализационный коллектор, расположенный ниже подошвы фундаментов. На участке реконструкции общежития по ул. Студенческой, 4 в г. Харькове произведено определение плотности грунтов под фундаментами существующего здания методом гамма-гамма каротажа. Установлено, что под фундаментами в зоне развития напряжений фиксируется увеличение плотности грунтов основания. За пределами напряженной зоны (между фундаментами) плотность грунтов существенно снижается и соответствует фоновым значениям.

Таким образом, проведенные инженерно-геологические исследования подтвердили правомочность использования геофизических методов в практике изыскательских работ наравне с традиционно используемым оборудованием.

**Ключевые слова:** природно-техногенная геологическая среда, инженерно-геологические изыскания, безопасность строительства, опасные геологические процессы, картаж, промышленно-городская агломерация.

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день основний обсяг нового будівництва виконується в межах міських агломерацій, в умовах щільної забудови. Також значно зросла частка

реконструкцій вже існуючих будівель. Безпека будівництва та експлуатації споруд, оцінка рівня екологічної небезпеки повинні ґрунтуватися на достовірній інформації про стан і динаміку при-

родно-техногенного геологічного середовища. Отримання такої інформації є головним завданням інженерно-геологічних вишукувань.

Основною особливістю інженерно-геологічних вишукувань в умовах щільної забудови і для реконструкції існуючих споруд необхідно вважати те, що вони виконуються на майданчиках, які в більшій чи меншій мірі зазнали техногенного впливу. Другою важливою особливістю є необхідність отримання інформації про фізико-механічні властивості ґрунтів фундаменту, про глибину залягання, конструкцію і стан фундаментів споруд, що реконструюються, а також споруд, що знаходяться в безпосередній близькості від ділянок нового будівництва. Особливе значення це набуває при вивченні причин деформацій будівель і споруд.

Для вирішення подібних завдань виконують спеціальні дослідження, які дають змогу отримати достовірну інформацію про стан природно-техногенного геологічного середовища, механізм розвитку небезпечних геологічних процесів та ін. Отримана інформація, в свою чергу, дозволить вжити необхідних проектних рішень, що забезпечать безпеку нових і реконструйованих споруд.

Специфіку інженерно-геологічних вишукувань в умовах щільної забудови і для реконструкції існуючих споруд визначають чинники, які можна розділити на ряд груп: природні, техногенні, інженерні, конструктивні, ситуаційні, організаційні. Це, перш за все, різноманітність і складність інженерно-геологічних умов, наявність і ступінь техногенного впливу на ґрунти фундаменту, весь спектр інформації, яку необхідно отримати в процесі інженерних вишукувань, значні складності в організації та проведенні робіт [18]. Сюди ж можна віднести і відсутність в даний час в повному обсязі нормативних і методичних документів, що регламентують подібні інженерно-геологічні вишукування.

Питання отримання повної і достовірної інформації про природно-техногенне геологічне середовище, а також про конструкцію і стан фундаментів існуючих будівель, становлять значний інтерес для забезпечення безпеки будівництва і експлуатації будівель і споруд на територіях промислово-міських агломерацій.

**Історія дослідження проблеми.** Предмет досліджень «інженерно-геологічні вишукування в межах щільної міської забудови і для реконструкції» є міждисциплінарним і об'єднує знання цілого ряду наукових напрямків і навчальних дисциплін. У зв'язку з цим тему дослідження пропонується розглядати за трьома складовими:

– вивченість впливу міських агломерацій і промислових комплексів на геологічне середо-

вище;

– питання спільного вивчення системи «основа - фундамент»;

– конкретні проблеми інженерно-геологічних вишукувань в межах щільної міської забудови і для реконструкції.

Проблемам інженерної геології і гідрогеології територій міських агломерацій, змінам геологічного середовища під впливом діяльності людини присвячені роботи Ф. В. Котлова, С. А. Акіпфієва, Г. Л. Коффі, В. І. Щербакова, В. А. Коробейникова, Г. Г. Стрижельчика, Ф. Ф. Краєва, В. Н. Еліна та ін. [3, 4, 8 – 12, 16, 17, 20 – 22].

У спеціальній періодичній літературі обговорювалася проблема про необхідність поєднувати в єдиному підході при інженерних вишукуваннях і проектуванні: вигляд, відповідальність об'єкта будівництва і складність інженерно-геологічних умов. Це питання обговорювали В. І. Іллічов, В. П. Петрухін, В. В. Міхеєв, Ю. Г. Трофименков, Л. Г. Маріупольський, Ю. К. Зарецький, А. В. Колічко, В. І. Крутов, А. А. Каган, Н. Ф. Кривоногова, М. А. Солодухін [5, 6, 13].

Для зарубіжних фахівців-геотехніків Brandl H., Clayton C. R. I., Dunnycliff I., Nichols R. W. та ін. [24 – 30] подібний підхід очевидний. Вони відзначають, що серед всіх областей техніки цивільне будівництво, і особливо геотехніка, пов'язані з найбільш високим рівнем професійного ризику. Незважаючи на детальне дослідження ґрунтів, складні обчислення, моніторинг майданчиків будівництва, аварії все одно відбуваються – вони неминучі, оскільки природа ґрунту і підземних вод дуже складна.

Проблема оцінки ризику в геотехнічному будівництві останнім часом стає основною темою, що обговорюється на багатьох конференціях. Як приклад, в 2000 р. в Австралії відбулася міжнародна конференція по геотехніці і геології, де одна із доповідей була присвячена проблемі оцінки ризику в геотехнічному будівництві. У 2001 р. на Мальті відбувся міжнародний конгрес з безпеки, ризику і надійності в будівництві. У 2002 р. в м. Пассау (Німеччина) на XII Дунайсько-Європейській конференції основними робочими темами відзначені наступні: управління геотехнічними ризиками і запобігання катастроф у будівництві.

Із останніх досліджень слід відмітити роботи В. М. Улицького, К. М. Абелева, Н. Н. Ракітіна, І. В. Ланцова та ін. [1, 7, 15, 23]. Автори акцентують свою увагу на тому, що в останній час збільшуються обсяги будівництва будівель і споруд на забудованих територіях міст. При цьому нові будівлі, як правило, прилаштовуються до вже існуючих будівель, які мають різні терміни експлуатації і різний технічний стан, а в фунда-

менті таких споруд залягають слабкі ґрунти (глинисті водонасичені, насипні і т. д.). Тому сучасним завданням фахівців-геотехніків є розробка ефективних технологій влаштування пальових фундаментів нових будівель, прибудованих до існуючих будівель в обмежених міських умовах. Такі технології дозволяють врахувати технічний стан існуючих будівель, зміну характеристик ґрунтів фундаменту в результаті різних впливів і забезпечити високу продуктивність робіт.

В цілому вивченість теми досліджень можна оцінити таким чином:

- досить широко представлені теоретичні та практичні дослідження про вплив міських агломерацій на природне геологічне середовище;

- наведено численні приклади наслідків техногенного впливу на ґрунти фундаменту: статичні і динамічні навантаження, замочування водою і хімічними розчинами, промороження і т.д.;

- питання інженерно-геологічних вишукувань в умовах щільної забудови і для реконструкції висвітлені недостатньо – більшість авторів, не зупиняючись на питаннях способів і можливості отримання повної і достовірної інформації, обмежуються постановкою завдань, які повинні бути вирішені при інженерних вишукуваннях.

**Мета статті** – показати можливості спеціальних геофізичних досліджень при вивченні небезпечних геологічних процесів і визначенні фізико-механічних властивостей ґрунтів під фундаментами будівель в умовах щільної міської забудови.

**Матеріали і методи досліджень.** Для досягнення поставленої мети в роботі використовується спеціальне обладнання – установка горизонтального зондування і каротажу (УГЗК-1). Вона розроблена авторською групою фахівців УкрвостокГПНТІЗ (м. Харків) та призначена для масового і найбільш достовірного дослідження властивостей ґрунтів в фундаментах існуючих будівель і споруд [19]. З її допомогою можна вирішувати такі завдання:

- буріння горизонтальних свердловин;
- відбір монолітів ґрунту;
- статичне зондування з використанням апаратури «Піка»;
- радіоактивний каротаж з використанням апаратури «Піка» або «ППГР» і «ВПГР»;
- пресіометричне дослідження ґрунтів;
- занурення ін'єкторів для закріплення ґрунтів.

Установка УГЗК-1 складається з двох щитів, на одному з щитів кріпляться два домкрата. Цей же щит служить упором при передачі зусиль від домкратів. Другий щит є напрямним для задавлювання в ґрунт штанг, а також служить упором при їх витяганні. Зв'язок між щитами встанов-

люється за допомогою гвинтових розпірок. Штанги, що задавлюються в ґрунт закладаються між домкратами в затискний пристрій. Домкрати системою шланг зв'язуються з насосною станцією. При створенні тиску в системі, поршні домкрата, переміщуючись, створюють через затискний пристрій тиск на штанги. Після задавлювання секції штанг в ґрунт (близько 30 см) затискний пристрій звільняється, і поршні домкрата переводяться в початкове положення. Після приєднання нової секції штанг процес задавлювання повторюється. На фото 1 – установка УГЗК-1 в змонтованому стані в шурфі для здійснення радіоактивного каротажу в горизонтальній свердловині.

Установка горизонтального зондування і каротажу пройшла випробування в польових умовах, а потім на майданчиках, де реконструюються споруди в містах Харків та Запоріжжя.

**Результати досліджень.** При проведенні інженерно-геологічних вишукувань в умовах щільної забудови з обмеженою можливістю організації робіт в необхідних точках дослідження, досить часто найбільш інформативними і економічно виправданими є геофізичні методи. У зв'язку з насиченістю промислових майданчиків і урбанізованих територій підземними комунікаціями і електричними кабелями, наявність вібраційних перешкод, застосування методів електро- і сейсмозв'язки значно ускладнено. Можливість проведення цих видів дослідження вирішується в кожному конкретному випадку. У зв'язку з цим, під час проведення вишукувань на промислових майданчиках і урбанізованих територіях рекомендується застосування геофізичних методів дослідження ґрунтів в свердловинах і методів, які нечутливі до електро- і вібраційних перешкод (радіоактивні і акустичні каротажі, метод зарядженого тіла, дослідження електромагнітного поля Землі, еманайна і газова зйомки та ін.). Важливою умовою застосування геофізичних методів є їх комплексність (не менше двох різних методів), що забезпечує відтворюваність результатів.

Для вивчення стану ґрунтів в активній зоні під фундаментами існуючих споруд можна виконувати радіоактивний каротаж в горизонтальних виробках (проколи), пройдених з шурфів, на всю ширину фундаменту. В цілому завдання геофізичних досліджень на забудованих територіях, стосовно до видів об'єктів будівництва і створюваного ними техногенного впливу, наведені в табл. 1.

Досить часто в технологічному ланцюжку виконання польових досліджень геофізичні дослідження виконуються, випереджаючи інші види робіт. Це дозволяє отримати повну інформацію про стан ґрунтів, оконтурити ділянки, що наділе-

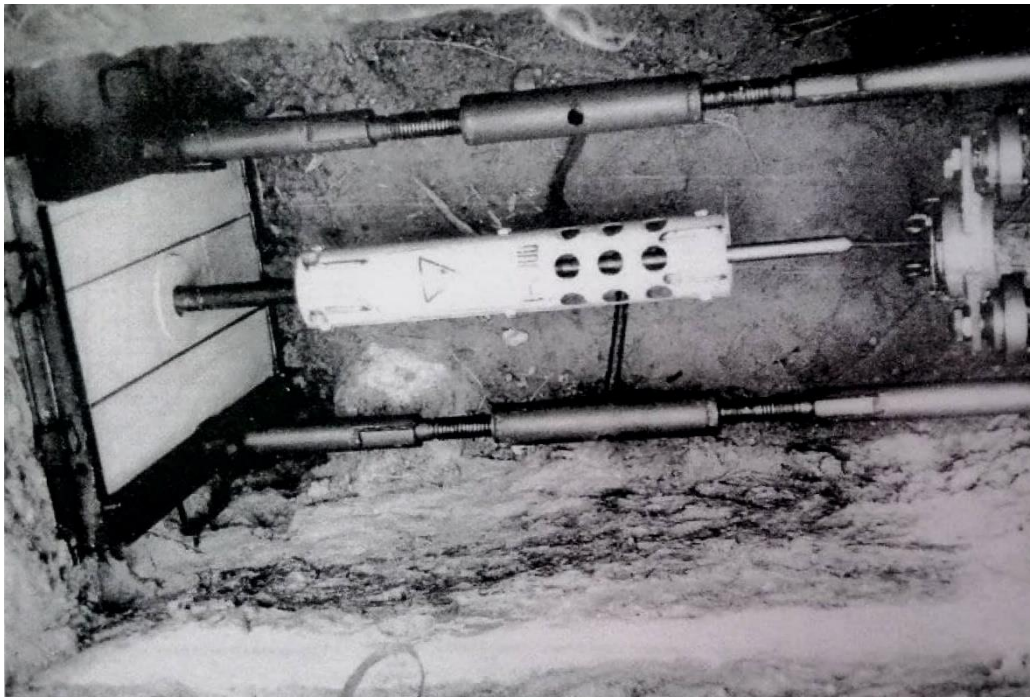


Фото 1. Здійснення радіоактивного каротажу (ПГК- щільнісний) в горизонтальній свердловині з використанням установки УГЗК-1

ні специфічними особливостями і розвитком небезпечних інженерно-геологічних процесів, попередньо виділити інженерно-геологічні елементи і на цій основі вибрати місця і глибини дослідження ґрунтів. Особливо це важливо при вивченні причин деформацій будівель і споруд, прогнозу розвитку небезпечних інженерно-геологічних процесів (зсуви, суфозія, карст тощо).

Прикладом випереджаючого виконання геофізичних досліджень служать інженерно-геологічні вишукування на ділянці аварійного цеху № 22 ПО «Краситель» в м. Рубіжне Луганської області [2]. Метою досліджень є встановлення причин обвалу східної частини будівлі. В процесі обстеження аварійної будівлі та вивчення архівних матеріалів встановлено:

- будівля аварійного цеху 3-поверхова II класу, на стрічкових і стовпчастих фундаментах з глибиною закладення приблизно 2,0 м;

- в процесі експлуатації цеху мало місце порушення технології, що призводить до систематичних витоків води і агресивних компонентів виробничого процесу;

- в геоморфологічному відношенні ділянка приурочена до заплави річки Сіверський Донець, безпосередньо основою фундаментів будівлі служать дрібнозернисті і пилюваті алювіальні піски і насипні піщані ґрунти того ж кольору і складу.

У подібних умовах проходка рівномірно розташованих геологічних виробок (шурфів, свердловин), з відбором проб ґрунтів з заданим інтервалом, могла не відповісти на питання – чи є

ґрунти фундаменту однією з причин аварійної деформації споруди. Прийнято рішення перед проходкою шурфів і свердловин виконати випереджальне дослідження ґрунтів методом радіоактивного каротажу з метою повного визначення їх фізичних характеристик, оконтурення аномальних зон, вибору ділянок і глибин їх завіркового випробування. Результати радіоактивного каротажу представлені у вигляді схеми ізощільностей ґрунтів основи. Також виявлена та оконтурена зона розущільнення ґрунтів основи (рис. 1). Ґрунтуючись на цих результатах, було виконано завірочне буріння, проходка шурфів, випробування і лабораторні дослідження ґрунтів, польові дослідні роботи.

Аналіз матеріалів інженерно-геологічних вишукувань і геодезичної зйомки, прилеглих до будівлі водогінних комунікацій дозволив зробити висновок, що основною причиною обвалу частини будівлі є додаткова осадка фундаментів в результаті механічного (суфозійного) виносу ґрунтів в зруйнований каналізаційний колектор, розташований нижче підшви фундаментів. Будівля цеху № 22 оточена густою мережею водогінних комунікацій – мінімальна відстань від будівлі – 2,5 м. Глибина закладення комунікацій різна і становить від 2,0 до 6,0 м. В 5,0 м від східної (аварійної) сторони будівлі проходить каналізація умовно чистих вод, глибина залягання якої 2,0 м. Каналізація місцями зруйнована і являє собою відкриту канаву. Води, що скидаються фільтруються безпосередньо в насипні ґрунти. Під каналізацією на глибині 4,0 м розташований

## Задачі геофізичних досліджень на ділянках щільної забудови і для реконструкції

Види споруд та пов'язані з ними процеси на ділянках будівництва та реконструкції	Задачі геофізичних досліджень
1	2
<p>А. Гірничодобувні і промислові підприємства:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) вилучення і переміщення великих мас гірських порід;</li> <li>2) активізація тектонічних порушень;</li> <li>3) створення передумов для техногенного карсту;</li> <li>4) створення техногенного рельєфу;</li> <li>5) зміна гідродинамічного режиму (підтоплення території, зниження рівня підземних вод на ділянках дренажів і водозаборів);</li> <li>6) гідроізоляція ґрунтів асфальтовим і бетонним покриттям;</li> <li>7) забруднення підземних вод;</li> <li>8) замочування ґрунтів, в тому числі і хімічно активними розчинами;</li> <li>9) вплив на ґрунти статичними і динамічними навантаженнями;</li> <li>10) термічний вплив на ґрунти;</li> <li>11) значна корозійна активність за рахунок блукаючих струмів;</li> <li>12) провокування суфозійних і зсувних процесів.</li> </ol>	<p>Вивчення змін геофізичних полів в просторі і в часі з виявленням аномалій і прогнозуванням розвитку природних і техногенних процесів. Масове вивчення стану ґрунтів в розрізі та плані. Оцінка напруженого стану в системі «основа - фундамент». Вивчення резонансних впливів. Картування аномальних зон. Пошук похованих фундаментів, конструкцій, пустот. Визначення стану фундаментів і конструкцій.</p>
<p>Б. Житлові будинки та об'єкти соціальної інфраструктури:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) гідроізоляція ґрунтів асфальтовим покриттям;</li> <li>2) локальне замочування ґрунтів фундаменту в результаті витоків;</li> <li>3) вплив на ґрунти статичними навантаженнями;</li> <li>4) планування природного рельєфу.</li> </ol>	<p>Масове вивчення стану ґрунтів. Картування аномальних зон. Прогнозування розвитку природних і техногенних процесів. Визначення стану фундаментів.</p>
<p>В. Об'єкти сільськогосподарського призначення:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) проникнення шкідливих речовин в поверхневі води;</li> <li>2) засолення ґрунтів;</li> <li>3) обводнення (осушення) на великих площах верхньої товщі гірських порід.</li> </ol>	<p>Оцінка ступеня зміни електропровідності підземних і поверхневих вод, ґрунтів. Оцінка ступеня зміни фільтраційних і дифузійно-адсорбційних властивостей ґрунтів.</p>
<p>Г. Транспортні споруди, канали, лінії електропередач:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) вирівнювання земної поверхні, що супроводжується переміщенням великих мас гірських порід;</li> <li>2) виникнення інтенсивних блукаючих електричних струмів уздовж трас електрифікованих залізниць і ЛЕП;</li> <li>3) підвищення корозійної активності ґрунтів.</li> </ol>	<p>Оцінка зміни напруженого стану масивів гірських порід, електромагнітних і температурних полів на ділянках трас, що реконструюються. Виявлення квазіпостійних і змінних електромагнітних полів в смугі впливу лінійних споруд.</p>

колектор діаметром 1500 мм, закладений до підсипки території, який служить місцем накопичення матеріалу, що виноситься. Схема суфозійного виносу на ділянці аварійного цеху наведена на рис. 2.

Після проведення комплексу досліджень представлені конкретні проєктні пропозиції щодо ліквідації причин нерівномірних (аварійних) осадок будівлі, способів і методики зміцнення ґрунтів фундаменту з зазначенням ділянок пер-

шочергових робіт.

Також установка УГЗК-1 використовувалася при інженерно-геологічних вишукуваннях на ділянці реконструкції гуртожитку по вул. Студентській, 4 в м. Харкові [14]. Метою дослідження було визначення щільності ґрунтів під фундаментами існуючої будівлі. Для цього на відстані 1,2 м від стіни будівлі був пройдений шурф глибиною 2,9 м (нижче глибини закладення фундаментів на 1,5 м). Перетин шурфу 1,2 x 2,2 м. На гли-

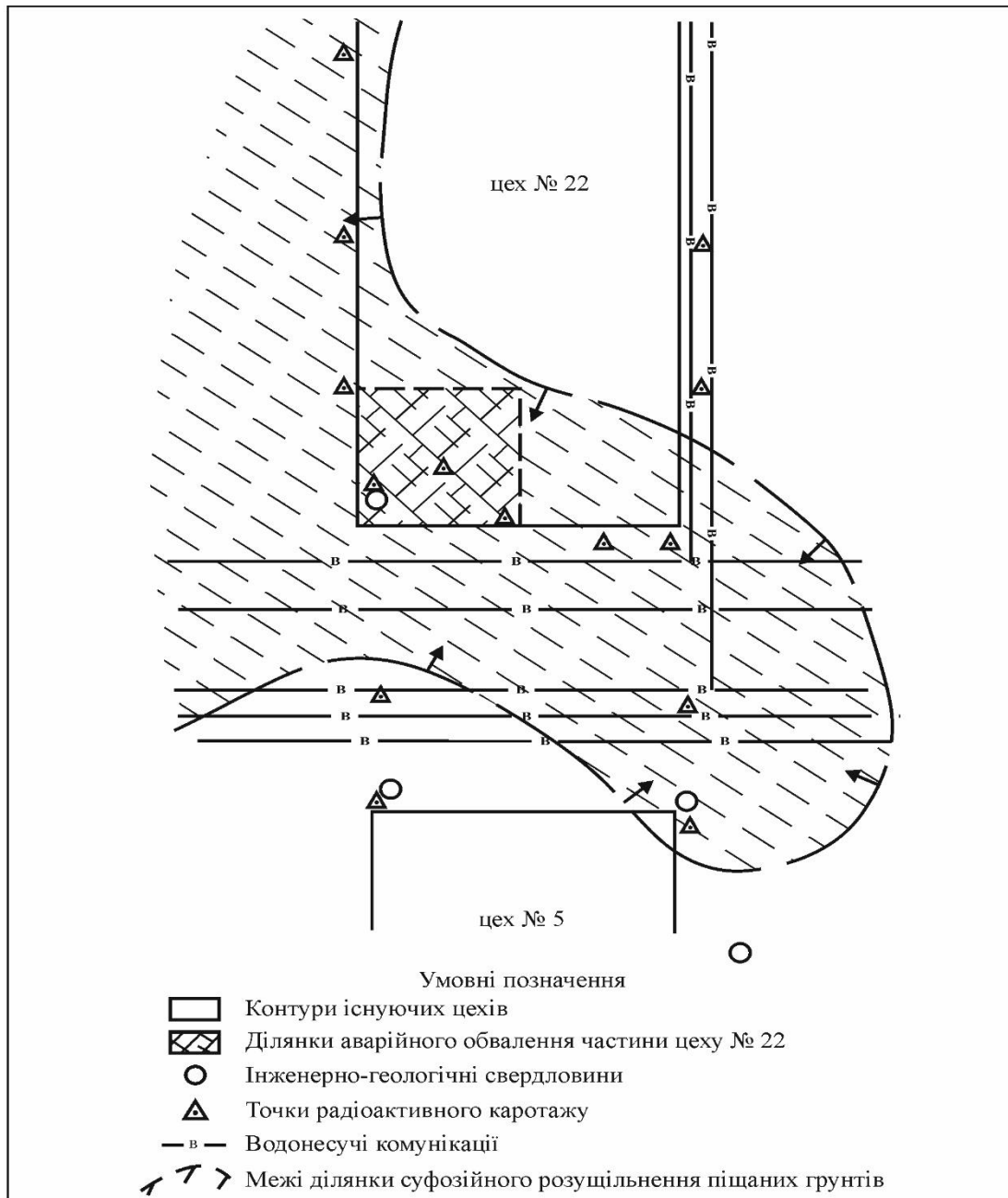


Рис. 1. Зона суфозійного розуцільнення піщаних ґрунтів на ділянці аварійного цеху № 22 НПО «Краситель» в м. Рубіжне, Луганської області

бині 1,9 м в стінку шурфу під фундамент будівлі були горизонтально задавлені труби діаметром 50 мм. При задавлюванні труб, через кожні 10 см, по манометру записувалося зусилля задавлювання. Для визначення щільності ґрунтів в трубах, виконаний гамма-гамма каротаж. Зведені результати дослідів наведені на рис. 3. За результатами гамма-гамма каротажу під фундаментами в зоні розвитку напружень чітко фіксується збільшення щільності ґрунтів фундаменту. Щільність ґрунтів в зоні обтиску становить  $\rho = 19,1 \text{ кН/м}^3$ , щільність сухого ґрунту (скелета) становить  $\rho_s = 16,9 \text{ кН/м}^3$ . За межами напруженої зони (між фундаментами) щільність ґрунтів істотно знижується і відповідає фоновим значенням

$\rho = 18,2 \text{ кН/м}^3$ ,  $\rho_s = 15,5 \text{ кН/м}^3$ .

**Висновки.** Таким чином, виконані інженерно-геологічні вишукування на ділянці аварійного цеху № 22 ПО «Краситель» в м. Рубіжне Луганської області та на ділянці реконструкції гуртожитку по вул. Студентській, 4 в м. Харкові показали можливість використання спеціальних геофізичних досліджень в умовах промислових агломерацій. Також проведені дослідження підтвердили правомочність використання геофізичних методів в практиці вишуквальних робіт нарівні з традиційно використовуваним обладнанням. Додатковим плюсом використання геофізичних методів в таких умовах є їх інформативність і економічна виправданість.

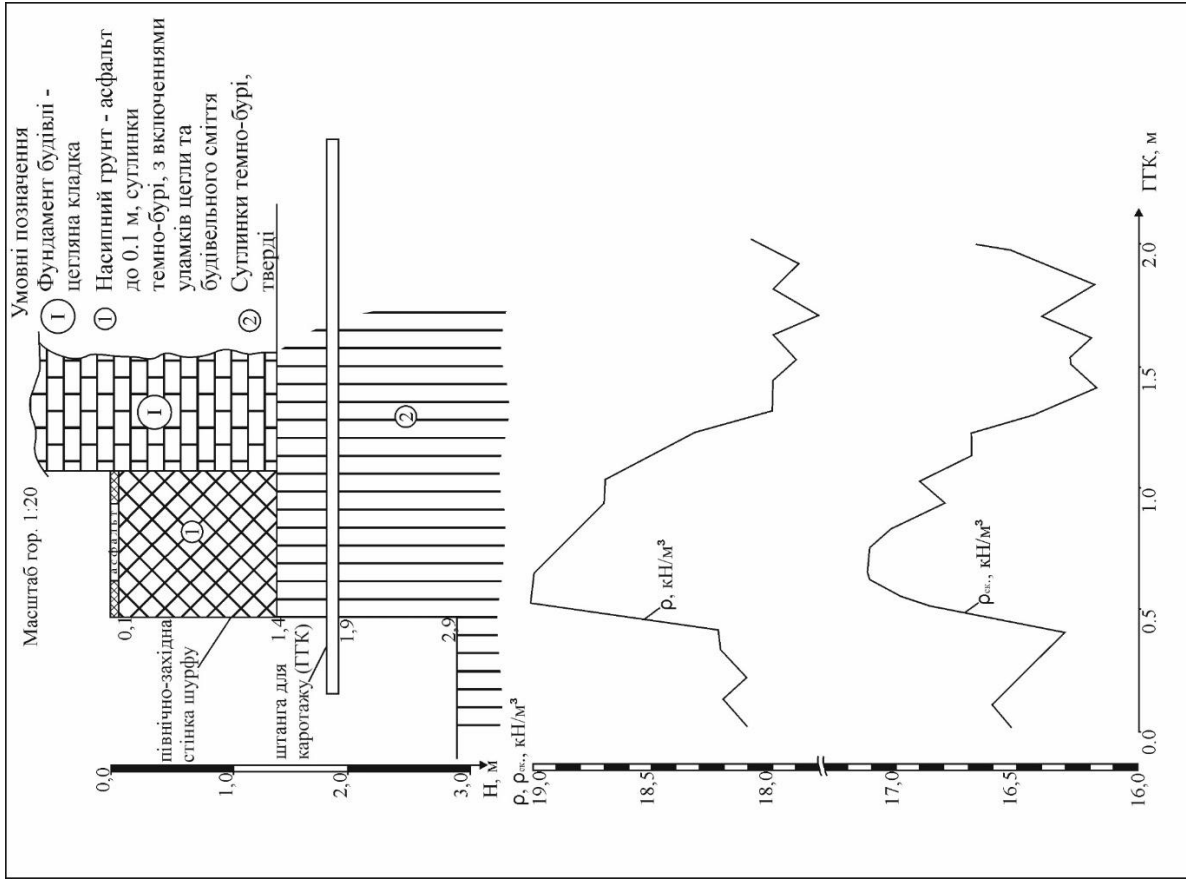


Рис. 3. Результати щільнісного каротажу (ГТК) в горизонтальному проколі на ділянці реконструкції гуртожитку по вул. Студентській, 4 в м. Харків

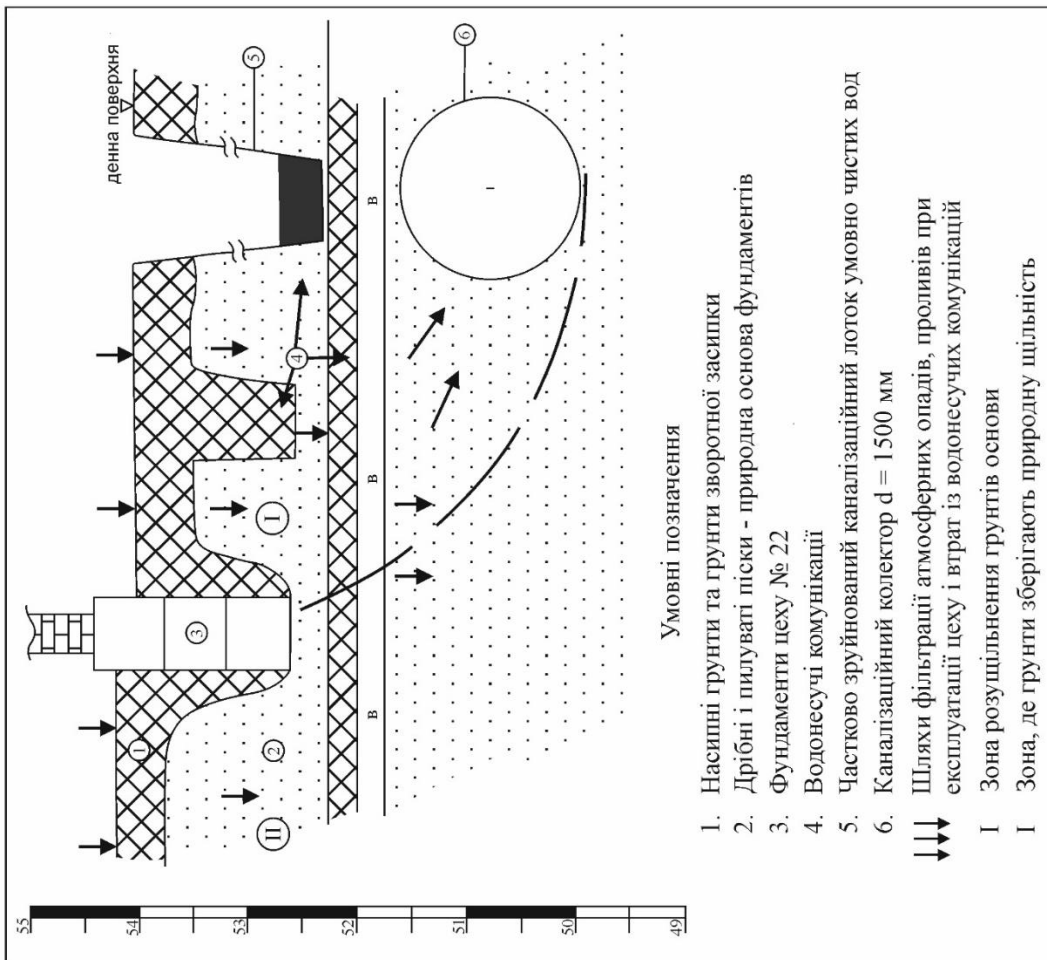


Рис. 2. Схема суфозійного разуцільнення піщаних ґрунтів фундаменту і ґрунтів зворотної засипки на ділянці цеху № 22 ПО «Краситель» в м. Рубіжне, Луганської області



В результаті проведених інженерно-геологічних робіт зроблено наступні висновки:

1. На ділянці аварійного цеху № 22 ПО «Краситель» в м. Рубіжне Луганської області основною причиною обвалу частини будівлі є додаткова просадка фундаментів в результаті механічного виносу ґрунтів в зруйнований каналізаційний колектор, розташований нижче підшви

фундаментів.

2. На ділянці реконструкції гуртожитку по вул. Студентській, 4 в м. Харкові встановлено, що під фундаментами в зоні розвитку напружень фіксується збільшення щільності цих ґрунтів. За межами напруженої зони (між фундаментами) щільність ґрунтів істотно знижується і відповідає фоновим значенням.

#### Література

1. Абелев, К. М. *Инженерно-геологические изыскания при реконструкции зданий и сооружений на слабых грунтах* [Текст] / К. М. Абелев, А. В. Елиин, И. В. Аверин, Н. Н. Ракитина, Г. В. Сагалаков // *Вестник МГСУ Том 3 Выпуск 3. – 2008. – С. 116 – 118.*
2. *Абрамов, И. Б. Заключение об инженерно-геологических условиях участка аварийного цеха № 22 ПО «Краситель» в г. Рубежное, Луганской области* / И. Б. Абрамов, Т. Д. Гладкая, В. А. Соколов – Х. : УкрвостокГГИИИТИЗ, 1986. – № 20695. – 54 с.
3. *Вопросы инженерно-геологических исследований на застраиваемых территориях: сб. науч. тр.* [Текст] – М. : Стройиздат, 1987. – 94 с.
4. *Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека: сб. науч. тр.* [Текст] – М. : Наука, 1982. – 186 с.
5. *Ильичев, В. А. О геотехнической категории объекта строительства* [Текст] / В. А. Ильичев, В. П. Петрухин, В. В. Михеев [и др.] // *Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2003. – № 1. – С. 20 – 24.*
6. *Каган, А. А. Об оценке «Геотехнической категории строительства»* [Текст] / А. А. Каган, Н. Ф. Кривоногова // *Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2004. – № 3. – С. 20 – 23.*
7. *Кокорев, И. В. Особенности инженерно-геологических изысканий при реконструкции зданий на слабых грунтах* [Текст] / И. В. Кокорев, Д. С. Букреев, Н. Н. Ракитина, Р. Р. Бахронов / *Вестник МГСУ, 2009. – Том 4. – Выпуск 1. — С. 57 – 60.*
8. *Котлов, Ф. В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека* [Текст] / Ф. В. Котлов // М. : Недра, 1978. – 263 с.
9. *Котлов, Ф. В. Инженерно-геологические проблемы комплексного освоения подземного пространства крупных городов* [Текст] / Ф. В. Котлов // *Проблемы инженерной геологии городов: сб. науч. тр. – М. : Наука, 1983. – С. 48 – 55.*
10. *Котлов, Ф. В. Современные проблемы инженерной геологии городов и градо-промышленных агломераций* [Текст] / Ф. В. Котлов // *Проблемы инженерной геологии городов: сб. науч. тр. – М. : Наука, 1983. – С. 5–12.*
11. *Кофф, Г. Л. Геоэкономический аспект инженерно-геологических изысканий* [Текст] / Г. Л. Кофф // *Современные проблемы инженерной геологии и гидрогеологии территорий городов и городских агломераций. – М. : Наука, 1987. – С. 31 – 35.*
12. *Краев, В. Ф. О рациональном использовании геологической среды городов* [Текст] / В. Ф. Краев, В. Н. Елин // *Современные проблемы инженерной геологии и гидрогеологии территорий городов и городских агломераций. – М. : Наука, 1987. – С. 42 – 44.*
13. *Крутов, В. И. О категории сложности инженерно-геологических условий, проектирования и устройства оснований фундаментов и подземных сооружений* [Текст] / В. И. Крутов // *Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2004. – № 3. – С. 26 – 29.*
14. *Лазарева, Л. Б. Технический отчет об инженерно-геологических изысканиях на участке реконструкции общежития по ул. Студенческой, 4 в г. Харькове* / Л. Б. Лазарева, В. А. Соколов – Х. : УкрвостокГГИИИТИЗ, 1988. – № 21999. – 64 с.
15. *Ланцова, И. В. Проблема оценки экологических рисков при проведении инженерных изысканий* [Текст] / И. В. Ланцова, Г. В. Коваленко // *Инженерные изыскания: всероссийский научно-аналитический журнал, 1/2011. – С. 40 – 43.*
16. *Ломтадзе, В. Д. Инженерно-геологические исследования для обоснования прогноза изменений геологической среды в районе города* [Текст] / В. Д. Ломтадзе // *Проблемы инженерной геологии городов: сб. науч. тр. – М. : Наука, 1983. – С. 45 – 47.*
17. *Современные проблемы инженерно-геологических исследований урбанизированных территорий* [Текст] / Ф. В. Котлов, С. А. Акинфиев, Г. Л. Кофф [и др.] // *Современные проблемы инженерной геологии и гидрогеологии территорий городов и городских агломераций. – М. : Наука, 1987. – С. 5 – 7.*
18. *Соколов, В. А. Анализ факторов, определяющих специфику, виды и объемы инженерно-геологических изысканий для реконструкции* [Текст] / В. А. Соколов // *Вестник Харьковского университета имени В. Н. Каразина. – 2007. – № 753. – С. 30 – 34.*
19. *Соколов, В. А. Технический отчет по теме «Совершенствование и внедрение устройства для горизонтального зондирования и каротажа на объектах реконструкции»* / В. А. Соколов, А. В. Жиров, В. Н. Щербина – Х. : УкрвостокГГИИИТИЗ, 1988. – № 22644. – 12 с.

20. Солодухин, М. А. Некоторые проблемы инженерно-геологических изысканий для промышленного и гражданского строительства. Геотехнические нормы [Текст] / М. А. Солодухин // Реконструкция городов и геотехническое строительство. – 2000. – №3.
21. Стрижельчик, Г. Г. Проблемы прогнозирования и управления развитием природно-техногенных систем городских территорий [Текст] / Г. Г. Стрижельчик // Проблемы инженерной геологии городов: сб. науч. тр. – М. : Наука, 1983. – С. 92 – 95.
22. Табола, В. Г. Неблагоприятные инженерно-геологические процессы и особенности градостроительства на территории Левобережной Украины [Текст] / В. Г. Табола, Г. Г. Стрижельчик // Проблемы инженерной геологии городов: сб. науч. тр. – М. : Наука, 1983. – С. 12 – 16.
23. Улицкий, В. М. Оценка риска и обеспечение безопасности в строительстве [Текст] / В. М. Улицкий, М. Б. Лисюк // Реконструкция городов и геотехническое строительство. – 2003. – №5 – С. 160 – 166.
24. Brandl, H. Challenges of environmental geotechnics [Text]. [Электронный ресурс] / Роль геотехники в обществе. – 2006. – № 10. – 17 с. – Режим доступа к журн.: <http://www.georec.spb.ru>.
25. Brandl, H. The civil and geotechnical engineer in society – ethical and philosophical thoughts; challenges and recommendations [Text]. [Электронный ресурс] / Роль геотехники в обществе. – 2006. – № 10. – 17 с. – Режим доступа к журн.: <http://www.georec.spb.ru>.
26. Clayton, C. R. I. Managing geotechnical risk: (Thomas Telford Publishing. London) [Text]. [Электронный ресурс]. – 2001. – Режим доступа к журн.: <http://www.georec.spb.ru>.
27. Dunnicliff, I. Ratings War [Text]. [Электронный ресурс] // Ground Engineering. – 2000. – Vol. 33. – №3. – Режим доступа: <http://www.georec.spb.ru>.
28. Nichols, R. W. Risk [Text]. [Электронный ресурс] / The Sciences. – May / June 2000. – Режим доступа: <http://www.georec.spb.ru>.
29. Tonkha, O. Magnetic methods application for the physical and chemical properties assessment of Ukraine soil / O. Menshov, O. Bykova, O. Pikovska, I. Fedosiy // Conference Proceedings, XIV International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”, Nov. 2020, Volume 2020, p. 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056027>
30. Research on the effect of pore characteristics on the compressive properties of sandstone after freezing and thawing / Fandong Meng, Yue Zhai, Yubai Li, Ruifeng Zhao // Engineering Geology, available online 9 March 2021; in press, journal pre-proo Article 106088. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106088>

Надійшла до редакції 15 березня 2021 р.

Прийнята 22 квітня 2021 р.

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

UDC 556.3:502.21:621.131

**Victor Sokolov,**

PhD (Technics), Associate Professor, Department of Hydrogeology,  
V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,  
e-mail: [v.sokolov@gmail.com](mailto:v.sokolov@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-2619-6553>;

**Igor Udalov,**

Doctor of Sciences (Geology), Associate Professor, Head of the Department of Hydrogeology,  
V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [igorudalov8@gmail.com](mailto:igorudalov8@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-3844-6481>;

**Alina Kononenko,**

PhD (Geology), Senior Lecturer, Department of Hydrogeology,  
V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [kononenko\\_alina01@ukr.net](mailto:kononenko_alina01@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-0382-3910>

## PERFORMANCE OF SPECIAL ENGINEERING AND GEOLOGICAL RESEARCHES IN THE TERRITORIES OF INDUSTRIAL AND URBAN AGGLOMERATIONS

**Formulation of the problem.** The article is devoted to the description of the implementation of special engineering-geological researches in the territories of industrial and urban agglomerations.

**The purpose of the article** is to show the possibilities of special geophysical researches while studying hazardous geological processes and the determination of the physical and mechanical properties of soils under the foundations of buildings in conditions of dense urban development.

**Materials and methods.** To achieve the main goal, special equipment was used in the work – a horizontal sounding and logging unit. It is intended for mass and most reliable research of soil properties at the base of existing buildings and structures. Using this installation, the following tasks are solved:

- drilling horizontal wells;
- selection of soil monoliths;
- static sounding using «Pika» equipment;
- radioactive logging;
- pressiometric researches of soils;
- immersion of injectors to consolidate the soil.

**Results.** Analysis of the performed engineering and geological surveys at the site of the emergency workshop № 22 of PA «Krasitel» in the city of Rubezhnoye, Lugansk region and at the site of reconstruction of the hostel on the street Studencheskaya, 4 in Kharkov showed the possibility of using special geophysical research in the conditions of industrial and urban agglomerations.

To find out the cause of the emergency deformation of the structure of the emergency workshop № 22 of PA «Krasitel», a study of soils was carried out using the method of radioactive logging. Obtained results are presented in the form of a diagram of the isodensity of the base soils. Zone of decompaction of the base soils has been identified and delineated. Based on the materials obtained, it was concluded that the main reason for the collapse of a part of the building is the additional subsidence of the foundations as a result of mechanical removal of soils into the destroyed sewer collector located below the base of the foundations.

On the site of reconstruction of the hostel on the street Studencheskaya, 4 in Kharkov, the density of soils under the foundations of the existing building was determined by the method of gamma-gamma logging. It was found that under the foundations in the zone of stress development, an increase in the density of the foundation soils is recorded. Outside the stressed zone (between foundations), the density of soils is significantly reduced and corresponds to the background values.

**Scientific novelty and practical significance.** Scientific novelty – the choice of a complex of special geophysical studies in researches of hazardous geological processes and to determine the physical and mechanical properties of soils under the foundations of buildings in conditions of dense urban development of industrial and urban agglomerations is scientifically substantiated.

Practical application of the proposed results – the validity of the use of geophysical methods in the practice of exploration work on a par with the traditionally used equipment has been confirmed.

**Keywords:** natural and technogenic geological environment, engineering and geological surveys, construction safety, hazardous geological processes, logging, industrial and urban agglomeration.

#### References

1. Abelev, K. M., Yelshin, A. V., Averin, I. V., Rakitina, N. N. (2008). *Inzhenerno-geologicheskiye izyskaniya pri rekonstruktsii zdaniy i sooruzheniy na slabyykh gruntakh [Engineering and geological surveys during the reconstruction of buildings and structures on soft soils]. Vestnik MGSU, 3(3), 116–118. [in Russian]*
2. Abramov, I. B., Gladkaya, T. D., Sokolov, V. A. (1986). *Zaklyucheniye ob inzhenerno-geologicheskikh usloviyakh uchastka avariynogo tsekha № 22 PO «Krasitel» v g. Rubezhnoye, Luganskoy oblasti [Conclusion on the engineering and geological conditions of the site of the emergency workshop № 22 of PA "Krasitel" in the city of Rubezhnoe, Luhansk region]. Kh.: UkrvostokGIINTIZ, 20695, 54. [in Russian]*
3. Brandl, H. *Challenges of environmental geotechnics (2006). Rol' geotekhniki v obshchestve, 10, 17. Available at : <http://www.georec.spb.ru>.*
4. Brandl, H. *The civil and geotechnical engineer in society – ethical and philosophical thoughts; challenges and recommendations (2006). Rol' geotekhniki v obshchestve, 10, 17. Available at : <http://www/georec.spb.ru>*
5. Clayton, C. R. I. *Managing geotechnical risk: (Thomas Telford Publishing, London) (2001). Available at : <http://www/georec.spb.ru>*
6. Dunicliff, I. *Ratings War (2000). Ground Engineering, 33, 3. Available at : <http://www.georec.spb.ru>.*
7. *Izmeneniye geologicheskoy sredy pod vliyaniyem deyatelnosti cheloveka: sb. nauch. tr. (1986) [Changes in the geological environment under the influence of human activities: collection of articles. scientific. works]. M.: Nauka, 186. [in Russian].*
8. Ilichev, V. A., Petrukhin, V. P., Mikheyev, V. V. (2003). *O geotekhnicheskoy kategorii obyektov stroitelstva [About the geotechnical category of the construction object]. Foundations, foundations and soil mechanics, 1, 20–24. [in Russian].*
9. Kagan, A. A., Krivonogova, N. F. (2004). *Ob otsenke «Geotekhnicheskoy kategorii stroitelstva» [About the assessment of "Geotechnical category of construction"]. Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov, 3, 20–23. [in Russian].*
10. Koff, G. L. (1987). *Geoekonomicheskiy aspekt inzhenerno-geologicheskikh izyskaniy [Geoeconomic aspect of engineering and geological surveys]. Modern problems of engineering geology and hydrogeology of the territories of cities and urban agglomerations, M. : Nauka, 31–35. [in Russian].*

11. Kokorev, I. V., Bukreyev, D. S., Rakitina, N. N., Bakhronov, R. R. (2009). *Osobennosti inzhenerno-geologicheskikh izyskaniy pri rekonstruktsii zdaniy na slabykh gruntakh [Features of engineering and geological surveys during the reconstruction of buildings on soft soils]. Vestnik MGSU, 4 (1), 57–60. [in Russian].*
12. Kotlov, F. V. (1983). *Inzhenerno-geologicheskiye problemy kompleksnogo osvoyeniya podzemnogo prostranstva krupnykh gorodov [Geotechnical problems of complex development of underground space in large cities]. Problems of engineering geology of cities: collection of articles. scientific. Works, M.: Nauka, 48–55. [in Russian].*
13. Kotlov, F. V. (1978). *Izmeneniye geologicheskoy sredy pod vliyaniem deyatelnosti cheloveka [Changes in the geological environment under the influence of human activities]. M.: Nedra, 263. [in Russian].*
14. Kotlov, F. V. (1983). *Sovremennyye problemy inzhenernoy geologii gorodov i grado-promyshlennykh aglomeratsiy [Modern problems of engineering geology of cities and urban-industrial agglomerations]. Problems of engineering geology of cities: collection of articles. scientific. works, M.: Nauka, 5–12. [in Russian].*
15. Krayev, V. F., Yelin, V. N. (1987). *O ratsionalnom ispolzovanii geologicheskoy sredy gorodov [On the rational use of the geological environment of cities]. Modern problems of engineering geology and hydrogeology of the territories of cities and urban agglomerations, M.: Nauka, 42–44. [in Russian].*
16. Krutov, V. I. (2004). *O kategorii slozhnosti inzhenerno-geologicheskikh usloviy, proyektirovaniya i ustroystva osnovaniy fundamentov i podzemnykh sooruzheniy [On the category of complexity of geotechnical conditions, design and arrangement of foundations of foundations and underground structures]. Foundations, foundations and soil mechanics, 3, 26–29. [in Russian].*
17. Lantsova, I. V., Kovalenko, G. V. (2011). *Problema otsenki ekologicheskikh riskov pri provedenii inzhenernykh izyskaniy [The problem of assessing environmental risks during engineering surveys]. Engineering survey: All-Russian scientific-analytical journal, 1, 40–43. [in Russian].*
18. Lazareva, L. B., Sokolov, V. A. (1988). *Tekhnicheskiiy otchet ob inzhenerno-geologicheskikh izyskaniyakh na uchastke rekonstruktsii obshchezhitiya po ul. Studencheskoy, 4 v g. Kharkove [Technical report on engineering and geological surveys at the site of reconstruction of the hostel on the street. Student, 4 in Kharkov]. Kh.: UkrvostokGIINTIZ, 21999, 64. [in Russian].*
19. Lomtdaze, V. D. (1983). *Inzhenerno-geologicheskiye issledovaniya dlya obosnovaniya prognoza izmeneniy geologicheskoy sredy v rayone goroda [Engineering and geological studies to substantiate the forecast of changes in the geological environment in the city area]. Problems of engineering geology of cities: collection of articles. scientific. works, M.: Nauka, 45–47. [in Russian].*
20. Nichols, R. W. Risk (2000). *The Sciences. Available at: <http://www.georec.spb.ru>.*
21. *Research on the effect of pore characteristics on the compressive properties of sandstone after freezing and thawing (2021). Engineering Geology. Article 106088. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106088>*
22. Sokolov, V. A. (2007). *Analiz faktorov, opredelyayushchikh spetsifiku, vidy i obyemy inzhenerno-geologicheskikh izyskaniy dlya rekonstruktsii [Analysis of the factors that determine the specifics, types and volumes of engineering and geological surveys for reconstruction]. Bulletin of V.N. Karazin, 753, 30–34. [in Russian].*
23. Sokolov, V. A., Zhirov, A. V., Shcherbina, V. N. (1988). *Tekhnicheskiiy otchet po teme «Sovershenstvovaniye i vnedreniye ustroystva dlya gorizontalnogo zondirovaniya i karotazha na obyektakh rekonstruktsii» [Technical report on the topic "Improvement and implementation of a device for horizontal sounding and logging at reconstruction sites"]. Kh.: UkrvostokGIINTIZ, 22644, 12. [in Russian].*
24. Solodukhin, M. A. (2000). *Nekotoryye problemy inzhenerno-geologicheskikh izyskaniy dlya promyshlennogo i grazhdanskogo stroitelstva. Geotekhnicheskkiye normy [Some problems of geotechnical surveys for industrial and civil construction. Geotechnical codes]. Reconstruction of cities and geotechnical construction, 3. [in Russian].*
25. *Sovremennyye problemy inzhenerno-geologicheskikh issledovaniy urbanizirovannykh territoriy (1987). [Modern problems of engineering and geological research of urbanized territories]. Modern problems of engineering geology and hydrogeology of the territories of cities and urban agglomerations. M.: Nauka, 5–7. [in Russian].*
26. Strizhelchik, G. G. (1983). *Problemy prognozirovaniya i upravleniya razvitiyem prirodno-teknogennykh sistem gorodskikh territoriy [Problems of forecasting and managing the development of natural and technogenic systems of urban areas]. Problems of engineering geology of cities: collection of articles scientific works, M.: Nauka, 92–95. [in Russian].*
27. Tabota, V. G., Strizhelchik, G. G. (1983). *Neblagopriyatnyye inzhenerno-geologicheskiye protsessy i osobennosti gradostroitelstva na territorii Levoberezhnoy Ukrainy [Unfavorable engineering-geological processes and features of urban planning in the territory of the Left-Bank Ukraine]. Problems of engineering geology of cities: collection of articles scientific works, M.: Nauka, 12–16. [in Russian].*
28. Tonkha, O., Menshov, O., Bykova, O., Pikovska, O. (2020). *Magnetic methods application for the physical and chemical properties assessment of Ukraine soil. Conference Proceedings, XIV International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment", 2020, 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056027>*
29. Ulitskiy, V. M., Lisyuk M. B. (2003). *Otsenka riska i obespecheniye bezopasnosti v stroitelstve [Risk assessment and safety in construction]. Reconstruction of cities and geotechnical construction, 5, 160-166. [in Russian].*
30. *Voprosy inzhenerno-geologicheskikh issledovaniy na zastraivayemykh territoriyakh: sb. nauch. tr. (1987). [Questions of engineering and geological research in the built-up areas: collection of articles scientific works]. M.: Stroyizdat, 94. [in Russian].*

**Ілля Михайлович Фик,**

д. техн. н., професор, завідувач кафедри мінералогії, петрографії та корисних копалин  
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна,  
м. Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна,  
e-mail: [ifyk@karazin.ua](mailto:ifyk@karazin.ua), <https://orcid.org/0000-0002-7453-5636>

**Олена Павлівна Варавіна,**

доцент кафедри видобування нафти, газу та конденсату,  
Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»,  
вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002, Україна,  
e-mail: [evaravina73@gmail.com](mailto:evaravina73@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-6715-5651>;

**Олена Іванівна Хріпко,**

ст. викладач кафедри мінералогії, петрографії та корисних копалин,  
Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна,  
e-mail: [elena.hripko@gmail.com](mailto:elena.hripko@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8303-7105>

## ГЕОЛОГІЧНІ КРИТЕРІЇ ТА МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ КОНДЕНСАТОВИЛУЧЕННЯ НА ПІЗНІЙ СТАДІЇ РОЗРОБКИ ГАЗОКОНДЕНСАТНИХ РОДОВИЩ

Робота спрямована на дослідження перспектив підвищення конденсатовилучення із газоконденсатних родовищ України з високим вмістом конденсату, які знаходяться на пізній стадії експлуатації. Розглядаються критерії та технології збільшення видобутку конденсату як на початкових стадіях розробки, так і на пізніх стадіях. Розглянуто методи підтримання пластового тиску на початкових стадіях розробки газоконденсатних родовищ, особливо – ряд нових модифікацій сайклінг-процесу, які дозволяють суттєво підвищити вилучення конденсату, показано графічне зображення наведених технологій розробки газоконденсатних покладів для різних геолого-промислових умов. Головну увагу приділено аналізу вторинних методів видобутку конденсату, що випав у пласті, на пізніх стадіях розробки газоконденсатних родовищ. В якості об'єктів досліджень вибрані газоконденсатні родовища України з високим вмістом конденсату (понад 200 г/м<sup>3</sup>). Наведені приклади ефективності розробки газоконденсатних покладів на окремих родовищах України. Аналіз показників розробки Тимофіївського нафтогазоконденсатного родовища та Розпашнівського газоконденсатного родовища показав, що з розглянутих п'яти теоретично можливих варіантів підвищення енергоефективності розробки газоконденсатних родовищ для практичного використання можуть бути рекомендовані два: перепуск газу (за наявності відповідних геологічних та технологічних умов) та продовження виснаження покладів в умовах низьких пластових тисків менше тиску максимальної конденсації. Організація перепуску газу з метою підвищення вилучення конденсату з виснажених пластів можлива за умови низького вмісту конденсату та більш високого пластового тиску у покладі, з якого планується здійснювати перепуск. Наведено принципову схему даного способу розробки газоконденсатних покладів. На пізній стадії експлуатації поклади з високим вмістом конденсату при пластових тисках менших за тиск максимальної конденсації доцільно розробляти на виснаження. Наведено математичний апарат, який може бути використаний для прогнозу розробки двох покладів в режимі перепуску газу з визначенням часу вирівнювання пластових тисків при їх виснаженні.

**Ключові слова:** газоконденсатні родовища, родовища на пізній стадії експлуатації, газоконденсатні системи, залишкові запаси, конденсатовилучення, геолого-промислові умови.

**И. М. Фик, Е. П. Варавина, Е. И. Хрипко. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ И МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КОНДЕНСАТООТДАЧИ НА ПОЗДНОЙ СТАДИИ РАЗРАБОТКИ ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.** Работа направлена на исследование перспектив повышения конденсатоотдачи на газоконденсатных месторождениях Украины с высоким содержанием конденсата, находящихся на поздней стадии эксплуатации. Рассматриваются критерии и технологии увеличения добычи конденсата как на начальных стадиях разработки, так и на поздних стадиях. Рассмотрены методы поддержания пластового давления на начальных стадиях разработки газоконденсатных месторождений, в особенности – ряд новых модификаций сайклінг-процесса, которые позволяют существенно повысить извлечение конденсата, дано графическое изображение приведенных технологий разработки газоконденсатных залежей для различных геолого-промышленных условий. Главное внимание уделено анализу вторичных методов добычи выпавшего в пласт конденсата на поздних стадиях разработки газоконденсатных месторождений. В качестве объектов исследований выбраны газоконденсатные месторождения Украины с высоким содержанием конденсата (более 200 г/м<sup>3</sup>). Приведены примеры эффективности разработки газоконденсатных залежей на отдельных месторождениях Украины. Анализ разработки Тимофеевского нефтегазоконденсатного месторождения и Розпашновского газоконденсатного месторождения показал, что из рассмотренных пяти теоретически возможных вариантов повышения энергоэффективности разработки газоконденсатных месторождений для практического использования могут быть рекомендованы два: перепуск газа (при наличии соответствующих геологических и технологических условий) и продолжение истощения залежей в условиях низких пластовых давлений меньше давления максимальной конденсації. Организация перепуска газа с целью повышения извлечения конденсата из истощенных пластов возможна при условии низкого содержания конденсата и более высокого пластового давления в залежи, из которой планируется осуществлять перепуск. Приведена принципиальная схема данного способа разработки газоконденсатных залежей. На поздней стадии эксплуатации залежи с высоким содержанием конденсата при пластовых давлениях меньших, чем давление максимальной конденсації, целесообразно разрабатывать на истощение. Приведен математический апарат, который может быть использован для прогноза разработки двух месторождений в режиме перепуска газа с определением времени выравнивания пластовых давлений при их истощении.

**Ключевые слова:** газоконденсатные месторождения, месторождения на поздней стадии эксплуатации, газоконденсатные системы, остаточные запасы, конденсатоотдача, геолого-промышленные условия.

**Вступ.** Україна – одна з найстаріших нафтогазовидобувних держав у світі. Газова промисловість України почала бурхливо розвиватись у 60-70 роки минулого століття після відкриття і введення в експлуатацію таких великих газових родовищ як Шебелинське, Хрестищенське, Меліхевське, Єфремівське, Кегичівське та інших. У 1975-1978 роках видобування газу в державі сягнуло свого апогею - 68 млрд. м<sup>3</sup> на рік, після чого почався спад об'ємів видобування. Відкривались невеликі родовища, як правило з невеликими запасами, видобування газу з яких не встигало компенсувати природне падіння видобування з таких великих родовищ як Шебелинське, Хрестищенське, Меліхівське та інших. Так, видобуток газу в ДК «Укргазвидобування» (головної газовидобувної компанії держави, яка видобувала 80 % газу в Україні) в 1998-2001 роках стабілізувався на рівні 13,5-13,6 млрд. м<sup>3</sup>. В цілому в Україні на той час видобувалось до 17 млрд. м<sup>3</sup> газу на рік. За 2019 рік видобуто біля 18 млрд. м<sup>3</sup>.

Постало питання вивчення можливості і пошуку шляхів збільшення річних об'ємів видобутку газу та конденсату із старих родовищ, сумарні залишкові запаси яких оцінені у понад 200 млрд. м<sup>3</sup> і віднесені до важко видобувних.

**Аналіз попередніх досліджень.** Активізація вилучення залишкових запасів на пізній стадії розробки газоконденсатних покладів потребувала впровадження нових технологій розробки, переоснащення газових промислів, перегляду газовидобувних можливостей родовищ [1, 2, 3].

Було визначено найважливіші науково-технічні, виробничі, організаційні та інвестиційні заходи, спрямовані на збільшення видобування газу і конденсату зі старих та виснажених родовищ, з яких і нині видобувається майже половина обсягів газу в Україні. Ці заходи було згруповано за наступними напрямками:

- буріння додаткових експлуатаційних свердловин в незадренованих зонах родовищ;
- переведення свердловин з виснажених покладів на пропущені за результатами дорозвідки;
- зниження робочих тисків експлуатаційних свердловин на ряді родовищ, що досягається шляхом реконструкцій компресорних станцій або подачі газу місцевим споживачам;
- будівництво насипних дамб у заплавах річок з метою вилучення раніше недоступних важко видобувних запасів газу і конденсату, з одночасним вирішенням екологічних проблем, похило спрямоване експлуатаційне буріння;
- зменшення недіючого фонду свердловин, активізація їх капітального ремонту;

- впровадження комплексу заходів з інтенсифікації видобування газу і конденсату на базі нових технологій, гідророзриви пластів;
- використання нових технологій розробки газоконденсатних родовищ (в тому числі з нафтовими облямітками) з підтриманням пластового тиску;
- термінова передача високодебітних розвідувальних свердловин в експлуатацію;
- впровадження на пізній стадії розробки газліфтною експлуатації свердловин на родовищах з високим вмістом конденсату.

Одним із найбільш важливих питань постає питання збільшення видобутку рідких вуглеводнів із газоконденсатних родовищ з високим вмістом конденсату, які знаходяться на пізній стадії експлуатації. Основними з таких родовищ в Україні є: Котелевське, Тимофіївське, Куличіхінське, Новотроїцьке, Березівське, Сахалінське, Комишнянське, Андріяшівське, Гоголівське, Рудівсько-Червонозаводське та інші.

Відомі технології і способи підвищення вуглеводневилучення [1,2,3,4,21] можна згрупувати за такими напрямками:

- підвищення вуглеводневилучення при розробці газоконденсатних родовищ на виснаження, залежно від типу покладу, геологопромислових і термобаричних умов, активності пластових вод, фізико-хімічних властивостей флюїдів (пасивні технології підвищення вуглеводневилучення);
- підвищення конденсатовилучення при розробці газоконденсатних родовищ з підтриманням пластового тиску (сайклінг-процес, заводнення, перепуск газу, закачування інших робочих агентів);
- видобуток конденсату, що випав у пласті, в результаті попередньої розробки на виснаження;
- підвищення коефіцієнта нафтовилучення з нафтових обляміток газоконденсатних родовищ.

Бікманом Є.С. в [8] показано динаміку питомого вмісту конденсату в пластовому газі в залежності від пластового тиску на родовищах України з високим його початковим значенням (рис. 1). Автор роботи відзначає, що газоконденсатні системи покладів гор. В-20 Рудівсько-Червонозаводського ГКР та гор. В-22 Сахалінського НГКР характеризуються «обвальною» конденсацією рідких вуглеводнів в районі тиску початку конденсації на рівні 31 та 48 МПа при початковому потенційному вмісті конденсату на рівні 900 г/м<sup>3</sup>. Інші висококонденсатні родовища Котелевське, Тимофіївське, Куличіхінське, Гоголівське (рис. 1) характеризуються меншими зна-

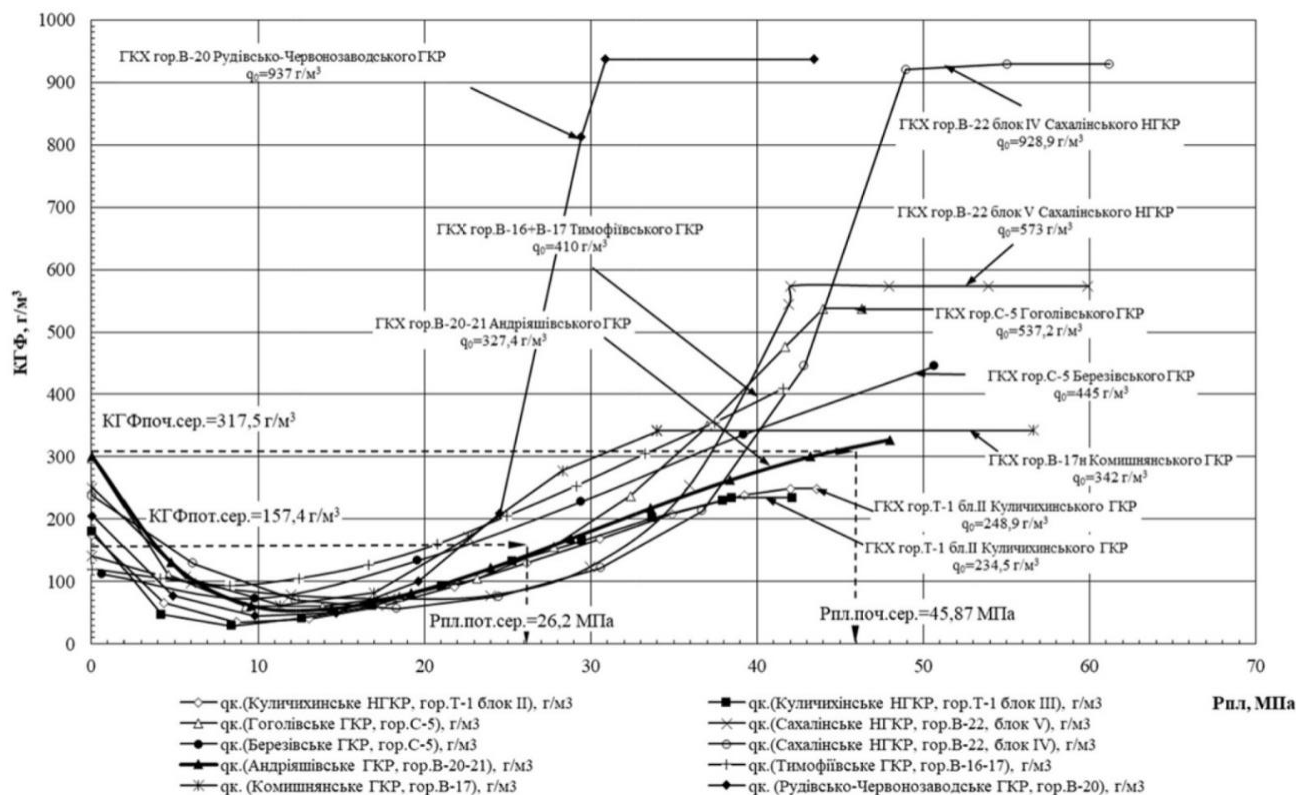


Рис. 1. Динаміка питомого вмісту конденсату в пластовому газі в залежності від тиску на родовищах України з високим початковим питомим вмістом конденсату

ченнями питомого вмісту конденсату - на рівні 300-500 г/м<sup>3</sup> [8].

Зазначається також, що в пластових умовах конденсується сирий конденсат. Його об'єм при початкових пластових умовах значно більший за об'єм стабільного конденсату. Із зниженням тиску він дегазується в поровому середовищі покладу, в результаті чого залишається практично стабільний конденсат у вигляді залишкової конденсатонасиченості. Так, в умовах початкової залишкової водонасиченості для більшості колекторів ДДЗ на рівні 9-20 % насиченість порового простору за рахунок випадіння конденсату може збільшуватись в середньому на 10-12 %, що створить загальну насиченість рідкої фази на рівні 19-30 %, тобто на межі теоретичної рухомості рідини. Це й зумовлює втрати важких вуглеводнів в процесі виснаження такого типу родовищ. Для покладів, газоконденсатні системи яких характеризуються обвальною конденсацією, насиченість порового простору може сягати 30-40 %, і більше що перевищує критичну насиченість, забезпечує його рухомість та збільшує видобуток. Для газоконденсатних родовищ з початковим питомим вмістом конденсату менше 500 г/м<sup>3</sup> такі умови мають місце в обмеженій привибійній зоні пласта (ПЗП).

У роботах [1, 2, 3, 4, 5] відмічається, що газоконденсатні родовища з високим початковим

вмістом конденсату в пластовому газі слід розробляти з підтриманням пластового тиску на рівні вищому за тиск початку конденсації. Лише у такому випадку може бути досягнуто максимального конденсатовилучення за умови оптимального впливу інших факторів на процес розробки.

До інших факторів, від яких залежить величина збільшення коефіцієнта конденсатовилучення при сайклінг-процесі і які можна регулювати, слід віднести [6]:

- модифікація сайклінг-процесу сама по собі;
- кількість і система розміщення нагнітальних і видобувних свердловин;
- система розкриття пластів перфорацією;
- об'єми закачуваного сухого газу;
- об'єми відбору газу та дебїти видобувних свердловин;
- репресії і депресії на пласт;
- робочі тиски і тиски нагнітання сухого газу на гирлах свердловин;
- фізико-хімічні властивості і склад газу, що закачується.

Найбільше на ефективність сайклінг-процесу впливає коефіцієнт охоплення витісненням сирого газу сухим, який має три складові:

- за площею покладу;
- за розрізом пластів;
- за структурою порового простору [7].

З метою підвищення коефіцієнта охоплен-

ня витісненням сирого газу сухим в роботах [1, 4, 6] запропоновано змінювати напрямки фільтраційних потоків у пласті шляхом зміни режимів закачування та відбору газу, вибіркового відключення та включення свердловин, переведення окремих видобувних свердловин у нагнітальні (в тому числі на пізній стадії розробки).

Для підвищення вуглеводневилучення газоконденсатних родовищ можна йти двома шляхами: перший – це використання методів підтримання пластового тиску на початкових стадіях їх розробки, і другий – використання вторинних методів видобутку конденсату, що випав у пласті, на більш пізніх стадіях.

Підтримання пластового тиску в газоконденсатних покладах може здійснюватися шляхом:

- зворотного закачування відсепарованого (сухого) природного газу (сайклінг-процес);
- закачування води (штучне заводнення);
- закачування в пласт штучного вуглеводневого газу;
- закачування неуглеводневих газів (вуглекислий газ, азот, димові і вихлопні гази, повітря);
- поєднання перелічених методів.

У теорії та практиці розробки газоконденсатних покладів шляхом закачування сухого газу виділяють кілька різновидів сайклінг-процесу [4]:

- повний сайклінг-процес, коли в пласт закачується весь відсепарований газ і в процесі розробки підтримується постійний пластовий тиск;
- частковий сайклінг-процес, коли в пласт закачується лише частина відсепарованого газу і розробка покладу здійснюється з пониженням пластового тиску, при цьому частина газу подається споживачеві;
- повний та частковий сайклінг-процес з попереднім зниженням пластового тиску в покладі.

Відомі різновиди сайклінг-процесу забезпечують збільшення коефіцієнта конденсатовилучення у порівнянні з виснаженням, але вони мають обмеження, обумовлені рядом чинників, головними з яких є [6]:

- попередній відбір газу з покладу перед сайклінг-процесом в умовах, коли початковий пластовий тиск рівний тискові початку конденсації;
- низький коефіцієнт охоплення витісненням пластового газу сухим як по площі, так і по розрізу, особливо в покладах з неоднорідними колекторами;
- випадання конденсату в депресійних лійках і привибійних зонах свердловин;
- недостатня підготовка газоконденсатних родовищ геологорозвідувальними роботами;

- відсутність підпорядкування і адаптації технології розробки до стану і реальних геолого-промислових умов газоконденсатного покладу на момент впровадження системи розробки з підтриманням пластового тиску.

Заслугує на увагу запропонований у [8] новий варіант сайклінг-процесу з двома модифікаціями. Відповідно до першої – здійснюється закачування у пласт сухого газу до утворення облямівки з нього у розмірі 0,4-0,6 газонасиченого об'єму покладу. Після цього здійснюється підтримання пластового тиску за рахунок заводнення пласта. Така технологія розробки газоконденсатного покладу відрізняється меншими енергетичними витратами в порівнянні з традиційним сайклінг-процесом. Вона забезпечує на пізній стадії розробки випаровування випавшого конденсату в газ та його витіснення із частини покладу, що заводнюється.

Інший різновид технології відрізняється тим, що до початку закачування у пласт сухого газу через нагнітальні свердловини закачується вода у кількості 0,05-0,1 від початкового порового об'єму покладу. Вода перш за все потрапляє у високо проникні тріщини. Така додаткова стадія дає можливість по перше - погіршити провідність системи тріщин, по друге - збільшити у пласті коефіцієнт охоплення витісненням пластового газу сухим [9].

Кожний різновид сайклінг-процесу має свої переваги і для конкретного газоконденсатного родовища вибирається залежно від його геолого-промислових, фізико-хімічних і термобаричних особливостей. Однак не завжди ці особливості визначають технологію сайклінг-процесу. Так наприклад, сайклінг-процес на Новотроїцькому родовищі почали після пониження пластового тиску з 35,6 до 28,6 Мпа. При цьому питомий вміст конденсату знизився з 417 г/м<sup>3</sup> до 317 г/м<sup>3</sup>. Причина – відсутність компресорів на тиск 40 МПа. Оптимальні варіанти розробки газоконденсатних родовищ вибирають під час проектування, причому головними показниками є як величина збільшення конденсатовилучення і вуглеводневилучення взагалі, так і економічні результати. При цьому геолого-промислові умови, як правило, не визначають різновид і модифікацію сайклінг-процесу.

Для підвищення конденсатовилучення суттєвим є збільшення коефіцієнта охоплення витісненням пластового газу сухим по площі і розрізу покладу, по структурі порового простору при розробці з підтриманням пластового тиску.

Авторами робіт [1, 2, 6, 7] було запропоновано ряд нових модифікацій сайклінг-процесу:

- сайклінг-процес з попереднім частковим виснаженням низькопроникних пластів;



- сайклінг-процес з послідовним підключенням пластів у процес витіснення, починаючи з низькопроникних;
- ступінчастий сайклінг-процес, який включає комбінації повного і часткового сайклінг-процесів з виснаженням;
- сайклінг-процес з попереднім підняттям пластового тиску у покладі;
- сайклінг-процес з попереднім підняттям пластового тиску, відбором нафти з нафтових об'ємів і переходом на ступінчастий сайклінг-

процес;

- сайклінг-процес у нафтових об'ємівках із зміщенням останніх у газову частину;
- підтримування пластового тиску шляхом перепуску газу із пластів з високим тиском і низьким вмістом конденсату в пласти з низьким тиском і високим вмістом конденсату.

На рис. 2, 3, 4 показано графічне зображення наведених технологій розробки газоконденсатних покладів для різних геолого-промислових умов.

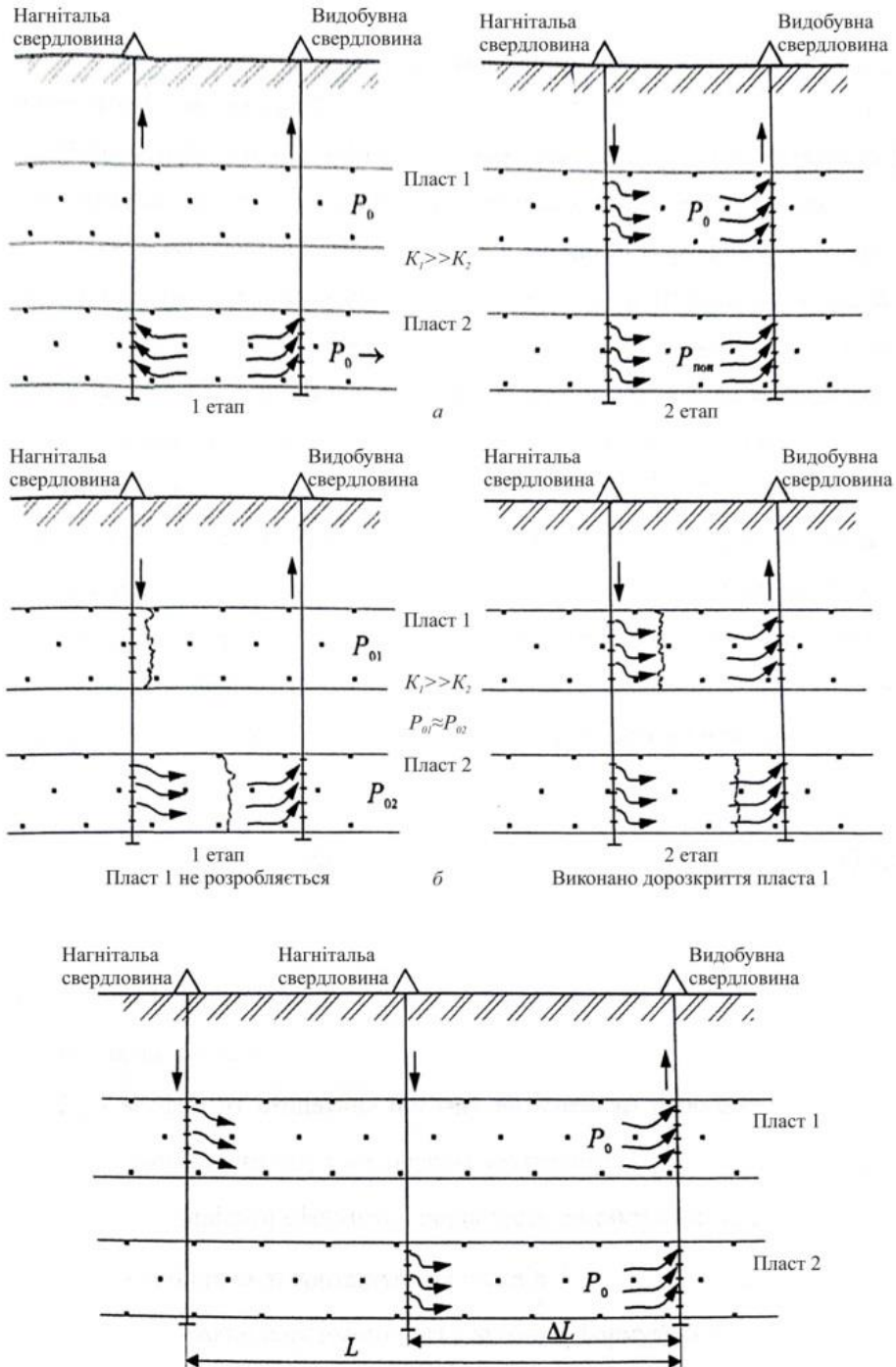


Рис. 2. Схеми здійснення нових модифікацій сайклінг-процесу: а – з пониженням пластового тиску в низькопроникному пласті; б – з послідовним включенням пластів у процес витіснення; в – із спеціальною сіткою свердловин





ком та високим вмістом конденсату, як систему розробки і видобування частини випавшого конденсату.

Четвертий - знизити пластовий тиск нижче тиску максимальної конденсації, забезпечивши зворотне випаровування рідкого конденсату, збільшення його питомого вмісту в залишковому пластовому газі із наступним видобуванням.

П'ятий – розробка газоконденсатних покладів з використанням сайклінг-процесу при пластових тисках нижчих тиску максимальної конденсації.

Розглянемо третій, четвертий і п'ятий способи розробки для газоконденсатних родовищ України з точки зору можливого видобування випавшого в пласті конденсату.

Одним з напрямків розв'язання проблеми є використання перепуску газу за наявності відповідних геологічних та технологічних умов. При цьому фізичною основою вторинного видобування конденсату є переведення частини конденсату, що випав у пласті, в газоподібний стан за рахунок підняття пластового тиску у виснаженому покладі [ 6, 19, 20 ].

Під наявністю геологічних умов розуміємо відкриття нового газового покладу з низьким вмістом конденсату на більших глибинах при збігу структурного плану з виснаженим газоконденсатним покладом або відкриття газового покладу неподалік від виснаженого газоконденсатного покладу який розробляється.

Технологічні умови можуть бути створені штучно, наприклад, якщо з декількох газоконденсатних покладів один розробляється на висна-

ження, а інші – в режимі сайклінг-процесу. Приклад таких умов вже маємо на Тимофіївському родовищі, адже поклади В-16, В-17 розробляються на виснаження, а поклад Т-1 розробляється у режимі сайклінг-процесу [20]. Саме явище підняття пластового тиску у виснажених газоконденсатних покладах відоме, однак невідомі були шляхи його здійснення, що й запропоновано в роботах авторів [ 1, 2, 3, 6 ].

Групою авторів із інституту УкрНДІГаз було досліджено питання повторного використання енергії сухого газу покладу, що пройшов стадію сайклінг-процесу, шляхом перепуску його у виснажені газоконденсатні поклади [ 6, 3, 19, 20 ].

Перепуск сухого газу і підняття тиску у виснажених пластах призводить до випаровування конденсату, що раніше випав у пласті, і підвищення конденсатонасиченості пластової системи [12].

Повторне виснаження газоконденсатного покладу після підняття тиску або виснаження обох покладів через верхній істотно підвищить кінцевий коефіцієнт конденсатовилучення і збільшить загальну економічну ефективність розробки газоконденсатного родовища [ 6, 19 ].

На рис. 5 наведено принципову схему розробки газоконденсатного покладу з перепуском високонапірного газу за способами: а – у свердловині; б – через поверхню; в – через поверхню з іншого родовища.

Період перепуску газу з покладу, що пройшов стадію сайклінг-процесу, в інший, виснажений поклад, і приблизне вирівнювання в них пластових тисків залежать від ряду парамет-

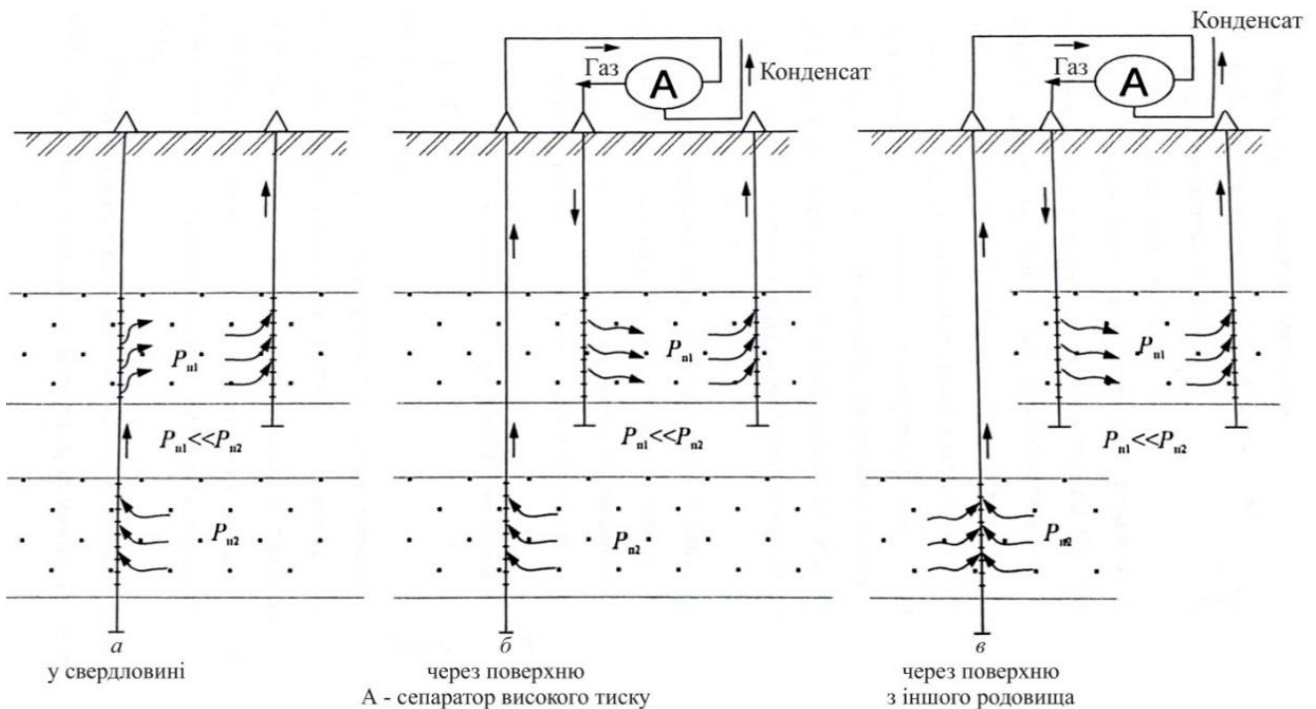


Рис. 5. Принципові схеми розробки газоконденсатних покладів з перепуском високонапірного газу

рів покладів і визначаються системою рівнянь (1) [6, 19]:

$$\begin{cases} \frac{P_{п1}}{Z_{п1}} - \frac{P_1}{Z_1} = \frac{P_{AT} t_1}{a_1 \Omega_1} Q_{пер}, \\ \frac{P_{п2}}{Z_{п2}} - \frac{P_2}{Z_2} = \frac{P_{AT} t_2}{a_2 \Omega_2} (-Q_{пер}), \\ Q_{пер} = \int_0^1 q dt, \quad q = \frac{dQ_{пер}}{dt}, \\ P_1^2 - P_2^2 = Aq, \end{cases} \quad (1)$$

де  $P_{п1}, P_1, P_{п2}, P_2$  - початковий і поточний пластові тиски у верхньому (1) і нижньому (2) покладах;

$Z_{п1}, Z_1, Z_{п2}, Z_2$  - коефіцієнти стисливості газу початкові та поточні у верхньому (1) і нижньому (2) покладах;

$P_{AT}$  - атмосферний тиск;

$t_1, t_2$  - температурні поправки;

$a_1, a_2$  - коефіцієнти газонасиченості;

$\Omega_1, \Omega_2$  - порові об'єми покладів;

$Q_{пер}$  - об'єм газу, що перепускається;

$q$  - добовий об'єм газу, що перепускається;

$A$  - сумарний коефіцієнт фільтраційного опору при перепуску газу з урахуванням обох покладів ( $A_1 + A_2$ ).

Із графіка видно, що додатковий видобуток конденсату при такій системі розробки може збільшитись на 25 %.

Коефіцієнт фільтраційного опору  $B$  визнача-

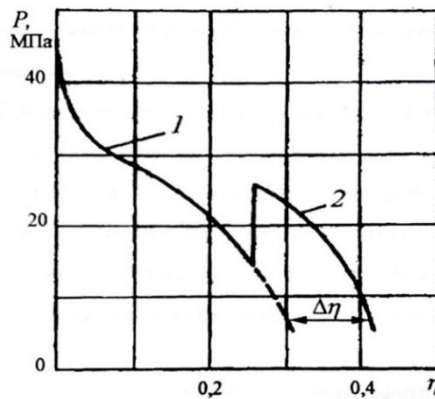


Рис. 6. Графік залежності коефіцієнта конденсатовилучення  $\eta$  від пластового тиску при розробці із виснаження (1) гор. В-16 і В-17 Тимофіївського родовища та із застосуванням перепуску (2);  $\Delta\eta$  - збільшення коефіцієнта конденсатовилучення за рахунок перепуску

ється такою системою рівнянь (2):

$$\begin{cases} \frac{d(P_1 / Z_1)}{dt} = -B_1 q_1 \\ \frac{d(P_2 / Z_2)}{dt} = -B_2 q_2 \end{cases} \quad B_1 = \frac{P_{AT} t}{a_1 \Omega_1}, \quad B_2 = \frac{P_{AT} t}{a_2 \Omega_2} \quad (2)$$

Враховуючи незначну зміну  $Z$ , з рівняння (2) одержимо:

$$\begin{cases} \frac{dP_1}{dt} = -B_1 Z_{1сер} q \\ -\frac{dP_2}{dt} = -B_2 Z_{2сер} q \end{cases} \quad (3)$$

Склавши обидва рівняння системи (2) і виходячи з умов (3), дістанемо:

$$\frac{d(P_1 - P_2)}{dt} = -\frac{(B_1 Z_{1сер} + B_2 Z_{2сер})}{A} q = \frac{(B_1 Z_{1сер} + B_2 Z_{2сер})}{A} (P_1 + P_2)(P_1 - P_2) \quad (4)$$

Якщо допустити, що середній тиск у покладах близький ( $P_1 + P_2 = 2P_{сер} = const$ ), то можна записати:

$$\begin{aligned} \Delta P &\approx \Delta P_{п} e^{-\frac{(B_1 Z_{1сер} + B_2 Z_{2сер})}{A} (P_1 + P_2)t} = \\ &= \Delta P_{п} e^{-\frac{t}{t^*}} \end{aligned} \quad (5)$$

де  $t^* = \frac{A}{(P_1 + P_2)(B_1 Z_1 + B_2 Z_2)}$  - характе-

рний час;

$\Delta P = P_1 - P_2$  та  $\Delta P_{п} = P_{п1} - P_{п2}$  - поточний і початковий тиски в покладах 1 і 2 і відповідні перепади тисків.

Якщо початкове співвідношення тисків у покладах не більше 3-8 разів, дістанемо, що час основного періоду вирівнювання тисків у покладах ( $t_h$ ) становитиме:

$$t_h = (1 - 2)t^* \quad (6)$$

це значить, що  $\frac{\Delta P}{\Delta P_{п}}$  складе  $e - e^2$ , де  $e$  - основа натурального логарифма.

За цей період ( $t_h$ ) шляхом перепуску газу (в основному) буде забезпечено вирівнювання пластових тисків у покладах.

Наведений математичний апарат може бути використаний для прогнозу розробки двох покладів в режимі перепуску з визначенням часу вирівнювання пластових тисків при їх виснаженні.

Спосіб підвищення конденсатовилучення шляхом перепуску газу у виснажений поклад розглянуто на прикладі Тимофіївського нафтогазоконденсатного родовища, в розрізі якого виділено два основні об'єкти розробки В-16 + В-17 і Т-1, газ яких характеризується високим вмістом конденсату (понад 400 г/м<sup>3</sup>).

Авторами вивчена можливість використання перепуску газу із горизонту Т-1 в гор. В-16 + В-17 в сучасних геолого-промислових умовах що склалися.

Поклад Т-1 розроблявся в режимі часткового сайклінг-процесу, поклади В-16 + В-17- на виснаження. Значна частина об'єму конденсату (69 % запасів) у покладах В-16 + В-17 випало у пласті у вигляді рідини.

Станом на 01.01.2019 року пластовий тиск в покладі горизонту Т-1 склав 20 МПа, в покладах В-16, В-17 – 8 МПа. Тобто за рахунок розробки покладів Т-1 в режимі сайклінг-процесу, а покладів В-16, В-17 на виснаження склалась геолого-промислова ситуація, за якої перепуск газу і підтримування пластового тиску у виснаженому покладі стає можливим. Однак, слід зауважити, що згідно графіків потенційного вмісту конденсату в пластовому газі (рис. 1), тиск у покладах горизонтів В-16, В-17 став меншим тиску максимальної конденсації. При цьому конденсатний фактор стабілізувався на рівні 36 г/м<sup>3</sup> і, згідно прогнозу, має утримуватись на цьому рівні до кінця розробки покладів горизонтів В-16, В-17. Однак, в покладі горизонту Т-1 середній конденсатний фактор в 2019 році склав 100 г/м<sup>3</sup> і до кінця розробки при виснаженні буде підтримуватись на рівні не менше 50 г/м<sup>3</sup>, що значно більше, ніж в горизонті В-16, В-17. Тобто перепуск газу із покладу горизонту Т-1 в поклади горизонту В-16, В-17 в геолого-промисловій ситуації, що склалася, стає неефективним.

Слід зауважити, що високий поточний конденсатний фактор в покладах горизонту Т-1 обумовлений зворотнім випаровуванням випавшого конденсату в газ закачки при сайклінг-процесі (незважаючи, що 70% видобутого з горизонту Т-1 газу – це «сухий» газ із вмістом конденсату до 30 г/м<sup>3</sup>).

Виходячи із викладеного, є очевидним, що поклади горизонту Т-1 слід продовжити розробляти в режимі сайклінг-процесу, краще - із закач-

кою азоту в нагнітальні свердловини [13]. Збільшення енергоефективності при цьому буде забезпечуватись переведенням випавшого конденсату в сухий газ закачки.

Щодо покладу горизонту В-16, В-17, то продовження його виснаження призведе до збільшення потенційного вмісту конденсату в пластовому газі, тому слід очікувати його збільшення, як і збільшення видобутку конденсату на одиницю видобутку газу.

Підвищення видобутку конденсату із газоконденсатних родовищ, що розробляються, реально може бути впроваджений за рахунок перепуску газу на Котелевському та Березівському ГКР.

Котелевське родовище пройшло стадію сайклінг-процесу і продовжує розробляти на виснаження. На момент закінчення сайклінг-процесу коефіцієнт охоплення витісненням «сирого» газу «сухим» склав 0.5, середній конденсатний фактор – 100 г/м<sup>3</sup>, пластовий тиск у серпуховських покладах (Н-5) склав 25 МПа.

Враховуючи, що у візейських покладах Котелевського ГКР продовжують відкриватись газоконденсатні поклади з низьким потенційним вмістом конденсату ( $q_k$ ) та високими пластовими тисками (до 70.0 МПа), то на цьому родовищі можлива організація системи розробки з перепуском газу, підйомом випавшого конденсату і в цілому збільшення енергоефективності розробки родовища.

На Березівському родовищі дещо інша ситуація: поклади серпуховських горизонтів розроблялись в режимі виснаження. Пластові тиски знизились до 15,0 МПа, а питомий вміст конденсату в пластовому газі - до 100 г/м<sup>3</sup>. У 2000 році у покладах серпуховських горизонтів Березівського ГКР було здійснено експеримент (за ініціативи Бікмана С.С.) по перепуску газу із візейських покладів (пластовий тиск 60,0 МПа,  $q_k$  – 40 г/м<sup>3</sup>) у серпуховські із пластовими тисками на рівні 35,0 МПа та  $q_k$  – 350 г/м<sup>3</sup>. За період експерименту додатковий видобуток конденсату склав понад 12 тис. т.

Враховуючи продовження відкриття нових газових покладів у глибоко залягаючих горизонтах Березівського родовища і значну кількість випавшого конденсату в серпуховських горизонтах, відновлення перепуску газу може значно підвищити енергоефективність розробки Березівського ГКР.

Щодо п'ятого способу розробки газоконденсатних покладів з високим вмістом конденсату, а саме: розробка на виснаження та з використанням сайклінг-процесу при пластових тисках нижче тиску максимальної конденсації, то він розглянутий в реальному часі розробки на

прикладі горизонтів П-1 та К-1-2 Розпашнівського ГКР.

Розпашнівське ГКР розташоване на території Карлівського району Полтавської області, родовище відкрито в 1973 р., введено в розробку в 1976 р., воно приурочено до монокліналі північно-західного простягання, з півночі обмеженої ніжкою соляного діяпіру. Промислова газонасність встановлена у відкладах нижньої пермі верхнього карбону і у крутопадаючих породах середнього та нижнього карбону. Станом на 01.01.2019 р. початкові запаси газу по категорії С<sub>1</sub> склали 55 195 млн. м<sup>3</sup> конденсату – 2 636 тис. т, у тому числі гор. П-1 + К-1,2 – 51 214 млн. м<sup>3</sup>. Початковий вміст конденсату в пластовому газі коливався в межах 40-60 г/м<sup>3</sup>.

На рис. 7 показано криві потенціального вмісту конденсату по горизонту П-1 + К-1-2 Розпашнівського ГКР в залежності від пластового

тиску. Середній початковий пластовий тиск по вказаним горизонтам склав 3,9 МПа. З рис. 7 слідує, що пластова газоконденсатна система після досягнення значення тиску максимальної конденсації (10 МПа) буде знаходитись в зоні зворотного випаровування рідкого випавшого конденсату в пластовий газ.

Станом на 2019 рік пластовий тиск в горизонтах П-1 + К-1-2 склав 3,7 МПа, тобто розробка покладів продовжується в зоні тисків нижче тиску максимальної конденсації.

Згідно наведених даних вміст С<sub>5+</sub> в пластовому газі горизонтів П-1 + К-1-2 Розпашнівського родовища може збільшуватись до 30 г/м<sup>3</sup> на пізній стадії експлуатації.

Розрахунки прогнозних показників розробки горизонту П-1 + К-1-2 Розпашнівського ГКР на період 2018-2030 роки, виконані УкрНДІгаз, наведені в таблиці 1.

Динаміка вмісту вуглеводнів С<sub>5+</sub>

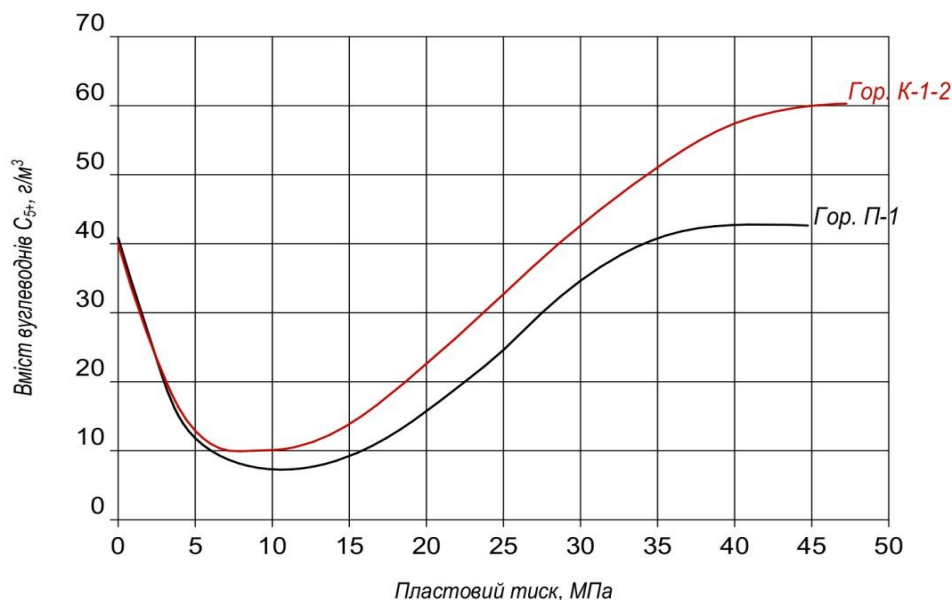


Рис. 7. Динаміка вмісту вуглеводнів С<sub>5+</sub> в пластовому газі горизонтів П-1 та К-1-2 Розпашнівського ГКР (за матеріалами УкрНДІгаз)

Із табл. 1 видно, що за період з 2018 по 2030 роки на загальному фоні зменшення видобутку газу по рокам з 238.128 млн. м<sup>3</sup> до 102.363 млн. м<sup>3</sup>, вміст конденсату у видобувному газі зростає з 15,16 г/м<sup>3</sup> до 18,9 г/м<sup>3</sup> при пониженні пластового тиску 3,88 МПа до 2,42 МПа. При цьому прогнозується збільшення річного видобутку конденсату на установках комплексної підготовки газу (УКПГ) як у валовому вираженні з 390 т у 2019 році до 527 т у 2030 році, так і відносному (на 1 м<sup>3</sup> видобутого газу) - з 1,51 г/м<sup>3</sup> до 5,15 г/м<sup>3</sup>. Сумарне вилучення конденсату на УКПГ може бути суттєво збільшене шляхом використання автоматизованих установок комплексної

підготовки газу, що використовують турбодетандерні агрегати для охолодження газу (ТДА) - з 9,66 г/м<sup>3</sup> у 2018 році до 13,3 г/м<sup>3</sup> у 2030 році. Таким чином ефективність розробки газоконденсатних родовищ на пізній стадії експлуатації при  $P_{пл} < P_{макс\ конд}$  підвищується за рахунок випаровування випавшої рідкої фази конденсату в газ. Із виконаного аналізу показників розробки випливає, що родовища на пізній стадії експлуатації з крутими характеристиками потенційного вмісту конденсату в пластовому газі можуть давати як суттєве збільшення видобутку конденсату на одиницю видобутку газу, так і збільшення в цілому видобутку конденсату, особливо з викорис-

Детальний розрахунок видобутку конденсату I-го об'єкта Розпашнівського ГКР

Роки	Пластовий тиск (на кінець року)	Видобуток газу (річний)	Промислові ресурси конденсату (вміст вуглеводнів C <sub>5+</sub> у видобувному газі) (річні)	Видобуток конденсату на УКПГ (фактичний видобуток) (річний)		Сумарне вилучення конденсату на УКПГ і ХЦУПГ з ТДА (річний)
	МПа			млн. м <sup>3</sup>	кг/тис.м <sup>3</sup>	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
Початок	3.98					
2018	3,88	238.128	15.16	1.51	0.360	9.66
2019	3.70	222.453	15.41	1.75	0.390	9.90
2020	3.54	209.376	15.74	2.08	0.435	10.22
2021	3.39	195.223	16.07	2.40	0.468	10.54
2022	3.25	181.558	16.40	2.72	0.494	10.87
2023	3.12	168.669	16.74	3.04	0.513	11.19
2024	3.00	156.892	17.06	3.36	0.527	11.51
2025	2.88	145.307	17.39	3.68	0.535	11.83
2026	2.78	135.132	17.71	3.99	0.539	12.14
2027	2.68	125.836	18.02	4.29	0.539	12.43
2028	2.59	117.645	18.32	4.58	0.539	12.73
2029	2.50	109.518	18.62	4.87	0.533	13.02
2030	2.42	102.363	18.91	5.15	0.527	13.30

танням підготовки газу на УПГ з ТДА.

Щодо розробки ГКР в режимі сайклінг-процесу, проведено ретроспективний аналіз прогнозних показників розробки Розпашнівського родовища. Якщо стабілізувати пластовий тиск в горизонтах П-1, К-1-2 у 2021 році на рівні 3.39 МПа, тоді видобуток конденсату складе лише на УКПГ 468 т, у наступному, наприклад 2025 році видобуток газу та конденсату залишиться на тому ж рівні, за умови допроривної експлуатації. Однак, якщо повернутись до розробки на виснаження, то за той же період видобуток газу впаде з величини 195,223 млн. м<sup>3</sup> до величини 145,307 млн. м<sup>3</sup>, але видобуток конденсату збільшився до 535 т, тобто при виснаженні лише на УКПГ буде отримано конденсату більше, ніж при використанні сайклінг-процесу.

**Висновки.** Із розглянутих п'яти теоретично можливих варіантів підвищення енергоефективності розробки газоконденсатних родовищ для практичного використання можуть бути рекомендовані лише два:

- перепуск газу;
- продовження виснаження покладів в умовах низьких пластових тисків менше тиску максимальної конденсації.

Організація перепуску газу з метою підвищен-

ня вилучення конденсату з виснажених пластів можлива за умови низького вмісту конденсату та більш високого пластового тиску у покладі, з якого планується здійснювати перепуск газу. Підвищення енергоефективності розробки родовища можлива на Котилевському та Березівському газоконденсатних родовищах, де висока ймовірність відкриття нових газових покладів у глибоких візейських горизонтах. Перепуск газу із покладу з більшими значеннями середнього конденсаційного фактору у поклад з меншими його значеннями є неефективним (як, наприклад, на Тимофіївському НГКР).

Із прогнозного аналізу розробки Розпашнівського ГКР впливає, що використання сайклінг-процесу на пізній стадії експлуатації газоконденсатних родовищ при пластових тисках менших за тиск максимальної конденсації ( $P_{пл} < P_{max}$ ) навіть у покладах з високим вмістом конденсату є недоцільним. Таким чином, такі родовища треба продовжувати розробляти на виснаження.

Наведений математичний апарат може бути використаний для прогнозу розробки двох покладів з відповідними геолого-промисловими умовами в режимі перепуску з визначенням часу вирівнювання пластових тисків при їх виснаженні.

#### Література

1. Фик І. М. Передові технології в газовій промисловості – запорука стабілізації і збільшення власного видобутку вуглеводнів в Україні / І. М. Фик // Колега. – 2005. - № 7-8. - С. 30-32.



2. Фык И. М. О повышении конденсатоотдачи истощенных залежей / И. М. Фык, Е. С. Бикман // Нефтяная и газовая промышленность. – 1984. – № 3. – С. 31-32.
3. Фик І. М. Шляхи підвищення вуглеводневідачі газоконденсатних родовищ України / І. М. Фик, В. С. Григор'єв, Є. С. Бікман / Нафта і газ України 96 : матер. наук.-практ. конф. – Т.2. – Харків, 1996. – С. 48-49.
4. Резуненко В. И. Применение сайклинг-процесса на Новотроицком месторождении / В. И. Резуненко, В. Ф. Будимич, И. И. Борисовец // Нефтяная и газовая промышленность. – 1984. – № 4. – С. 35-39.
5. Оценка степени охвата пластов вытеснением на Новотроицком газоконденсатном месторождении / А. И. Гутников, Л. Ф. Садовская, Е. И. Степанюк и др. / Сб. науч. тр. – Москва : ВНИИГаз, 1988. – С. 99-102.
6. Бикман Е. С. Исследование процесса поддержания пластового давления путем межпластового перепуска газа / Е. С. Бикман, А. И. Гутников, И. М. Фык / Сб. науч. тр. – Москва : ВНИИГаз, 1988. – С. 113-118.
7. Пат. 16203 Україна, МПКЕ21В43/18. Спосіб розробки газоконденсатного покладу з підстилаючою водоплаваючою нафтовою оторочкою / Фик І. М., Матвеев І. М., Ткач Й. Н. та ін. - Опубл. 29.08.97, Бюл. №4. – 5 с.
8. Бікман Є. Проблемні питання розробки газоконденсатних родовищ з високим вмістом конденсату в пластовому газі / Є. Бікман / Шоста міжнародна науково-практична конференція «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування» (Україна, м. Трускавець, 07-11.10.2019). – С. 458-460.
9. Фик І. М. Проектні рішення з новими технологіями на Кулінічівському нафтогазоконденсатному родовищі / І. М. Фик // Нафтова і газова промисловість. – 1997. - № 5. – С. 25-27.
10. Тер-Саркисов Р. М. Повышение углеводородоотдачи пласта нефтегазоконденсатных месторождений / Р. М. Тер-Саркисов. – Москва : Недра, 1995. – 167 с.
11. Фик І. М. Спосіб запобігання випадінню конденсату в пласті / І. М. Фик // Нафтова і газова промисловість. – 1997. – № 3. – С. 21-23.
12. Тер-Саркисов Р. М. Конденсатоотдача пласта при вытеснении пластового газа неравновесным в различных областях фазовых превращений / Тер-Саркисов Р. М., Николаевский А. В. // Газовая промышленность. – 1993. – № 6. – С. 32-33.
13. Тер-Саркисов Р. М. Перспективы использования азотных и азотсодержащих газов для повышения углеводородоотдачи газоконденсатного пласта / Тер-Саркисов Р. М., Пекшин М. А. – Москва : ВНИИГаз, 1995. – С. 12-17.
14. Гуревич Г. Р. Разработка газоконденсатных месторождений с поддержанием пластового давления / Г. Р. Гуревич, В. А. Соколов, П. Г. Шмыгля. – Москва : Недра, 1976. – 184 с.
15. Вдовиченко А. І. Новий науковий світогляд, заснований на вченні про поновлюваність глибинних вуглеводневих ресурсів / Вдовиченко А. І., Єрмаков П. П., Єрмаков Н. П. / Шоста міжнародна науково-практична конференція «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування України» (Трускавець, 07-11.10.2019 р.). – С. 37-42.
16. Фик І. М. Геолого-фізичні передумови і технології регулювання сайклінг-процесу / І. М. Фик // Нафтова і газова промисловість. – 1997. – №2. – С. 23-24.
17. Фык И. М. К вопросу охвата вытеснением при сайклинг-процессе / И. М. Фык // Нефтяная и газовая промышленность. – 1991. – №3. – С. 33-34.
18. Довідник з нафтогазової справи / За заг. ред. д-рів техн. наук В. С. Бойка, Р. М. Конрата, А. С. Яремійчука. – Львів : ІФДТУНГ, 1996. – 620 с.
19. Геологические предпосылки конденсатоотдачи газоконденсатных месторождений Котелевско-Березовской зоны УССР / Дудко Н. А., Токой Й. Н., Григорьев В. С., Фык И. М. и др. // ВНИИГазпром. Сер. Геология, бурение и разработка газовых и морских нефтяных месторождений. – Вып. 12. – 1983. – С. 1-4.
20. Бікман Є. С. Підвищення вуглеводневідачі виснажених газоконденсатних покладів на прикладі горизонтів В-16 + В-17 Тимофіївського нафто-газоконденсатного родовища / Нафта і газу України : Матеріали науково-практичної конференції (Харків, 1996 р., 14-16 травня). – Харків: УНГА, 1996. – Т. 1. – С. 50-52.
21. Kerunwa A. Optimization of condensate recovery using gas recycling technique / A. Kerunwa, C. Uchebuako // Petroleum & Coal. Vol. 57(5). – 2015. – P. 565-572. – Access mode : [https://www.researchgate.net/publication/303045107\\_Optimization\\_of\\_condensate\\_recovery\\_using\\_gas\\_recycling\\_technique](https://www.researchgate.net/publication/303045107_Optimization_of_condensate_recovery_using_gas_recycling_technique)

Надійшла до редакції 22 березня 2021 р.  
Прийнята 27 травня 2021 р.

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

UDC 622.279.4+553.98

*Ilya Fyk,*

DSc (Engineering), Professor, Head of Department of Mineralogy, Petrography and Minerals,  
V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,  
e-mail: [ifyk@karazin.ua](mailto:ifyk@karazin.ua), <https://orcid.org/0000-0002-7453-5636>;

*Olena Varavina,*

Associate Professor, Department of Oil, Gas and Condensate extraction,  
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,  
2 Kyrpychova St., Kharkiv, 61002, Ukraine,  
e-mail: [evaravina73@gmail.com](mailto:evaravina73@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-6715-5651>;

*Olena Khripko,*

Senior Lecturer, Department of Mineralogy, Petrography and Minerals,  
V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [elena.hripko@gmail.com](mailto:elena.hripko@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8303-7105>

## GEOLOGICAL CRITERIA AND METHODS TO INCREASE CONDENSATE EXTRACTION AT THE LATE STAGE OF GAS CONDENSATE DEPOSITS' DEVELOPMENT

**Formulation of the problem.** Ukraine is one of the oldest oil and gas producing countries in the world. Maximum volumes of gas (68 billion m<sup>3</sup> per year) were extracted in 1975-1978. After this period, production began to decline. About 18 billion m<sup>3</sup> of gas was extracted in 2019 in Ukraine. The question arose of studying ways to increase the annual production of gas and condensate from old fields. The total residual reserves of deposits in late operation are estimated at more than 200 billion m<sup>3</sup> and are classified as difficult to extract.

**Review of previous publications and studies.** Scientific publications consider technologies and ways to increase hydrocarbon extraction. Bikman E. S showed the dynamics of the specific condensate content in gas formation depending on the formation pressure at the fields of Ukraine. Reducing pressure during the development of gas condensate deposits with a high initial content of condensate in the formation gas to the condensation start pressure leads to "avalanche" condensation of liquid hydrocarbons. This causes the loss of heavy hydrocarbons in the depletion process of this type of field.

There are two ways to increase hydrocarbon recovery of gas condensate fields: to use methods to maintain reservoir pressure in the initial stages of their development, and to use secondary methods of condensate extraction that fell in the reservoir at the later stages.

**Object of research:** gas-condensate fields with significant volumes of condensate that have fallen into them, and the possibility of its extraction at a later stage of development.

**Results.** In this study, the authors identified systems of gas-condensate fields development to ensure the extraction of condensate in the formation. The article considers five theoretically possible options to improve the energy efficiency of gas condensate fields. For practical use, two methods are recommended: gas bypass from deposits with high pressure and low condensate content in deposits with lower formation pressure and high condensate content; continued depletion of deposits at low formation pressures less than the maximum condensation pressure.

The organization of gas bypass in order to increase the extraction of condensate from depleted formations is possible under the condition of low condensate content and higher formation pressure in the deposit from which it is planned to carry out gas bypass. The transfer of gas from a deposit with higher values of the average condensation factor to a deposit with lower values is inefficient. The authors apply a mathematical device which can be used to forecast development of two deposits in the mode of gas bypass with definition of alignment time of formation pressures in their depletion.

It is established that the use of the cycling process at the late stage of gas-condensate fields operation at formation pressures less than the maximum condensation pressure ( $P_{\text{reservoir}} < P_{\text{max}}$ ) is impractical even in deposits with high condensate content. Thus, such deposits should continue to be developed for depletion.

We analyzed the efficiency of gas condensate deposits development on the example of separate deposits of Ukraine.

**Keywords:** gas-condensate fields, fields at a late stage of operation, gas condensate systems, residual reserves, condensate extraction, geological conditions.

### References

1. Fik I.M. (2005). *Advanced technologies in the gas industry – a guarantee of stabilization and increase of own production of hydrocarbons in Ukraine*. *Colleague*, 7-8, 30-32. [in Ukrainian]
2. Fyk I.M., Bikman E.S. (1984). *On increasing the condensate recovery of depleted deposits*. *Oil and gas industry*, 3, 31-32. [in Russian]
3. Fik I.M., Grigoriev V.S., Bikman E.S. (1996). *Ways to increase hydrocarbon recovery of gas condensate fields of Ukraine*. *Oil and gas of Ukraine 96: mater. scientific-practical conf.*, 2. Kharkiv, 48-49. [in Ukrainian]
4. Rezenenko V.I., Budimich V.F., Borisovets I.I. (1984). *Application of the cycling process at the Novotroitskoye field*. *Oil and gas industry*, 4, 35-39. [in Russian]
5. Gutnikov A.I., Sadovskaya L.F., Stepanyuk E.I. et al. (1988). *Assessment of the degree of coverage of reservoirs by displacement in the Novotroitsk gas condensate field*. *Sat. scientific. tr. Moscow, VNIIGaz*, 99-102. [in Russian]
6. Bikman E.S., Gutnikov A.I., Fyk I.M. (1988). *Investigation of the process of maintaining reservoir pressure by interstratal gas bypass*. *Sat. scientific. tr. Moscow: VNIIGaz*, 113-118. [in Russian]
7. Fik I.M., Matveev I.M., Tkach Y.N. et al. (1997). *Pat. 16203 Ukraine, MPKE21V43/18. Publ. 29.08.97, Bull. 4, 5*. [in Ukrainian]
8. Bikman E. (2019). *Problematic issues of development of gas condensate fields with high condensate content in reservoir gas* *Sixth International Scientific and Practical Conference "Subsoil Use in Ukraine. Investment prospects" (Ukraine, Truskavets, October 7-11, 2019)*, 458-460. [in Ukrainian]
9. Fik I.M. (1997). *Design solutions with new technologies at the Kulinichikha oil and gas condensate field*. *Oil and gas industry*, 5, 25-27. [in Ukrainian]
10. Ter-Sarkisov R.M. (1995). *Increase of hydrocarbon recovery from oil and gas condensate fields*. *Moscow: Nedra*, 167. [in Russian]
11. Fick I.M. (1997). *Method of preventing condensate in the reservoir*. *Oil and gas industry*, 3, 21-23. [in Ukrainian]
12. Ter-Sarkisov R.M., Nikolaevsky A.V. (1993). *Condensate recovery of the reservoir during the displacement of reservoir gas by nonequilibrium in various areas of phase transformations*. *Gas industry*, 6, 32-33. [in Russian]
13. Ter-Sarkisov R.M., Pekshin M.A. (1995). *Prospects for the use of nitrogen and nitrogen-containing gases to increase hydrocarbon recovery of a gas condensate reservoir*. *Moscow: VNIIGaz*, 12-17. [in Russian]
14. Gurevich G.R., Sokolov V.A., Shmyglya P.G. (1976). *Development of gas condensate fields with the maintenance of reservoir pressure*. *Moscow: Nedra*, 184. [in Russian]
15. Vdovychenko A.I., Yermakov P.P., Yermakov N.P. (2019). *New scientific worldview, based on the doctrine of renewable deep hydrocarbon resources*. *Sixth International Scientific and Practical Conference "Subsoil Use in Ukraine. Prospects for investment in Ukraine" (Truskavets, 07-11.10.2019)*, 37-42. [in Ukrainian]
16. Fick I.M. (1997). *Geological and physical prerequisites and technologies for regulating the cycling process*. *Oil and gas industry*, 2, 23-24. [in Ukrainian]
17. Fyk I.M. (1991). *On the issue of coverage by displacement in the cycling process*. *Oil and gas industry*, 3, 33-34. [in Russian]
18. *Handbook of oil and gas (1996). For general. ed. Dr. Tech. Sciences V.S. Boyko, R.M. Konrat, A.S. Yaremychuk*. *Lviv: IFDTUNG*, 620. [in Ukrainian]
19. Dudko N.A., Tokoy Y.N., Grigoriev V.S., Fyk I.M. et al. (1983). *Geological prerequisites for condensate recovery of gas condensate fields of the Kotelevsko-Berezovskaya zone of the Ukrainian SSR*. *VNIIGazprom. Ser. Geology, drilling and development of gas and offshore oil fields*, 12, 1-4. [in Russian]
20. Bikman E.S. (1996). *Increasing the hydrocarbon recovery of depleted gas-condensate deposits on the example of horizons B-16 + B-17 of the Tymofiy oil and gas condensate field*. *Oil and gas of Ukraine: Proceedings of the scientific-practical conference (Kharkiv, 1996, 14-16 May)*. *Kharkiv: UNGA*, 1, 50-52. [in Ukrainian]
21. Kerunwa A., Uchebuako C. (2015). *Optimization of condensate recovery using gas recycling technique*. *Petroleum & Coal*. 57(5), 565-572. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/303045107\\_Optimization\\_of\\_condensate\\_recovery\\_using\\_gas\\_recycling\\_technique](https://www.researchgate.net/publication/303045107_Optimization_of_condensate_recovery_using_gas_recycling_technique)

УДК 553. 048

**Василь Васильович Хроль,**

провідний геофізик, ГУ «Укргазпромгеофізика»,  
вул. Драгомирівська, 3, м. Харків, 61031, Україна,  
e-mail: [vkhol87@gmail.com](mailto:vkhol87@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-5776-0233>;

**Анатолій Іонович Лур'є,**

д. геол.-мінер. н., професор, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,  
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна,  
e-mail: [anlure16@gmail.com](mailto:anlure16@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-4836-5781>

## КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ВУГЛЕВОДНЕНАСИЩЕННЯ УЩІЛЬНЕНИХ ПІЩАНО-АЛЕВРИТОВИХ ПОРІД В УМОВАХ ДДЗ

Складна ситуація з енергетичними носіями в Україні змусила звернути увагу на вивчення нетрадиційних колекторів, серед яких важливу роль відіграють ущільнені піщано-алеєвритові породи. Причиною, що змусила звернути увагу на ущільнені породи є виснаження, в значній мірі, традиційних покладів. Вперше ущільнені піщано-алеєвритові різновиди в Дніпровсько-Донецькій западині були розглянуті при дослідженні газу центральнобасейнового типу. Проведені дослідження дозволили виділити основні критерії виявлення вуглеводненасищення ущільнених порід, які супроводжуються певними показниками. Запропоновані критерії накопичення та збереження вуглеводнів в ущільнених піщано-алеєвритових товщах дають можливість оцінювати перспективи нафтогазоносності цих відкладів. Насищення ущільнених порід пов'язано з висхідною міграцією газу, що призводить до підвищення температури, а це, в свою чергу, до активізації процесу перетворення органічної речовини. Утримання вуглеводнів в ущільнених піщано-алеєвритових породах супроводжується розвитком маловодності, поєднанням низької щільності і високої проникності порід, ін. Такий поділ носить умовний характер, так як геологічні критерії та показники часто взаємодіють і доповнюють один одного. В роботі розглянуто кожен з критеріїв окремо. В якості об'єкту досліджень була розглянута південна прибортова зона Дніпровсько-Донецької западини, в якій за загальними ознаками були виявлені зони поширення ущільнених піщано-алеєвритових порід. При виділенні зон перспективності вуглеводненасищених ущільнених піщано-алеєвритових порід була взята за основу температурна характеристика з урахуванням фактичного матеріалу. На першому етапі оцінки перспектив нафтогазоносності ущільнених піщано-алеєвритових порід виділені ділянки з аномально підвищеними температурами, а на другому етапі застосовується детальне дослідження запропонованих показників.

**Ключові слова:** ущільнені піщано-алеєвритові породи; вуглеводненасищення; геологічні критерії; процеси; міграція; температура; утримання; надходження.

**В. В. Хроль, А. И. Лурье. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ УГЛЕВОДОРОДОНАСЫЩЕНИЯ УПЛОТНЕННЫХ ПЕСЧАНО-АЛЕВРИТОВЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ ДДВ.** Сложная ситуация с энергетическими носителями в Украине заставила обратить внимание на изучение нетрадиционных коллекторов, среди которых важную роль играют уплотненные песчано-алеєвритовые породы. Причиной, заставившей обратить внимание на уплотненные породы является истощение, в значительной степени, традиционных залежей. Впервые уплотненные песчано-алеєвритовые разновидности в Днепро-Донецкой впадине были рассмотрены при исследовании газа центральнобасейнового типа. Проведенные исследования позволили выделить основные критерии выявления углеводородонасыщенных уплотненных пород, сопровождающиеся определенными показателями. Предложенные критерии накопления и сохранения углеводородов в уплотненных песчано-алеєвритовых толщах дают возможность оценивать перспективы нефтегазоносности этих отложений. Насыщение уплотненных пород связано с восходящей миграцией газа, что приводит к повышению температуры, а это, в свою очередь, к активизации процесса преобразования органического вещества. Содержание углеводородов в уплотненных песчано-алеєвритовых породах сопровождается развитием маловодности, сочетанием низкой плотности и высокой проницаемости пород, др. Такое разделение носит условный характер, так как геологические критерии и показатели часто взаимодействуют и дополняют друг друга. В работе рассмотрены каждый из критериев в отдельности. В качестве объекта исследований была рассмотрена южная прибортовая зона Днепро-Донецкой впадины, в которой по общим признакам были обнаружены зоны распространения уплотненных песчано-алеєвритовых пород. При выделении зон перспективности углеводородонасыщенных уплотненных песчано-алеєвритовых пород была взята за основу температурная характеристика с учетом фактического материала. На первом этапе оценки перспектив нефтегазоносности уплотненных песчано-алеєвритовых пород выделены участки с аномально повышенными температурами, а на втором этапе применяется детальное исследование предложенных показателей.

**Ключевые слова:** уплотненные песчано-алеєвритовые породы; углеводородонасыщение; геологические критерии; процессы; миграция; температура, удержание; поступление.

**Вступ.** В сучасний період збільшення ресурсної бази значною мірою пов'язаний з дорозвідкою родовищ, які перебувають в розробці. Останній процес включає в себе вивчення нетрадиційних колекторів, серед яких значний інтерес представляють ущільнені піщано-алеєвритові породи.

До недавнього часу, країна знаходилась осторонь цього важливого процесу. Неухильне зростання обсягів споживання сировини призведе-

ло до пошуку альтернативних джерел вуглеводнів. Розвиток галузі спрямований в сторону вивчення існуючих родовищ з впровадженням та залученням новітніх, удосконалених технологій. В даному випадку необхідно акцентувати увагу на вивченні покладів вуглеводнів нетрадиційного типу в ущільнених породах, які раніше недостатньо розглядалися як джерела вуглеводнів [1]. Результати проведених досліджень свідчать, що ресурси газу ущільнених піщано-алеєвритових

порід можуть перевищувати ресурси традиційних покладів [2]. У зв'язку з цим, розвиток даного напрямку являється актуальним. Безперечно, пошук вуглеводнів в ущільнених піщано-алевритових породах в межах Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) буде набувати розвитку. У зв'язку з чим, всебічна вивченість має велике теоретичне та практичне значення для правильної орієнтації в пошуці ущільнених вуглеводненасичених порід осадових утворень. Більшість традиційних колекторів в межах ДДЗ добре вивчені, тому доцільно використовувати раніше отримані теоретичні та практичні знання застосовуючи їх при вивченні ущільнених порід. На основі останніх створити модель, яка буде спрямована на інтенсифікацію та вилучення вуглеводнів з ущільнених піщано-алевритових порід на працюючих родовищах або пошуково-розвідувальних об'єктах.

Основною проблемою слід вважати недостатню вивченість, умов та територію розповсюдження газу ущільнених порід в Україні. Раніше, у зв'язку з великою кількістю запасів газу в традиційних покладах, вуглеводні ущільнених порід не розглядалися як перспективне джерело. Одною з причин, що змусила поновити інтерес до ущільнених порід – це виснаження, в значній мірі, традиційних покладів. Успішне застосування методики видобутку вуглеводнів з ущільнених порід в зарубіжних країнах підштовхнуло Україну до розвитку цього напрямку. Різноманітний літологічний склад, широкий фаціальний набір та інші геологічні обставини створюють сприятливі умови для формування об'єктів ущільнених вуглеводненасичених порід в межах ДДЗ.

**Мета роботи:** Запропонувати основні геологічні критерії виявлення вуглеводненасичення ущільнених порід, які супроводжуються певними показниками.

**Аналіз попередніх робіт.** До недавнього часу інформація по ущільненим вуглеводненасиченим піщано-алевритовим породам найчастіше зустрічалась лише в зарубіжних виданнях. Масштабні роботи, спрямовані на зміцнення енергетичного впливу за рахунок видобутку вуглеводнів в ущільнених породах, проводяться в США, Канаді, КНР [2]. На теренах України вивченням даного напрямку майже не займалися. В 60-і рр. ХХст працівники УкрНДІгазу спробували детально дослідити ущільнені вуглеводненасичені породи, але в той час даний напрямок не набув розвитку. Ці дослідження пов'язані з іменами Мухаринської І.О., Харченко С.Д., Лагутіна А.А. та ін. Перспективність ДДЗ на газ ущільнених піщано-алевритових порід обґрунтовано в роботах Б.П. Кабишева [9]. Наприкінці 90-х рр ХХ століття інтерес до ущільнених порід був понов-

лено. Вперше була проведена кількісна оцінка ресурсів газу «центральнобасейного типу»[2]. В одній із своїх робіт О.Ю. Лукін стверджує, що низькопроникні теригенні породи тісно пов'язані з іншими нетрадиційними джерелами вуглеводнів (вугільний метан, сланцевий газ). У викладеному матеріалі прослідковується їх генетична спільність, де основну роль відіграє постійне поповнення товщі газом з різних джерел. В іншій своїй роботі О.Ю. Лукін [7] підкреслює розвиток «спільних факторів формування нетрадиційних ресурсів газу...» глибинної міграції та розвитку катагенетичних процесів. Він в своїх роботах неодноразово відмічає різноманітність процесу накопичення газу як за рахунок глибинної міграції вуглеводнів, так і завдяки перетворенню власної органіки. На прикладі США О.Ю. Лукін показав перспективи розвитку та сучасний стан проблеми пошуків газу щільних порід в Україні [8].

В роботі І.В. Височанського з співавторами [10] приводиться беззаперечні докази стосовно перспективності неантиклінальних пасток нафти і газу у теригенних відкладах. Він наголошує про існування в ДДЗ широкого спектру сприятливих генетичних факторів розвитку вуглеводненасичення в ущільнених піщано-алевритових породах.

В роботі В.Г. Суярко з співавторами [14] приводить аналіз результатів нафтогазопошукових робіт у східній частині Дніпровсько-Донецького палеорифту. Він схиляється до того, що розміщення скупчень вуглеводнів у пастках різних типів обумовлюється структурно-тектонічними, літологічними та флюїодинамічними умовами.

Необхідно відмітити роботу В.М. Бенько з співавторами [25], в якій розглянуті особливості геологічної будови і перспективи нафтогазоносності глибокозанурених горизонтів Дніпровсько-Донецької западини.

Великим поштовхом у вивченні ущільнених колекторів в Україні можна вважати вихід багатотомної монографії «Нетрадиційні джерела вуглеводнів України», де розглянуті перспективи освоєння газозносного потенціалу ущільнених порід ДДЗ. В роботі приведені різноманітні нетрадиційні джерела, в тому числі газозносний потенціал ущільнених порід.

В роботі [12] авторами приведені закономірності змін ущільнення кварцитоподібних пісковиків з глибиною.

В останні десятиліття питання відносно ущільнених піщано-алевритових порід в ДДЗ були розглянуті під час досліджень газу центральнобасейного типу. До недавнього часу виявлення газу в ущільнених породах носило в собі загальний характер та не обґрунтовувалось фактичним матеріалом.

**Виклад основного матеріалу:** Загально прийнято, що територія ДДЗ за тектонічною належністю поділяється на приосьову, південний та північний борти, прибортові зони. Не зважаючи на те, що кожна зона характеризується різною історією геологічного розвитку та є мінливою, в кожній з них в різному вигляді виділяються об'єкти розповсюдження ущільнених порід, які можуть бути насичені вуглеводнями.

Характер залягання ущільнених піщано-алевритових різновидів дуже різноманітний [20]. У зв'язку з своєрідною специфікою літологічних пачок, ущільнені породи необхідно розглядати як окремо, так і комплексно в безпосередньому контакті з традиційними породами-колекторами.

Науково-теоретичні дослідження та фактичний матеріал дозволяють виділити в умовах ДДЗ перспективні стратиграфічні комплекси на предмет вуглеводненасичення в ущільнених піщано-алевритових породах [19]. Найбільшого розвитку ущільнені піщано-алевритові породи набувають в межах нижньопермсько-верхньокам'яновугільних та середньо-нижньокам'яновугільних комплексів.

Основними критеріями виявлення ущільнених порід слід вважати ступінь насиченості порід та характер утримання вуглеводнів. Розглянемо показники, які характеризують ці два процеси.

Процес поповнення товщі ущільнених порід вуглеводнями досить різноманітний та складний. В першу чергу, він пов'язаний з висхідною міграцією газу, що надалі призводить до підвищення температури, яка в свою чергу активізує процес перетворення власної та привнесеної органічної речовини. З огляду на це, прослідковується тісний причинно-наслідковий зв'язок, що призводить до різностороннього збагачення товщі вуглеводнями.

Наступний показник можна називати збереженням, утриманням або присутністю вуглеводнів в ущільненій товщі. Дане ствердження можна застосовувати до кожного із наведених показників, тому надалі вони будуть використовуватись як одне визначення. До показників присутності вуглеводнів в ущільнених піщано-алевритових породах відносяться: маловодність, поєднання низької щільності та високої проникності товщі, які досить успішно можна визначити при проведенні геолого-газо-геохімічних досліджень в процесі будівництва свердловини. Забезпечення та розвиток процесів поповнення має умовну значимість за відсутності умов збереження. Даний критерій є не менш важливим і являється своєрідним накопичувально-показовим індикатором вуглеводненасичення.

У зв'язку з тим, що геологічні критерії та їх показники (своєрідний індикатор) найчастіше

взаємодіють, доповнюють один одного та являються «заручниками» причинно-наслідкових процесів. Отже, перейдемо до розгляду окремо кожного показника.

Міграція вуглеводнів поширюється майже на всі літологічні різновиди, в тому числі на ущільнені піщано-алевритові породи. Підживлення ущільнених порід відбувається переважно газами метанового ряду, які мають низьку щільність та в'язкість. Згідно показникам критичної температури (метан  $\sim -83^{\circ}\text{C}$ , етан -  $\sim +32^{\circ}\text{C}$ ), рідка фаза метану в осадовій товщі неможлива, а для етану присутність рідкої фази можливо лише в обмежених інтервалах [5]. Певні процеси свідчать про можливість сучасної міграції вуглеводнів до вищих гіпсометричних рівнів. При висхідному переміщенні частина вуглеводнів затримується в ущільненій товщі, а інша частина, потрапивши до зони активного водообміну, руйнується.

При досягненні дуже щільних порід, водоупорів – висхідна міграція відбувається за рахунок уповільненої фільтрації та дифузії, а отже, проникнення метану в ущільнених піщано-алевритових різновидах необхідно розглядати як поєднання процесів спливання, фільтрації та дифузії. Процес міграції вуглеводнів умовно безперервний. Міграційні процеси мають вибіркового характер та визначаються ступенем порушення порід (диз'юнктивні, плікативні), які підстиляють ущільнені породи. В залежності від літофаціальної мінливості, залежить швидкість міграції та кількість привнесених вуглеводнів (пропускна здатність порід). Товщі з розвиненими піщано-алевритовими різновидами в порівнянні з глинистими мають більш сприятливі умови для переміщення вуглеводнів. Це позитивний чинник, що дозволяє постійно поновлювати певні товщі піщано-алевритових порід вуглеводнями. З іншого боку, підвищений розвиток тектонічних порушень цієї товщі призводить до повної або часткової втрати газу в ущільнених піщано-алевритових породах. Тобто, повинен зберігатися своєрідний баланс розвитку тріщинуватості в ущільненій піщано-алевритовій товщі. Процес концентрації газу на певних ділянках визначається масштабами його міграції. Активізація даного процесу супроводжується підвищенням температурного поля в зоні міграції, в тому числі в межах ущільнених-піщано алевритових порід.

Таким чином, поява геотермічних аномалій, які пов'язані з висхідною міграцією переважно метану, вказує на присутність вуглеводнів в ущільнених піщано-алевритових породах. На масштаб поповнення вуглеводнів в середині ущільненої товщі впливають літологічний склад, генетична належність та інші геолого-геохімічні

особливості. Постійний «привнос» вуглеводнів з глибини забезпечить безперервне поповнення товщі новими порціями, тим самим створюючи або підтримуючи температурну аномалію. Саме метан може мігрувати із значних глибин, де він має достатньо високі температурні показники. Виходячи з вище сказаного, підвищення температури на певній ділянці розвитку ущільнених піщано-алевритових порід може бути індикатором їх насичення вуглеводнями.

Найбільший вплив на перетворення органічної речовини вчиняє температура. Процес перетворення органіки різноплановий, відбувається під дією температури та інших чинників. Це означає, що процес перетворення органічної речовини буде відбуватися завжди але по різному та залежить від глибини розташування ущільнених піщано-алевритових порід. Ущільнені породи можуть мати температурну відмінність від порід, які знаходяться на однакових глибинах за межами розвитку цієї товщі. В цьому випадку в ущільнених піщано-алевритових породах температура згідно фактичних даних може бути вище на ~ 15 - 20°C.

Підвищена міграційна активність, як було сказано раніше, призводить до підвищення температури, яка в свою чергу викликає пришвидшення перетворення органічної речовини (ОР) та збільшення термальної зрілості порід. Вміст ОР являється додатковим фактором при утворенні газу та насиченні ущільнених піщано-алевритових порід. Як наслідок, простежується наявність ланцюгово-наслідкових процесів, які тісно пов'язані між собою та доповнюють один одного. У зв'язку з цим, прослідковується подвійний температурний «удар». Перший – класичний процес, який полягає у розвитку температурних аномалій під впливом міграційних процесів. Другий – притаманний зонам з підвищеними температурами, який пришвидшує процес перетворення органічної речовини [12]. Також необхідно зазначити, що за рахунок катагенетичних перетворень відбуваються трансформація як власної органіки, так і привнесеної з міграцією вуглеводнів. Процес перетворення цієї органіки служить додатковим джерелом підживлення та накопичення газу.

Розглянувши вплив температури на перетворення органічної речовини, необхідно звернути увагу на генераційні умови порід та їх типи. Сприятливою умовою формування ущільнених вуглеводненасичених порід являється їх утворення з глинистими, які збагачені органічною речовиною (вміст керогену). В залежності від складу та типу керогену можна опосередковано встановити перспективність товщі в нафтогазовому відношенні. Важливим фактором при гене-

рації вуглеводнів являються генетичні типи керогену, які залежать від умов навколишнього середовища під час захоронення цих відкладів. Рештки рослин та організмів під дією високих тисків та температур перетворюються в кероген, потім в бітуми та, в кінцевому випадку, в газ.

Головною умовою пропускну здатності ущільнених порід являється наявність псамітових різновидів, шляхів міграції та сучасного структурно-текстурного положення в басейні. Найбільш перспективними вважаються дельтові, авандельтові і прибрежно-морські відклади, які характеризуються локальним заляганням ущільнених товщ. Особливу зацікавленість викликають мілководно-морські відклади, в яких ущільнені піщано-алевритові породи добре утримують вуглеводні та формують латерально витримані пачки значної товщини. В прибережно-морських відкладах необхідно відзначити гирлові та вздовж берегові бари, які характеризуються великою кількістю органічної речовини. Дані відклади дають змогу добре накопичувати та утримувати вуглеводні. Тіла дельтового, переважно авандельтового генезису, в ущільнених породах також можуть добре утримувати вуглеводні.

Процес накопичення ВВ в піщано-алевритових породах може відбуватися за рахунок так званого «перетіканню» з зруйнованих пасток, глибинного надходження тощо. Не менш важливим процесом є початкова маловодність піщано-алевритових порід і подальше зниження кількості води в процесі витиснення її газом міграційного і органічного походження. Термін «маловодність» має дещо узагальнююче значення, при його використанні мається на увазі залишкова водонасиченість, яка широко використовується в нафтогазовій геології.

Ущільнені породи від самого початку позбавлені гравітаційної води, при зростанні глибини та ступеня катагенезу, інтенсивна газогенерація і ущільнення порід під дією тисків та температур витісняють воду. Утримання газу в ущільненій товщі не підпорядковано структурним умовам, не має традиційного контакту газ-вода, а утримуються завдяки дії капілярних сил та катагенетичних малопродуктивних екранів.

Необхідно звернути увагу на існування певного зв'язку між маловодністю та процесами утворення, міграції та утримання вуглеводнів ущільнених піщано-алевритових різновидів. Процеси, які відбуваються в ущільнених піщано-алевритових породах, схожі з процесами, що відбуваються в пелітових породах під дією температури та тиску. Найголовнішою умовою газонасичення даних товщ являється здатність породи утримувати вуглеводні, мінімізувавши їх міграцію в зони активного водообміну. Наявність ма-

ловодності в піщано-алевритовій товщі опосередковано може вказувати на присутність вуглеводнів. Масштаб та ступінь маловодності можуть вказувати на вміст та кількість вуглеводнів в ущільнених піщано-алевритових породах[7].

Розгорнуте дослідження процесу маловодності в ущільнених осадових породах дає змогу з впевненістю сказати, що це важливий показник, який тісно пов'язаний з формуванням, міграцією та утриманням вуглеводнів в ущільнених піщано-алевритових породах.

В якості об'єкта досліджень була розглянута південна прибортова зона ДДЗ, в якій за загальними признаками знаходиться значна кількість ущільнених піщано-алевритових порід. Метою дослідження вуглеводненасичення ущільнених піщано-алевритових порід цієї території виділені окремі зони, які характеризуються підвищеною температурою та згідно запропонованим критеріям повинні бути об'єктом дослідження. При виділенні зон перспективності вуглеводненасичення ущільнених піщано-алевритових порід була взята за основу температурна характеристика на основі фактичного матеріалу. Необхідно зауважити, що абсолютні температурні показники мають вибірковий характер. Широкий діапазон температурних показників та неоднорідність геотермічного поля південної прибортової зони ДДЗ в цілому, змушують використовувати не регіональні значення температурних аномалій, а окремих зон. До запропонованої методики, температурні умови виділених зон в комплексі з міграційними особливостями мають розглядатися на першому етапі дослідження.

В процесі досліджень було виділено шість зон, в яких зафіксовано підвищення температури відносно фонових значень. Цей показник є ключовим, який вказує на можливість вуглеводненасичення ущільнених піщано-алевритових порід. Такими зонами являються: Левенцівсько-Богатойська, Перещепинсько-Пролетарська, Виноградівсько-Личківська, Кременівсько-Мусієнківська, Руденківсько-Зачепилівська, Сагайдацько-Кибинцівська. Отже, розглянемо кожну із виділених зон окремо відносно розвитку аномальних температур.

Левенцівсько-Богатойська зона охоплює значну територію південної прибортової зони ДДЗ, до її складу входять: Левенцівське родовище, Керносівська, Богатойська, Катеринівська площі. Аномальна температура в межах Левенцівсько-Богатойської зони охоплює широкий діапазон відкладів і прослідковується на різних гіпсометричних рівнях. Фонова температура складає близько 40°C. При проведенні замірів пластових температур в свердловинах були зафіксовані показники в межах 60-70°C, що являється

аномальним значенням. Даний факт доводить, що ділянка характеризується інтенсивним тепломасоперенесенням за рахунок міграції переважно метану, в тому числі завдяки розвитку глибинної тріщинуватості.

Сагайдацько-Кибинцівська зона охоплює значну територію центральної частини південної прибортової зони ДДЗ. Найбільшими родовищами, що входять до її складу, являються Сагайдацьке та Кибинцівське. Температурна аномалія в цій зоні досягає 20-30°C. Така аномалія прослідковується майже на усіх гіпсометричних рівнях та охоплює широкий діапазон. Очевидно, що аномалія пов'язана з активністю міграційних процесів за рахунок глибинного надходження вуглеводнів.

Кременівсько-Мусієнківська зона займає значну територію південної прибортової зони. До її складу входять: Кременівське, Мусієнківське, Юрїївське родовища, тощо. Ділянка ускладнена розривними порушеннями та плікативними дислокаціями, має блокову будову, що відіграє важливу роль у глибинній міграції вуглеводнів. Температурні особливості в зоні дослідження відіграють важливу роль і мають схожість в температурному відношенні з Левенцівсько-Богатойською зоною. Розподіл пластових температур показує, що Кременівсько-Мусієнківська зона є суттєво прогрітою. Перевищення температури згідно фонових значень складає 15-20°C. Завдяки цьому можна припустити, що міграційна активність метану в цій зоні знаходиться на високому рівні.

Виноградівсько-Личківська зона займає незначну за площею територію по відношенню до раніше виділених зон. Розташована в центральній частині південної прибортової зони ДДЗ, до її складу входять: Новоселівське, Виноградівське, Личківське, Східно-Новоселівське родовища. Характерною особливістю є покращена пропускна здатність товщі, про що свідчать підвищені температурні показники відносно фонових значень. В температурному відношенні зона досить однотипна. Температурні умови охарактеризовано на основі результатів вимірів геотермічного градієнту в свердловинах до глибин 4000м. Температурна аномалія складає близько 15-30°C відносно фонових значень зони дослідження. Геотермічні аномалії Виноградівсько-Личківської зони прослідковуються на всіх гіпсометричних рівнях, що доводить інтенсивність тепломасоперенесення за рахунок міграції вуглеводнів.

Руденківсько-Зачепилівська зона займає значну територію центрально-західної частини південної прибортової зони ДДЗ. До її складу входять такі родовища, як: Руденківське, Зачепилівське, Ливенське, Степне, Лиманське, Західно-



Вільшанське, Потичанське. В температурному відношенні, зона доволі мінлива та охоплює широкий діапазон значень. Температурна аномалія на Зачепилівському родовищі незначна, близько 5°C відносно фонових значень, в той же час температурні аномалії на Ливенському та Степному, родовищах сягають 15-20°C. Даний факт вказує на неоднорідність процесу міграції вуглеводнів в середині самої зони.

Перещепинсько-Пролетарська зона охоплює значну територію південно-східної частини південної прибортової зони ДДЗ, до її складу входить Перещепинське, Пролетарське, Ульянівське родовища. На території Перещепинського родовища спостерігається незначна аномалія температур, в той же час в межах Ульянівського та Пролетарського родовищ температурні аномалії складають 15-20°C. Відсутність значної температурної аномалії на окремих ділянках свідчать лише про те, що в силу певних факторів висхідна міграція уповільнена.

Застосування запропонованих критеріїв розглянемо на прикладі Ульянівського родовища, де від самого початку виявлена зона підвищених температур. Дана умова дає змогу розглядати зону як одну з перспективних в якості вуглеводненасичення в ущільненій піщано-алевритовій товщі. З точки зору нафтогазоносності, родовище вуглеводнів відноситься до типу складних багатопокладних. Традиційні пласти-колектори, розкриті окремими свердловинами, часто заміщуються ущільненими пачками, які за даними промислово-геофізичних досліджень вважалися мало перспективними у відношенні нафтогазоносності. В той же час, при бурінні в цих же інтервалах, по даним газо-геохімічних досліджень фіксувалися аномальні підвищення газопоказів відносно фонових значень. Отримані результати газо-геохімічних досліджень на фоні температурної аномалії вказують на перспективність ущільнених товщ Ульянівського родовища, що відповідає запропонованим критеріям. Цей приклад доводить доцільність використання методу геолого-технологічних та газо-геохімічних досліджень із застосуванням наведених геологічних критеріїв при оцінці вуглеводненасичення ущільнених піщано-алевритових порід.

**Висновки.** З метою оцінки перспектив нафтогазоносності ущільнених піщано-алевритових порід обґрунтовані базові критерії накопичення та збереження в цій товщі газу і в меншій ступені нафти. В основі запропонованих критеріїв низка геологічних показників, таких як висхідна міграція вуглеводнів, особливості літологічного складу, умови перетворення привнесеної та власної органічної речовини, маловодність товщі. Діяльність більшості процесів, які є показниками запропонованих базових критеріїв нафтогазоносності, супроводжуються підвищенням температури локальної зони розвитку ущільнених піщано-алевритових порід. Все це дозволяє на першому етапі оцінки перспектив нафтогазоносності ущільнених піщано-алевритових порід виділити ділянки з аномально підвищеними температурами, а на другому етапі запровадити детальну оцінку перспектив цієї території шляхом застосування запропонованих показників. В якості прикладу, який можна розглядати як перший етап в межах розвитку ущільнених піщано-алевритових порід південної прибортової зони ДДЗ виділено шість зон, які характеризуються підвищеним температурним полем. В одній із цих зон розглянутий зв'язок температурної аномалії з основними показниками перспективності на нафтогазоносність ущільнених піщано-алевритових порід.

Одним із методів практичного виявлення ступеня вуглеводненасичення в ущільнених піщано-алевритових породах, особливо в зоні підвищених температур, може бути прямий метод геолого-газо-геохімічних досліджень, що оснований на одночасному вивченні геологічних властивостей та газо-геохімічних особливостей. Сутність даного методу полягає в оперативному описі шламового або кернавого матеріалу з визначенням структурно-текстурних особливостей та фільтраційно-ємносних властивостей вибуреної породи [11]. Застосування цього методу цілком може бути достатньо для визначення ступеня ВВ насичення ущільнених піщано-алевритових породи.

Розширення комплексу досліджень дозволить збільшити кількість потенційних нафтогазоносних об'єктів в ущільнених піщано-алевритових породах.

#### **Література**

1. Хроль В.В. До методики виявлення ущільнених вуглеводньонасичених порід (на прикладі південної прибортової зони Дніпровсько-Донецької западини) [Текст] / В.В. Хроль // *Вісник Харківського національного університету імені Каразіна. Серія «Геологія-Географія-Екологія», 2017. – Вип. 46. – С. 62-66.* <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2017-46-08>
2. *Нетрадиційні джерела вуглеводнів України [Текст] : монографія у 8 книгах / за ред. О.Ю. Лукіна та Д.С. Гурського. – К.: Ніка-центр, 2013. – Том 6. – С.8-10.*
3. Лукин А.Е. *О природе и перспективах газоносности низкопроницаемых пород осадочной оболочки Земли . Докл. НАН Укр. 2011.*

4. Геология и нефтегазоносность Днепровско–Донецкой впадины (нефтегазоносность) / Кабышев Б.П., Шпак П.Ф., Билык О.Д. и др. – К.: Наук думка, 1989. – С. 204
5. А.И. Лурье. Геотермические аномалии и нефтегазоносность. Монография. – Харьков, 2018
6. Маловодність як один з критеріїв вуглеводненасичення ущільнених піщано–алевритових порід / В.В.Хроль, А.Й. Лур'є // за матеріалами VI Наукової конференції з міжнародною участю «Гідрогеологія: наука, освіта, практика». – Харків, 2020. – С. 90–93.
7. О природе и перспективах газоносности низкопроницаемых пород осадочной оболочки Земли / А.Е. Лукин // Доп. НАН України. — 2011. — № 3. — С. 114–123.
8. Лукин А. Е. Сланцевый газ и перспективы его добычи в Украине. Статья 1. Современное состояние проблемы сланцевого газа (в свете опыта освоения его ресурсов в США) // Геол. журн. – 2010. – № 3. – С. 17–33.
9. Терещенко В.О. Нетрадиційні джерела вуглеводневої сировини: навчальний посібник / В.О. Терещенко. – Х.: Вид-во ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2016. – С. 52–60.
10. Височанський І.В. Геологічні фактори формування несклепінних пасток в особливих зонах нафтогазонакопичення Дніпровсько–Донецького авлакогена / І.В. Височанський // Вісник ХНУ імені Каразіна. Серія «Геологія – Географія – Екологія», 2013. – Вип. 39. – С.45–65.
11. Померанці Л.И. Газовый каротаж /Л.И. Померанц. – М.: Недра. – С. 29–77.
12. Поверенний С.Ф. До питання утворення вторинної пористості у відкладах великих глибин південного сходу Дніпровсько–Донецької западини / С.Ф. Поверенний, А.Й. Лур'є // Вісник Харківського національного університету імені Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2020. – Вип. 53. – С. 45–60. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-03>
13. Суярко В.Г., Іщенко Л.В. Геохімічні критерії пошуків вуглеводнів на сході Дніпровсько–Донецької западини. /В.Г. Суярко, Л.В. Іщенко // Вісник Харківського національного університету імені Каразіна. Серія «Геологія–Географія–Екологія», 2015. – Вип. 43. – С. 88–93. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2015-43-13>
14. Про структурно–геохімічні критерії прогнозування скупчень вуглеводнів / В. Суярко, Г. Лисиченко, В. Загнітко // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2017. – № 1–2. – С. 173.
15. Суярко В.Г., Фик М.І., Барановська Н.Ю. Геологічні особливості розробки сланцевого газу в умовах Донецької складчастої споруди / В.Г. Суярко, М.І. Фик, Н.Ю. Барановська Вісник Харківського національного університету імені Каразіна. Серія «Геологія–Географія–Екологія», 2012. – № 1033. – С. 54–58.
16. Лукин А.Е. Формации и вторичные изменения каменноугольных отложений Днепровско Донецкой впадины в связи с нефтегазоносностью [Текст] / А.Е. Лукин. М.: Недра, 1977. – 102 с.
17. Зиненко И.И. Глубинные зоны газонакопления ДДВ [Текст] / И.И. Зиненко, А.П. Зарицкий // Нефтяная и газовая промышленность, 1992. – №1. – С. 12–15.
18. Лебедев Б.А. Геохимия осадочных процессов в осадочных бассейнах [Текст] / Б.А. Лебедев. – Л.: Недра, 1992. – С. 239.
19. Соловьев В.О. Нетрадиционные источники углеводородов: проблемы их освоения: учебное пособие / В.О. Соловьев, И.М. Фык, Е.П. Варавина. – Х. : НТУ «ХПИ», 2013. – 92 с.
20. Кабышев Б.П. Перспективность ДДЗ на нетрадиційний газ центральнобасейнового типу / Б.П. Кабышев, Б.Е. Лоу, Т.М. Пригаріна, Ю.Б.Кабышев // Нафтогазова і газова промисловість. – 2000. – № 2. – С. 8–11.
21. Маєвський Б.Й. До питання розвитку літогенетичної тріщинуватості та нафтогазоносності глибокостанурених теригенних порід–колекторів Передкарпатського прогину і Дніпровсько–Донецької западини / Б.Й. Маєвський, В.М. Бенько, Т.В. Здерка, С.С. Куровець // Геоінформатика. — 2008. — № 4. — С. 21–24.
22. Лагутин А.А. Условия формирования и литофизические свойства пород коллекторов глубокозалегающего продуктивного горизонта В 25 26 Котелевского месторождения по данным изучения керна [Текст] / А.А. Лагутин, С.Ф. Поверенний // Питання розвитку газової промисловості України. Випуск XXX. Харків, 2002. – С. 69 75.
23. Долуда М.Е. Региональный эпигенез каменноугольных отложений Днепровско Донецкой впадины и его влияние на коллекторские свойства [Текст] / М.Е. Долуда, С.В. Литвин, С.Д. Харченко // Литология и полезные ископаемые, 1968. – №4.
24. Лагутін А. А. Аналіз результатів підрахунку запасів газу на різних етапах розробки Вільхівського родовища / А. А. Лагутін, С. В. Литвин, В. М. Лихван // Питання розв. газ. пром-сті України. – Х., 1999. – Вип. 27[1]. – С. 87–91.
25. Бенько В.М. Особливості геологічної будови і перспективи нафтогазоносності глибокостанурених горизонтів Дніпровсько–Донецької западини [Текст] : монографія / В. М. Бенько, Б. Й. Маєвський, А. А. Лагутін, В. Р. Хомин ; Маєвський Б. Й., ред. – Івано–Франківськ : ІФНТУНГ, 2013. – С. 192–206.
26. Wickstrom L., Perry C., Riley K., Erenpreiss M. The Utica–Point Pleasant Shale Play of Ohio // Ohio Department of Natural Resources Division of Geological Survey Presentation, 2012. –P. 41–58.

Надійшла до редакції 15 травня 2021 р.

Прийнята 25 травня 2021 р.

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

UDC 553.98

*Vasyl Khrol,*

Leading Geophysicist, Ukrgaspromgeofizyka Geophysical Division of JSC UkrGasVydobuvannya,  
3 Dragomiryvska St., Kharkiv, 61031, Ukraine,

e-mail: [vkhrol87@gmail.com](mailto:vkhrol87@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-5776-0233>;

*Anatoliy Lurye,*

DSc (Geology and Mineralogy), Professor, V. N. Karazin Kharkiv University,  
4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,

e-mail: [anlure16@gmail.com](mailto:anlure16@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-4836-5781>

## CRITERIA FOR ASSESSMENT OF HYDROCARBON SATURATION OF COMPACT SAND-ALEURITE ROCKS UNDER DDB CONDITIONS

**Introduction.** In the modern period, the increase in the resource base is largely associated with the exploration of deposits that are under development. The latter process includes the study of non-traditional reservoirs, among which of considerable interest are compacted sand-silt rocks.

Steady growth in raw material consumption has led to the search for alternative sources of hydrocarbons. The development of the industry is aimed at studying existing deposits with the introduction and involvement of the latest, advanced technologies. In this regard, the development of this area is relevant. Undoubtedly, the search for hydrocarbons in compacted sand-silt rocks within the Dnieper-Donetsk basin will develop.

**Purpose.** To propose the main geological criteria for detecting hydrocarbon saturation of compacted rocks, which are accompanied by certain indicators.

**Analysis of previous works.** Until recently, information on compacted hydrocarbon-unsaturated sand-silt rocks was most often found only in foreign publications. In the 60's of the XX century, employees of UkrNDIgaz tried to study in detail the compacted hydrocarbon-saturated rocks, but at that time this area was not developed. These studies are associated with the names of Mukharinskaya I, Kharchenko S, Lagutina A. In recent decades, issues regarding compacted sand-siltstone rocks in Dnieper-Donetsk basin have been considered during gas-type gas research. Until recently, the detection of gas in compacted rocks was of a general nature and was not substantiated by actual material.

**Presenting main material.** The nature of the compacted sand-silt varieties is very diverse. Due to the peculiarities of lithological packs, compacted rocks should be considered both separately and in combination with direct contact with traditional reservoir rocks.

Scientific and theoretical research and factual material allow us to identify promising stratigraphic complexes in terms of hydrocarbon saturation in compacted sand-silt rocks. Compacted sand-siltstone rocks acquire the greatest development within the Lower Permian-Upper Coal and Middle-Lower Coal complexes.

The main criteria for detecting compacted rocks should be considered the degree of saturation of rocks and the nature of hydrocarbons. Consider the indicators that characterize these two processes.

Due to the fact that geological criteria and their indicators (a kind of indicator) often interact, complement each other and are "hostages" of causal processes.

**Conclusions.** The proposed criteria are based on a number of geological indicators, such as ascending migration of hydrocarbons, features of lithological composition, conditions of conversion of imported and own organic matter, low water content of the stratum. The activity of most processes, which are indicators of the proposed basic criteria of oil and gas, are accompanied by an increase in the temperature of the local zone of development of compacted sand-silt rocks.

In one of these zones the connection of temperature anomaly with the main indicators of prospects for oil and gas bearing capacity of compacted sand-silt rocks is considered.

One of the methods of practical detection of the degree of hydrocarbon saturation in compacted sand-silt rocks, especially in the zone of elevated temperatures, can be a direct method of geological-gas-geochemical research, based on the simultaneous study of geological properties and gas-geochemical features.

**Keywords:** compacted sandy-silty rocks; hydrocarbon saturation; geological criteria; processes; migration; temperature, delay; receipts.

### References

1. Khrol, V.V. (2017). *To the method of detection of compacted hydrocarbon-saturated rocks (on the example of the southern riparian zone of the Dnieper-Donetsk basin)*. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 46, 62-66 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2017-46-08>

2. Vakarchuk S.G., Dovzhok T.YE., Filyushkin K.K., Kabyshev Yu.B., Hladun V.V., Kholodnykh A.B (2013). *Unconventional hydrocarbon resources of Ukraine. Monohrafiya*. Kiev: Nika-center [in Ukrainian].
3. Lukin A.E (2011). *On the nature and prospects of gas-bearing capacity of low-permeability rocks of the Earth's sedimentary shell. Report. NAS of Ukraine* [in Ukrainian].
4. Kabyshev B.P., Shpak P.F., Bilyk O.D. et al. (1989). *Geology and oil and gas content of the Dnieper-Donetsk depression (oil and gas content)* Kiev: Naukova Dumka, 204 [in Ukrainian].
5. Lurie A.I. (2018) *Geothermal anomalies and oil and gas content. Monograph*. Kharkiv [in Ukrainian].
6. Khrol V.V., Lurie A.Y. (2020). *Low water content is one of the criteria for carbohydrate reduction of low-water grain-aleurite rocks. VI Scientific conference with international participation "Hydrogeology: science, education, practice*. Kharkiv, 90-93 [in Ukrainian].
7. Lukin A.E. (2011). *On the nature and prospects of gas content of low-permeability rocks of the sedimentary shell of the Earth. Report. Ukraine, 114-123* [in Ukrainian].
8. Lukin A.E. (2010). *Shale gas and the prospects for its production in Ukraine. Article 1. The current state of the problem of shale gas (in the light of the experience of developing its resources in the United States)* *Geological Journal*. 3, 17–33 [in Ukrainian].
9. Tereshchenko V.O. (2016). *Unconventional sources of hydrocarbon raw materials: a textbook. Navchal'nyy posibnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, 52-60* [in Ukrainian].
10. Vysochansky I.V. (2013). *Geological factors of formation of non-vault traps in special zones of oil and gas accumulation of the Dnieper-Donetsk avlacogen. Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", 39, 45-65* [in Ukrainian].
11. Pomerants L.I. (1982). *Gas logging. Nedra, 29-77* [in Russian].
12. Povyeryenny S.F., Lurie A.I. (2020). *On the formation of secondary porosity in the deposits of great depths of the south-east of the Dnieper-Donetsk basin. Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", 53, 45-60* [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-03>
13. Suyarko V.G., Ishchenko L.V. (2015). *Geochemical criteria for hydrocarbon exploration in the east of the Dnieper-Donetsk basin. Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", 43, 88-93* [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2015-43-13>
14. Suyarko V., Lysychenko G., Zagnitko V., (2017). *On structural-geochemical criteria for forecasting hydrocarbon accumulations. Geology and geochemistry of combustible minerals., 1-2, 173* [in Ukrainian].
15. Suyarko V.G. Fyk M.I, Baranovskaya N.Yu. (2012). *Geological features of shale gas development in the conditions of Donetsk folded structure. Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", 1033, 54-58* [in Ukrainian].
16. Lukin A.E. (1977). *Formations and Secondary Changes in Carboniferous Deposits of the Dnieper-Donetsk Basin in Connection with Oil and Gas Potential. Moscow: Nedra, 102* [in Russian].
17. Zinenko I.I., Zaritsky A.P. (1992). *Deep zones of gas accumulation DDB. Oil and Gas Industry, 1, 12-15* [in Ukrainian].
18. Lebedev B.A. (1992). *Geochemistry of sedimentary processes in sedimentary basins. Nedra, 239* [in Russian].
19. Soloviev V.O., Fyk I.M., Varavin E.P. (2013). *Unconventional sources of hydrocarbons: problems of their development: textbook. National Technical University Kharkiv Polytechnic Institute, 92* [in Ukrainian].
20. Kabyshev B.P., Lowe B.E., Prygarina T.M., Kabyshev Y.B. (2000). *Prospects of DDB for unconventional gas of the central basin type. Oil and gas and gas industry, 2, 8-11* [in Ukrainian].
21. Mayevsky B.Y., Benko V.M., Zderca T.V., Kurovets S.S. (2008). *On the question of the development of lithogenetic fracturing and oil and gas bearing capacity of deeply submerged terrigenous rocks-collectors of the Pre-Carpathian Depression and the Dnieper-Donetsk depression. Geoinformatics, 4, 21-24* [in Ukrainian].
22. Lagutin A.A., Poverenny S.F. (2002). *Formation conditions and lithophysical properties of reservoir rocks of the deep-lying productive horizon B 25 26 Kotelevskoe field according to core study data. Supply of gas industry development in Ukraine. Issue XXX. Kharkiv, 69 75* [in Ukrainian].
23. Doluda M. Ye, Litvin S.V., Kharchenko S.D. (1968). *Regional epigenesis of the Carboniferous deposits of the Dnieper-Donetsk depression and its influence on reservoir properties. Lithology and useful minerals, 4* [in Russian].
24. Lagutin A.A., Lytvyn S.V., Likhvan V.M. (1999). *Analysis of the results of calculating gas reserves at different stages of development of the Vilkhiv field. Questions of development gas industry of Ukraine. Nedra, 27[1], 87-91* [in Ukrainian].
25. Benko V.M., Maevsky B.Y., Lagutin A.A, Khomin V.R., Mayevsky B.J. (2013). *Peculiarities of geological structure and prospects of oil and gas potential of deep-submerged horizons of the Dnieper-Donetsk depression. Monograph Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas 208, 192-206* [in Ukrainian].
26. Wickstrom L., Perry C., Riley K., Erenpreiss M. (2012). *The Utica-Point Pleasant Shale Play of Ohio. Ohio Department of Natural Resources Division of Geological Survey Presentation. Annual Convention and Exhibition, Long Beach, California, 41-58* [in USA].

# ГЕОГРАФІЯ

УДК 502.057

**Євген Миколайович Безсонов,**

к. техн. н., ст. викл. кафедри екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили,  
вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, 54003, Україна,  
e-mail: [evgbess45@gmail.com](mailto:evgbess45@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-5745-3121>;

**Діана Олександрівна Крисінська,**

викладач кафедри екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили,  
e-mail: [silfida13@gmail.com](mailto:silfida13@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-3117-6039>;

**Родіон Дмитрович Россол,**

аспірант, Чорноморський національний університет імені Петра Могили,  
e-mail: [bristleback32@gmail.com](mailto:bristleback32@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-7203-4141>

## ОСОБЛИВОСТІ ДИНАМІКИ ПАРАМЕТРІВ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ У ПЕРІОД ЛІТНЬОЇ МЕЖЕНІ

Зміни клімату зумовлюють зміни режиму зволоження і, як наслідок, вносять корективи у господарську діяльність та особливості водокористування. У контексті України, на фоні кліматичних змін, стік більшості вітчизняних річок зменшується, що особливо у меженний період загострює питання збалансованого використання екосистемних послуг водних екосистем та пріоритетизації потреб під час розподілу ресурсів, контролю екологічного стану річок та встановлення особливостей їх функціонування. Тому, визнаючи стратегічну важливість прісноводних екосистем у забезпеченні сталого регіонального та загальнодержавного розвитку, дослідження річки Південний Буг було направлено на оцінювання її екологічного стану з метою ідентифікації джерел негативного антропогенного впливу та визначення загальних екосистемних деформацій, які можуть впливати на функціональну цілісність водної екосистеми. Так, на основі польових досліджень, у роботі здійснено оцінку екологічного стану річки Південний Буг у нижній течії (від м. Південноукраїнськ). Загальна довжина маршруту склала близько 200 км. Встановлено закономірності динаміки рН та мінералізації водного середовища. Уточнено межі просторового впливу морських вод Чорного моря на Південний Буг, материкове просування яких (уверх за течією) зумовлене високим рівнем зарегулювання басейнового стоку. Ці ж процеси, як наслідок, впливають не тільки на біорізноманіття, але і на особливості промислового та побутового водокористування. З використанням стенобіонтного підходу, оцінено рівень екологічної безпеки екосистеми Південного Бугу у нижній течії. На основі отриманих результатів стенобіоіндикації, запропоновано зонування досліджуваної ділянки Південного Бугу, яке досить добре співпадає з результатами вимірювання рН та мінералізації. Тільки 1% пройденого маршруту, який відповідає порожистій ділянці русла, було класифіковано як «здорову екосистему». Із наближення до гирла, рН води поступово збільшується, що сприяє інтенсифікації процесу евтрофікації.

**Ключові слова:** екосистема річки Південний Буг, літня межень, оцінка екологічного стану, стенобіонтний підхід.

**Е. Н. Безсонов, Д. А. Крысинская, Р. Д. Россол. ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ПАРАМЕТРОВ ВОДНОЙ СРЕДЫ РЕКИ ЮЖНЫЙ БУГ В ПЕРИОД ЛЕТНЕЙ МЕЖЕНИ.** Изменения климата вызывают изменения режима увлажнения и, как следствие, вносят коррективы в хозяйственную деятельность и особенности водопользования. В контексте Украины, на фоне климатических изменений, сток большинства отечественных рек уменьшается, особенно в определенный период обостряет вопрос сбалансированного использования экосистемных услуг водных экосистем и приоритетизации потребностей при распределении ресурсов, контроля экологического состояния рек и установление особенностей их функционирования. Поэтому, признавая стратегическую важность пресноводных экосистем в обеспечении устойчивого регионального и общегосударственного развития, исследование реки Южный Буг было направлено на оценку ее экологического состояния с целью идентификации источников негативного антропогенного воздействия и определения общих экосистемных деформаций, которые могут влиять на функциональную целостность водной экосистемы. Так, на основе полевых исследований, в работе осуществлена оценка экологического состояния реки Южный Буг в нижнем течении (от г. Южноукраинск). Общая протяженность маршрута составила около 200 км. Установлены закономерности динамики рН и минерализации водной среды. Уточнение границы пространственного влияния морских вод Черного моря на Южный Буг, материковое продвижение которых (вверх по течению) обусловлено высоким уровнем зарегулирования бассейнового стока. Эти же процессы, как следствие, влияют не только на биоразнообразие, но и особенности промышленного и бытового водопользования. С использованием стенобионтного подхода, оценен уровень экологической безопасности экосистемы Южного Буга в нижнем течении. На основе полученных результатов стенобиоиндикации, предложено зонирование исследуемого участка Южного Буга, которое достаточно хорошо сопоставляется с результатами измерения рН и минерализации. Только 1% пройденного маршрута, который соответствует порожистому участку русла, был классифицирован как «здоровая экосистема». По приближению к устью, рН воды постепенно увеличивается, что способствует интенсификации процесса эвтрофикации.

**Ключевые слова:** экосистема реки Южный Буг, летняя межень, оценка экологического состояния, стенобионтных подход.

**Вступ.** Відомо, що річка Південний Буг є однією з небагатьох, басейн якої повністю знаходиться на території України (від витoku до гирла). До того ж, вона відіграє дуже важливу гос-

подарсько-рекреаційну роль у функціонуванні Причорноморського регіону: транспортна артерія, джерело питної води, продовольства та місце рекреації. Якщо подивитись на цей спектр екосистемних послуг у контексті глобальних змін клімату, переоцінити важливість Південного Бугу у соціально-економічному розвитку вододефіцитного півдня України досить складно.

У той же час, таке ємне місце у системі природокористування регіону [1] зумовлює надмірний антропогенний вплив на екосистему річки, результатом якого є тривале погіршення її стану, що особливо чітко проявляється у межений період (загалом, характерно для більшості українських річок [2, 3]). Погіршуються не тільки абіотичні гідрохімічні та гідрфізичні показники водного середовища, але і гідробіологічні, які відображають динаміку стану екосистеми протягом багатьох років.

З огляду на це та певну недооцінку державою Південного Бугу (на офіційному сайті Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України вкрай мало інформації про стан і проблеми річки), є нагальна практична потреба у дослідженні особливостей динаміки параметрів водного середовища у період межені, коли найбільш гостро простежується вплив антропогенних факторів на водну екосистему. Саме у цей період для більшості водокористувачів (люди, господарський комплекс, водна екосистема) характерним є дефіцит водного ресурсу, що зумовлює конфлікти ситуації [24].

Загалом, попередні дослідження Південного Бугу можна охарактеризувати як хронологічно та просторово розірвані, значною мірою відповідаючи тезі про те, що в будь-яких річках умови у верхній, середній та нижній течії можуть сильно відрізнятися [4]. При цьому, об'єктом дослідження виступала не екосистема ділянки басейну (річки), а її конкретний компонент: популяції тварин, флористичне видове різноманіття, конкретні види живих організмів чи аналіз гідрохімічних показників.

Так, мали місце дослідження верхньої течії річки Південний Буг на предмет якісного та кількісного складу фітопланктону [5], господарського освоєння [6], гідрологічного режиму середньої течії [7], та біоіндикаційні в цілому по руслу [8]. У джерелі [9] узагальнено сучасні негативні тенденції у функціонуванні водної екосистеми річки Південний Буг.

У [7, 10] було підкреслено проблему зарегулювання стоку річки, як одну із найбільш негативних впливових факторів на функціональну цілісність водної екосистеми. Вражаючим є досвід США, де експлуатація понад 50 тисяч водосховищ відрізала 79% річкової мережі від місць

впадіння (океани, озера) [26]. Автори підкреслюють, що фрагментація та зміна потоку внаслідок зарегулювання стоку, є найважливішими проблемами водних екосистем. Тому актуальним є дослідження та оцінки диференціального впливу дамб на річкові середовища існування. Разом ці ідеї є важливими для більш ефективного збереження потокових ресурсів та біотичних спільнот у всьому світі [26].

На фоні статистично доведених тенденцій зменшення стоку річки, у деяких наукових роботах встановлено деградацію показників видового різноманіття гідробіонтів у її нижній течії, зменшення показників продуктивності екосистеми, інтенсифікацію замулення, заростання і погіршення якості води [11, 12].

Так, підтвердженням цих явищ є рибопродуктивність (як результуючий показник функціонального стану екосистеми) Дніпро-Бузького лиману, яка за півстоліття зменшилась у 5-6 разів: з 20 тис. т на початку 50-х років ХХ століття до 3-4 тис. т у 2000-2019 роках [13].

Узагальнюючи масштаби гідрохімічного антропогенного впливу, треба відзначити, що у басейні річки впродовж 2015 року було зафіксовано 115 перевищень ГДК, у 2016 – 52, а у 2017 та 2018 роках даних не наводиться [14]. Проте, крім констатації факту, за цими даними важко визначити причини та збитки (шкоду) від такої дії на водну екосистему.

Не зважаючи на свою простоту, нормативний підхід не сформувався у загальноновизнаний практичний інструмент об'єктивної оцінки якості води. Адже багато розчинених у воді хімічних сполук на рівні ГДК визначаються досить трудно, дорого та неточно [29, 30], а існуюча на їх основі система не забезпечує надійного захисту водних об'єктів [31].

За визначенням Гелашвілі Д.Б. та Карандашової А. А. [32], концепція ГДК – найгірша природоохоронна парадигма, яку людство активно використовує на практиці. Тому цілком закономірно, що сучасний стан взаємовідносин людини і природи вже не може бути об'єктивно оцінений і врегульований нормативною концепцією.

Важливо зазначити іншу важливу проблему прикладного характеру – кількість постів спостережень за станом річки. Відповідно до даних Манукало В. О. [15], ситуацію можна охарактеризувати як недосконалу, бо на 1 гідрологічний пост припадає близько 2900 км<sup>2</sup> території басейну (замість 1875 км<sup>2</sup>). З огляду на це, безперечно, матимуть місце проблеми з пошуком оптимальної стратегії відновлення і збереження річки, якщо не володіти ситуацією щодо динаміки її гідрологічних, гідрохімічних, гідрфізичних та гідробіологічних параметрів.

У міжнародній практиці збалансованого водокористування наголошують на аналогічній проблемі. Зокрема Dutta V. та Sharma U., на фоні споживацького ставлення до прісноводних ресурсів річок, наголошують на актуальності розробки нових принципів оцінки стану водних екосистем та управління ними. Ці принципи повинні включати межі пружності природного капіталу та враховувати можливості сталого продукування екосистемних послуг, нижче яких системи починають деградувати [23].

На предмет цього, деякі автори наголошують, що відсутність екосистемних принципів підходів до оцінювання стану басейну річки обов'язково призведе до деградації стану екологічної системи та її дефрагментації [25, 26].

Відповідно до висновків [27], під час оцінювання стану річок необхідно досліджувати як стан берегів, так і параметри водного середовища, включаючи спостереження, які підтримують розуміння як фізичної структури середовища існування, так і причинно-наслідкових зв'язків.

Екка А. et al., за результатами аналізу 86 досліджень зробили висновок, що функціонування водної екосистеми і продукування екосистемних послуг залежать від ефективного функціонування біофізичних процесів, які тісно пов'язані з геоморфологічними, екологічними та гідрологічними характеристиками річкових ландшафтів [28].

З огляду на вище викладене, не викликає сумнівів твердження, що сучасна система природоохоронних стандартів, які зокрема, нормують якість водного середовища, не можуть забезпечити збереження екосистем річок, у тому числі Південного Бугу. Стан останньої тривалий час погіршується [11, 12]. Тому є нагальна практична необхідність виявлення джерел негативного антропогенного впливу та застосування альтернативних (нормативному) методів оцінювання та контролю екологічного стану річки.

**Метою дослідження** є оцінювання екологічного стану річки Південний Буг у період межені на основі стенобіонтного підходу. Для її досягнення передбачалося виконання наступних завдань:

- провести польові дослідження на річці Південний Буг у період літньої межені для оцінки екологічного стану водної екосистеми на основі стенобіонтного підходу;
- охарактеризувати особливості динаміки певних гідрофізичних та гідрохімічних показників;
- встановити причини та наслідки деградації екосистеми Південного Бугу;
- визначити шляхи вирішення екологічних проблем у басейні річки.

**Методика досліджень.** Просторове розташування точок дослідження зумовлене фактора-

ми, які можуть вносити зміни у видове біорізноманіття водної екосистеми – господарсько-побутові та промислові стоки з населених пунктів. Екстенсивне сільськогосподарське виробництво, безперечно, також має певний вплив на екологічний стан річки Південний Буг, однак цей фактор охарактеризувати набагато складніше з огляду на час та тривалість дії, місце, інтенсивність, ландшафт і особливості джерела збудження (природний або антропогенний генезис).

Вибір точок для дослідження екологічного стану річки здійснювався на основі методу рандомізації: попередньо ознайомившись із ландшафтом берегової лінії Південного Бугу, було обрано точки з однаковими умовами виходу до води – просіка в очереті для рибальства.

Збір даних про динаміку гідрохімічних та гідрофізичних параметрів водного середовища річки Південний Буг проводили наступними приладами:

- TDS-метр (TDS-3);
- TDS/EC/Temp метр НМ COM-100;
- рН-метр Ezodo 6011A.

Час проведення польових досліджень (кінець липня) був обраний з огляду на декілька факторів:

- 1) на річці встановився режим межені (визначальний фактор);
- 2) опадів у регіоні не було більше 50 днів;
- 3) у басейні річки типовим для цього часу є інтенсифікація водозабору та скидів.

Польові дослідження проводилися на 9 точках (рис. 1, табл. 1).

Початком гирла прийнято уявну лінію через Дніпро-Бузький лиман, яка сполучає с-ще Олександрівка Білозерського району Херсонської області та с. Дніпровське Очаківського району Миколаївської області. Саме від неї проводився відлік відстані точок дослідження на річці Південний Буг. Координати місць відбору проб зазначено у таблиці 1.

Вибір точок пояснюється близькістю населених пунктів: було поставлено завдання зафіксувати стан водної екосистеми до та після населеного пункту (униз за течією річки). Це дозволило ідентифікувати зони на річці, де, ймовірно, знаходиться джерело забруднення, яке спричиняє збіднення її видового різноманіття флори та фауни.

Воду з Південного Бугу відбирали у скляну ємність, яка у кожній точці тричі ополіскувалася річковою водою. Тільки після цього у досліджувану (четверту) пробу води занурювався електрод приладу.

Щодо визначення рівня екологічної безпеки ділянки басейну річки Південний Буг, було використано відповідний індекс [16], де найбільш ва-

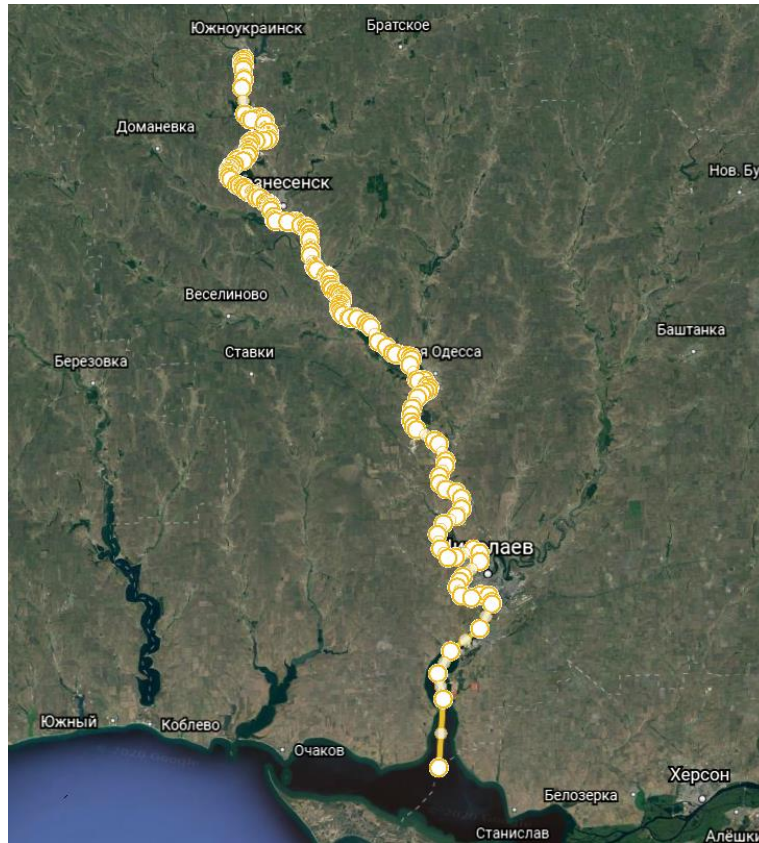


Рис. 1. Точки польових досліджень на річці Південний Буг

Таблиця 1

Географічні координати точок дослідження на р. Південний Буг

№ точки	Координати Google Maps	Координати географічні
1	47.807187, 31.178070	47°48'25.9"N 31°10'41.1"E
2	47.699755, 31.253728	47°41'59.1"N 31°15'13.4"E
3	47.531362, 31.401185	47°31'52.9"N 31°24'04.3"E
4	47.377245, 31.600865	47°22'38.1"N 31°36'03.1"E
5	47.100083, 31.907720	47°06'00.3"N 31°54'27.8"E
6	47.023655, 31.950325	47°01'25.2"N 31°57'01.2"E
7	46.955617, 31.936641	46°57'20.2"N 31°56'11.9"E
8	46.929338, 32.024179	46°55'45.6"N 32°01'27.0"E
9	46.748796, 31.936450	46°44'55.7"N 31°56'11.2"E

гомими факторами є стенобіонти водного середовища (аналогічні ідеї знаходимо у [17]). До останніх ми відносимо веснянок (*Plecoptera*), однорядок (*Ephemeroptera*), волохокрильців (*Trichoptera*), віскокрилок (*Megaloptera*) та бокоплавів (*Amphipoda*). Усі перелічені організми характеризуються широким ареалом розповсюдження [18], їх життєвий цикл передбачає осілий спосіб життя [18, 19], використання їх індикаторних властивостей є економічно вигідним і практично доступним [18, 20], вони займають вагоме місце у трофічному ланцюзі [21] та чутливі до наявності забруднюючих речовин у воді [19].

Зазначимо, що завдання дослідження стояло у пошуку та ідентифікації видів (на рівні родин),

а не збір їх морфометричних показників, чи параметрів, які характеризують популяцію того чи іншого виду (чисельність, біомаса).

Відповідно до обраної методики, програма польових досліджень була спроектована таким чином, щоб оцінити якість водного середовища до та після населених пунктів, які розташовуються вздовж річки за її течією. Загальна довжина маршруту склала трохи більше 200 км по руслу річки. На його проходження було витрачено 3 доби (29-31 липня 2020 року).

Важливо зазначити, що погодні умови були більш-менш однакові: у період досліджень переважали північний та північно-східних вітри, температура води була не нижче 24°C (середньо-



бова температура повітря була на рівні 29°C). Таким чином, вплив морських вод на річку був мінімальним.

### Результати дослідження

За результатами проходження затвердженого маршруту було отримано наступні результати (табл. 2).

На основі зібраних даних було формалізовано закономірності просторової динаміки гідрохімічних та гідрофізичних показників водного середовища річки Південний Буг. Зокрема, вста-

новлено, що динаміка рН водного середовища добре характеризується лінійною функцією (рис. 2) і чим ближче до гирла, тим більше баланс зміщується у лужну зону.

Як відомо, більшість гідробіонтів можуть нормально функціонувати при рН в діапазоні від 5 до 9. Проте, оцінюючи значення рН, необхідно враховувати вплив цього показника на речовини, токсичність яких залежить від рН (наприклад, сполуки амонію і сірки). Під час «цвітіння» води рН, зазвичай, зміщується в лужну сторону, дося-

Таблиця 2

Гідрофізичні та гідрохімічні дані моніторингу вод річки Південний Буг

Точка	Відстань від гирла, км	рН	TDS, г/л	TDS (442), г/л	ЕС, мС
1	201,7	7,75	0,42	0,48	0,71
2	185,3	7,81	0,44	0,49	0,722
3	148,6	8,15	0,495	0,547	0,787
4	122,4	8	0,515	0,56	0,82
5	74,6	8,62	1,94	1,74	2,42
6	55	8,25	14,51	6,63	7,74
7	46,5	8,26	14,81	6,75	8,03
8	36,5	8,66	14,41	6,59	8,25
9	13,4	8,77	15,23	6,92	8,44

гаючи 8-9 одиниць і вище. У цьому випадку небезпеку для гідробіонтів представляє вільний аміак, в який переходять іони амонію в наслідок збільшення рН. В умовах, коли рН води становить менше 8 – амонійний азот у воді знаходиться у формі амонію, а коли рН становить понад 11 – у формі аміаку. У межах рН 8-11 – зустрічаються як амоній, так і аміак.

Аміак і солі амонію з'являються у воді в результаті розкладання органічної речовини, скидання у водоймище господарсько-фекальних стоків, потрапляння добрив. Амонійний азот, наприклад, виділяється рибами в воду як кінцевий продукт метаболізму азотвмісних речовин. Іони амонію ( $\text{NH}_4^+$ ), що цілком закономірно, для риб менш токсичні, ніж вільний аміак ( $\text{NH}_3$ ).

Як видно на рис. 2, значення кислотно-лужного балансу водного середовища у гирлі Південного Бугу близькі до максимально можливих у меженний період.

Частково, отриману закономірність можна також пояснити впливом вод з гирла Дніпра та Чорного моря (рис. 3) [13], що зумовлює збільшення концентрації органічних речовин у воді, у тому числі за рахунок більш інтенсивних процесів фотосинтезу.

Власне, на рис. 3 добре видно, що дія високо мінералізованих морських вод досягає відстані близько 100 кілометрів від гирла (м. Нова Одеса). Однак вище по руслу, за м. Нова Одеса, по-

казники солоності знаходяться на характерному для прісноводної річки рівні.

Це явище зумовлено декількома факторами: зменшенням кількості опадів у літній період та, головним чином, частою відсутністю стоку нижче Олександрівського водосховища (рис. 4) – однієї з найбільших техногенних проблем у регіоні, на думку авторів.

Як наслідок, це впливає на закономірності динаміки гідрохімічних, гідрофізичних та гідробіологічних параметрів водного середовища униз за течією, що підтверджується міжнародним досвідом [25, 26]. Зазначимо також, що уся підводна рослинність і каміння у нижньому б'єфі були вкриті рясним шаром зважених твердих часток, що, ймовірно, і впливає на кількість стенобіонтів (регулярне замулення води під час скидів води з водосховища).

Крім цього, було побудовано модель взаємозалежності показників мінералізації та електропровідності водного середовища (рис. 5).

Найбільшу увагу дослідження було приділено пошуку стенобіонтів: веснянок, одnodенок, волохокрильців, віслокрилок та бокоплавів. Результати наведені у таблиці 3.

Необхідно зазначити, що лише на першій точці у момент відбору проб води спостерігалися великі стайки малька риб, тоді як із просуванням униз по руслу, молоді риб було або небагато (2, 4, 5), або вона взагалі не спостерігалася (3, 6, 7,

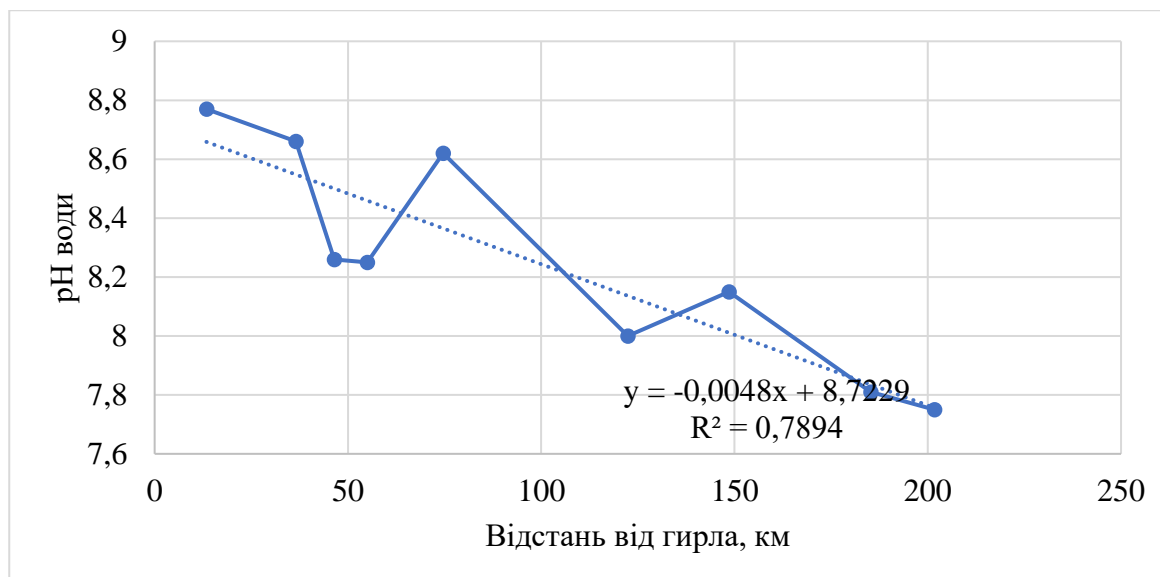


Рис. 2. Динаміка рН водного середовища уверх за течією р. Південний Буг

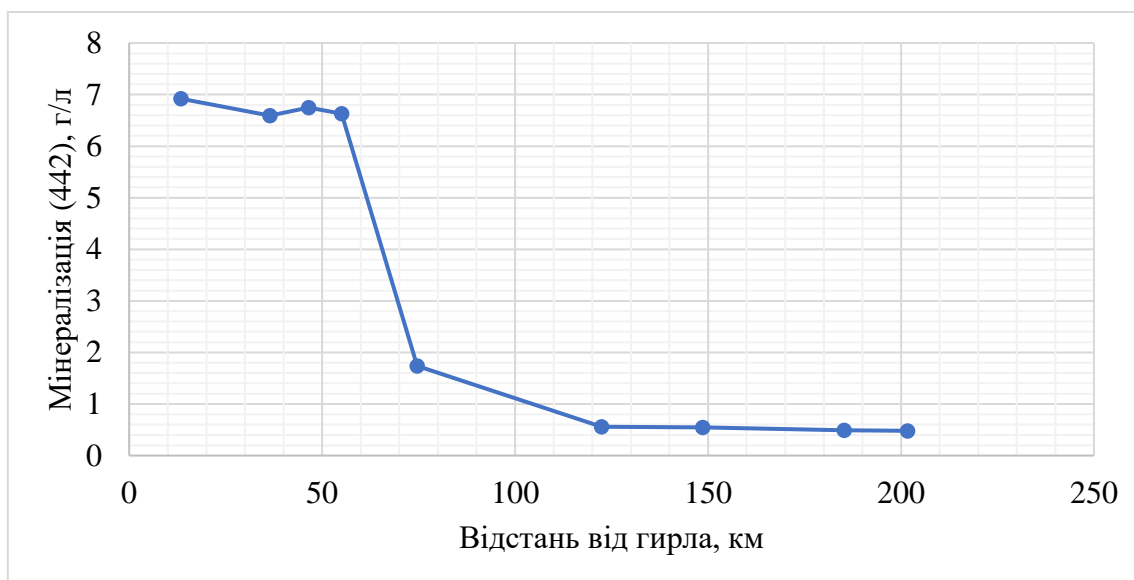


Рис. 3. Динаміка показника солоності води уверх за течією р. Південний Буг



Рис. 4. На Олександрівській ГЕС відсутній санітарний попуск (29.07.2020)

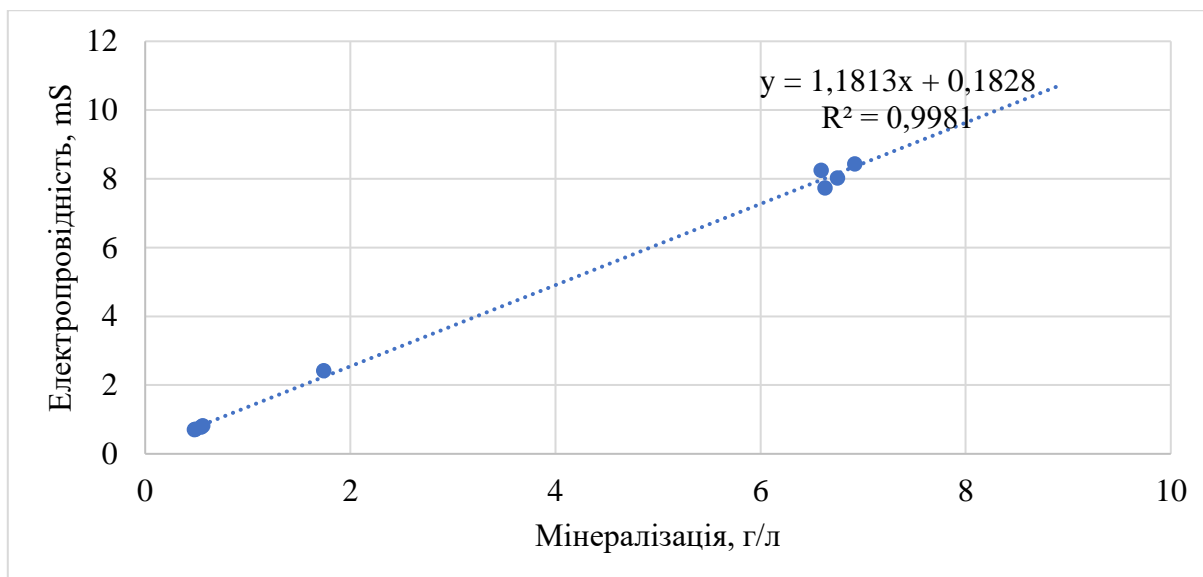


Рис. 5. Модель взаємозв'язку електропровідності води від розчинених у ній солей

Таблиця 3

Результати ідентифікації стенобіонтів у водному середовищі річки Південний Буг

№ точки	Веснянки (Plesoptera)	Одноденки (Ephemeroptera)	Волохокрильці (Trichoptera)	Віслокрилки (Megaloptera)	Бокоплави (Amphipoda)	$\sum k_i$	ІЕБ <sub>T</sub>
1	+	+	+	+	+	0	1,00
2					+	4	0,20
3	-					5	0,17
4		+				4	0,20
5		+			+	3	0,25
6	-					5	0,17
7	-				+	4	0,20
8					+	4	0,20
9					+	4	0,20

8, 9). Цікаво також і те, що у нижньому б'єфі Олександрівського водосховища (за 185 км від гирла) у стоячій воді було помічено багато особин іглиці пухлошокої (*Syngnathus abaster*) – характерного евригалінного чорноморського виду.

Щодо стану водної рослинності, то чим далі від гирла, тим вона була більш «вегетаційно здоровою» та різноманітною.

Щодо оцінювання рівня екологічної безпеки у точках проведення польових досліджень, то вона проводилася за формулою (1) визначення індексу екологічної безпеки (токсикологічний аспект) [22]:

$$\text{ІЕБ}_T = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n k_i} \quad (1)$$

Важливо підкреслити, що наведені результати оцінки репрезентують сталість умов водного середовища протягом тривалого періоду часу. Тому завдання дослідження стояло у пошуку та ідентифікації видів, а не збір їх морфометричних показників, чи параметрів, які характеризують популяцію (чисельність виду, біомаса).

Виходячи з вище викладеного, динаміка значень індексу екологічної безпеки (токсикологічного) (ІЕБ<sub>T</sub>) характеризується експоненціальною закономірністю (рис. 6).

Важливо зазначити, що знаходження стенобіонтів на точках 2-9 було досить трудомістким. І лише на першій точці – їх пошук був швидким і легким.

На основі інтерпретації результатів стенобіоіндикації середовища, досліджувану екосистему можна розділити на три зони (рис. 7): синю – високої якості («здорову»), жовту – стресу, та червону – песимуму (сильного пригнічення). У жовтій зоні планується здійснити додаткові хімічні, фізичні та біологічні дослідження для ідентифікації та уточнення причин деградації водної

екосистеми.

Загалом, наведене зонування закономірно підтверджує отримані результати щодо динаміки рН та мінералізації.

При цьому, з огляду на використання саме макрозообентосу для характеристики екологічного стану річки Південний Буг, можна стверджувати про сталість зафіксованих умов водного

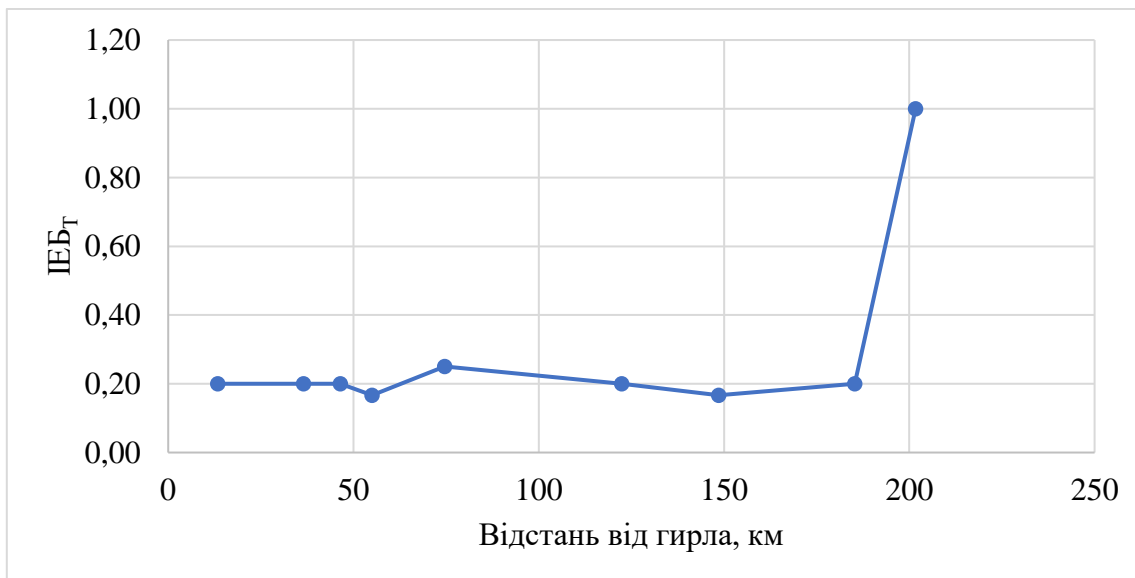


Рис. 6. Динаміка значень індексу екологічної безпеки на р. Південний Буг

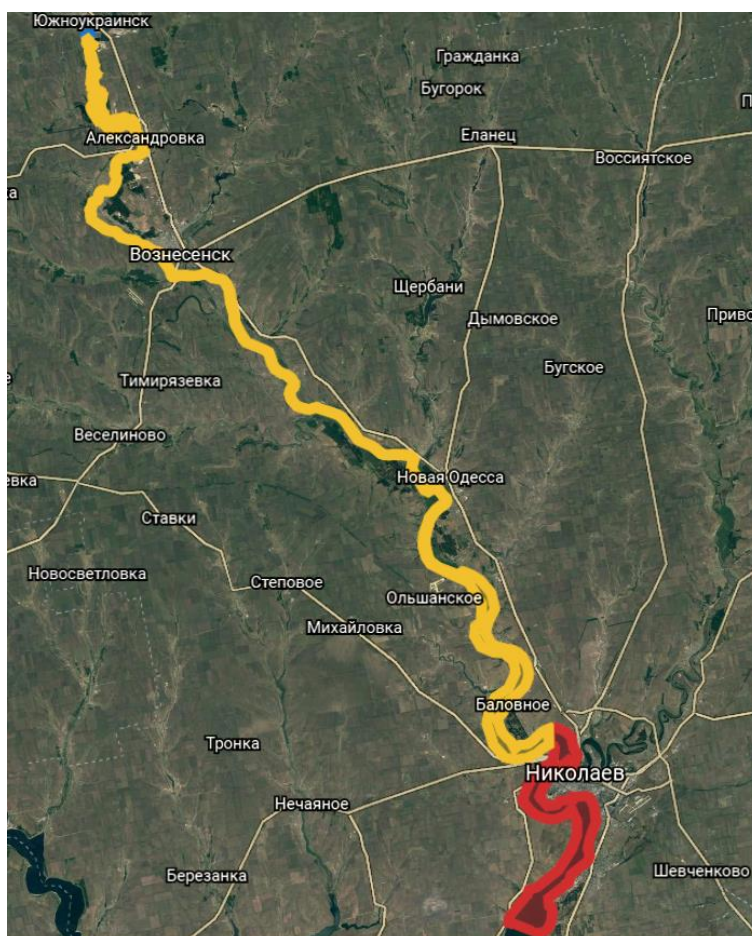


Рис. 7. Зонування річки Південний Буг відповідно до стенобіонтної індикації водного середовища

середовища протягом тривалого періоду часу. Отримані результати дозволяють сформулювати уявлення про потенційні ділянки русла з джерелами дифузного та стаціонарного забруднення у нижній течії річки. Крім цього, підтверджується гіпотеза про те, що Олександрівське водосховище є потужним фактором впливу на якість водних ресурсів униз за течією.

Загалом, враховуючи важливість гирлових ділянок рівнинних річок у якості місць інтенсивного продукування первинної та вторинної продуктивності екосистеми, отримані результати дозволяють стверджувати про те, що сучасна екологічна ситуація зумовлює пригнічення цих процесів, деградацію біомаси та видового різноманіття.

Крім цього, зауважимо, що немає системності у просторовій організації моніторингу за екологічним станом Південного Бугу та на більшості річок України. Наприклад, відстань між найближчими стаціонарними гідрологічними постами спостережень по руслу Південного Бугу складає більше 120 км між м. Гайворон та м. Первомайськ, та близько 50 км між містами м. Миколаїв – м. Нова Одеса – м. Вознесенськ. Фактично, ніхто не знає, що відбувається на річці на ділянках між постами. Тому, справедливо вважати, що ефективне та збалансоване водокористування неможливе без скоординованої розгалуженої системи екологічного моніторингу: розв'язати накопичені проблеми у басейні можна лише знаючи причини їх утворення, а не шляхом боротьби з наслідками.

#### **Висновки**

За результатами проведення польових досліджень та аналізу їх результатів встановлено наступне:

1) за індексом екологічної безпеки (стенбіонтний підхід) досліджувану ділянку водної екосистеми розділено на три зони якості, з яких на високу якість («здорова» екосистема) припадає лише 1% дослідженої ділянки русла. Найбільша частка (близько 80%) припадає на зону стресу, що характеризує водну екосистему як збіднену та сильно антропогенно навантажену. Загалом, екологічний стан нижньої течії річки Південний

Буг можна оцінити як незадовільний, техногенно перевантажений;

2) встановлено закономірності динаміки деяких гідрохімічних та гідрофізичних показників водної екосистеми: рН, мінералізація, електропровідність. Зокрема виявлено, що солоні води Чорного моря піднімаються уверх по руслу на відстань до 100 км, впливаючи на особливості просторового розподілу біологічних видів та їх чисельності у річці. Кислотно-лужний баланс води характеризується лінійною закономірністю: з наближенням до гирла, значення збільшуються до 8,8 одиниць;

3) Південний Буг, як і інші річки України, потребує вдосконалення існуючої системи екологічного моніторингу, що забезпечить ефективність та збалансованість басейнового підходу до управління її екосистемними послугами.

Отримані результати вважаємо невід'ємною складовою майбутніх польових досліджень щодо ідентифікації джерел негативного впливу на водну екосистему Південного Бугу, визначення сили дії цих факторів та оцінювання об'єму екосистемних послуг, потік яких нівелюється незбалансованим природокористуванням у басейні річки.

Новизна проведеної роботи і отриманих результатів полягає в одержанні комплексної оцінки екологічного стану екосистеми річки у період межені, яка, на відміну від концепції ГДК, характеризує стан Південного Бугу не точково, а враховує кумулятивні та синергетичні ефекти антропогенного впливу на нього. Останні найкраще проявляються у період літньої межені, внаслідок чого суттєво змінюється структура та біомаса харчового ланцюга річки.

Відтак, практичне значення проведеного дослідження полягає не тільки у необхідності розроблення нових методів ідентифікації джерел забруднення та ліквідації причин деградації водної екосистеми, але й дозволяє зробити важливий методологічний висновок про неспроможність нормативної концепції нормування антропогенного навантаження на довкілля об'єктивно відображати реальний екологічний стан екосистем та збалансовано управляти потоком екосистемних послуг.

#### **Література**

1. Ухань О. О. Типізація поверхневих вод басейну Південного Бугу за вмістом головних іонів, біогенних елементів, органічних речовин та розчиненого кисню [Текст] / О. О. Ухань, В. І. Осадчий, Ю. Б. Набиванець, Н. М. Осадча, Д. В. Глотка // *Наукові праці УкрНДГМІ*, 2015. – Вип. 267. – С. 46-56. – Режим доступу: [https://uhmi.org.ua/pub/np/267/Ukhan\\_Osadchy\\_Yu\\_Nabyvaniets\\_Osadcha\\_Glotka\\_257.pdf](https://uhmi.org.ua/pub/np/267/Ukhan_Osadchy_Yu_Nabyvaniets_Osadcha_Glotka_257.pdf)
2. Нестерова О. В. Проблеми басейнів малих річок [Текст] / О. В. Нестерова, В. В. Шарков, О. А. Журавльова, Я. С. Нестеров // *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*, 2019. – №5(257-258). – С. 67-74. – Режим доступу: <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.221019.68.524>
3. Удод В. М. Дослідження причин та наслідків трансформації техногенно змінених водних систем [Текст] / В. М. Удод, С. М. Маджед, Я. І. Кулинич // *Наукові праці: наук. журнал Чорном. нац.ун-т ім. Петра Могили*,

2017. – Т. 289. Вип. 277. – С. 10–17. – Режим доступу: <https://dspace.nau.edu.ua/bitstream/NAU/32104/1/%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B0%D1%97%D0%B20001.pdf>
4. Алимов А. Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем [Текст] / А.Ф. Алимов. – СПб.: Наука, 2000. – 147 с.
  5. Белоус Е. П. Таксономическая структура фитопланктона верхнего участка реки Южный Буг (Украина) [Текст] / Е. П. Белоус // Альгология, 2012. – Т. 22, №4. – С. 393-401. – Режим доступу: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/64238>
  6. Мудрак О. В. Історія господарського освоєння поверхневих водойм Вінниччини [Текст] / О. В. Мудрак, С. В. Рябоконь // Збірник наукових праць ВНАУ. Екологія, 2011. – №7(47). – С. 107-112. – Режим доступу: <http://81.30.162.23/repository/getfile.php/3721.pdf>
  7. Жолуденко О. О. Вивчення багаторічної динаміки змін показників рідкого та твердого стоку р. Південний Буг в зоні впливу Ташилицької ГАЕС та Олександрівського водосховища [Текст] / О. О. Жолуденко // Зб. наук. праць «Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист», 2014. – №6. – С. 132-138. – Режим доступу: <http://tes.igns.gov.ua/materials/6n/Zholudenko.pdf>
  8. Оцінка екологічного стану річки Південний Буг у відповідності до вимог Водної амкової Директиви Р ЄС [Текст] / за ред. С.О. Афанасьєва. – Київ, 2012. – 28 с.
  9. Щербуха А.Я. Іхтіофауна України у ретроспективі та сучасні проблеми збереження її різноманіття [Текст] / А. Я. Щербуха // Вісник зоології, 2004. – №38(3). – С. 3-18. – Режим доступу: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/3265/01-scherbuha%20.pdf?sequence=1>
  10. Бойченко С. Г. та ін. Тенденції зміни стоку Південного Бугу – вплив кліматичних факторів та зарегулювання [Текст] / С. Г. Бойченко, Р. Б. Гаврилюк, С. А. Савченко, В. В. Шаравара, Я. І. Мовчан, В. П. Мельничук // Матеріали V Наукових читань пам'яті Сергія Таращука: м. Миколаїв, 21 квітня 2017 року. Серія: «Conservation Biology in Ukraine». – К.: LAT&K, 2017. – Вип. 3. – С. 17-19. – Режим доступу: [http://ekmair.ukma.edu.ua/bitstream/handle/123456789/12921/Boichenko\\_Tendentsii\\_zminy\\_stoku\\_Pivdennoho\\_Bu\\_hu\\_vplyv\\_klimatychnykh\\_faktoriv\\_ta\\_zarehuliuвання.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://ekmair.ukma.edu.ua/bitstream/handle/123456789/12921/Boichenko_Tendentsii_zminy_stoku_Pivdennoho_Bu_hu_vplyv_klimatychnykh_faktoriv_ta_zarehuliuвання.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
  11. Bezsonov Y. Influence of the South-Ukraine electric power producing complex on the ecological condition of the Southern Bug River [Текст] / Ye. Bezsonov, O. Mitryasova, V. Smyrnov, S. Smyrnova // Eastern European Journal of Enterprise Technologies, 2017. – №4(10). – Р. 20-28. – Режим доступу: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108322>
  12. Магась Н. І. Оцінка сучасного антропогенного навантаження на басейн річки Південний Буг [Текст] / Н. І. Магась, А. Г. Трохименко // Екологічна безпека, 2013. – №2(13). – С. 48-52. – Режим доступу: [http://www.kdu.edu.ua/EKB\\_jurnal/2013\\_2\(16\)/Pdf/48.pdf](http://www.kdu.edu.ua/EKB_jurnal/2013_2(16)/Pdf/48.pdf)
  13. Днепроовско-Бугская эстуарная экосистема [Текст] / В. Н. Жукинский, Л. А. Журавлева Л. А., А. И. Иванов и др.; Отв. ред. Зайцев Ю. П.; АН УССР, Ин-т гидробиологии. – Киев: Наукова думка, 1989. – 240 с.
  14. Регіональна доповідь [Текст]. – Режим доступу: <http://ecolog.mk.gov.ua/ua/ecoreports/regonalreport/>
  15. Манукало В. О. Мережа гідрологічних спостережень у басейні річки Південний Буг: історія розвитку, сучасний стан та можливості [Текст] / В. О. Манукало // Наук. праці УкрНДГМІ, 2012. – Вип. 263. – С. 165-181. – Режим доступу: [https://uhmi.org.ua/pub/np/263/Manukalo\\_263.pdf](https://uhmi.org.ua/pub/np/263/Manukalo_263.pdf)
  16. Безсонов Є. М. Визначення рівня екологічної безпеки регіону методом токсико-енергетичного відгуку біотичних компонентів водних екосистем [Текст] / Є. М. Безсонов / Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 «Екологічна безпека». – Національний університет «Львівська політехніка», 2018. – Режим доступу: [https://lpnu.ua/sites/default/files/dissertation/2018/9253/dis\\_bezsonov.pdf](https://lpnu.ua/sites/default/files/dissertation/2018/9253/dis_bezsonov.pdf)
  17. Алимов А. Ф. Стабильность и устойчивость водных экосистемы [Текст] / А. Ф. Алимов // Гидробиологический журнал, 2017. – Т.53, №1. – С. 3–15.
  18. Биотестовый анализ – интегральный метод оценки качества объектов окружающей среды: учебно-методическое пособие [Текст] / А. Г. Бубнов и др.; под общ. ред. В. И. Гриневича. – Иваново: ГОУ ВПО Иван. хим.-технол. ун-т, 2007. – 112 с.
  19. Aquatic Benthic Macroinvertebrates As Water Quality Indicators [Текст]. – Режим доступу: <https://www.wpwa.org/documents/education/Biological%20sampling.pdf>
  20. Хиженяк М. І. Методологія вивчення угруповань водних організмів: навчальний посібник [Текст] / М. І. Хиженяк, М. Ю. Євтушенко. – Київ: Український фітосоціологічний центр, 2014. – 269 с.
  21. Bouchard R. W., Jr. Guide to aquatic macroinvertebrates of the Upper Midwest [Текст] / R. W. Bouchard Jr. – Water Resources Center, University of Minnesota, 2004. – 208 pp. – Режим доступу: <https://dep.wv.gov/WWE/getinvolved/sos/Documents/Benthic/UMW/Ephemeroptera.pdf>
  22. Патент на корисну модель України №128240 (и 2018 02794) від 10.09.2018. Спосіб токсико-енергетичного оцінювання екологічного стану поверхневих водних екосистем [Текст]. – Режим доступу: <https://base.uipv.org/searchinv/search.php?action=viewdetails&IdClaim=250827&chapter=biblio>
  23. Dutta V. Assessment of River Ecosystems and Environmental Flows: Role of Flow Regimes and Physical Habitat Variables [Текст] / V. Dutta, U. Sharma // Climate Change and Environmental Sustainability, 2017. – №5(1). – Р. 20-34. DOI: <https://doi.org/10.5958/2320-642X.2017.00002.3m>. – Режим доступу: [https://www.researchgate.net/publication/318480514\\_Assessment\\_of\\_River\\_Ecosystems\\_and\\_Environmental\\_Flows\\_Role\\_of\\_Flow\\_Regimes\\_and\\_Physical\\_Habitat\\_Variables](https://www.researchgate.net/publication/318480514_Assessment_of_River_Ecosystems_and_Environmental_Flows_Role_of_Flow_Regimes_and_Physical_Habitat_Variables)

24. Jordà-Capdevila D. A five-step assessment of river ecosystem services to inform conflictive water-flows management – the Ter River case [Текст] / D. Jordà-Capdevila, B. Rodríguez-Labajos, M. Bardina // *Vertigo – la revue électronique en sciences de l'environnement*, 2016. – Режим доступу: <http://journals.openedition.org/vertigo/17462>; DOI: <https://doi.org/10.4000/vertigo.17462>
25. Kuemmerlen M. Ecological assessment of river networks: From reach to catchment scale [Текст] / M. Kuemmerlen, P. Reichert, R. Siber, N. Schuwirth // *Science of The Total Environment*, 2019. – №650(1). – P. 1613-1627. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.019>
26. Cooper A. R. Assessment of dam effects on streams and fish assemblages of the conterminous USA [Текст] / A. R. Cooper, D. M. Infante, W. M. Daniel, K. E. Wehrly, L. Wang, O. T. Brenden // *Science of The Total Environment*, 2017. – №586. – P. 879-889. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.067>
27. Gurnell A. M. Assessing river condition: A multiscale approach designed for operational application in the context of biodiversity net gain [Текст] / A. M. Gurnell, S. J. Scott, J. England, D. Gurnell, R. Jeffries, L. Shuker, G. Whar-ton // *River Research and Application*, 2020. – №36(8). – P. 1559-1578. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1002/rra.3673>
28. Ekka A. Anthropogenic Modifications and River Ecosystem Services: A Landscape Perspective [Текст] / A. Ekka, S. Pande, Y. Jiang, P. van der Zaag // *Water*, 2020. – №12. – P. 2706. – Режим доступу: <https://doi.org/10.3390/w12102706>
29. Мальцев В. І., Карпова Г. О., Зуб Л. М. Визначення якості води методами біоіндикації: науково-методичний посібник [Текст] / В. І. Мальцев, Г. О. Карпова, Л. М. Зуб. – К.: Національний центр екомоніторингу та біорізноманіття мегаполісу НАН України; Недержавна наукова установа Інститут екології (ІНЕКО) Національного екологічного центру України, 2011. – 112 с.
30. Толочик І. Л. Екологічний стан р. Стир в умовах антропогенного навантаження у межах Рівненської області [Текст] / І. Л. Толочик / Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук за спеціальністю 03.00.16 «Екологія». – Рівненський державний гуманітарний університет. Інститут екології Карпат НАН України, Львів, 2018. – Режим доступу: <http://ecoinst.org.ua/pdf/d12.pdf>
31. Мельник В. Й. Екологічні нормативи якості води річок в межах Рівненської області: монографія [Текст] / В. Й. Мельник. – Рівне: О. Зень, 2015. – 290 с.
32. Гелашивили Д. Б. Принципы экологического нормирования антропогенной нагрузки на лотические экосистемы по показателям макрозообентоса [Текст] / Д. Б. Гелашивили, А. А. Карандашова // *Изв. Самар. Науч. центра РАН*, 2002. – Т. 2, №4. – С. 252-254. – Режим доступу: [http://www.ievbras.ru/ecostat/Kiril/Article/A3/Gela\\_norm.htm](http://www.ievbras.ru/ecostat/Kiril/Article/A3/Gela_norm.htm)

Надійшла до редакції 6 листопада 2020 р.

Прийнята 27 січня 2021 р.

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

UDC 502.057

**Yevhen Bezsonov,**

PhD, Senior Lecturer, Department of Ecology, Petro Mohyla Black Sea National University,  
10 68 Desantnykiv St., Mykolaiv, 54003, Ukraine,

e-mail: [evgbess45@gmail.com](mailto:evgbess45@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-5745-3121>;

**Diana Krysinaka,**

Lecturer, Department of Ecology, Petro Mohyla Black Sea National University,

e-mail: [silfida13@gmail.com](mailto:silfida13@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-3117-6039>;

**Rodion Rossol,**

PhD student, Department of Ecology, Petro Mohyla Black Sea National University

e-mail: [bristleback32@gmail.com](mailto:bristleback32@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-7203-4141>

## FEATURES OF DYNAMICS OF THE SOUTHERN BUH RIVER AQUATIC ENVIRONMENT PARAMETERS DURING THE SUMMER LOW-WATER PERIOD

**Formulation of the problem.** Global climate change causes transformation in the humidification regime and, as a result, makes adjustments to economic activities and features of water use. In the context of Ukraine, against the background of climate change, the runoff of most domestic rivers is declining, which especially in the limited period exacerbates the issue of balanced use of ecosystem services of aquatic ecosystems and prioritization of needs during resource allocation, control of rivers and establishment of their functioning.

**The purpose of the article.** Recognizing the strategic importance of freshwater ecosystems in ensuring sustainable regional and national development, the study of the Southern Bug River was aimed at assessing

its ecological status in order to identify sources of negative anthropogenic impact and identify general ecosystem distortions that may affect the functional integrity of the aquatic ecosystem.

**Methods.** The research points on the Southern Bug River were determined by the method of randomization. The total length of the route was about 200 km. Also, the spatial location of settlements was taken into account, so that the investigated points were both upstream and downstream. Measurement of physicochemical parameters was performed by instruments: TDS-3, TDS/EC/Temp-meter HM COM-100, pH-meter Ezo-do 6011A. The task of hydrobiological research was to find and identify species at the family level. The research was conducted at the end of July 2020, when the river entered to low flow phase.

**Results.** On the basis of field research, the assessment of the ecological state of the Southern Bug River in the lower course (from the city of Pivdennoukrainsk) was carried out in the work. Regularities of pH dynamics and mineralization of the aquatic environment are established. The limits of the spatial influence of the Black Sea waters on the Southern Bug, the continental advance of which (upstream) almost 100 km up is due to the high level of regulation of basin runoff, have been specified. The same processes, as a consequence, affect not only biodiversity, but also the features of industrial and domestic water use. Using the stenobiotic approach, the level of ecological safety of the Southern Bug ecosystem in the lower course was assessed. Based on the obtained results of stenobioindication, the zoning of the studied area of the Southern Bug is proposed, which compares quite well with the results of pH and mineralization measurements. Only 1% of the route, which corresponds to the porous section of the river channel, was classified as a "healthy ecosystem". The closer to the mouth, the pH of the water gradually increases, which contributes to the intensification of the eutrophication process.

**Scientific novelty and practical significance.** The obtained results are considered to be an integral part of future field research on the identification of sources of negative impact on the aquatic ecosystem of the Southern Bug.

The novelty of the results obtained is a comprehensive assessment of the ecological state of the river ecosystem in the low flow period, which, in contrast to the concept of maximum permissible concentration, characterizes the state of the Southern Bug not point, but takes into account the cumulative and synergistic effects of anthropogenic impact. The latter are best manifested during the summer season, as a result of which the structure and biomass of the river's food chain change significantly.

In addition, the analysis of the rational use of water resources of rivers allowed us to state that the modern system of environmental standards, which in particular regulate the quality of the aquatic environment, cannot ensure the preservation of river ecosystems.

**Keywords:** Southern Bug River ecosystem, summer low-water period, ecological status assessment, stenobiotic approach.

#### References

1. Ukhan, O.O., Osadchyi, V.I., Nabyvanets, Yu.B., Osadcha, N.M., Hlotka, D.V. (2015). *Typizatsiia poverkhnevnykh vod baseinu Pivdennoho Buhu za vmistom holovnykh ioniv, biohennykh elementiv, orhanichnykh rehovyn ta rozchynenoho kysniu* [Typification of surface waters of the Southern Bug river basin by the content of major ions, nutrients, organic matter and dissolved oxygen]. *Naukovi pratsi UkrNDHMI - Scientific works of Ukrainian Hydrometeorological Institute*, 267, 46-56. Available at: [https://uhmi.org.ua/pub/np/267/Ukhan\\_Osadchy\\_Yu\\_Nabyvaniets\\_Osadcha\\_Glotka\\_257.pdf](https://uhmi.org.ua/pub/np/267/Ukhan_Osadchy_Yu_Nabyvaniets_Osadcha_Glotka_257.pdf) [in Ukrainian]
2. Nesterova, O.V. Sharkov, V.V. Zhuravlova, O.A Nesterov, Ya.S. (2019). *Problemy baseiniv malykh richok* [Problems of small river basins]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury - Bulletin of the Dnieper State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 5, 257-258 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.221019.68.524>
3. Udod, V.M. Madzhd, S.M. Kulynych, Ya.I. (2017). *Doslidzhennia prychnyn ta naslidkiv transformatsii tekhnogenno zminenykh vydneykh system* [Investigation of the causes and consequences of the transformation of technogenic modified visible systems]. *Naukovi pratsi: nauk. zhurnal Chornom. nats. un-t im. Petra Mohyly - Scientific works: science magazine of Petro Mohyla Black Sea National University*, 289, 277, 10-17 [in Ukrainian]. <https://dspace.nau.edu.ua/bitstream/NAU/32104/1/%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B0%D1%97%D0%B20001.pdf>
4. Alimov, A.F. (2000). *Elementy teorii funktsionirovaniya vodnykh ekosistem* [Elements of the theory of the functioning of aquatic ecosystems.]. SPb.: Nauka [in Russian].
5. Belous, E.P. (2012). *Taksonomicheskaya struktura fitoplanktona verhnego uchastka reki Yuzhnyiy Bug (Ukrayina)* [Taxonomic structure of phytoplankton in the upper section of the Southern Bug River (Ukraine)]. *Algologiya*, 22, 4, 393-401 [in Russian]. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/64238>
6. Mudrak, O.V. Riabokon, S.V. (2011). *Istoriia hospodarskoho osvoiennia poverkhnevnykh vodoim Vinnychchyny* [History of economic development of surface water bodies of Vinnytsia region]. *Zbirnyk naukovykh prats VNAU. Ekolohiia - Collection of scientific works of VNAU. Ecology*, 7(47), 107-112 [in Ukrainian].



7. Zholudenko, O.O. Vyvchennia bahatorichnoi dynamiky zmin pokaznykiv ridkoho ta tverdoho stoku r. Pivdennoi Buh v zoni vplyvu Tashlytskoi HAES ta Oleksandrivskoho vodoshkovyshcha [Study of long-term dynamics of changes in liquid and solid runoff of the Southern Bug River in the zone of influence of Tashlyk PSP and Oleksandrivka Reservoir]. *Zb. nauk. prats Tekhnohenko-ekolohichna bezpeka ta tsyvilnyi zakhyst*. Collection of scientific works "Technogenic and ecological safety and civil protection", 6, 132-138. Available at: <http://tes.igns.gov.ua/materials/6n/Zholudenko.pdf> [in Ukrainian]
8. Afanasieva, S.O. (2012). Otsinka ekolohichnoho stanu richky Pivdennoi Buh u vidpovidnosti do vymoh Vodnoi ramkovoї Dyrektyvy R YeS [Assessment of the ecological status of the Southern Bug River in accordance with the requirements of the EU Water Framework Directive] Kyiv, 28 [in Ukrainian].
9. Shcherbukha, A. Ya. (2004). Ikhtiofauna Ukrainy u retrospekti ta suchasni problemy zberezhenia yii riznomanitnia [Ichthyofauna of Ukraine in retrospect and modern problems of preserving its diversity]. *Visnyk zoolohii – Bulletin of Zoology*, 38(3) 3-18. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/3265/01-scherbuha%20.pdf?sequence=1> [in Ukrainian].
10. Boichenko, S.H. et al. (2017). Tendentsii zminy stoku Pivdennoho Buhu – vplyv klimatychnykh faktoriv ta zarehulivannia [Trends in the runoff of the Southern Bug - the influence of climatic factors and over-regulation]. *Materialy V Naukovykh chytan pamiati Serhii Tarashchuka, Serii: "Conservation Biology in Ukraine". Materials of the V Scientific Readings in Memory of Serhiy Tarashchuk Series: "Conservation Biology in Ukraine"*, 3, 17-19 [http://ekmair.ukma.edu.ua/bitstream/handle/123456789/12921/Boichenko\\_Tendentsii\\_zminy\\_stoku\\_Pivdennoho\\_Buhu\\_vplyv\\_klimatychnykh\\_faktoriv\\_ta\\_zarehulivannia.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://ekmair.ukma.edu.ua/bitstream/handle/123456789/12921/Boichenko_Tendentsii_zminy_stoku_Pivdennoho_Buhu_vplyv_klimatychnykh_faktoriv_ta_zarehulivannia.pdf?sequence=3&isAllowed=y) [in Ukrainian].
11. Bezsonov, Ye. Mitryasova, O. Smyrnov, V. Smyrnova, S. (2017). Influence of the South-Ukraine electric power producing complex on the ecological condition of the Southern Bug River. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 4(10-88), 20-28. Available at: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108322> [in English]
12. Mahas, N.I. & Trokhymenko, A.G. (2014). Otsinka suchasnoho antropohennoho navantazhennia na basein richky Pivdennoi Buh [Assessment of modern anthropogenic load on the Southern Bug river basin]. *Ekolohichna bezpeka – Journal of Technical Sciences*, 2 (13), 48-52. Available at: [http://www.kdu.edu.ua/EKB\\_jurnal/2013\\_2\(16\)/Pdf/48.pdf](http://www.kdu.edu.ua/EKB_jurnal/2013_2(16)/Pdf/48.pdf) [in Ukrainian]
13. Zhukinskiy, V.N. et al. (1989). Dneprovsko-Bugskaya estuarnaya ekosistema [Dnieper-Bug estuary ecosystem], (Ed(s) Zaytsev, Yu.P.). Kiev: Naukova dumka [in Russian]
14. Rehionalna dopovid. [Regional report]. Available at: <http://ecolog.mk.gov.ua/ua/ecoreports/regonalreport/> [in Ukrainian]
15. Manukalo, V.O. (2012). Merezha hidrolohichnykh sposterezhen u baseini richky Pivdennoi Buh: istoriia rozvytku, suchasnyi stan ta mozhyvosti [Network of hydrological observations in the Southern Bug river basin: history of development, modern condition and opportunities]. *Naukovi pratsi UkrNDHMI. Scientific works of Ukrainian Hydrometeorological Institute*, 263, 165-181 [in Ukrainian]. Available at: [https://uhmi.org.ua/pub/np/263/Manukalo\\_263.pdf](https://uhmi.org.ua/pub/np/263/Manukalo_263.pdf) [in Ukrainian]
16. Bezsonov, Ye.M. (2018). Vyznachennia rivnia ekolohichnoi bezpeky rehionu metodom toksyko-enerhetychnoho vidhuku biotychnykh komponentiv vodnykh ekosystem: Dysertatsiia na zdobuttia naukovoho stupenia kandydata tekhnichnykh nauk za spetsialnistiu 21.06.01 «Ekolohichna bezpeka» [Determination of the region ecological safety level by the method of toxic-energy response of the water ecosystem biotic components: Dissertation for the degree of Ph.D., specialty 21.06.01 – ecological safety]. Lviv Polytechnic National University. Available at: [https://lpnu.ua/sites/default/files/dissertation/2018/9253/dis\\_bezsonov.pdf](https://lpnu.ua/sites/default/files/dissertation/2018/9253/dis_bezsonov.pdf) [in Ukrainian]
17. Alimov, L.F. (2017). Stabilnost i ustoychivost vodnykh ekosystem [Stability and Sustainability of Aquatic Ecosystems]. *Gidrobiologicheskii zhurnal [Hydrobiological journal]*, 53, 1, 3-15 [in Russian]
18. Bubnov, A.G. et al. (2007). Biotestovyyi analiz – integralnyi metod otsenki kachestva ob'ektov okruzhayushey sredy: uchebno-metodicheskoe posobie [Biotest analysis is an integral method for assessing the quality of environmental objects: teaching aid], (Ed(s) Grinevich, V.I.), Ivanovo, Russia, 112. [in Russian]
19. Aquatic Benthic Macroinvertebrates As Water Quality Indicators: presentation. Available at: <https://www.wpwa.org/documents/education/Biological%20sampling.pdf> [in English]
20. Khyzhniak, M.I., Yevtushenko, M. Yu. (2014). Metodolohiia vyvchennia uhrupovan vodnykh orhanizmiv: navchalnyi posibnyk [Methodology for studying groups of aquatic organisms: a teaching aid]. Kyiv: Ukrainian Phytosociological Center, 269. [in Ukrainian]
21. Bouchard, R.W.Jr. (2004). Guide to aquatic macroinvertebrates of the Upper Midwest. Water Resources Center, University of Minnesota. Available at: <https://dep.wv.gov/WWE/getinvolved/sos/Documents/Benthic/UMW/Ephemeroptera.pdf> [in English]
22. Patent na korysnu model Ukrainy no.128240 (u 2018 02794) vid 10.09.2018. Sposib toksyko-enerhetychnoho otsiniuvannia ekolohichnoho stanu poverkhnevyykh vodnykh ekosystem [Patent for a utility model of Ukraine: Method of toxico-energy assessment of ecological state of surface aquatic ecosystems]. Available at: <https://base.uipv.org/searchiv/search.php?action=viewdetails&IdClaim=250827&chapter=biblio> [in Ukrainian]
23. Dutta V., Sharma U. (2017). Assessment of River Ecosystems and Environmental Flows: Role of Flow Regimes and Physical Habitat Variables. *Climate Change and Environmental Sustainability*, 5(1), 20-34. DOI: <https://doi.org/10.5958/2320-642X.2017.00002.3>. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/318480514\\_Assessment\\_of\\_River\\_Ecosystems\\_and\\_Environmental\\_Flows\\_Role\\_of\\_Flow\\_Regimes\\_and\\_Physical\\_Habitat\\_Variables](https://www.researchgate.net/publication/318480514_Assessment_of_River_Ecosystems_and_Environmental_Flows_Role_of_Flow_Regimes_and_Physical_Habitat_Variables) [In English]

24. Jordà-Capdevila D., Rodríguez-Labajos B., Bardina M. (2016). A five-step assessment of river ecosystem services to inform conflictive water-flows management – the Ter River case. *Vertigo* – la revue électronique en sciences de l'environnement. Available at: <http://journals.openedition.org/vertigo/17462>; DOI: <https://doi.org/10.4000/vertigo.17462> [In English]
25. Kuemmerlen M., Reichert P., Siber R., Schuwirth N. (2019). Ecological assessment of river networks: From reach to catchment scale. *Science of The Total Environment*, 650(1), 1613-1627. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.019> [in English]
26. Cooper A. R., Infante D. M., Daniel W. M., Wehrly K. E., Wang L., Brenden O. T. (2017). Assessment of dam effects on streams and fish assemblages of the conterminous USA. *Science of The Total Environment*, 586, 879-889. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.067> [in English]
27. Gurnell A. M., Scott S. J., England J., Gurnell D., Jeffries R., Shuker L., Wharton G. (2020). Assessing river condition: A multiscale approach designed for operational application in the context of biodiversity net gain. *River Research and Application*, 36(8), 1559-1578. Available at: <https://doi.org/10.1002/rra.3673> [in English]
28. Ekka A., Pande S., Jiang Y., P. van der Zaag. (2020). Anthropogenic Modifications and River Ecosystem Services: A Landscape Perspective. *Water*, 12, 2706. Available at: <https://doi.org/10.3390/w12102706> [in English]
29. Maltsev V. I., Karpova G. O., Zub L. M. (2011). *Vizualizatsiya metodiv bioindikatsiyi: nauko-metodychnyy posibnyk [Visualization of bioindication methods: scientific-methodical manual]*. Kyiv, National Center for Ecomonitoring and Biodiversity of the Metropolis of the National Academy of Sciences of Ukraine; Non-governmental scientific institution Institute of Ecology (INECO) of the National Ecological Center of Ukraine, 112 p. [in Ukrainian]
30. Tolochyk I. L. (2018). *Ekolohichnyy stan r. Styr v umovakh antropohennoho navantazhennya u mezhakh Rivnenskoyi oblasti: Dysertatsiya na zdobuttya naukovoho stupenya kandydata biolohichnykh nauk za spetsialnistyu 03.00.16 «Ekolohiya» [Ecological state of the Styr river in conditions of anthropogenic loading within Rivnenska oblast: The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of biological sciences on a specialty 03.00.16 «Ecology»]*. Rivne State Humanitarian University. Institute of Ecology of the Carpathians of National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv. Available at: <http://ecoinst.org.ua/pdf/d12.pdf> [in Ukrainian]
31. Melnyk V. Y. (2015). *Ekolohichni normatyvy yakosti vody richok v mezhakh Rivnenskoyi oblasti: monohrafiya [Ecological standards of river water quality within Rivne region: monograph]*. Rivne: O. Zen. 290 p. [in Ukrainian]
32. Gelashvili D. B., Karandashova A. A. (2002). *Printsipy ekologicheskogo normirovaniya antropogennoy nagruzki na loticheskiye ekosistemy po pokazatelyam makrozoobentosa [Principles of ecological regulation of anthropogenic load on lotic ecosystems in terms of macrozoobenthos indicators]*. *Izv. Samar. Nauch. tsentra RAN – Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2(4), 252-254. Available at: [http://www.ievbras.ru/ecostat/Kiril/Article/A3/Gela\\_norm.htm](http://www.ievbras.ru/ecostat/Kiril/Article/A3/Gela_norm.htm) [in Russian]

**Людмила Олександрівна Горбачова,**

д. геогр. н., ст. наук. співроб., завідувачка відділу гідрологічних досліджень,  
Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України,  
просп. Науки, 37, м. Київ, 03028, Україна,  
e-mail: [gorbachova@uhmi.org.ua](mailto:gorbachova@uhmi.org.ua), <https://orcid.org/0000-0003-1033-9385>;

**Борис Федорович Христюк,**

к. геогр. н., завідувач лабораторії гідрологічних розрахунків,  
Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України і НАН України,  
e-mail: [khryst@uhmi.org.ua](mailto:khryst@uhmi.org.ua), <https://orcid.org/0000-0003-4290-3745>

## ПРОГНОЗУВАННЯ ВОДНОСТІ РІЧКИ СТИР НА НАЙБЛИЖЧІ РОКИ

Водний стік річки Стир використовується для потреб промисловості, сільського господарства та населення. В басейні р. Стир створено Хрінницьке та Млинівське водосховища, Хрінницька ГЕС, а також водою річки обслуговується Рівненська АЕС. Отже, довгострокове прогнозування водності р. Стир має важливе значення.

Найчастіше для довгострокового гідрологічного прогнозування використовують кількісні методи. Однак, гідрологічні прогнози, які мають завчасність рік, два або десятиліття мають низьку справджуваність. Сьогодні у світі ця проблема не вирішено. Разом з цим, для покращення довгострокового гідрологічного прогнозування отримують розвиток підходи, які використовують якісні методи. Отже, у роботі для довгострокового прогнозування водності р. Стир використано метод співірності, який за своєю сутністю є якісним методом. Метод співірності дозволяє прогнозувати різні природні явища, зокрема землетруси, повені, посухи тощо. Він характеризується простотою обчислень та мінімальними потребами у вхідній інформації. Існує декілька способів прогнозування за методом співірності. У роботі використано спосіб прогнозування за двовимірними графіками співірності. Цей метод полягає у визначенні значень співірності в масиві даних станів тих чи інших явищ та побудові двовимірного графіку співірності, за яким і відбувається прогнозування.

Для прогнозування водності р. Стир на найближчі роки опрацьовано найтриваліший ряд спостережень на річці, а саме на гідрологічному посту р. Стир – м. Луцьк за період 1923-2017 рр. Результати дослідження за методикою співірності показують, що водність річки Стир у 2020-2021 рр. має бути більшою за норму, у 2023-2024 рр. – меншою за норму.

**Ключові слова:** водність річки, метод співірності, довгострокове прогнозування, багатоводний рік, маловодний рік.

**Л. А. Горбачёва, Б. Ф. Христюк. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОДНОСТИ РЕКИ СТЫРЬ НА БЛИЖАЙШИЕ ГОДЫ.**

Водный сток реки Стырь используется для нужд промышленности, сельского хозяйства и населения. В бассейне р. Стырь построены Хренницкое и Млыновское водохранилища, Хренницкая ГЭС, а также водой реки обслуживается Ровенская АЭС. Поэтому, долгосрочное прогнозирование водности р. Стырь имеет важное значение.

Чаще всего для долгосрочного гидрологического прогнозирования используют количественные методы. Однако, гидрологические прогнозы, которые имеют заблаговременность год, два или десятилетие имеют низкую оправдываемость. Сегодня в мире эта проблема все ещё не решена. Однако, для улучшения долгосрочного гидрологического прогнозирования получают развитие подходы, которые используют качественные методы. В работе для долгосрочного прогнозирования водности р. Стырь использован метод соизмеримости, который по своей сути является качественным методом. Метод соизмеримости позволяет прогнозировать различные природные явления, в частности землетрясения, наводнения, засухи и т.д. Он характеризуется простотой вычислений и минимальными потребностями в входной информации. Существует несколько способов прогнозирования по методу соизмеримости. В работе использован способ прогнозирования по двумерным графикам соизмеримости. Этот метод заключается в определении значений соизмеримости в массиве данных наступления тех или иных явлений и построении двумерного графика соизмеримости, по которому и происходит прогнозирования.

Для прогнозирования водности р. Стырь на ближайшие годы использован самый продолжительный ряд наблюдений на реке, а именно на гидрологическом посту р. Стырь – м. Луцьк за период 1923-2017 гг. Результаты исследования по методике соизмеримости показывают, что водность реки Стырь в 2020-2021 гг. должна быть больше нормы, в 2023-2024 гг. - меньше нормы.

**Ключевые слова:** водность реки, метод соизмеримости, долгосрочное прогнозирование, многоводный год, маловодный год.

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій.** Забезпечення населення і господарської сфери водою завжди являло собою важливу проблему. Однією з її складових є оцінювання можливих змін водних ресурсів з часом. Відповідні дослідження дуже поширені у світі [1-3]. Основою таких досліджень є довгострокове гідрологічне прогнозування.

Гідрологічне прогнозування використовує два основних підходи: статистичний та детерміністичний. Статистичний підхід розглядає процес формування водного стоку річки як випадковий. Детерміністичний - базується на аналізі чинників та умов формування водного стоку [1,

4]. Методи довгострокового прогнозування поділяють на кількісні та якісні [5]. Кількісні методи можна назвати традиційними методами, які зазвичай і застосовуються для прогнозування. Вони використовують статистичні методи, кореляційний і регресійний аналіз тощо [4, 6-8]. Гідрологічні прогнози, які мають завчасність рік, два або десятиліття мають низьку справджуваність. Саме для зменшення такого недоліку для довгострокового прогнозування почали використовувати якісні підходи [5, 9-11].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Загалом, довгострокове прогнозування екстремальних природних явищ

(катастрофічних паводків, посух, землетрусів та ін.) донині залишається невирішеною проблемою у світі. Разом з цим, у 1984 році китайський вчений Weng Wen-Bo запропонував методику довгострокового прогнозування, яку називають інформаційною методикою. Обробці підлягають не масиви значень тієї, чи іншої величини, за якою ведуться спостереження, а масиви дат, у які ці значення спостерігалися [5]. Ця методика відзначається простотою обчислень, графічною візуалізацією та застосуванням інтуїції дослідника. До недоліків цієї методики можна віднести те, що за цією методикою не можна спрогнозувати кількісні показники, але її використання все ж таки надає інформацію про те, коли екстремальне природне явище може відбутися. Така інформація надасть змогу відповідним службам вчасно підготуватися та попередити негативні наслідки природного явища, наприклад, маловоддя на річках. Особливо це важливо при розумінні, що на сьогодні людство не має більш ефективних підходів у довгостроковому прогнозуванні. Зазначимо, що на основі методики Weng Wen-Bo було успішно передбачено дати кількох великих землетрусів на території Китаю, Японії та США [10]. Методика Weng Wen-Bo також була застосована для прогнозування багатоводних та посушливих років в басейні річки Songhua та паводків на північному сході Китаю, а також прогнозування літніх паводків на р. Дунай біля м. Братислави [5, 9, 11]. В Україні довгострокове гідрологічне прогнозування з завчасністю рік та більше залишається поза увагою вчених, окрім нашої роботи [12], яка присвячена довгостроковому прогнозуванню весняних паводків на р. Дніпро біля м. Києва. Разом з тим, у світі в останні роки увага вчених прикута до прогнозування саме водності річок та її можливої зміни у зв'язку з підвищенням температури повітря. Актуальними такі дослідження є і для України, оскільки в останні роки спостерігається тенденція до зниження водності річок, що пов'язують з підвищенням температури та зменшенням кількості опадів [13].

Річка Стир відноситься до рівнинних річок та має звивисте русло, незначні ухили водної поверхні, малу швидкість течії, невелику дренажну здатність ґрунтів, високі відмітки рівнів ґрунто-

вих вод, наявність карстових областей і боліт на водозборі. Такі умови сприяють затопленню територій у періоди повеней і паводків [14]. Водність річки визначається об'ємом весняної повені, яка є характерною фазою її гідрологічного режиму. Саме у весняну повинь найчастіше спостерігаються найбільші витрати води. Формується вона щорічно навесні в результаті сніготанення, при цьому значний вплив можуть мати рідкі атмосферні опади, які випадають в період повені [15]. Водний стік річки Стир використовується для потреб промисловості, сільського господарства та населення. Разом з тим, в басейні р. Стир створене Хрінницьке водосховище та Хрінницька ГЕС (1958 р.), Млинівське водосховище (1953 р.), а також водою річки обслуговується Рівненська АЕС (1971 р.) [16, 17].

**Мета цієї публікації** – використання інформаційної методики Weng Wen-Bo для довгострокового прогнозування водності річки Стир біля м. Луцьк.

**Методи дослідження.** Обсяг річкового стоку залежить від великої кількості чинників, зокрема періодичних і випадкових. Періодичність значною мірою зумовлена астрономічними чинниками, випадковість – атмосферною циркуляцією. Важливу роль відіграють також особливості самого річкового басейну, зокрема підстильна поверхня. Знання чинників, зокрема їхніх коливань у часі, дає змогу прогнозувати річковий стік на майбутнє. Запропонована в 1984 році китайським вченим-геофізиком Weng Wen-Bo методика може бути використана для прогнозування водності річок на найближчі роки [18].

Ще в 1766 р. німецький фізик та математик І.Д. Тіціус виявив те, що відстань планет Сонячної системи від Сонця ( $R_n$ ) (рис. 1) підкоряється емпіричному правилу:

$$R_n = 4 + 3 \cdot 2^n, \quad (1)$$

де  $n = -\infty$  для Меркурія і  $n = 0, 1, 2, \dots$  для наступних планет.

Вивчаючи це астрономічне правило, яке ще називають законом Тіціуса-Бодє, Weng Wen-Bo припустив, що подібний порядок у світі є універсальним і йому підкоряються різноманітні

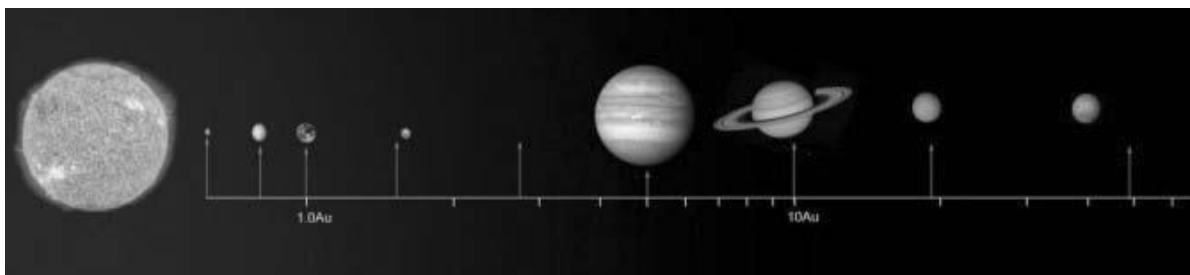


Рис. 1. Ілюстрація закону Тіціуса-Бодє

природні явища.

Рівняння (1) можна записати у вигляді:

$$\beta = \frac{\Delta R_{n+1}}{\Delta R_n} = \frac{R_{n+1}-R_n}{R_n-R_{n-1}} = \frac{3 \cdot 2^{n+1}-3 \cdot 2^n}{3 \cdot 2^n-3 \cdot 2^{n-1}} = 2, \quad (2)$$

де  $n = -\infty, 0, 1, 2, \dots$ ;

$\beta$  – значення співмірності для планет Сонячної системи.

Згідно гіпотези Weng Wen-Bo у датах настання тих чи інших природних явищ присутня періодичність, зумовлена космічними причинами. У своїх дослідженнях Weng Wen-Bo використовував термін співмірність (*commensurability*, англ.), який свого часу запропонував Тіціус. Якщо рівняння (2) описує закон розподілу матерії у просторі, то для часової осі значення співмірності ( $\Delta X$ ) визначається за наступним рівнянням:

$$\Delta X = \frac{X_{i+\Delta i} - X_{i-1}}{K}, \quad (3)$$

де  $K$  – ціле число (1, 2, ...);

$X_i$  – елемент масиву дат.

Якщо  $K=1$ , тоді  $\Delta X$  є періодом масиву дат.

Методика прогнозування Weng Wen-Bo, на

відміну від методик кількісних, основаних на статистичних методах, кореляційному та регресійному аналізі тощо, є інформаційною. Обробці підлягають не масиви значень тієї чи іншої величини, за якою ведуться спостереження, а масиви дат, в які ці значення спостерігалися. Така методика відзначається простотою обчислень, проте в ній має бути й інтуїція дослідника.

Існує декілька способів прогнозування за методом співмірності, наприклад:

- 1 – розрахунковим значенням співмірності;
- 2 – двовимірними і тривимірними графіками співмірності;
- 3 – часовими проміжками між паводками, що мали місце в минулому;
- 4 – кількістю рівнянь співмірності з трьома і більше компонентами.

У роботі нами було використано спосіб прогнозування за двовимірними графіками співмірності. Цей метод полягає у визначенні значень співмірності в масиві дат настання тих чи інших явищ та побудові двовимірного графіку співмірності, за яким і відбувається прогнозування.

Класифікація водності річки кожного року відбувається згідно градацій, які наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Класифікація водності річок [19]

Градація	Відхилення від середнього багаторічного значення, $\Delta$ (%)
Маловодні роки	$\Delta < -20$
Відносно маловодні роки	$-20 \leq \Delta < -10$
Середні за водністю роки	$-10 \leq \Delta \leq 10$
Відносно багатководні роки	$10 < \Delta \leq 20$
Багатководні роки	$\Delta > 20$

**Результати дослідження.** Для прогнозування водності р. Стир на найближчі роки на основі методики Weng Wen-Bo опрацьовано найтриваліший ряд спостережень на річці, а саме в м. Луцьк. Спостереження на гідрологічному посту р. Стир – м. Луцьк розпочато у 1923 році. За час, що минув після відкриття поста, відсутніми є середньорічні дані за 1934, 1938 та 1941-1943 роки. Це пов'язано з реорганізацією мережі спостережень та військовими подіями під час Другої Світової війни.

Середній багаторічний стік р. Стир у м. Луцьк, визначений за даними спостережень по 2017 рік включно, становить  $30,9 \text{ м}^3/\text{с}$ . Похибка розрахунку середнього багаторічного стоку становить 2,78 %. Коефіцієнт варіації  $C_v = 0,26$ , що указує на доволі значну мінливість середніх річних витрат води. Коефіцієнт асиметрії  $C_s = 0,46$ .

Протягом 1923-2017 рр. коливання середніх річних витрат води на гідрологічному посту р. Стир – м. Луцьк перебувало в межах від  $16,0$  (2016 р.) до  $53,3 \text{ м}^3/\text{с}$  (1948 р.) (рис. 2).

Аналіз побудованої інтегральної кривої відхилень середніх річних витрат води для поста р. Стир – м. Луцьк свідчить про те, що водному стоку р. Стир притаманні циклічні коливання. Так, з 1965 по 1982 рік та з 1998 по 2013 р. на р. Стир – м. Луцьк спостерігалися дві багатководні фази водності, а з 1983 по 1997 рр. – маловодна фаза. З 2014 р. знову розпочалася маловодна фаза, що триває донині (рис. 3).

Наявність циклічності у водному стоці р. Стир дає змогу застосувати методику Weng Wen-Bo. З цією метою спочатку виконано класифікацію середнього багаторічного стоку води р. Стир згідно табл. 1. Роки, в які середня річна витрата

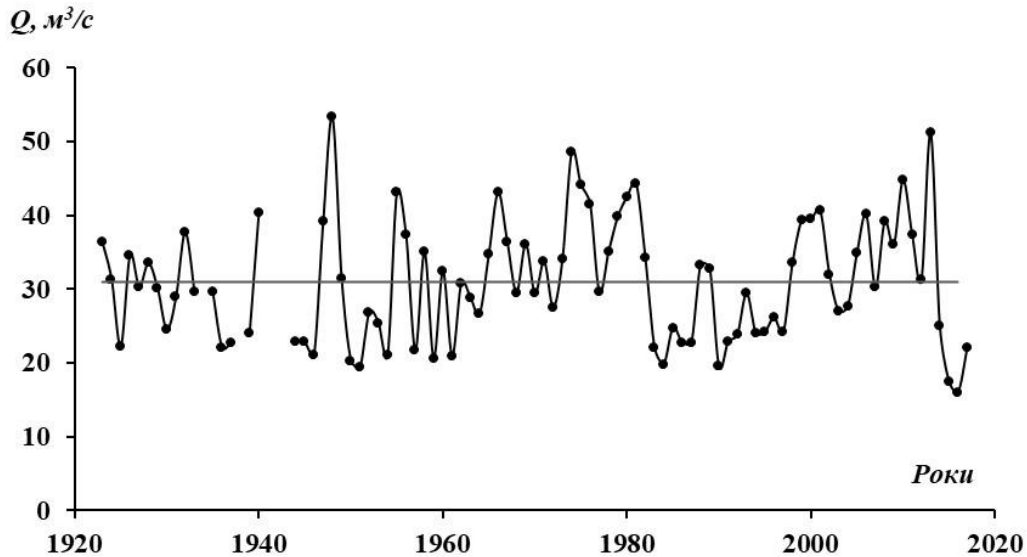


Рис. 2. Коливання середніх річних витрат води р. Стир – м. Луцьк, 1923-1933, 1935-1937, 1939-40, 1944-2017 рр.

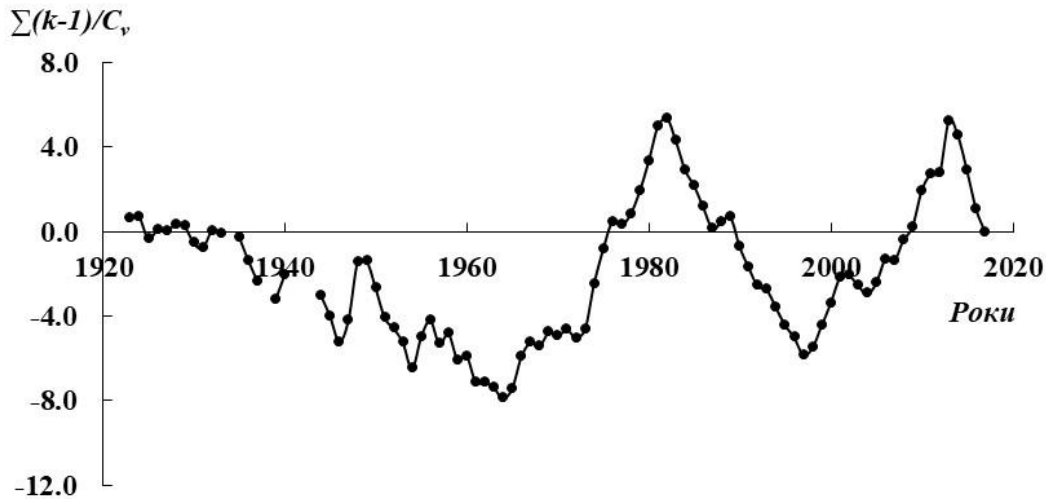


Рис. 3. Інтегральна крива відхилень середніх річних витрат води, р. Стир – м. Луцьк

води на посту р. Стир – м. Луцьк перевищувала середню багаторічну витрату води більш як на 10 %, було віднесено до відносно багатоводних. Так само, роки, водність яких була більш як на 10 % меншою за середню, вважалися відносно маловодними. Виявилося, що протягом періоду спостережень кількість відносно багатоводних років становить 33 роки, відносно маловодних – 35 років (табл. 2).

У наведеній вище таблиці зроблено один виняток. Багатоводним роком прийнято 1988-й, хоча його водність перевищувала середню лише на 7,8%. Жирним шрифтом виділено роки, які використано для побудови графіків співмірності. Послідовності багатоводних і маловодних років було проаналізовано і виявлено їхню періодичність. Двовимірний графік співмірності багатоводних років наведено на рис. 4.

Як видно, у відносно багатоводних роках

присутні 6-11 та 14-18 річні цикли. Найчастіше багатоводні роки настають з періодичністю 7-8 і 15-16-17 років. Отже, на основі даних, наведених на рис. 4, можна спрогнозувати відносно багатоводні роки, які мають бути найближчим часом. Останнім відносно багатоводним роком був 2013-й. Додаючи до цього року 7-8 років, можна вважати, що відносно багатоводними будуть 2020 і 2021 рр. Так само, додаючи до 2005 р. 15-16-17 років, можна очікувати повноводними 2020-2021-2022 рр. Найбільш вірогідно, що відносно багатоводними виявляться 2020 і 2021 рр.

Подібним чином досліджено послідовність маловодних років (рис. 5).

У відносно маловодних роках присутні цикли тривалістю 8-12 (найчастіше – 9-10) та 18-22 (найчастіше – 19-20) років. На основі даних рис. 5 можна спрогнозувати наступні маловодні роки. По горизонталі – 2003+19, 20 = 2022, 2023 роки;

Відносно багатоводні та маловодні роки на гідрологічному посту Стир – Луцьк  
за період 1923-2017 рр.

Пор. №	Рік	Q, м <sup>3</sup> /с	Пор. №	Рік	Q, м <sup>3</sup> /с
<b>відносно багатоводні роки</b>			<b>відносно маловодні роки</b>		
1	<b>1923</b>	36,4	1	<b>1925</b>	22,2
2	1926	34,6	2	1930	24,5
3	<b>1932</b>	37,7	3	<b>1936</b>	22,0
4	<b>1940</b>	40,4	4	1937	22,7
5	1947	39,2	5	1944	22,8
6	<b>1948</b>	53,3	6	<b>1945</b>	22,8
7	1955	43,1	7	1946	21,1
8	<b>1956</b>	37,3	8	1950	20,3
9	1958	35,0	9	1951	19,4
10	<b>1965</b>	34,8	10	1952	26,8
11	1966	43,1	11	1953	25,4
12	1967	36,4	12	<b>1954</b>	21,0
13	1969	36,1	13	1957	21,7
14	<b>1973</b>	34,1	14	1959	20,6
15	1974	48,6	15	1961	20,9
16	1975	44,2	16	<b>1964</b>	26,7
17	1976	41,5	17	<b>1972</b>	27,5
18	1978	35,0	18	1983	22,0
19	1979	39,8	19	<b>1984</b>	19,8
20	1980	42,5	20	1985	24,7
21	<b>1981</b>	44,3	21	1986	22,7
22	1982	34,2	22	1987	22,7
23	<b>1988</b>	33,3	23	1990	19,5
24	<b>1999</b>	39,4	24	1991	22,8
25	2000	39,5	25	1992	23,8
26	2001	40,7	26	<b>1994</b>	24,0
27	<b>2005</b>	34,9	27	1995	24,2
28	2006	40,1	28	1996	26,1
29	2008	39,1	29	1997	24,2
30	2009	36,0	30	<b>2003</b>	27,0
31	2010	44,8	31	2004	27,6
32	2011	37,3	32	<b>2014</b>	25,0
33	<b>2013</b>	51,2	33	2015	17,4
			34	2016	16,0
			35	2017	22,1

<b>1923</b>	17	<b>1940</b>	16	<b>1956</b>	17	<b>1973</b>	15	<b>1988</b>	17	<b>2005</b>
9		8		9		8		11		8
<b>1932</b>	16	<b>1948</b>	17	<b>1965</b>	16	<b>1981</b>	18	<b>1999</b>	14	<b>2013</b>
8		8		7		7		6		
<b>1940</b>	16	<b>1956</b>	17	<b>1973</b>	15	<b>1988</b>	17	<b>2005</b>		

Рис. 4. Двовимірний графік співмірності відносно багатоводних років, р. Стир – м. Луцьк

1925	20	1945	19	1964	20	1984	19	2003
11		9		8		10		11
1936	18	1954	18	1972	22	1994	20	2014
9		10		12		9		
1945	19	1964	20	1984	19	2003		

Рис. 5. Двовимірний графік співмірності відносно маловодних років, р. Стир – м. Луцьк

по вертикалі – 2014+9, 10, 12 = 2023, 2024, 2026 роки. Отже, відносно маловодними роками можуть бути 2022-2023-2024 та 2026 роки. Оскільки 2022 р. входить як до багатоводних, так і до маловодних, вірогідно він буде середнім за водністю.

**Обговорення.** Найголовнішим питанням, яке постає після отримання результатів прогнозування, особливо для довгострокового, є їхня справджуваність, тобто чи відбудеться в реальності ситуація, яка була спрогнозована. Перевірити це можливо тільки після порівняння реальної ситуації з спрогнозованою. Зрозуміло, що водність річки визначають чинники її формування. Сьогодні аналіз метеорологічних умов зимового періоду 2019-2020 рр. свідчить, що 2020 рік аж ніяк не може бути багатоводним роком. Водність рівнинних річок, до яких належить р. Стир, визначається саме об'ємом весняної повені [20]. Однак, зазначимо, що у живленні річок басейну Прип'яті важливу роль також відіграють дощові опади [16]. Разом з тим, зрозуміло, що на основі тільки одного хибного прогнозу не можна стверджувати, що методика співмірності не може бути застосована для довгострокового прогнозування. Необхідно також пам'ятати, що будь яка методика має похибку прогнозування. При прогнозуванні на найближчі роки така похибка має одиницю виміру щонайменше рік. Отже, існує вірогідність, що багатоводним роком буде саме 2021 р. Оцінювання ефективності методики прогнозування визначається статистичною обробкою наявного масиву прогнозів [1]. Отже, чим більше прогнозів ми будемо мати в наявності, тим більш достовірно ми зможемо визначити ефективність методики прогнозування. Для гідрологічного прогнозування, яке оперує роками така задача ускладнюється значними проміжками часу. Ін-

шим дискусійним питанням при застосуванні методики співмірності є наявність періодичності у появі гідрологічних явищ. Відомо, що гідрологічним рядам спостережень притаманна циклічність коливань. Вона на відміну від періодичності має різну тривалість. Разом з тим, на сьогодні достовірно невідомо, які саме чинники обумовлюють циклічність гідрологічних явищ. До того ж, для дослідження як періодичності, так і циклічності ми маємо досить короткі ряди спостережень. Найтриваліші з них, наприклад в Україні, має близько 100 років спостережень. Можна припустити, що з подовженням рядів спостережень з'явиться можливість виявляти більш чіткі закономірності і отримувати більш достовірні результати.

**Висновки.** Прогнозування водності річки із завчасністю в кілька років може бути здійснено на основі методики співмірності. Результати дослідження за цією методикою показують, що водність річки Стир у 2020-2021 рр. має бути більшою за норму, у 2023-2024 рр. – меншою за норму. Такий підхід для довгострокового прогнозування водності річки на роки було застосовано вперше в Україні.

Оцінювання ефективності прогнозування за методикою співмірності потребує наявності масиву довгострокових прогнозів. Отже, майбутнім кроком дослідження має бути прогнозування водного стоку на різних річках, але при умові, що вони мають тривалі ряди спостережень.

Методика співмірності має ряд переваг, а саме дозволяє значно збільшити завчасність довгострокового гідрологічного прогнозування, полегшує процес розрахунків, оскільки вирізняється простотою обчислень та застосуванням мінімального набору вхідної інформації.

#### Література

1. WMO (World Meteorological Organization). *Guide to Hydrological Practices, Vol. II, Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices, sixth edition*, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland. 2009. – WMO-No. 168.
2. Zhu T. *Water Management and Transfers Optimization with Probabilistic Seasonal Forecasts [Text]* / T. Zhu, G. Marques, J. Medellin-Azuara and J. Lund // EGU General Assembly 2020, Online, 4-8 May 2020, EGU2020-20981.



3. Anghileri D. Value of long-term streamflow forecasts to reservoir operations for water supply in snow-dominated river catchments [Text] / D. Anghileri, N. Voisin, A. Castelletti, F. Pianosi, B. Nijssen, and D. P. Lettenmaier // *Water Resour. Res.* – 2016. – 52. – P. 4209-4225. <https://doi.org/10.1002/2015WR017864>
4. Pekárová P. Long-term Danube monthly discharge prognosis for the Bratislava station using stochastic models [Text] / P. Pekárová, P. Mikláneek, J. Pekár // *Meteorologický časopis.* – 2007. – Vol. 10. – P. 211-218.
5. Peng Z. Commensurability-Based Flood Forecasting in Northeastern China [Text] / Z. Peng, L. Zhang, J. Yin, H. Wang // *Pol. J. Environ. Stud.* – 2017. – Vol. 26(6). – P. 2689-2702. <https://doi.org/10.15244/pjoes/73859>
6. Shaw E.M. *Hydrology in practice. Fourth Edition* / E.M. Shaw, K.J. Beven, N.A. Chappell, R. Lamb // CRC Press, 2010. – 543 p.
7. Христюк Б. Краткосрочное прогнозирование уровней воды в Килийском рукаве Дуная [Текст] / Б. Христюк // *Энергетика.* – 2014. – № 60(1). – С. 69-75. <https://doi.org/10.6001/energetika.v60i1.2874>
8. Blöschl G. *Hydrologic synthesis: Across processes, places, and scales* [Text] / G. Blöschl // *Water Resources Research.* – 2006. – Vol. 42(3). – W03S02. <https://doi.org/10.1029/2005WR004319>
9. Hongyan L. Mechanism and Forecasting Methods for Severe Droughts and Floods in Songhua River Basin in China [Text] / L. Hongyan, W. Yuxin, L. Xiubin // *Chin. Geogra. Sci.* – 2011. – Vol. 21(5). – P. 531-542. <https://doi.org/10.1007/s11769-011-0492-y>
10. Su Y.J. Application of Commensurability in Earthquake Prediction [Text] / Y.J. Su, H. Hu // *International Journal of Geosciences.* – 2015. – Vol. 6. – P. 619-624. <http://dx.doi.org/10.4236/ijg.2015.66049>
11. Khrystiuk B. Application of the commensurability method for long-term forecasting of the highest summer floods on the Danube River at Bratislava [Text] / B. Khrystiuk, L. Gorbachova, P. Pekárová, P. Mikláneek // *Meteorology Hydrology and Water Management. Research and Operational Applications.* – 2020. – Vol. 8(1). – P. 70-76. <https://doi.org/10.26491/mhwm/114482>
12. Khrystiuk B. Long-term forecasting of extraordinary spring floods by commensurability method on the Dnipro River near Kyiv city, Ukraine [Text] / B. Khrystiuk, L. Gorbachova // *Environmental Research, Engineering and Management.* – 2019. – Vol. 75 (2). – P. 74-81. <https://doi.org/10.5755/j01.ere.m.75.2.22683>
13. Шевченко О.Л. Зміни ресурсів ґрунтових і міжпластових вод в умовах глобального потепління клімату [Текст] / О.Л. Шевченко, В.В. Гребінь, В.І. Осадчий, Д.В. Чарний, І.П. Шум // *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія.* – 2019. – Т. 3(54). – С. 90-91.
14. Коноваленко О.С. Просторовий розподіл максимального стоку води весняного водопілля річок басейну Стир [Текст] / О.С. Коноваленко, В.О. Дутко, Є.В. Василенко // *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія.* – 2012. – № 1(26). – С. 69-75.
15. Набиванець Ю.Б. Высокие половодья и паводки в бассейне реки Стырь [Текст] / Ю.Б. Набиванец, Л.А. Горбачёва, В.Н. Корнеев // *Наук. праці УкрНДГМІ.* – 2010. – Вип. 259. – С. 217-230.
16. Калинин М.Ю. Мониторинг, использование и управление водными ресурсами бассейна р. Припять [Текст] / М.Ю. Калинин, А.Г. Ободовський // Минск: БЕЛСЭНС, 2003. – 269 с.
17. Вишневецький В.І. Річки і водойми України. Стан і використання [Текст] / В.І. Вишневецький // К.: Віпол, 2000. – 376 с.
18. Weng W.B. *Basis of Prediction Theory* [Text] / W.B. Weng // *Petroleum Industry Press.*, 1984. – 45 p.
19. Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 22484-2008, *Standard for Hydrological Information and Hydrological Forecasting* [Text]. Standards Press of China: Beijing, 2009.
20. Шакирзанова Ж.Р. Прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля в басейні Дніпра з використанням автоматизованих програмних комплексів [Текст] / Ж.Р. Шакирзанова // *Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія.* – 2011. – Том 4 (25). – С. 48-55.

Надійшла до редакції 7 вересня 2020 р.

Прийнята 22 жовтня 2020 р.

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

UDC 556.16.06

**Liudmyla Gorbachova,**

DSc (Geography), Head of the Department of Hydrological Researches,  
Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency Service of Ukraine  
and the National Academy of Sciences of Ukraine, 37, Prospekt Nauky, Kyiv, 03028, Ukraine,  
e-mail: [gorbachova@uhmi.org.ua](mailto:gorbachova@uhmi.org.ua), <https://orcid.org/0000-0003-1033-9385>;

**Borys Khrystiuk,**

PhD (Geography), Head of the Laboratory of Hydrological Calculations,  
Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency Service of Ukraine  
and the National Academy of Sciences of Ukraine,  
e-mail: [khryst@uhmi.org.ua](mailto:khryst@uhmi.org.ua), <https://orcid.org/0000-0003-4290-3745>

## THE FORECASTING OF WATER RUNOFF OF THE STYR RIVER FOR THE COMING YEARS

**Formulation of the problem.** The water flow of the Styr River is using for the needs of industry, agriculture and the population. Thus, forecasting the water flow of this river for the future is an important scientific and practical task. The hydrological forecasts that have a lead time of one year, two years, or a decade are not as reliable as they need to be. Now in the world this problem is not solved. Along with quantitative forecasting methods, the qualitative methods have also been developed. The method of commensurability refers to such methods. It was developed by Chinese geophysicist Weng Wen-Bo in 1984. The commensurability method supports prediction of various natural phenomena, including floods and other dangerous events. The objective of this paper is to use the Weng Wen-Bo method for long-term water flow forecasting of the Styr River at Lutsk city.

**Methods.** The commensurability method uses the dates on which natural phenomena (earthquakes, floods, droughts, etc.) were observed. For this reason, it has been called the information method. It is characterized by simplicity of calculation, graphical visualization, the use of researcher intuition and minimum needs for input information. There are several ways of forecasting using the method of commensurability. This paper is used a method of forecasting by two-dimensional commensurability graphs. Such approach consists in the determining the commensurability values in the dates array of certain phenomena occurrence and creating a two-dimensional graph of commensurability, according to which forecasting occurs. The use of such a method allows determining the years that may be wet and dry in the near future.

**Results.** The data of observations at the hydrological station of the Styr River - Lutsk city for the period 1923-2017 are used in the paper. The results of the study on the commensurability method show that the water flow of the river Styr in 2020-2021 should be more than the norm and in 2023-2024 - less than the norm.

**Scientific novelty and practical significance.** In Ukraine the commensurability method was used for the first time for long-term forecasting of water flow for coming years. The estimating of the effectiveness of forecasting by the commensurability method requires an array of long-term forecasts. Therefore, the next step of the study should be to forecast of water flow on different rivers, but provided that they have the long series of observation.

The results of the long-term forecasting will enable the relevant services the negative consequences of a hydrological phenomenon, such as low water flow or floods on rivers will prevent.

**Keywords:** water flow, commensurability method, long-term forecasting, wet year, dry year.

### References

1. WMO (World Meteorological Organization) (2009). *Guide to Hydrological Practices, Vol. II, Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices, sixth edition*, WMO-No. 168, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
2. Zhu T., Marques G., Medellin-Azuara J. and Lund J. (2020). *Water Management and Transfers Optimization with Probabilistic Seasonal Forecasts*. EGU General Assembly 2020, Online, 4-8 May 2020, EGU2020-20981.
3. Anghileri, D., Voisin N., Castelletti A., Pianosi F., Nijssen B., and Lettenmaier D.P. (2016). *Value of long-term streamflow forecasts to reservoir operations for water supply in snow-dominated river catchments*. *Water Resour. Res.*, 52, 4209-4225 <https://doi.org/10.1002/2015WR017864>
4. Pekárová P., Miklánek P., Pekár J. (2007). *Long-term Danube monthly discharge prognosis for the Bratislava station using stochastic models*, *Meteorologický časopis*, 10, 211-218.
5. Peng Z., Zhang L., Yin J., Wang H. (2017). *Commensurability-Based Flood Forecasting in Northeastern China*. *Pol. J. Environ. Stud.*, 26(6), 2689-2702 <https://doi.org/10.15244/pjoes/73859>
6. Shaw Elizabeth M., Beven Keith J., Chappell Nick A., Lamb Rob (2010). *Hydrology in practice. Fourth Edition*. CRC Press, 543.

7. Borys Khrystyuk (2014). *The short-term forecast of the water levels in the Kiliya channel of the Danube River*. *Energetika*, 60(1), 69-75 <https://doi.org/10.6001/energetika.v60i1.2874> [in Russian]
8. Günter Blöschl (2006). *Hydrologic synthesis: Across processes, places, and scales*. *Water Resources Research*, 42(3), W03S02 <https://doi.org/10.1029/2005WR004319>
9. Hongyan L., Yuxin W., Xiubin L. (2011). *Mechanism and Forecasting Methods for Severe Droughts and Floods in Songhua River Basin in China*. *Chin. Geogra. Sci.*, 21(5), 531-542 <https://doi.org/10.1007/s11769-011-0492-y>
10. Su Y.J. and Hu H. (2015). *Application of Commensurability in Earthquake Prediction*. *International Journal of Geosciences*, 6, 619-624 <http://dx.doi.org/10.4236/ijg.2015.66049>
11. Borys Khrystiuk, Liudmyla Gorbachova, Pavla Pekárová, Pavol Miklánek (2020). *Application of the commensurability method for long-term forecasting of the highest summer floods on the Danube River at Bratislava*. *Meteorology Hydrology and Water Management. Research and Operational Applications*, 8(1), 70-76 <https://doi.org/10.26491/mhwm/114482>
12. Borys Khrystiuk, Liudmyla Gorbachova (2019). *Long-term forecasting of extraordinary spring floods by commensurability method on the Dnipro River near Kyiv city, Ukraine*. *Environmental Research, Engineering and Management*, 75(2), 74-81 <https://doi.org/10.5755/j01.ere.m.75.2.22683>
13. Shevchenko O.L., Grebin V.V., Osadchyy V.I., Charnyy D.Z., Shym I.P. (2019). *Resources changes of groundwater and interstratum water in the conditions of global climate warming*. *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia*, 3(54), 90-91. [in Ukrainian]
14. Konovalenko O., Dutko V., Vasylenko E. (2012). *Spatial distribution of maximal spring runoff of the Styr Basin Rivers*. *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia*, 1(26), 69-75. [in Ukrainian]
15. Nabyvanets Ya.B., Gorbachova L.O., Korneev V.N. (2010). *High spring and rain floods in the Styr River basin*. *Proceedings of Ukrainian Hydrometeorological Institute*, 259, 217-230. [in Russian]
16. Kalinin M.Ya., Obodovskyy O.G. (eds.) (2003). *Monitoring, use and management of water resources of the Pripjat basin*. Mynsk, 269. [in Russian]
17. Vyshnevskyy V.I. (2000). *Rivers and reservoirs of Ukraine. Condition and use*. Kyiv, Vipol, 376. [in Ukrainian]
18. Weng W.B. (1984). *Basis of Prediction Theory*. Petroleum Industry Press, 45.
19. Standardization Administration of the People's Republic of China (2009). *GB/T 22484-2008, Standard for Hydrological Information and Hydrological Forecasting*; Standards Press of China: Beijing, China.
20. Shakirzanova J. (2011) *Forecasting of the maximum water flow of the spring flood in basin Dnieper with use of the automated program complexes*. *Hydrology, hydrochemistry, hydroecology*, 4(25), 48-55. [in Ukrainian]

УДК 911.5:913(477.44)

**Гудзевич Анатолій Васильович,**

д. геогр. н., професор кафедри географії  
Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського,  
вул. Острозького, 32, м. Вінниця, 21001, Україна,  
e-mail: [amarek@ua.fm](mailto:amarek@ua.fm), <https://orcid.org/0000-0001-8884-9436>;

**Гудзевич Людмила Сергіївна,**

к. біол. н., доцент кафедри біології  
Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського,  
e-mail: [gudzevichluda@gmail.com](mailto:gudzevichluda@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-7631-7704>;

**Нікітченко Лілія Олександрівна,**

к. пед. н., доцент кафедри біології  
Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського,  
e-mail: [lileekk1504@gmail.com](mailto:lileekk1504@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-4647-9454>;

**Матвійчук Алла Віталіївна,**

Голова циклової комісії охорони праці, безпеки життєдіяльності та природничих дисциплін  
Вінницького технічного коледжу, вул. Хмельницьке шосе, 91/2, м. Вінниця, 21021, Україна,  
e-mail: [allamatviychuk79@gmail.com](mailto:allamatviychuk79@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-5386-1398>;

**Коробкова Ганна Володимирівна**

к. геогр. н., зав. кафедри екології та безпеки життєдіяльності  
Луганського національного аграрного університету,  
вул. Слобожанська, 68, Луганська обл., м. Старобільськ, 92703, Україна,  
e-mail: [korobkova.ann@gmail.com](mailto:korobkova.ann@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0246-8585>

## КАРТОГРАФІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕАЛІЙ ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОТИЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ НАЦІОНАЛЬНИХ ПРИРОДНИХ ПАРКІВ

Розглянуто і узагальнено досвід забезпечення картографічною інформацією природоохоронної території високого категоріального рівня, на прикладі НПП «Кармелюкове Поділля». Встановлено, що наукові дослідження в НПП орієнтовані на вирішення різнопрофільних завдань (загальнонаукових, екологічних, біологічних, географічних й інших видів досліджень), які націлені на отримання наукової інформації, важливої для вирішення спільних природоохоронних завдань – збереження біотичного й ландшафтного різноманіття парку і його оточення. Виходячи з цього визначено низку аспектів, які потребують системного контролю в організації такого типу території, особливості якої визначаються її поліфункціональністю. Відповідно до них зроблений аналіз, розроблено й реалізовано на практиці, методики комплексного тематичного картографування для еколого-географічної оцінки території НПП «Кармелюкове Поділля». Результатом історико-географічного підходу є представлена коротка характеристика основних функціональних типів картографічної інформації (інвентаризаційного, моніторингового, науково-дослідницького, навчально-просвітницького, координаційного), з висвітленням особливостей їх використання на різних стадіях ведення природокористування, та обґрунтування рекомендацій стосовно потреби складання карт оціночного, прогностичного, рекомендаційного й рекламного змісту. Виділено найбільш актуальні напрями детальних картографічних розробок у майбутньому, застосування яких дозволить отримати всебічну характеристику сучасного стану і перспектив використання природних ресурсів не тільки «Кармелюкового Поділля», але й інших природоохоронних об'єктів і територій (у т.ч. й НПП), і гармонізувати взаємовідносини системи «Людина – природа». Тенденції картографічного забезпечення управління природокористуванням дослідженої природоохоронної установи НПП вказують на ефективність використання ландшафтного підходу і ГІС-технологій з накладенням створених на тепер різнопланових тематичних базових карт й порівнянні історичних картографічних даних і поточної ситуації. Запропонована основа може бути використана для створення більш повноцінної інформаційно картографічного забезпечення національних парків.

**Ключові слова:** картографічна інформація, національний природний парк, природоохоронне картографування, біотичне й ландшафтне різноманіття.

**А. В. Гудзевич, Л. С. Гудзевич, Л. А. Нікітченко, А. В. Матвійчук, А. В. Коробкова. КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕАЛИЙ СОХРАНЕНИЯ БИОТИЧЕСКОГО И ЛАНДШАФТНОГО РАЗНООБРАЗИЯ НАЦИОНАЛЬНЫХ ПРИРОДНЫХ ПАРКОВ.** Рассмотрен и обобщен опыт обеспечения картографической информации природоохранной территории высокого категориального уровня, на примере НПП «Кармелюково Подолье». Установлено, что научные исследования в НПП ориентированы на решение разнопрофильных задач (общенаучных, экологических, биологических, географических и других видов исследований), которые нацелены на получение научной информации, важной для решения общих природоохранных задач – сохранение биотического и ландшафтного разнообразия парка и его окружения. Исходя из этого определен ряд аспектов, требующих системного контроля в организации такого типа территории, особенности которой определяются ее полифункциональностью. Согласно им сделан анализ, разработанной и реализованной на практике, методики комплексного тематического картографирования для эколого-географической оценки территории НПП «Кармелюково Подолье». Результатом историко-географического подхода является представленная краткая характеристика основных функциональных типов картографической информации (инвентаризационного, мониторингового, научно-исследовательского, учебно-просветительского, координационного), с освещением особенностей их использования на различных стадиях ведения природопользования и обоснованием рекомендаций по необходимости составления карт оценочного, прогностического, рекомендательного и рекламного содержания. Выделены наиболее актуальные направления детальнейших картографических разработок в будущем, применение которых позволит получить всестороннюю характеристику

стику современного состояния и перспектив использования природных ресурсов не только «Кармелюковом Подолье», но и других природоохранных объектов и территорий (в т.ч. и НПП), и гармонизировать взаимоотношения системы «Человек – природа». Тенденции картографического обеспечения управления природопользованием исследованного природоохранного учреждения НПП указывают на эффективность использования ландшафтного подхода и ГИС-технологий с наложением созданных на сегодня разноплановых тематических базовых карт и сравнении исторических картографических данных и текущей ситуации. Предложенная основа может быть использована для создания более полноценного информационно картографического обеспечения национальных парков.

**Ключевые слова:** картографическая информация, национальный природный парк, природоохранное картографирование, биотическое и ландшафтное разнообразие.

**Постановка проблеми.** На сучасному етапі розвитку цивілізації Землі простежується наростання протиріч між нею і навколишнім середовищем. І вперше за піввікову історію економічного форуму в Давосі, визначено, що п'ять найбільших світових ризиків є екологічними. Йдеться про кліматичні катастрофи, втрати біорізноманіття та руйнування наземних і водних екосистем [1]. Питання збереження довкілля, необхідного для існування людини, залишається під пильною увагою ООН, про що свідчить низка прийнятих нею резолюцій: 70/1 «Перетворення нашого світу: Порядок денний у галузі сталого розвитку на період до 2030 року» (2015.), 65/161 «Про проголошення 2011-2020 роками Десятиліття біорізноманіття» (2010), А / RES / 73/284 «2021–2030 роки – Десятиліття Організації Об'єднаних Націй з відновлення екосистем» (2019).

За таких умов, особлива місія у збереженні біотичного та ландшафтного різноманіття покладається на природоохоронні території різного рівня (біосферні й державні заповідники, національні й регіональні парки, заказники тощо), які повністю або частково виключені з інтенсивного господарського використання. Серед високо категорійних природоохоронних територій виділяються національні природні парки, оскільки розглядаються Міжнародним союзом охорони природи (МСОП) й дослідниками як прогресивна форма охорони довкілля, раціонального природокористування та розважального інтересу [2]. Дискусії, стосовно подвійної ролі цієї категорії в сприянні збереженню біотичного різноманіття та економічного добробуту місцевого населення, тривають з середини 1990-х років, незважаючи на прийняті на П'ятому всесвітньому конгресі по парках в Дурбані в 2003 році і схвалення на четвертій Всесвітній конференції по парках МСОП в Барселоні в 2008 році [3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Чинним законодавством України на національні парки покладені важливі завдання розробки і впровадження наукових методів охорони природи, організації та ведення екологічного моніторингу з метою збереження або відновлення порушених природних комплексів, унікальних і еталонних природних ділянок і об'єктів (Закон України «Про природно-заповідний фонд Украї-

ни, 1992). Ключовим завданням у процесі їхнього формування та функціонування є інформаційне забезпечення. Попри великі обсяги накопиченої фактичної та теоретичної інформації у багатьох випадках природоохоронні установи цього рівня як у нас, так і в інших країнах, не отримують цілісного адекватного картографічного відображення [4], [5]. В Україні до нині немає нормативно встановленого переліку карт для цієї категорії природоохоронних територій як і єдиної системи їх відображення. У той же час, діяльність, створеної у Сполучених Штатах Америки, служби національних парків, показує визначальну роль географічної інформації системи (ГІС) в управлінні цими природоохоронними територіями [6].

Цій тематиці присвячено велику кількість публікацій та картографічних творів [7 та ін.]. Практика природоохоронного картографування має стійкі традиції й розроблені методи і дає можливість отримати детальну інформацію про просторову структуру природокористування регіону дослідження [8]. Є певний досвід виявлення й картографування особливостей процесів антропогенної трансформації ландшафтів України, який є підставою здійснення геоекологічного обґрунтування системи природоохоронних заходів [9] і проведення регіонального аналізу оцінки сучасних умов природоохоронних територій. Перед природоохоронними установами України, передусім рівня НПП, гостро стоїть проблема розробки систематизованого набору картографічних матеріалів. Її вирішення сприятиме ефективній організації наукової та рекреаційної діяльності національних парків.

У Вінницькій області станом на 2020 рік є лише чотири регіональних ландшафтних парки (РЛП) та один національний природний парк (НПП) – «Кармелюкове Поділля». В Україні ж загалом на 01.01.21 року функціонує 53 НПП. З огляду на це вкрай важливою є розробка питань, які пов'язані з проблематикою поліфункціональних територій.

**Метою цього дослідження** є аналіз, розробка та обґрунтування картографічного забезпечення діяльності території національного парку «Кармелюкове Поділля», як основи створення вискоєфективного інформаційного простору, задля вирішення завдань його збалансованого

розвитку. Для реалізації поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

- провести аналіз підходів до оцінки природоохоронного картографування, зокрема визначити особливості картографування природоохоронної території;

- розглянути наявні літературні, картографічні та інші джерела, що дають оцінку території НПП «Кармелюкове Поділля»;

- узагальнити і систематизувати досвід створення карт як своєрідного інформаційного простору та інструменту конкретного НПП у залежності від тематики дослідження;

- оцінити картографічне забезпечення природоохоронної установи і запропонувати напрямки картографування, які б забезпечили повноту картографічної природоохоронної інформації.

**Методи дослідження.** Дослідження НПП «Кармелюкове Поділля» включали в себе: детальні вивчення ключових стаціонарних ділянок, візуальні спостереження на пішохідних маршрутах, аналіз аерофотознімків і матеріалів лісовпорядкування, обліки на лінійних трансектах та експедиційні точкові виїзди для уточнення видового складу органічного світу. Для пізнання закономірностей розподілу рослинних угруповань і виявлення динаміки їх розвитку в залежності від впливу різних чинників закладалися пробні майданчики за відомими методиками [10], [11]. На етапі узагальнення напрацьованих даних – загальнонаукові методи (ретроспективний, статистичний, ландшафтознавчий, оцінювання) та спеціальні (геоекологічного аналізу та картографічний). При вирішенні названих вище завдань застосовувалися, як традиційні науково-методичні принципи тематичного картографування, закладені в працях К. О. Саліщева [12], І. П. Заруцької та Н. В. Красільникової [13], так і новітні геоінформаційні підходи і статистичні методи обробки даних. Розробка методики крупномасштабного картографування базувалася на особистих дослідженнях авторів за період 1998-2020 рр.

**Результати та обговорення.** Район дослідження, національний природний парк (НПП) «Кармелюкове Поділля» створений згідно з Указом Президента України № 1057/2009 від 16 грудня 2009 року у південно-східній частині Вінницької області в Тростянецькому та Чечельницькому районах (48°19'07" – 48°05'09" півн. ш. та 29°04'43"–29°35'54" сх. д.) й межував з Кодимським та Балтським районами Одещини (рис. 1) [14]. Із запровадженням нового адміністративно-територіального устрою (АТУ) держави наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 31.08.2020 №73 (у редакції

наказу Міндовкілля 15 квітня 2021 року № 245) затверджено нову редакцію Положення про національний природний парк «Кармелюкове Поділля». Ним визначається завдання, науковий профіль, характер функціонування й режим Парку, який віднесено до сфери управління Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України. Серед іншого зазначається й прив'язка Парку до території Гайсинського району згідно нового АТУ Вінницької області.

Указом Президента ще у 2009 році території Парку погоджено включення 20203,4 га земель державної власності. Але тільки рішення Уряду у 2021 році стосовно повернення 1,8 тис. га земель, які до цього використовувалися державним підприємством «Чечельницький лісгосп» у постійне користування уможливило роботи з розробки проектів землеустрою на відведення, і таким чином частково виконати Указ Президента. У найближчій перспективі Держлісагентство погодить передачу Парку ще 14 тис. га земель, чим остаточно вирішить територіальну проблему. Попри ці природоохоронні площі, до Парку відносяться й 3685,4 га земель, що включаються до його складу без вилучення у землекористувачів.

Варто відзначити, що ще у 1997 році за пропозицією співробітників міжвідомчої комплексної лабораторії наукових основ заповідної справи НАН та Мінекобезпеки України (д.б.н. Т. Л. Андрієнко, Я. П. Дідух і к.б.н. Г. А. Чорна, М. М. Федорончук), пропонувалося створення на південному сході Вінницької області Чечельницького національного природного парку площею близько 52 тис. га [15]. Продовження науково-пошукових робіт із забезпечення підготовки матеріалів щодо створення поліфункціонального природно-заповідного об'єкту на зазначеній території у 1998 році співробітниками природничо-географічного факультету Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського [16] дозволило внести певні корективи до початкових задумів. Зокрема, відзначене ними уособлення рис природи Південного Поділля територією проектного НПП могло стати підставою для закріплення назви «Південне Поділля» або «Південно-Подільський» за цим природно-заповідним об'єктом [17], [18]. Тоді ж з'явилися перші картографічні зображення цієї території: карта 1. Місцеположення проектного НПП «Чечельницький», карта 2. Функціональне зонування проектного НПП «Чечельницький» (рис. 2). При розробці цих карт було обрано масштаб 1: 200 000 і велика увага приділялася як географічній основі, так і тематичному змісту. Оскільки це були перші карти, які стосувалися природоохоронно-рекреаційної території, то цілком доцільним з'явився показ

об'єктів для їх освоєння різними видами туризму, передусім пізнавального й екологічного (зеленого, агротуризму): пам'ятки природи, історії та культури, туристські бази. Як наслідок, у функціональному зонуванні проектного НПП, яке було розроблено на підставі соціологічної оцінки цієї території за результатами комплексних

польових обстежень природних комплексів і матеріалів лісовпорядкування, враховано природні, наукові, рекреаційні, оздоровчі, історико-культурні цінності Чечельницького району, тогочасний екостан території, сучасний стан охорони природних ландшафтів та можливості їхнього природного відновлення.



Рис. 1. Місцезонавання проектного НПП «Чечельницький» (початкова робоча назва теперішнього НПП «Кармелюкове Поділля»)

Під час підготовки Указу Президента (2008-2009 рр.) відбулося остаточне визначення меж й закріплення назви НПП – «Кармелюкове Поділля». Географічні й картографічні дослідження, на цьому організаційному етапі становлення наукової установи, здійснювалися епізодично [17], [18], [19]. Основна увага приділялася рекреаційній складовій новоствореної природоохоронної установи, зокрема оцінці рекреаційного потенціалу та прогнозу його використання з відповідним картографічним наповненням («Пам'ятки природи, історії та культури на території проектного НПП «Південне Поділля», «Планування розміщення об'єктів рекреаційної інфраструктури проектного НПП «Південне Поділля»).

Наразі НПП «Кармелюкове Поділля» є єдиною такою природоохоронною установою в межах Вінницької області. Її цінність визначається, передусім, розташуванням на території Південно-Східного Поділля в умовах високої природної пралісності (до 60 %). Ліси та інші вкриті лісом землі на території Парку займають 88,5 %

його площі [15]. За нинішньої практики природокористування лише за історичний період площа лісів Землі зменшилась майже на 65 %, а в Україні за останні 500 років – утричі [20]. За останні 60 років людство перепрофілювало землі, еквівалентні площі Африки і Європи, таким чином, що площа лісів скоротилася майже на мільйон квадратних кілометрів [21]. І навіть один із найбільших осередків лісовкритої території й одна з найбільших і цінних екосистем світу – тропічні ліси Амазонії уже через півстоліття може перетворитися в посушливу савану [22]. За умов, коли лісові ландшафти сприймаються в якості інтегрального показника стану наземної частини біосфери й затверджений Генеральною Асамблеєю Стратегічний план ООН по лісах в рамках Порядку денного для сталого розвитку на період 2017–2030 роки, збереження й дослідження дібров натурального генезису, хоч і фрагментарного характеру, є вкрай важливим і необхідним не лише для держави, континенту, але й планети загалом.

Іншою особливістю цієї природоохоронної установи, як і загалом усіх НПП, є поліфункціональність. Вона полягає передусім у тому, що поруч з основною, природоохоронною, однією з провідних їхніх функцій, є також соціальна (рекреаційна). З врахуванням досвіду дослідників, що займаються проблемами системного картографування природних ресурсів [13], [23], можна означити низку аспектів, які потребують системного контролю в організації такого типу території:

- інвентаризаційна – забезпечення інвентаризації об'єктів, явищ і процесів, які є основою для природокористування;
- моніторингова – контроль за реалізацією природоохоронних програм;

- науково-дослідна – створення основ для розробки і вибору конкретних природоохоронних програм;

- навчально-просвітницька – забезпечення широких мас населення доступною, лаконічною, естетичною картографічною інформацією про екологічні проблеми і природоохоронної діяльності, її ефективності на місцях проживання або перебування;

- координаційна – створення основи для координації та затвердження рішень при управлінні територією і для її фінансування суб'єктами влади.

Картографічне забезпечення НПП «Кармелюкове Поділля» хоч і розпочалося, як зазнача-



Рис. 2. Функціональне зонування території проектного Чечельницького національного природного парку

лося вище, у 1998 році, але по суті системний підхід був започаткований лише з прийняттям «Проекту організації території національного природного парку «Кармелюкове Поділля» [24]. За результатами виконання «Проекту...» уже на початку 2017 року адміністрація НПП отримала у користування низку картографічних матеріалів:

- Картоschema 1. Межі НПП «Кармелюкове Поділля».
- Картоschema 2. Поділ території НПП «Кармелюкове Поділля» на природоохоронні науково-дослідні відділення та обходи.

• Картоschema 3. Поділ території НПП «Кармелюкове Поділля» за користувачами та земельними ділянками, що надаються Парку у постійне користування і ввійшли до його складу без вилучення у землекористувачів і землевласників.

• Картоschema 4. Природні ландшафти та типи природних середовищ НПП «Кармелюкове Поділля».

• Картоschema 5. Рослинність території НПП «Кармелюкове Поділля».

• Картоschema 6. Місця поширення рідкісних і зникаючих видів флори занесених до Чер-



воної книги України в межах НПП «Кармелюкове Поділля».

- Картохема 7. Місця поширення рідкісних і зникаючих видів фауни занесених до Червоної книги України в межах НПП «Кармелюкове Поділля».

- Картохема 8. Місця поширення рослинних угруповань, занесених до Зеленої книги України в межах НПП «Кармелюкове Поділля».

- Картохема 9. Функціональне зонування території НПП «Кармелюкове Поділля».

- Картохема 10. Проектовані історико-культурні, рекреаційні та екологічні освітньо-виховні об'єкти, екологічні стежки та туристичні маршрути НПП «Кармелюкове Поділля».

- Картохема 11. Протипожежне впорядкування території та інженерно-технічні заходи із захисту природних комплексів та об'єктів НПП «Кармелюкове Поділля».

- Картохема 12. Проектний план НПП «Кармелюкове Поділля».

- Картохема 13. План охорони території НПП «Кармелюкове Поділля».

Упродовж 2017-2019 років науковим відділом НПП запропоновано та обґрунтовано серію карт, яка відображає стан прикладних наукових напрацювань упродовж усього періоду робіт, від підготовчого етапу, ще з 80-х років минулого століття, до сьогодення. Цілком логічно, що картографічний матеріал значно підсилив Літопис НПП, який є основною формою узагальнення результатів наукових досліджень, головною науковою темою, яка ведеться в установі з 2013 року. На підтвердження цього вказують особливості п'ятого тому Літопису природи [25], які виражаються передусім в тому, що у ньому приводяться дані не тільки за 2017 рік, а узагальнюються результати досліджень за період 2013–2017 рр.

Доцільно зауважити, що Програму ведення Літопису природи у заповідниках та національних природних парках України передбачено Законом України «Про природно-заповідний фонд України» (1994 рік) та затверджено наприкінці 2002 року Міністерством екології та природних ресурсів України й Національною Академією наук України. На виконання цього закону діють «Положення про організацію наукових досліджень у заповідниках і національних природних парках України» (1998 рік) та «Положення про наукову діяльність заповідників та національних природних парків України» (2000 рік), зареєстровані Міністерством юстиції України. Цими документами визначено норму, що Літопис природи є основною формою узагальнення результатів наукових досліджень, головною науковою темою, яка ведеться постійно, а результати досліджень

джен щорічно оформлюються у вигляді окремих томів.

Літописом передбачено обов'язкове наведення декількох картохем, зокрема картохему географічного положення НПП, з даними про його розміри, границі, адміністративне розташування. Для лісництв вказується кількість природоохоронних обходів (подається картохема адміністративного поділу).

3 квітня 2019 року відбувається представлення й обговорення проекту нової редакції Програми Літопису природи для заповідників та національних природних парків і методичних рекомендацій щодо її виконання з урахуванням вимог і рекомендацій міжнародних природоохоронних договорів. Постановою від 18 грудня 2019 р. № 1090 (Київ) «Про внесення змін у додаток до постанови Кабінету Міністрів України від 24 квітня 2019 р.» № 393 передбачено виділення коштів для розроблення нової редакції Програми [26].

За нинішніх реалій діяльності НПП «Кармелюкове Поділля» картографування території носить здебільшого інвентаризаційний характер. З усіх можливих тематичних блоків (різнобічно прикладне зонування, лісовпорядкування, туристично-рекреаційних ресурсів, екологічної оцінки, проектних рішень) – переважають карти природи. Окрім місцеположення (рис. 1) цей блок містить карти, що демонструють стан окремих компонентів довкілля.

Нерівності підстильної поверхні території НПП демонструють фрагменти геоморфологічних карт України, де шляхом накладання меж НПП виокремлювались певні показники рельєфу природоохоронної території (густота та глибина розчленування поверхні). Прив'язка паркової території до карти геоморфологічного районування уможливило візуалізацію північного краю геоморфологічної провінції – Балтської акумулятивної рівнини. Ця структура характеризується сильно розвиненими яружно-балковими системами. Межі річчя простягаються із заходу і північного заходу на схід і південний схід у вигляді смуг шириною у кілька кілометрів. Схили їх – круті (нерідко крутизна досягає 20°). Абсолютні висоти – до 280 м, мінімальні (в долині р. Савранки) – 130 м [16].

За загальної інформативності про нерівності поверхні НПП такі зображення можна використовувати лише за умови доповнення їх крупномасштабними картами. І тут, доречною була би оцінка розчленування поверхні зі створенням карти схилів. Така карта могла би використовуватися для кореляції сільськогосподарської діяльності в господарській зоні з топографією досліджуваної території і, отже, для виявлення при-

чин, які впливають на вибір деструктивних напрямів природокористування.

Картографічне формування уяви про гідрографічні особливості НПП забезпечується тими ж способами, що й рельєф. Зокрема, означено місце території НПП «Камелюкове Поділля» в гідрологічному районуванні України. Знайшли відображення основні водоносні горизонти та експлуатаційні запаси підземних вод території НПП «Камелюкове Поділля» на карті України. Окремо представлена карта річкової системи НПП. З 18

малих річок, які протікають на території Чечельницького району (10 річок довжиною більше 5 км і 8 – більше 10 км, територією парку – лише 6. Район дослідження є частиною гідрографічного басейну річки Савранка, правої притоки Південного Бугу [16].

Декілька років тому працівниками парку розпочалися ще й дослідження джерел, криниць і струмків. Станом на 2019 рік б'єкти нанесені на карту масштабу 1:162 000 (рис. 3).

Одним з основних напрямків наукової діяль-

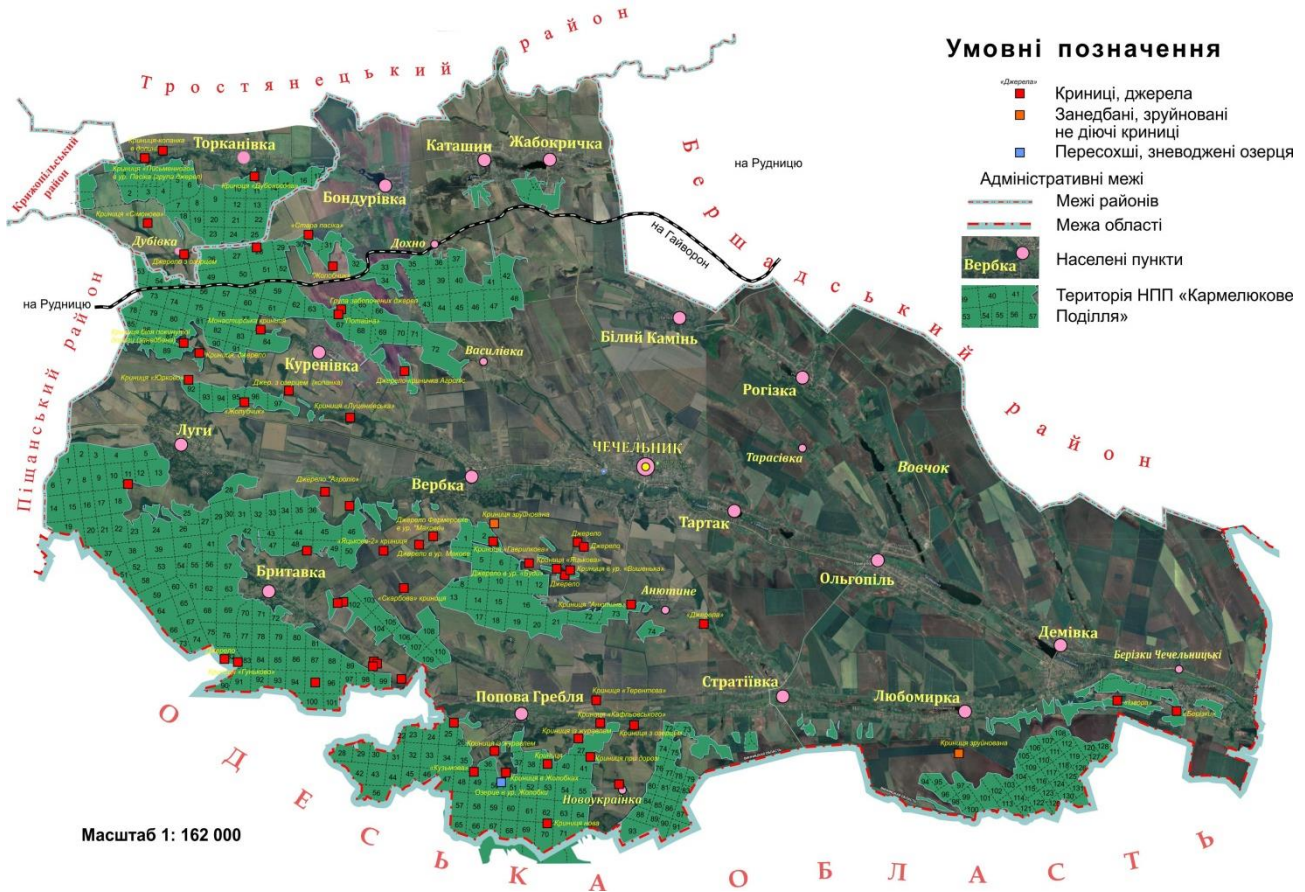


Рис. 3. Карта розміщення криниць та джерел на території «Камелюкове Поділля»

ності НПП «Камелюкове Поділля» є інвентаризація біоти та об'єктів неживої природи й розробка рекомендацій щодо збереження, відтворення та раціонального їх використання. Для цього сформована моніторингова база, яка представлена лісовими постійними пробними площами ((ППП)) та однією трансектою. Закладання пробних площ розпочато в 2014 році. Постійні пробні площі закладалися у лісових природних комплексах НПП упродовж шести років досліджень. Всього закладено 14 ППП, які служать для проведення на них стаціонарних спостережень і досліджень. При цьому, особлива увага приділялася раритетній компоненті флори та фауни, фіксувалися умови їх місцезростання та перебування. Для з'ясування розподілу лісової та лучно-

степової рослинності парку і виявлення динаміки їх розвитку в залежності від впливу різних чинників, передусім від ґрунтово-гідрологічних умов і рельєфу, використовувався метод закладання еколого-фітоценотичних профілів [11]. Закладений таким чином екологогеоботанічний профіль (кв. 81, виділ 1) довжиною 1 км 388 м і шириною 2 м перетинає лісову та лучно-степову територію, ускладнені ярами та балками.

Виявлені при обстеженні ділянки, які виділяються ценотичною значимістю (типові еталонні й рідкісні та зникаючі рослинні угруповання, соцологічно й раритетно значимі види рослин, репрезентативні рідкісні флористичні елементи, які занесені до «Червоної книги України», Європейського Червоного Списку, «Зеленої

книги України») позначаються на топографічній основі та створюються картосхеми поширення окремих видів та рослинних угруповань. Подані на картосхемі позначення містять відповідну інформацію: точкове – окремих місцезростань, лінійне – межі розповсюдження, штрихове – суцільного поширення рослинних угруповань.

З метою більш глибокого вивчення та забезпечення природного відновлення зникаючого виду розроблена «Програма по збереженню та відтворенню береки лікарської (*S. torminalis* (L.)

Crantz) на території НПП «Кармелюкове Поділля» на 2018–2021 рр.» [27]. Дослідження виду проводилося в районі семи лісництв трьох лісових господарств (ЛГ): Рудницького (Крижопільське ЛГ), Цибулівського, Ободівського (Бершадське ЛГ), Дохнянського, Бритавського, Червоногребельського, Стратіївського (Чечельницьке ЛГ). Створені картосхеми (дві) візуалізують місцезположення наукового дослідження та його результати (рис. 4).

Облікові майданчики в основних типах біо-

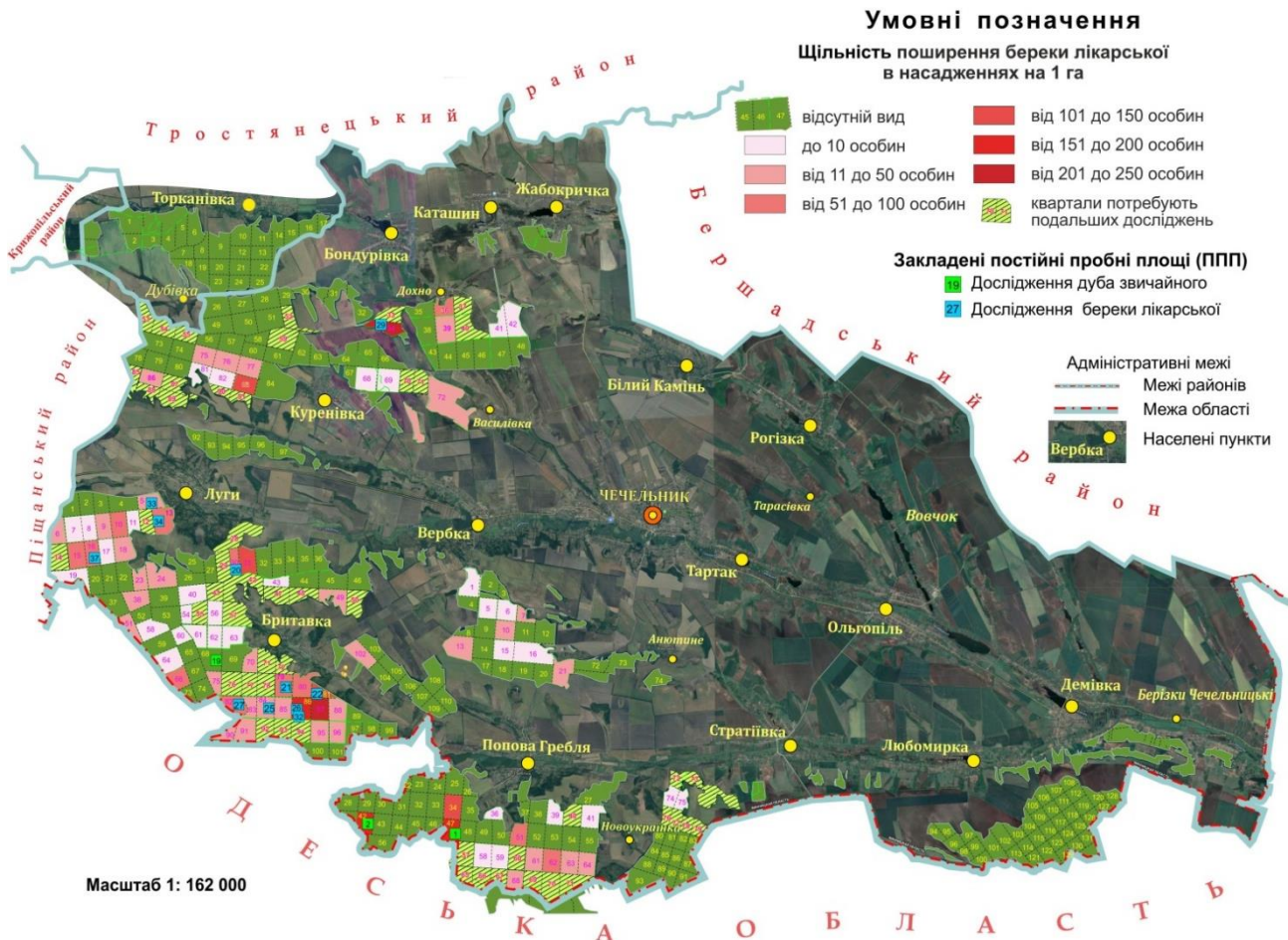


Рис. 4. Карта дослідження поширення береки лікарської в насадженнях НПП «Кармелюкове Поділля»

топів на різних ділянках парку в межах Бритавського, Дохнянського, Лузького, Любомирського та Червоногреблянського природоохоронних науково-дослідних відділень (ПНДВ) були закладені для обліку видового складу та відносної чисельності птахів. Особливим об'єктом уваги та охорони були окремі види птахів, перш за все включені до Червоної книги України, а також різних міжнародних охоронних конвенцій. Для уточнення видового складу птахів здійснювалися експедиційні точкові виїзди.

Загалом було закладено 9 трансект довжиною понад 44 км. Протяжність маршрутів залежала від флористичної структури біотопу, його орографічних та гідрологічних особливостей і

коливалась у межах 3–6,7 км. Ширина умовної трансекти складала близько 25-50 м. Облікові маршрути закладали таким чином, щоб вони проходили по можливості через усі основні типи стацій та рослинних угруповань парку. За результатами проведених досліджень, було рекомендовано розглянути можливість включення до структури НПП «Кармелюкове Поділля» ділянок, які знайшли відображення на декількох картосхемах.

Натурні спостереження співробітників НПП «Кармелюкове Поділля» свідчили про те, що у зоні його функціонування (урочище «Вишенька») та прилеглих угіддях знаходиться низка цінних ділянок, які залишилися у відносно незай-

маному природному стані, де фрагментарно представлена лісова, степова, лучна і водноболотна рослинність з достатньо багатим генофондом фауни. Ці території мають особливу цінність для охорони навколишнього середовища, збереження насамперед видів рослин і тварин занесених до Червоної книги України та рослинних угруповань, занесених до Зеленої книги України. Прилеглі угіддя асоціюються із землями запасу, які мають цінне природоохоронне значення та перебувають під постійною загрозою інтенсивного негативного антропогенного впливу. То ж, у другій декаді липня 2019 року в рамках підготовки обґрунтування із розширення території НПП «Кармелюкове Поділля», в районі урочища «Вишенька», авторами статті були проведені польові дослідження ландшафтів з метою складання ландшафтної характеристики перспективної території для включення до складу НПП. Результати досліджень перспективної території для включення до складу НПП «Кармелюкове Поділля» були використанні для створення декількох карт: карта 1. Урочище «Вишенька» й прилеглі території на тлі НПП «Кармелюкове Поділля», карта 2. Структура землекористування перспективної території для включення до складу НПП «Кармелюкове Поділля», карта 3. Картосхема гідрологічних об'єктів урочища Вишенька та прилеглої території, що передається в постійне користування Парку, карта 4. Біотопи ур. «Вишенька» та прилеглих територій і карта 5. Структурна організація і різноманіття типологічних ландшафтів перспективної території для включення до складу НПП «Кармелюкове Поділля». І якщо перші чотири карти призначені для територіального відображення закономірностей місцеположення власне перспективної території для включення до складу НПП, водних об'єктів, біоти й структури землекористування в умовах природоохоронного режиму й поза нею, то п'ята, ландшафтна карта (рис. 5), – розподілу земель у природних комплексах різної якості. Ландшафтна карта, у цьому випадку, і завжди – це базис прогнозних просторово-часових досліджень природних комплексів й основне джерело даних про їх зміни. Вона складена на основі аналізу великої кількості інформації (топокарти, оглядові тематичні схеми, матеріали лісовпорядкування, супутникові знімки) і за матеріалами маршрутних досліджень. З допомогою програми Adobe Photoshop CS5 здійснено векторизацію растрової топооснови і створення тематичного ландшафтного шару інформації. На ній, окрім типологічних підрозділів високого рівня (класів і типів ландшафтів), представлені 33 види урочищ, які є наразі найбільш типовими виділами ландшафтів ділянок дослідження.

Створена ландшафтна карта завдяки універсальності (інвентаризаційна, моніторингова, науково-дослідна, координаційна, навчально-просвітницька) містить інформацію про взаємозв'язок і взаємозалежність природних компонентів (геомас, ґрунтового й рослинного покриву), основні форми антропогенного порушення та їх вираження (яри, дамби, шляхи тощо). Вона може застосовуватися для вирішення питань оцінки і планування напрямків природокористування й природоохоронних заходів й потребує постійного доповнення.

Не менш важливе значення в інвентаризаційному картографуванні займає створення карти біотопів. Для її складання використовувалися матеріали та методика, як і при формуванні карти ландшафтів.

Зважаючи на високу практичність отриманих результатів обґрунтування, на предмет доцільності включення досліджуваної території ландшафтів урочища Вишенька й прилеглої території, особливо картографічних матеріалів (карти ландшафтів і біотопів), варто продовжити подібні дослідження у межах усієї території НПП.

Потребують детального картографічного визначення різні категорії землекористування, ґрунтового покриву, структурної організації органічного світу.

Не менш важливим завданням є розробка серії карт оціночного й прогнозного напрямків: природних ресурсів (територіальних, мінеральних, водних, ґрунтових, біотичних), рекреаційних властивостей та стійкості ландшафту і його компонентів (гео- і водних мас, ґрунтів, фітоценозів, зооценозів) до механічного впливу, різних видів забруднення, пожежонебезпеки, екстремальних явищ природи. Вона може здійснюватися на підставі аналізу інвентаризаційних тематичних карт, зокрема й розроблених у різні періоди картографічного забезпечення НПП. До того ж в сучасному природно-ресурсному картографуванні детально опрацьовані методичні питання візуалізації мінеральних [28] і лісових ресурсів [29]. Затребуваність оціночних і прогнозних карт пояснюється їх поліфункціональністю, яка виражається інформацією про запаси ресурсу, його сучасного стану, експлуатаційною здатністю до господарського використання.

Десятирічне функціонування природоохоронної установи створює передумови для подальшого розвитку та формування моделі взаємодії з іншими важливими територіями та об'єктами Вінниччини. Актуальним залишається питання функціонування НПП як складника екомереж вищого рівня – міждержавного та національного [30]. До цього й зобов'язує розташування НПП

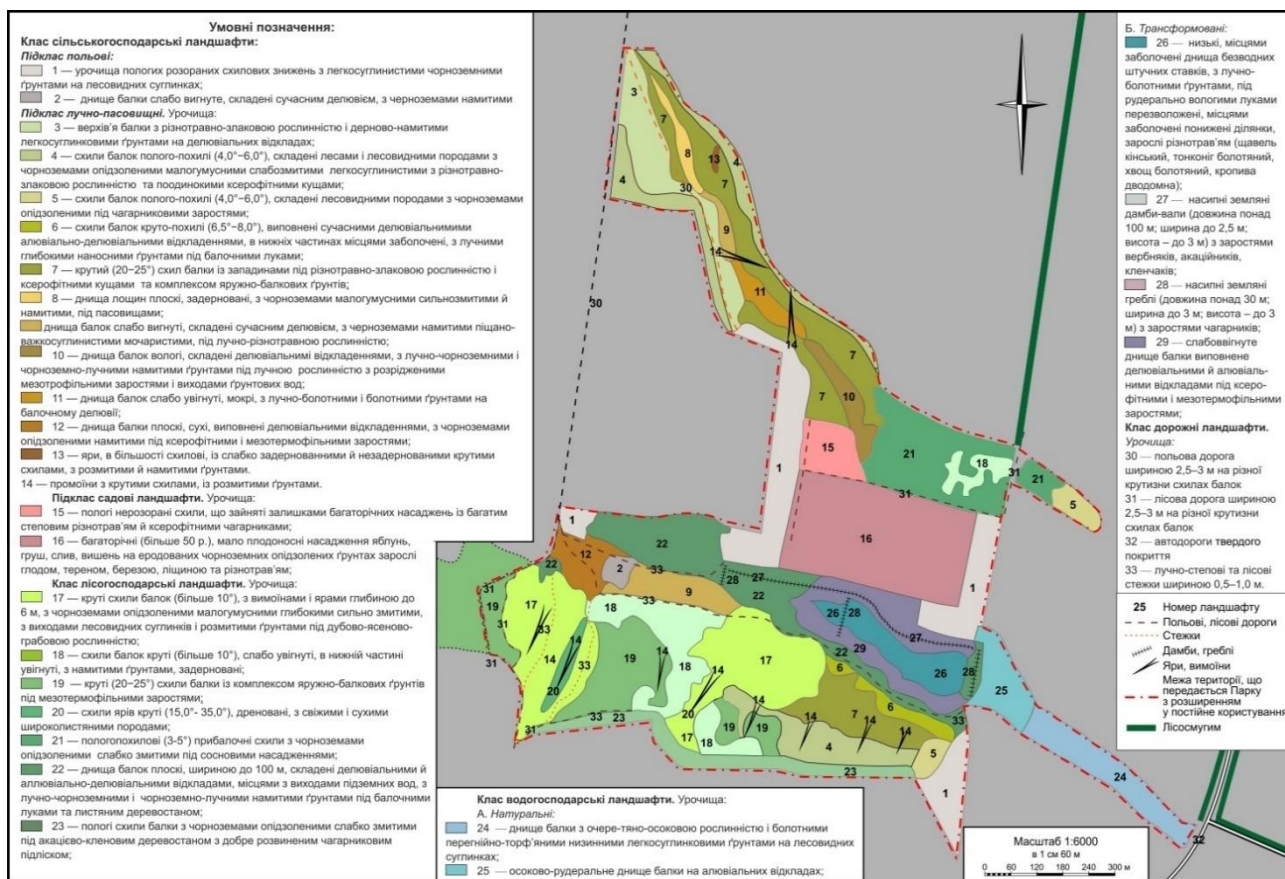


Рис. 5. Ландшафтна структура перспективної території для включення до складу НПП «Кармелюкове Поділля»

«Кармелюкове Поділля» на межі двох областей – Вінницької та Одеської. Наразі, одна із перших представлених авторських схем стосовно визначення місця НПП «Кармелюкове Поділля» у національній екомережі (рис. 6) є попередньою [31]. Для створення повноцінної схеми екомережі цієї ділянки міжобласної території необхідно провести детальний аналіз системи природокористування регіону, визначення можливостей реставрації й надання природоохоронного статусу цінним територіям та об'єктам і шляхів ефективного функціонування «розімкненої» відомчою й адміністративною належністю проектової екомережі.

Інформаційна повнота НПП «Кармелюкове Поділля» неможлива без картографічних розробок рекомендаційного характеру, передусім, стосовно повноцінного використання його рекреаційного потенціалу. Їх реалізація потребує здійснення історико-культурного й функціонального зонування рекреаційних територій НПП з виділенням функціонально-рекреаційних зон (природних резерватів, прогулянкового відпочинку, довготривалого відпочинку, короткочасного активного відпочинку, господарського забезпечення рекреаційних потреб, екологічного та інших видів туризму), що повинно знайти відображен-

ня на відповідно складених картосхемах, і бажано, на ландшафтній основі. Ступінь практичності, розроблених внаслідок зонування території парку, екотуристських маршрутів може вирости завдяки зображення дорожньо-стежкової мережі та урізноманітнення туристських маршрутів за побудовою.

Для забезпечення більш повної уяви про використання потенційних можливостей, передусім, лісокультурних територій НПП «Кармелюкове Поділля», вбачається доцільним виконання зонування єдиного рекреаційного фонду за інтенсивністю рекреаційного користування з виділенням певних зон (інтенсивного рекреаційного користування, помірного рекреаційного користування, резервної). Прогнозно показуються можливі зміни рекреаційних ресурсів під впливом антропогенних чинників на певні терміни та характер конкретних рекомендованих заходів з охорони і раціонального їх використання [32]. Рекламні карти теж можуть мати місце в інформаційно-ілюстративній діяльності НПП, так як призначені для залучення користувачів, передусім, рекреаційних ресурсів.

На потребу утвердження високої інформативності природоохоронної діяльності, передусім НПП, вказують заплановані дії Програмою діяль-

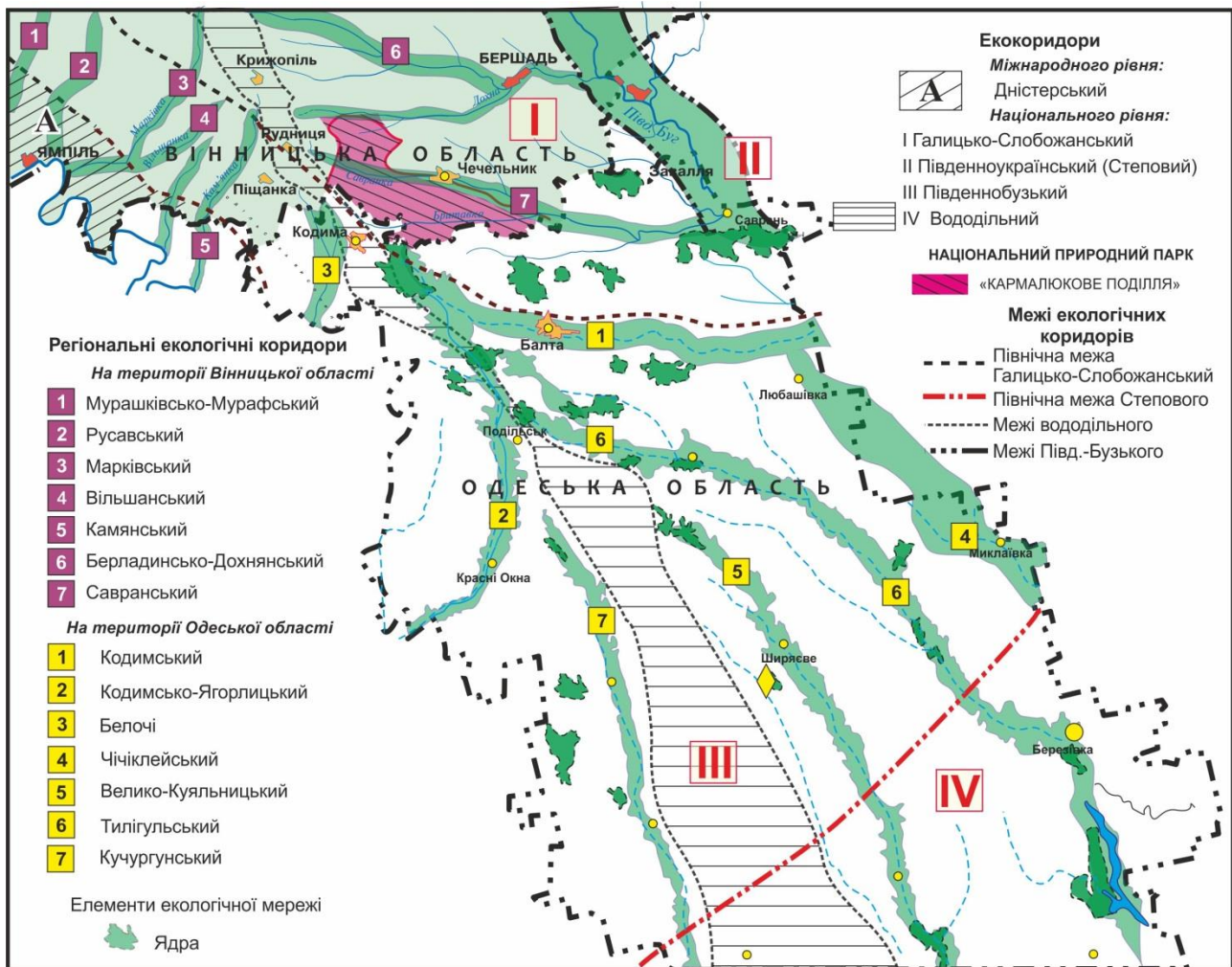


Рис. 6. НПП «Кармелюкове Поділля» у національній екомережі

ності Кабінету Міністрів України (2019):

- Створення Digital Platform управління та комунікації в заповідній справі, що буде включати наступні блоки: відкриті дані про об'єкти природно-заповідного фонду України, науковий, природоохоронний, туристичний, еколого-освітній, онлайн-моніторинг статусу збереження рідкісних та зникаючих в Європі видів дикої флори і фауни та природних оселищ.
- Створення окремого інформаційного шару Державного земельного кадастру (Публічна кадастрова карта) територій та об'єктів природно-заповідного фонду.
- Створення візит-центрів в установах природно-заповідного фонду.
- Розширення мережі маршрутів в національних природних парках та біосферних заповідниках, у тому числі з використанням інтерактивних
- Забезпечення активної та ефективної участі установ природно-заповідного фонду у соціальних мережах.
- Забезпечення організації та проведення інформаційних кампаній серед населення щодо

цінності територій та об'єктів природно-заповідного фонду (екосистемні послуги, у тому числі: попередження зміни клімату, збереження генофонду тваринного і рослинного світу, ландшафтів тощо).

- Створення механізму управління територіями Смарагдової мережі Європи на державному рівні.
- Початок створення системи моніторингу статусу збереження рідкісних та зникаючих в Європі видів дикої флори і фауни та природних оселищ [33].

Відрядно і те, що сформувати сучасну систему доступу громадян до всіх видів географічної, зокрема й природоохоронної, інформації дозволить і підписаний 6 травня 2020 року Президентом України Володимиром Зеленським закон «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» № 554-IX (2020), який встановлює правові основи для створення, функціонування і розвитку національної інфраструктури геопросторових даних – Геокадастр [34]. Закон вводиться в дію з 1 січня 2021 року.

**Висновки і перспективи для подальшого дослідження.** На прикладі НПП «Кармелюкове Поділля» проаналізовано особливості картографічного забезпечення природоохоронної території. З урахуванням природних і соціокультурних особливостей була розроблена структура картографо-інформаційної бази парку і створена серія тематичних карт. Повний перелік картографічного забезпечення НПП «Кармелюкове Поділля», представлений п'ятьма тематичними блоками (функціональними типами):

- інвентаризаційний: карти природи – ґрунтів, характеру земної поверхні (рельєфу), водних об'єктів, рослинності, природних ландшафтів і типів природних середовищ, місця мешкання тварин, поширення рідкісних і зникаючих видів флори й фауни, занесених до Червоної книги України та рослинних угруповань, занесених до Зеленої книги України;

- моніторинговий: місцеположення еколого-геоботанічного профілю, облікових майданчиків в основних типах біотопів; територій, які важливі для підтримання життєдіяльності регіонально рідкісних і включених до Червоної книги України птахів;

- науково-дослідницький: щільність популяції береки лікарської в лісових масивах НПП; біотопи ур. «Вишенька» та прилеглих територій; структурна організація і різноманіття типологічних ландшафтів перспективної території для включення до складу НПП.

- навчально-просвітницький: проєктовані історико-культурні, рекреаційні та екологічні освітньо-виховні об'єкти, екологічні стежки та туристичні маршрути НПП

- координаційний: межі адміністративних районів, НПП й охоронної зони НПП; поділ території за користувачами та земельними ділян-

ками, що надаються НПП у постійне користування, на природоохоронні науково-дослідні відділення, обходи; функціональне зонування території НПП; протипожежне впорядкування території та інженерно-технічні заходи із захисту природних комплексів; проєктний план і план охорони території НПП; місце НПП в національній екомережі.

Створені карти НПП «Кармелюкове Поділля» в основному відображають окремі компоненти навколишнього середовища (надра, рельєф, ґрунти, води, рослинний покрив та ін.) та мають загальний оглядовий характер. Вони відрізняються методичними підходами, набором використовуваних показників, способами відображення, що вказує на відсутність якоїсь системності природоохоронного картографування. Це, у свою чергу, негативно відображається на виробленні рекомендацій і прийняття рішень, які спрямовані на оптимізацію і збалансоване функціонування природоохоронної установи.

Сформована інформаційна база може бути використана для подальших наукових напрацювань, ведення Літопису й кадастру НПП і реалізації заходів з природоохоронної діяльності. Переконання у тому, що ландшафтний підхід забезпечує виявлення комплексних умов для прийняття рішень в проєктуванні, моніторингу, управлінні природокористуванням і розробці системи екологічних обмежень використання територій вказує на перспективність його використання для розвитку картографо-інформаційної бази як природоохоронних територій рівня НПП, так і створення регіональної екологічної ГІС у майбутньому. Створення електронного банку даних на комплексній основі забезпечить зручність пошуку, застосування і повноту картографічної природоохоронної інформації.

#### Література

1. *The Global Risks Report 2020. 15th Edition. Available. at: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Global\\_Risk\\_Report\\_2020.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risk_Report_2020.pdf)*
2. *Marsh, J. National Parks and Protected Areas: Approaches for Balancing Social, Economic, and Ecological Values, edited by Tony Prato and Dan Fagre / J. Marsh // Journal of Regional Science. – 2006. – Vol. 46. – Issue 3. – P. 590-592. [https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.2006.00453\\_13.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.2006.00453_13.x)*
3. *Shafer, C. L. Cautionary thoughts on IUCN protected area management categories V–VI /C. L. Shafer // *Global Ecology and Conservation*. – 2015. – Vol. 3. – P. 331-348. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2014.12.007>*
4. *Алексеевко, Н. А. Картографическое обеспечение работы национальных парков России [Текст] / Н. А. Алексеевко, С. Н. Аршинова // Известия РАН. Серия географическая. – 2012. – № 1. – С. 91-95.*
5. *Hockings, M. Evaluating Management of Protected Areas: Integrating Planning and Evaluation / M. Hockings // *Environmental Management*. – 1998. – Vol. 22 (3). – P. 337-345. <https://doi.org/10.1007/s002679900109>*
6. *Franklin, J. Rethinking the national parks for the 21st century : National Park System Advisory Board report 2001 / J. Franklin. – Washington, D.C.: National Geographic Society, 2001. – 40 p. Available at : <http://npshistory.com/publications/npsab/rethinking-nps-21st-century.pdf>*
7. *Кочуров, Б. И. Разработка карт экологических ситуаций и их геоинформационное содержание [Текст] / Б. И. Кочуров // География и природные ресурсы. – 1994. – Т 22. – С. 163-169.*
8. *Asfaw, M. Quantification and mapping of the spatial landscape pattern and its planning and management implications a case study in Addis Ababa and the surrounding area, Ethiopia / M. Asfaw, W. Hailu, K. Mengistie [Electronic resource] // *Geology, Ecology, and Landscapes*. – December 2019. <https://doi.org/10.1080/24749508.2019.1701309>*

9. Удовиченко, В.В. Конструктивно-географічні засади регіонального ландшафтного планування: теорія, методологія, практика (на прикладі Лівобережної полісько-лісостепової частини території України: дис. ... доктора географ. наук : спец. 11.00.11 [Текст] / В. В. Удовиченко. – Київ: КНУ, 2018. – 563 с.
10. Нешатаев, Ю. Н. Методы анализа геоботанических материалов. Учеб. пособие [Текст] / Ю. Н. Нешатаев. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1987. – 192 с.
11. Юннатов, А. А. Заложение экологических профилей и пробных площадей [Текст] / А. А. Юннатов. Полевая геоботаника. – М.; Л., 1964. – Т. 3. – С. 9-36.
12. Салищев, К. А. Проектирование и составление карт. 2-е изд. [Текст] / К. А. Салищев. – М.: МГУ, 1987. – 240 с.
13. Заруцкая, И. П. Картографирование природных условий и ресурсов [Текст] / И. П. Заруцкая, Н. В. Красильникова. – М.: Недра, 1988. – 299 с.
14. Гудзевич, А. В. Просторово-часова організація сучасних ландшафтів: теорія і практика: монографія [Текст] / А.В. Гудзевич. – Вінниця: Віндрук, 2012. – 232 с.
15. Гудзевич, А. Ландшафтна і біотична різноманітність проектного Подільського національного природного парку [Текст] / А. Гудзевич // Екологічний вісник. вересень–жовтень 2006. – №5 (39). – С. 2-4.
16. Звіт з наукової теми: «Науково-пошукові роботи по забезпеченню підготовки матеріалів щодо створення Чечельницького національного природного парку» [Текст] / за заг. ред. А. Гудзевича. № д/р 4/17. – Вінниця, 1998. – 54 с.
17. Гудзевич, А. В. Пошук ефективного використання рекреаційного потенціалу Південно-Подільського національного природного парку [Текст] / А.В. Гудзевич, В.Є. Любченко, В.С. Поліщук // Географія і сучасність: Збірник наукових праць Національного педагогічного університету ім. М.П. Драгоманова. – Вип.3. К.: Вид-во КНПУ, 2000. – С.283-289.
18. Гудзевич, А. Функціональне зонування проектного національного природного парку «Південне Поділля» [Текст] / А.В. Гудзевич // Наукові записки ТДПУ. Серія Географія. – №2. – 2001. – С. 88-99.
19. Гудзевич, А. Особливості господарської зони проектного національного природного парку на Вінниччині [Текст] / А.В. Гудзевич // Наукові записки ТДПУ. Серія Географія. – № 2. – 2004. – С. 88-99.
20. Генсірук, С.А. Ліси України / С.А. Генсірук. – Львів: Вид-во Наук. тов. ім. Шевченка, УкрДЛТУ, 2002. – 495 с.
21. Winkler, K. Global land use changes are four times greater than previously estimated / K. Winkler., R. Fuchs et al. // Nature Communications. – Volume 12 (1). № 2501. – 2021. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22702-2>
22. Marengo, J. A., Souza Jr, C. Climate Change: impacts and scenarios for the Amazon / José A. Marengo, Carlos Souza Jr. – São Paulo, 2018. – 34 p. Available. at: [https://www.oamanhaehoje.com.br/assets/pdf/Report\\_Climate\\_Change\\_impacts\\_and\\_scenarios\\_for\\_the\\_Amazon.pdf](https://www.oamanhaehoje.com.br/assets/pdf/Report_Climate_Change_impacts_and_scenarios_for_the_Amazon.pdf)
23. Пересацько, В. Картографічне забезпечення екологічних досліджень і охорони природи: монографія [Текст] / В. Пересацько. – Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна. – 2009. – 242 с.
24. Проект організації території Національного природного парку «Кармелюкове Поділля», охорони, відтворення та рекреаційного використання його природних комплексів та об'єктів [Текст] / ПрАТ «Науково-виробничий комплекс «Курс»; ПП «Центр екологічного управління». – Київ, 2016. – 236 с.
25. Літопис природи НПП «Кармелюкове Поділля» [Текст]. – Том V. – Чечельник, 2018. – 304 с.
26. Постанова від 18 грудня 2019 р. № 1090 (Київ) «Про внесення змін у додаток до постанови Кабінету Міністрів України від 24 квітня 2019 р.» № 393 <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1090-2019-%D0%BF>
27. Шпак, Н. П. Перспективи відновлення береги лікарської в умовах Південно-Подільського Лісостепу України [Текст] / Н. П. Шпак, Г. Л. Дудник, В. Є. Любченко // Вісті Біосферного заповідника «Асканія-Нова». – Том 21. – 2019. – С. 110-118.
28. Методические рекомендации по организации и проведению геолого-минералогического картирования масштабов 1 : 500 000 и 1 : 200 000 [Текст]. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2009. – 281 с.
29. National Forest Inventory – British Columbia. Change Monitoring Procedures for Provincial and National Reporting / Ministry of Sustainable Resource Management Resource Information Branch. – 2005. – 222 p. Available at : <http://www.for.gov.bc.ca/hfd/library/documents/bib94943a.pdf>
30. Hudzevich, A.V. Landscape approach to take into account regional features organization of environmental management of the protected area / A.V. Hudzevich, V. Ye. Liubchenko, L. F. Bronnikova, L. S. Hudzevich // Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology». – Vol. 52. – 2020. – P. 119-129. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-52-09>
31. Гудзевич, А. В. Місце НПП «Кармелюкове Поділля» у національній екомережі [Текст] / А. В. Гудзевич, В. Є. Любченко, А. М. Пижик // Роль національних природних парків в розвитку туризму: м-ли Всеукр. наук.-практ. конф. НПП «Кармелюкове Поділля» (Чечельник, 20-22 вересня 2018 р.). – Вінниця: ТОВ «Твори», 2018. – С. 5-12.
32. Hudzevich A.V. Geoecological 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. – Vol. 29 (3). – P. 520-529. <https://doi.org/10.15421/112047>
33. Програма діяльності Кабінету Міністрів України. Ціль 9.7. Українці зберігають природні системи для нащадків [Текст] // Голос України. – № 196. – 12 жовтня 2019. Available at: <http://www.golos.com.ua/documents/s121019.pdf>



34. Закон «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» № 554-IX від 13.04. 2020 [Текст]. Available at: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/T200554.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/T200554.html)

Надійшла до редакції 9 листопада 2020 р.  
Прийнята 22 лютого 2021 р.

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

UDC 911.5:913(477.44)

**Anatoliy Hudzevich,**

DSc (Geography), Professor, Department of Geography  
Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University,  
32 Ostrozhskogo St., Vinnitsia, 21100, Ukraine,  
e-mail: [amarek@ua.fm](mailto:amarek@ua.fm), <https://orcid.org/0000-0001-8884-9436>;

**Ludmila Hudzevich,**

PhD (Biology), Associate Professor, Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University,  
e-mail: [gudzevichluda@gmail.com](mailto:gudzevichluda@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-7631-7704>;

**Lilia Nikitchenko,**

PhD (Pedagogy), Associate Professor, Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University,  
e-mail: [lileekk1504@gmail.com](mailto:lileekk1504@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-4647-9454>;

**Alla Matviichuk,**

Chairman of the Cycle Commission of Labor Protection, Life Safety and Natural Sciences,  
Vinnytsia Technical College, 91/2 Khmelnytske shosse St., Vinnytsia, 21021, Ukraine  
e-mail: [allamatviychuk79@gmail.com](mailto:allamatviychuk79@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-5386-1398>;

**Hanna Korobkova,**

PhD (Geography), Head of Department of Ecology and Life Safety, Luhansk National Agrarian University,  
68 Slobozhanska St., Luhansk region, Starobilsk, 92703, Ukraine,  
e-mail: [korobkova.ann@gmail.com](mailto:korobkova.ann@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0246-8585>

## **CARTOGRAPHIC SUPPORT OF THE REALITIES OF CONSERVATION OF BIOTIC AND LANDSCAPE DIVERSITY OF NATIONAL NATURAL PARKS**

**Problem formulation.** In the context of a comprehensive and constant increasing in anthropogenic pressure on the environment, a special role in the preservation of biotic and landscape diversity is assigned to national natural parks (NNP). For organization of large amounts of accumulated factual and theoretical information, the environmental institutions of this level, especially in the management of these conservation areas, are particularly important cartographic materials. In this case, cartographic materials can be used as a methodological basis for territorial-spatial data and the most effective means of research. There is an obvious need to analyze the approaches to the assessment of environmental mapping, in particular, the definition of the mapping features of a particular nature reserve with a generalization and systematization of experience creating maps. These created maps can serve as a kind of information space and NNP tool, depending on the research topic.

**The purpose** of the article is to analyze, develop and substantiate the cartographic support of the activities of the territory of Karmelyukove Podillia National Park as the basis for creating a highly effective information space for solving the problems of its sustainable development.

**Methodology and materials.** The theoretical and methodological basis of the study, first of all, is as general scientific provisions on the universal interconnection and interdependence of objects and phenomena in nature and society. In addition, the latest geoinformation approaches and statistical methods for processing data from space-time analysis were used. The development of a large-scale mapping methodology was based on the author's personal research during 1998-2020.

**Results.** On the example of Karmelyukove Podillia National Park the data of the cartographic support of the NNP were summarized and systematized throughout the entire period of the study of this territory. The structure of the system of cartographic information for planning and conducting rational use of natural resources in the conditions of an environmental institution has been developed and presented. The reasons for the ineffective formation and use of environmental cartographic information "Karmelyukove Podillya" with the definition of ways of its optimization are determined. The demand for the maps of assessment, forecast, recommendation and advertising content is grounded. It is proposed to use the landscape approach and mod-

ern GIS technologies as the means for solving the problems of natural resource management and planning of natural resource use by NNP.

**Scientific novelty.** For the first time, a complex of studies of cartographic support of Karmelyukove Podillia National Park was performed and the structure of a cartographic information system for planning and organizing rational environmental management was presented. An original cartographic database on NNP has been created, which has been formed over the past 30 years.

**Practical meaning.** The formed existing cartographic information base has a great potential for assessing and monitoring landscape and biotic diversity and various nature conservation and recreational activities within the territory of the NNP. At the same time, the cartographic information base can be used as a basis for the formation of multi-scale GIS. It can be used for further scientific developments, maintaining a Record and Cadaster of NNP and implementing of environmental protection measures.

**Keywords:** cartographic information; national nature park; environmental mapping; biotic and landscape diversity.

#### References

1. *The Global Risks Report 2020*. (2020). 15th Edition. Available. at: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Global\\_Risk\\_Report\\_2020.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risk_Report_2020.pdf) [in English]
2. Marsh, J. (2006). *National Parks and Protected Areas: Approaches for Balancing Social, Economic, and Ecological Values*, edited by Tony Prato and Dan Fagre. *Journal of Regional Science*, 46, 3, 590-592. [https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.2006.00453\\_13.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.2006.00453_13.x) [in English]
3. Shafer, C. L. (2015). *Cautionary thoughts on IUCN protected area management categories V–VI*. *Global Ecology and Conservation*, 3, 331-348. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2014.12.007> [in English]
4. Alekseenko, N.A., Arshinova, S.N. (2012). *Cartographic support of the work of national parks of Russia*. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, 1, 91-95. [in English]
5. Hockings, M. (1998). *Evaluating Management of Protected Areas: Integrating Planning and Evaluation*. *Environmental Management*, 22 (3), 337-345. <https://doi.org/10.1007/s002679900109> [in English]
6. Franklin, J. (2001). *Rethinking the national parks for the 21st century: National Park System Advisory Board report 2001*. Washington, D.C.: National Geographic Society, 40. <http://npshistory.com/publications/npsab/rethinking-nps-21st-century.pdf> [in English]
7. Kochurov, B.I. (1994). *Development of maps of environmental situations and their geoinformation content*. *Geografiya i prirodye resursy*, 22, 163-169.
8. Asfaw, M., Hailu, W., Mengistie, K. (2019). *Quantification and mapping of the spatial landscape pattern and its planning and management implications a case study in Addis Ababa and the surrounding area, Ethiopia*. *Geology, Ecology, and Landscapes* <https://doi.org/10.1080/24749508.2019.1701309> [in English]
9. Udovychenko, V. (2018) *Structural-geographical bases of regional landscape planning: theory, methodology, practice (on the example of the Left-bank Polissio-forest-steppe part of the territory of Ukraine)*. Doctor's thesis. Kyiv: KNU, 2018, 563. [in Ukrainian]
10. Neshataev, Yu.N. (1987). *Methods for the analysis of geobotanical materials*. *Ucheb. posobie Leningrad: Izd-vo Leningr. un-ta*, 192. [in Russian]
11. Yunnatov, A.A. (1964). *Establishment of ecological profiles and test plots*. *Polevaya geobotanika*. Moskva; Leningrad, 3, 9-36. [in Russian]
12. Salishev, K.A. (1987). *Design and mapping*. 2-e izd. Moskva: MGU, 240. [in Russian]
13. Zarutskaya, I.P., Krasilnikova N.V. (1988). *Mapping natural conditions and resources*. Moskva: Nedra, 299. [in Russian]
14. Hudzevych, A. (2012). *Spatio-temporal organization of modern landscapes: theory and practice*. Vinnytsia: Vindruk, 232. [in Ukrainian]
15. Hudzevych, A. (2006). *Landscape and biodiversity of the projected Podilsky National Nature Park*. *Ekolohichniy visnyk, veresen–zhovten*. *Ecological Bulletin*, 5 (39), 2-4. [in Ukrainian]
16. *Report on the scientific topic: «Research and development work to ensure the preparation of materials for the creation of the Chechelnytsky National Nature Park» (1998) / for general ed. A. Hudzevich. № d/r 4/17*. Vinnytsia, 54. [in Ukrainian]
17. Hudzevych, A.V., Liubchenko, V.Ie., Polishchuk, V.S. (2000). *Search for effective use of recreational potential of the South Podolsk National Nature Park*. *Heohrafiya i suchasnist: Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni M.P. Drahomanova*, Kyiv: Vydavnytstvo KNPU, 283-289. [in Ukrainian]
18. Hudzevych, A. (2001). *Functional zoning of the projected South Podillya National Nature Park*. *Naukovi zapysky TDPU – Scientific notes of TSPU*, 2, 88-99. [in Ukrainian]
19. Hudzevych, A. (2004). *Features of the economic zone of the projected national natural park in Vinnytsia region*. *Naukovi zapysky TDPU – Scientific notes of TSPU, Seriya Heohrafiya*, 2, 88-99. [in Ukrainian]
20. Hensiruk, S.A. (2002). *Forests of Ukraine*. Lviv: Vyd-vo Nauk. tov. im. Shevchenka, UkrDLTU, 495. [in Ukrainian]
21. Winkler, K., Fuchs, R., Rounsevell, M. et al. (2021). *Global land use changes are four times greater than previously estimated*. *Nature Communications volume 12 (1)*, 2501. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22702-2>. [in English]

22. Marengo, J.A., Souza Jr,C. (2018). *Climate Change: impacts and scenarios for the Amazon*. Sao Paulo, 34. [https://www.oamanhaehoje.com.br/assets/pdf/Report\\_Climate\\_Change\\_impacts\\_and\\_scenarios\\_for\\_the\\_Amazon.pdf](https://www.oamanhaehoje.com.br/assets/pdf/Report_Climate_Change_impacts_and_scenarios_for_the_Amazon.pdf) [in English]
23. Peresadko, V. (2009). *Cartographic support for environmental research and nature conservation*. Kharkiv: KhNU im. V. N. Karazina, 242. [in Ukrainian]
24. *The project of the organization of the territory of the Karmelyukovo Podillya National Nature Park, protection, re-production and recreational use of its natural complexes and objects* (2016). Kyiv, 236. [in Ukrainian]
25. *Chronicle of nature NPP "Karmelyukove Podillya"*(2018). Tom V. Chechelnyk, 304. [in Ukrainian]
26. *Resolution of December 18, 2019 № 1090 (Kyiv) "On Amendments to the Annex to the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of April 24, 2019* (2019) <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1090-2019-%D0%BF> [in Ukrainian]
27. Shpak, N. P., Dudnyk H. L., Liubchenko V. Ye. (2019). *Prospects for the restoration of bereka medicinal in the conditions of the South-Podilsky Forest-Steppe of Ukraine*. *Visti Biosferneho zapovidnyka «Askaniia-Nova»*, 21, 110-118. [in Ukrainian]
28. *Methodological recommendations for the organization and conduct of geological and mineragenic mapping of scales 1: 500,000 and 1: 200,000*. (2009). SPb.: VSEGEI, 281. [in Russian]
29. *National Forest Inventory – British Columbia*. (2005). *Change Monitoring Procedures for Provincial and National Reporting*. Ministry of Sustainable Resource Management Resource Information Branch, 222. <http://www.for.gov.bc.ca/hfd/library/documents/bib94943a.pdf>
30. Hudzevich, A.V., Liubchenko V. Ye., Bronnikova L., Hudzevich L.S. (2020). *Landscape approach to take into account regional features organization of environmental management of the protected area*. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology»*, 52, Kharkiv, 119-129. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-52-09>
31. Hudzevych, A. V., Liubchenko, V. Ye, Pyzhyk A. M. (2018). *Mistse NPP «Karmeliukove Podillia» u natsionalnii ek-omerezhi [The place of NPP "Karmelyukove Podillya" in the national ecological network]. Rol natsionalnykh pryrodnykh parkiv v rozvytku turyzmu: m-ly Vseukr. nauk.-prakt. konf. NPP «Karmeliukove Podillia»* (Chechelnyk, 20-22 veresnia 2018 r.). Vinnytsia: TOV «Tvory, 5-12. [in Ukrainian]
32. Hudzevich A.V., Nikitchenko L.O., Baiurko N.V. et al (2020). *Geoecological approach to organization of naturalized anthropogenically-modified territory*. *Journal of Geology Geography and Geoecology*, 29 (3), 520-529. <https://doi.org/10.15421/112047> [in English]
33. *Program of activities of the Cabinet of Ministers of Ukraine. Goal 9.7. Ukrainians preserve natural systems for posterity* (2019). *Holos Ukrainy*, 196. <http://www.golos.com.ua/documents/s121019.pdf> [in Ukrainian]
34. *Law "On National Geospatial Data Infrastructure" № 554-IX of 13.04. 2020* (2020). [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/T200554.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/T200554.html) [in Ukrainian]

UDC 911.3

**Iryna Vasylivna Kovalchuk,**

PhD student of the Department of Economic and Social Geography,  
Faculty of Geography, Taras Shevchenko National University of Kyiv,  
2 Acad. Glushkov Av., Kyiv, 02000, Ukraine,  
e-mail: [iryna.horyn@gmail.com](mailto:iryna.horyn@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-6867-1500>;

**Andrii Ivanovych Kovalchuk,**

PhD student of the Department of Geodesy and Cartography,  
Faculty of Geography, Taras Shevchenko National University of Kyiv,  
e-mail: [kovalchuk94a@gmail.com](mailto:kovalchuk94a@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0001-6448-4727>;

**Sergii Petrovych Zapototskyi,**

DSc (Geography), Professor of the Department of Economic and Social Geography,  
Faculty of Geography, Taras Shevchenko National University of Kyiv,  
e-mail: [zapototsk@gmail.com](mailto:zapototsk@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-3515-4187>;

**Victoriia Anatoliivna Zapototska,**

PhD (Geography), Assistant of the Department of Economic and Social Geography,  
Faculty of Geography, Taras Shevchenko National University of Kyiv,  
e-mail: [vzapototska@ukr.net](mailto:vzapototska@ukr.net), <http://orcid.org/0000-0001-9299-2585>

## HEALTH TOURISM IN LVIV REGION: CURRENT STATE AND DEVELOPMENT PROSPECTS

**І. В. Ковальчук, А. І. Ковальчук, С. П. Запотоцький, В. А. Запотоцька. ЛІКУВАЛЬНО-ОЗДОРОВЧИЙ ТУРИЗМ У ЛЬВІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ: СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ.** Лікувально-оздоровчий туризм розглядається як один з видів туризму, що здійснюється з метою профілактики різних захворювань і відпочинку та передбачає перебування відпочивальників у санаторно-курортних закладах. Це особлива форма туризму, яка включає подорожі для отримання лікування (частіше немедикаментозного) або оздоровчої допомоги. Здійснено короткий аналіз спеціалізації таких світових курортів як Стара Русса, Карлові Вари, Сент-Моріц, Баден-Баден і Віші. Вони призначені для лікування захворювань органів шлунково-кишкового тракту, печінки та жовчевих проток, а також порушень обміну речовин, зокрема, цукрового діабету та ожиріння. Окреслено основні напрями формування і розвитку лікувально-оздоровчого туризму у світі. Дешеві послуги з оздоровлення і відпочинку представлені, головним чином, на курортах країн Азії, Латинської Америки та Австралії, а також в окремих європейських країнах. Це пов'язано з дешевою робочою силою, а також загальносвітовими механізмами ціноутворення. Виділено основні етапи розвитку лікувально-оздоровчого туризму у Львівській області, зокрема, перший період – середньовічний (II – XVI ст.), другий – імперський (XVII ст. – 1914 р.), третій – міжвоєнний (1914 – 1939 рр.), четвертий – радянський (1939 – 1991 рр.) і п'ятий – сучасний (з 1991 р.). Подано характеристику Львівської області як арени розвитку лікувально-оздоровчого туризму. Площа регіону становить 3,6% території України (21,8 тис. кв. км.), а сама область є не лише однією з найбільших і найкраще економічно розвинених областей Західної України, а й головним транзитним коридором між Європейським Союзом і Центральною Азією. Бальнеологія Львівської області приваблива в першу чергу цінами, а також широким асортиментом доступних послуг. Досліджено курортну сферу Львівщини. Її найбільшими бальнеологічними курортами є м. Трускавець, м. Моршин, смт. Великий Любін, смт. Немирів, смт. Шкло і смт. Східниця. Охарактеризовано туристичні потоки в регіоні. Визначено головні засоби популяризації бальнеологічних курортів Львівської області, у тому числі, реклама, Інтернет-ресурси, виставки, форуми та конференції. Розроблено пропозиції, спрямовані на оптимізацію розвитку та удосконалення функціонування бальнеологічних курортів Львівщини.

**Ключові слова:** лікувально-оздоровчий туризм, бальнеологічні курорти, Львівська область, туристи, лікувально-оздоровчі заклади, оздоровлення і відпочинок.

**І. В. Ковальчук, А. И. Ковальчук, С. П. Запотоцкий, В. А. Запотоцкая. ЛЕЧЕБНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНЫЙ ТУРИЗМ ВО ЛЬВОВСКОЙ ОБЛАСТИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ.** Лечебно-оздоровительный туризм рассматривается как один из видов туризма, осуществляемый с целью профилактики различных заболеваний и отдыха и предусматривающий пребывание в санаторно-курортных учреждениях. Это особая форма туризма, которая предусматривает путешествия для получения лечения (чаще немедикаментозного) или оздоровительной помощи. Проведен краткий анализ специализации таких мировых курортов, как Старая Русса, Карловы Вары, Сент-Моритц, Баден-Баден и Витши. Выявлено, что они предназначены для лечения заболеваний органов желудочно-кишечного тракта, печени и желчных путей, а также нарушений обмена веществ, в частности, сахарного диабета и ожирения. Определены основные направления лечебно-оздоровительного туризма в мире. Дешевые услуги оздоровления и отдыха представлены, главным образом, на курортах стран Азии, Латинской Америки и Австралии, а также в отдельных европейских странах. Это связано с дешевой рабочей силой, а также общемировыми механизмами ценообразования. Выделены основные этапы развития лечебно-оздоровительного туризма во Львовской области, в частности, первый период – средневековый (II – XVI вв.), второй – имперский (XVII в. – 1914 г.), третий – межвоенный (1914 – 1939 гг.), четвертый – советский (1939 – 1991 гг.) и пятый – современный (с 1991 г.). Представлена характеристика области как арены развития лечебно-оздоровительного туризма. Площадь региона составляет 3,6% территории Украины (21,8 тыс. кв. км.), а сама область является не только одной из крупнейших и наиболее экономически развитых областей Западной Украины, но и главным транзитным коридором между Европейским Союзом и Центральной Азией. Бальнеология Львовской области привлекательна в первую очередь ценами, а также широким ассортиментом доступных услуг. Исследована курортная сфера Львовской области. Ее крупнейшими бальнеологическими курортами являются г. Трускавец, г. Моршин, пгт. Великий Любень, пгт. Немиров, пгт. Шкло и пгт. Східниця. Охарактеризованы туристические потоки в регионе. Определены главные средства популяризации бальнеологических курортов Львовской области, в том числе, реклама, Интернет-ресурсы, вы-

© Kovalchuk I. V., Kovalchuk A. V., Zapototskyi S. P., Zapototska V. A., 2021

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-54-14>

*ставки, форуми и конференції. Розроблені пропозиції для розвитку и совершенствовання функціонування бальнеологічних курортів Львовщини.*

**Ключевые слова:** *лечебно-оздоровительный туризм, бальнеологические курорты, Львовская область, туристы, лечебно-оздоровительные учреждения, оздоровление и отдых.*

**Introduction.** Health tourism is considered to be a popular branch of the tourism industry, which allows one to improve health in a comfortable environment. To achieve this goal, natural-recreational resources are put to use, in particular, climate, therapeutic muds, mineral waters, etc. It is worth noting that in recent decades health tourism is experiencing major changes. Traditional resorts are being transformed into multifunctional wellness centers that can accommodate a large number of travelers at the same time. Accordingly, the number of persons wanting to improve health and stay in good physical form is growing. Most of them are middle-aged persons who prefer active rehabilitation and recreation. Thus, they are offered a variety of wellness programs and services, including nordic walking, a wide range of sports and fitness exercises, a choice of games etc. From these positions, an attempt to look at the state of health tourism in the Lviv region against the background of other countries, to identify its problems and to outline the ways to solve them is an urgent task.

**Problem formulation.** Nowadays, health tourism takes one of the leading places in the tourism industry. This is caused by the increase in the population wellbeing, the development of transport infrastructure, the environmental pollution in cities caused by industry, and the active promotion of a healthy lifestyle.

Health tourism is based on the utilization of natural healing resources, especially mineral waters, therapeutic muds, ozokerite, and climatic conditions that contribute to the treatment of various diseases.

Health tourism of Lviv region is characterized by significant potential, so it has every chance to become an effective factor in socio-economic development of the region. However, it should be noted that today the material base of health tourism in Lviv region is deteriorating and this leads to a decrease in the quality of services.

Therefore, the study of the current state and determining the prospects for the development of health tourism in the region can be considered an important scientific and practical task that requires comprehensive attention.

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

Studies of the development of health tourism in general and in the Lviv region in particular are presented in the works of many Ukrainian scientists. Malska M. [8] highlighted the prospects for the development of geotourism in Ukraine, conducted a statistical analysis of tourist services in the Lviv region, and analyzed environmental threats and the

ways of development of sustainable tourism in the Carpathian region. Bezruchko L. [2] studied the current state and development prospects of hotel chains in the world and in Ukraine and identified the essence, factors and problems of tourism development in cities. Hamkalo M. [4] carried out the study of tourism development in Lviv region, in particular of skiing tourism. Pankiv N. [10] elaborated the characteristics of touristic resources, proposed their classification and assessed the territorial differentiation of touristic resources potential as a factor of internal tourism development in Lviv region. Lyubitseva O., Wojciechowski K., Zinko Yu., and Kochetkova I. [6] studied cross-border cooperation in tourism in Roztocze. Archiyereev S., Baranova V. and Varava K. [1] studied the development of spa tourism in Ukraine, analyzed the theoretical and methodological foundations of the territorial organization of spa resorts and the functioning of spa tourism institutions and assessed the activities of sanatoriums of spa specialization. Kuzyshyn A. and Halytska A. [5] devoted their research to one of the most popular areas of tourism nowadays – health tourism, which has a long tradition in Europe and the relevant resource base in the regions of Ukraine. According to the authors, the relevance of modern researches boils down to the study of the state of functioning of health tourism at the level of regional centers that are not specialized in this form of tourism. The chosen study tool was the assessment of statistical indicators of the congestion levels of recreation infrastructure during 2000-2016, as well as the analysis of the potential of wellness and recreation centers. The study mentions the insufficient infrastructure provision for the existing resource base. Molodetsky A. and Ostra V. in their work [9] considered the structural features of the proposals in the field of health tourism and their implementation for domestic and foreign tourists in the Carpathian and Black Sea regions. These scientists have drawn attention to the most popular areas and objects of health tourism. Based on official statistics, the most priority and promising areas of health tourism in the study areas were identified and recommendations were developed to achieve better results in the tourism sector. Slusariuc G. [12] noted the need for state support for health tourism, which has a positive impact not only on the local economy and the economy of the country in total, but also on the population as a whole. The study singles out the factor of improving the financial situation of health workers for the preventing of "brain drain". Aydin G. [13] in his study assessed the popularity of health tourism as

one of the poles of economic growth. The author also paid great attention to the potential cost savings of developed countries and multinational corporations while increasing the market share of the medical and recreational sector in developing countries. Joonwoo Moon, Rigg and Julaine S. [14] investigated the factors of attractiveness of health tourism for emigrants (on the example of the Republic of Korea). They analyzed both medical and recreational indicators. The decisive factors in the popularity of the studied tourism destination appeared to be the price level, the quality of services and the sufficient infrastructure. The results of the study are of great interest in determining the priority of financing the development of resort cities as destinations for health tourism. The collective of authors Kholyavka V., Leshko H., Mochulska J., and Kukhtiy A. [17] in their study noted the significant natural potential of health tourism and highlighted the need to take into account the implementation of "an effective system of financing, creating a system to encourage investment in modernization and construction of sanatoriums." Lew A. [18] studied the planning and marketing of resorts at a basic level, considering them in terms of tangible (material, such as urban planning) and intangible (non-material, such as customer perceptions of tourism destination) aspects. Lohmann G. and Netto A. [19] studied the demand for travel, typology and psychology of tourists, etc. Their work clarifies the issues of the distribution of tourist flows, logistics and the range of services (depending on the season). Thus, they consider the tourism industry in its entirety. The work of Morrison A. [21] focuses on the organization and marketing of the resort: from activities planning and implementation to evaluation of results. It also includes crisis management, digital marketing and other aspects and is a practical source of information for tourism workers. Saarinen J. [26] defined tourism as "industry of growth" that requires holistic and forward-looking planning. The article emphasizes the importance and effectiveness of traditional approaches to the development of tourism, the author however considers it necessary to pay the lion's share of attention to the historical and contextual aspects of the industry development. Vada S., Prentice C., Scott N., and Hsiao A. [28] in their work have analyzed the current state of research on the level of well-being of the tourism sector from the standpoint of positive psychology. The researchers concluded that the positive results of the industry can be used to create better results in tourism sphere management. The book by Page S. and Connell J. [30] highlights the pressing problems of modern tourism in developing countries (Africa, Asia and Europe), and in particular the so-called "destructive" technologies (Airbnb, low-cost, etc.). Szromek A. [31] revealed the issue of sustainable

development in tourism, which comes down to achieving the planned economic results while limiting the negative impact of tourism on the territory. The article also describes the relations formed in the environment of health resorts and defines the model of their development within the scope of the industry.

The fulfilled analysis of foreign and domestic sources [9,19,10,12,30] allowed to identify the following ideas that are of interest for the study of health tourism in Lviv region and many other regions of Ukraine:

1) from the methodological standpoint, it is necessary to pay attention to the definition of promising areas of development in the work of Molodetsky and Ostra [9], to the analysis of the distribution of tourist flows in the work by Lohmann and Netto [19], and to the models of resort development, in particular, the Prideaux model, which considers this process from a purely economic point of view, thus being significantly different from similar processes in the planned economy, which were used for some of the studied resorts (Morshyn and Truskavets) in the Soviet past;

2) from the constructive-geographical aspect, the researches of territorial differentiation of tourist-resource potential are of interest (Pankiv, [10]); the author comes to the conclusion about the possibility of improving the management of tourist flows by differentiating them, and also draws attention to alternative ways of attracting tourist potential, which is of interest in terms of the development of spa resorts in Lviv region;

3) in terms of the state of the health and wellness industry, we note separately the work of Slusarius, who emphasizes the need to prevent "brain migration" in the tourism industry [12] and the book by Page and Connell [30], which broadly covers current issues in the context of developing countries.

The identified aspects of research by foreign and domestic scientists were used as a methodological basis in planning and conducting our research on health tourism in Lviv region.

#### **Highlighting previously unsolved parts of the overall problem.**

The fulfilled study allowed us to assess approaches to the analysis of the current state of health tourism in general and in the Lviv region in particular. In the works analyzed the main attention was paid to studying the main stages of development of mainly the wellness tourism, and to the estimation of the status of resort sphere at regional levels. The literature is dominated by the opinion that the resort sphere of Lviv region attracts tourists with both favorable prices and a wide range of available services. The issues of estimating the tourist flows coming into the territory of Lviv region were also

considered. At the same time, insufficient attention was paid to the study of the status of medical tourism, to the substantiation of proposals aimed at optimizing the development and the improvement of functioning of spa resorts in Lviv region.

**Formulating the purpose of the paper.** The focus of this paper will be set on an objective assessment of the current conditions of the tourism industry based on a quantitative analysis of available statistical data with cartographic and modern statistical methods. The **purpose of the article** is to reveal the essence of health and wellness tourism, directions, stages and centers of its development in Lviv region, its connection with tourist flows, to assess its prospects and to justify a set of optimization measures.

To achieve this goal, the article solves the following tasks:

1. Highlighting the essence of health and wellness tourism and its main directions of development in the world and in Lviv region;
2. Identifying the stages of development of health and wellness tourism in Lviv region and the main centers of its development;
3. Characterize the tourist flows of the region and their role in the development of health resorts;
4. Substantiating the proposals aimed at popularization, improvement of functioning of spa resorts and sphere of tourism of Lviv region.

**Presentation of the main research material.**

Health tourism is considered to be one of the types of tourism, the main purpose of which is medical care or staying in medical institutions both in the domestic country and abroad [33] for the purpose of recovery.

Health tourism outside the country indicates the fact that certain medical services are hardly accessible in a particular country or not available at all [1]. It is worth noting that the costs of medical services in different countries differ significantly. It means that travelers should fully clarify their diagnosis and treatment regimen before going abroad to receive a certain set of services [15].

According to experts, almost \$100 billion are spent annually on treatment abroad. As regards such countries as the Czech Republic, Switzerland and Germany, there is no separate queue for foreign patients in these countries. They are going to the medical examination according to their serial number, despite the fact that their treatment is much more expensive than the treatment of a native [36]. The most popular world spa resorts with mineral waters having healing properties are Staraya Russa, Karlovy Vary, St. Moritz, Baden-Baden, and Vichy [34].

Staraya Russa is a spa resort founded in 1828. It is regarded one of the oldest resorts in Central

Russia. The mineral water of the resort is used for inhalations, treatment of diseases of the gastrointestinal tract, etc. [21].

Karlovy Vary is a resort located in the western part of the historic region of Bohemia (Czech Republic). There are a large number of hot springs of mineral water for the treatment of persons with diseases of the stomach, intestines, liver, bile ducts, as well as metabolic disorders (diabetes, obesity and others) [13].

St. Moritz is a ski resort located on the southern slopes of the Swiss Alps, not far from Italy. The natural conditions and amenities of a high-altitude winter resort (45 hotels and cozy cottages, most of which have a category of 4-5 \*) are unique. St. Moritz belongs to the category of vacation spots that are popular among the rich and famous. The resort is visited annually by the upper class of society from around the world, that consider it one of the most beautiful areas for skiing in the world [32]. No wonder St. Moritz is a member of the prestigious ski organization "The Best of the Alps" [13].

Baden-Baden is the "summer capital of Europe", a resort located in the state of Baden-Württemberg (Germany). Hot water flows from the underground springs of the resort, containing a large number of minerals and having a positive effect on the general conditions of the body [25].

Vichy is a spa resort located in the central part of France, in the north of the Auvergne region. The resort is famous for the largest mineral baths in Europe. Based on local mineral waters, Vichy cosmetics are known worldwide [28]. Vichy is reminiscent of Paris in miniature. It is an aristocratic town of parks, palaces, boutiques, restaurants. The resort, for sure, can be called the capital of beauty. The experience of these resorts deserves to be implemented in Ukraine, because today there is an increase in the number of orders related to health tourism. This type of tourism is very popular among the people of America and Europe. According to Medical Insights International [23], total revenues from health tourism increase by 20% annually, and the annual turnover of the tourism market increases by 40-60 billion dollars. In order to find less expensive medical care, Americans and Europeans often travel outside their countries. Guests can receive inexpensive medical services mainly in some European countries, as well as in Asia, Latin America and Australia.

As regards spa resorts containing hotels with spa centers, which consist of health and wellness complexes with swimming pools, therapeutic baths and massage rooms, the situation is somewhat different. Tourists who periodically visit such health centers are often trying every time to choose a new place of destination [17]. Those persons who have already visited Hungary and the Czech Republic

would plan a future trip to Switzerland, Austria, Germany, and other countries. It can be assumed that the reason for this is that all the relevant hotels in mentioned countries are located near healing springs that are helpful in the treatment of diseases of the musculoskeletal and digestive systems, as well as circulatory disorders. This is confirmed by relevant statistics [35]. For Switzerland, Austria and Germany, it is common to combine health tourism with the organization of various excursions [30].

Austrian and Swiss resorts are more expensive for recreation. It should be noted that in Austria, hotels, and in particular in such resorts as Bad Gastein and Bad Ischl, are equipped with special pools with natural water and radon sources, which are useful for the treatment of diseases of the musculoskeletal system [14]. Switzerland has long been famous for its resorts, the main treatment profile of which is respiratory diseases [23].

Quite a large number of spa resorts are located in Israel and Turkey (resorts on the Dead Sea, Kangaroo). These resorts specialize in the treatment of skin diseases [14].

Tourists who are making a choice for health tourism can not only relax but also improve their health. They are offered various medical SPAs, wellness centers (health improvement and rejuvenation of their clients), fitness centers, swimming pools, comfortable living, healthy eating, herbal baths, yoga and meditation, various excursions, sports, festivals, gastronomy, wine therapy (treatment with natural grape wines), thalassotherapy (treatment with sea climate and bathing in combination with sunbathing), apitherapy (treatment with different types of honey) [31], etc.

As regards the development of health tourism in the Lviv region, it has gone through several stages:

I stage – the medieval one: the emergence of the first resorts and the spread of the tradition of hydrotherapy (II – XVI centuries) [8];

II stage – the imperial one: the establishment of resorts in the Austro-Hungarian Empire, with the propagation of scientific methods of balneology and the tendency to "visit the waters" (XVII century – 1914 yr.) [7];

III stage – the interwar (1914 – 1939 yr.): development of medical tourism infrastructure within the Polish and Czechoslovak republics [8];

IV stage – the soviet (1939 – 1991 yr.): planned development of medical tourism infrastructure within USSR [7];

V stage – the modern (since 1991 yr.): market reorganization and development of medical and health tourism in modern Ukraine [8].

Lviv region possesses all the necessary prerequisites for the long-term development of health tourism, primarily the favorable climatic conditions and

the availability of natural mineral waters, therapeutic muds and ozokerite.

It is a well-known fact that the main factor in the development of health tourism is the availability of areas with natural healing resources. Therefore, various health tourism programs are constantly being developed for tourists in the Lviv region. More than half of health tours consist of recreation and rehabilitation in sanatoriums and active leisure (concerts, dances, sports trips, walks, picking mushrooms, berries, etc.)

The area of the Lviv region is 21.8 thousand km sq. (3.6% of the total Ukraine area), and its population is 2.7 mil. person (5.4%) [3]. Lviv region is considered to be one of the largest and best economically developed regions of Western Ukraine. There are 20 districts and 42 cities, in particular, 8 cities of regional subordination. In each of the following cities – Lviv, Drohobych, Stryi and Chervonohrad – the population exceeds 50 thousand person. There are 755.8 thousand persons living in Lviv (as of February 1, 2020). The region stretches for 250 km from north to south, which contributes to the great diversity of natural conditions and the variability of landscapes: landscapes of Polissya are dominated by coniferous forests and swamps; landscapes of Podillya and of mountain foothills – by deciduous forests and fragments of the steppe; that of Carpathian – by mountain forests. The Main European Watershed passes through the territory of Lviv region. The great rivers of Central and Eastern Europe originate here – Dniester and the Western Bug [9].

Lviv region is characterized by a high level of transport infrastructure development and is the main transit corridor between the countries of the European Union and the countries of the Caucasus and Central Asia. The main transit and tourist axes are the international highways E 40 (Kyiv – Lviv – Shehyni), E 50 (Uzhhorod – Donetsk), E 372 (Lviv – Warsaw), E 471 (Lviv – Stryi) [9]. The regional route P 39, which connects the city of Lviv with the city of Uzhhorod via the Uzhotsky Pass, is also of great tourist importance. This feature makes available to guests most of the natural healing and historical attractions of the region. Lviv has a bus connection with all major cities of Ukraine and international bus connection with Belarus, Moldova, Poland, Romania, Slovakia, Germany, Great Britain, France, and other countries. Private motels, campsites, restaurants, service points, etc. have been built along roads of international and regional significance. International D. Halytsky Airport in Lviv has connections not only with the largest cities of Ukraine, but also with Warsaw, Vienna, Frankfurt am Main and others. International passenger lines connecting Ukraine with the countries of Western Europe pass through the territory of Lviv region. Lviv Railway



provides connections both with the regions of Ukraine and with the regions of the CIS countries, the Czech Republic, Poland, Slovakia, Romania, Hungary, etc.

While health tourism has all the prerequisites for its successive development in Lviv region, it is in decline. In 2017, there were 42 sanatoriums and boarding houses providing treatment, 4 recreation and boarding houses, 14 recreation bases and other recreation facilities in the region [8]. Over the last decade, the number of children's health camps has sharply decreased – there were only 245 of such in 2018 (compared to 763 children's camps in 2011). The largest spa centers are Truskavets and Morshyn cities, Velyki Lyubin, Nemyriv, Shklo, Skhidnytsia settlements [8].

Lviv Precarpathians is considered one of the most famous in Ukraine resort areas of international importance. It gained its fame through three spa resorts – Truskavets and Morshyn cities and Skhidnytsia settlement, where dozens of sanatoriums, boarding houses and other medical and health facilities are located. Mineral waters "Naftusya" and "Morshinska" are unique in their properties. These waters are used for treatment in Truskavets, Morshyn and Skhidnytsia. The exclusivity of these resorts is also influenced by the possibility of using therapeutic ozokerite. Its largest deposits in Ukraine are located in Lviv region. The resorts of Lviv re-

gion offer traditional and non-traditional treatment, climatotherapy, hydrotherapy, rehabilitation, etc. Guests are accommodated in comfortable conditions with a full range of related services, such as national cuisine, herbal bars, swimming pools, Russian bath, solariums, conference rooms, Internet, satellite TV, sports equipment rental. Numerous excursions to monuments, castles, historic cities and nature reserves are also organized here [7].

Guests are offered a choice of about twenty different excursions and tourist activities. The most popular are bus tours to Lviv, Truskavets, Morshyn and Skhidnytsia, to natural reserves and parks [8].

In general, for the tourist market of Ukraine the Lviv region is characterized by a fairly wide range of tourist resort products (summer and winter), and in particular treatment at spas and climatic resorts.

Sanatoriums of Lviv region receive more than 100 thousand tourists annually [8]. In terms of the number of visitors, Lviv region is significantly ahead of other regions of Ukraine.

The total number of guests of tourists who visited the Lviv region in 2018 amounted to 182,255 thousand person (Fig. 1), among them 7617 person were foreign tourists [22].

For a long time, 217,794 thousand person have been treated in the resorts of the region. [8]. In 2018, 22,457 thousand children were being accommodated in health and recreation facilities, of which

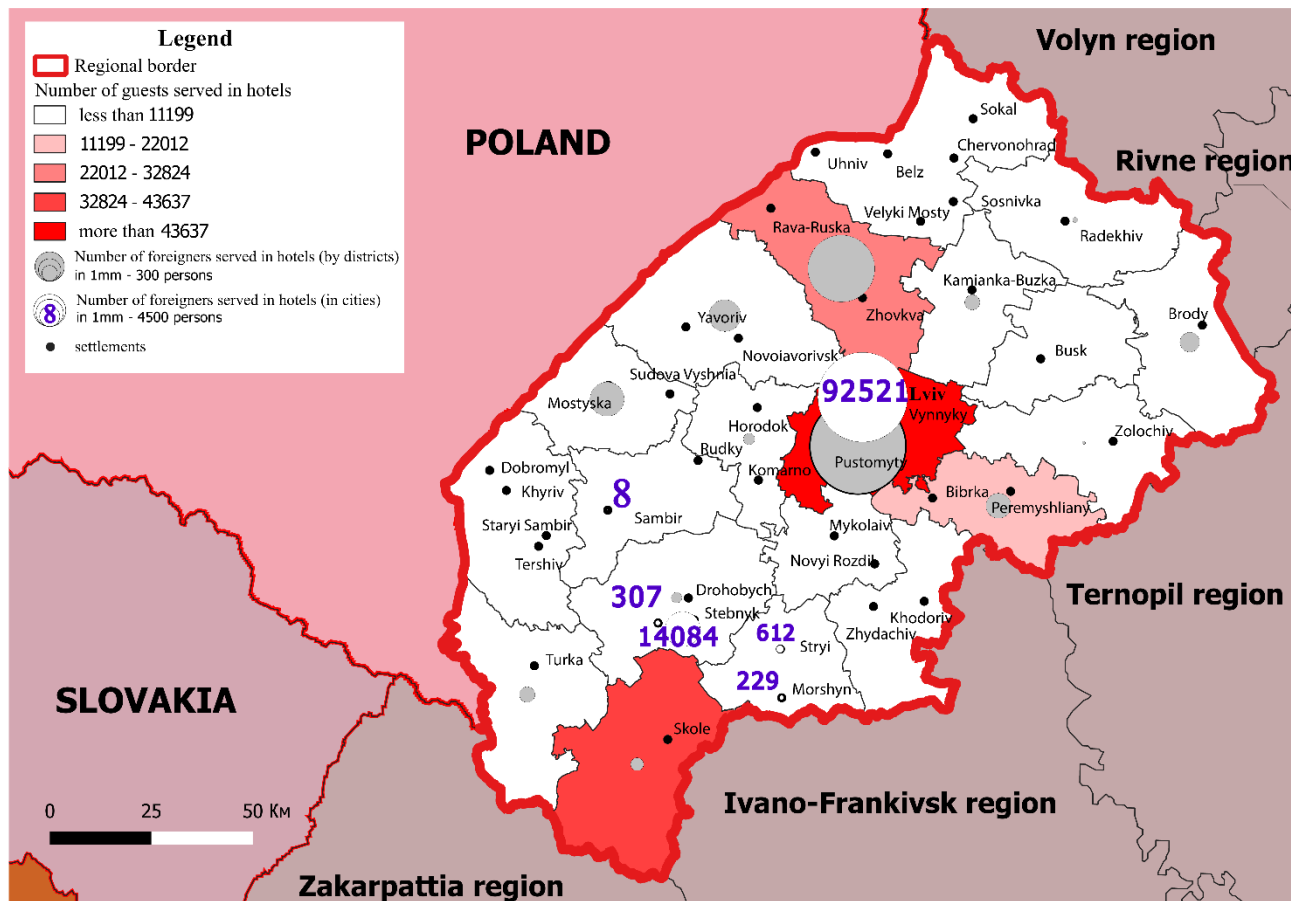


Fig. 1. Service of guests in hotels and similar means of accommodation in 2018

498 children – just in health facilities. The share of children aged 7 to 16 who recreated in summer children's health and recreation facilities in 2018 was 8.5%. In 2017, 45823 children were served in the

region; namely, in Lviv – 24.0 thousand, in Truskavets – 8,487 and in Skole district – 6,393 [22] (Table 1).

Analyzing the dynamics of children's residence

Table 1

Dynamics of accommodating children aged 0 – 17 in hotels and similar accommodations

Districts and cities of Lviv region	2013	2014	2015	2016	2017
	person				
<b>Region in total</b>	<b>31752</b>	<b>36069</b>	<b>45808</b>	<b>44303</b>	<b>45823</b>
Lviv	16357	18171	21317	26367	24000
Boryslav	1331	984	624	1088	1754
Drohobych	4	120	–	–	–
Morshyn	161	50	119	86	277
Novyi Rozdil	–	–	–	–	–
Sambir	81	–	13	–	32
Stryi	–	–	–	–	–
Truskavets	4058	3887	9689	6743	8487
Chervonohrad	15	–	–	–	–
Brody Raion	20	–	–	–	–
Busk Raion	–	–	18	–	–
Horodok Raion	32	–	51	96	369
Drohobych Raion	284	–	–	62	–
Zhydachiv Raion	2	37	–	–	–
Zhovkva Raion	832	588	634	737	634
Zolochivskyi Raion	–	35	10	20	–
Kamianka-Buzka Raion	127	92	154	121	116
Mykolaiv Raion	–	–	–	–	–
Mostyska Raion	75	62	113	119	135
Peremyshliany Raion	200	570	53	307	424
Pustomyty Raion	225	882	1735	2810	2677
Radekhiv Raion	–	–	–	–	–
Sambir Raion	–	–	–	–	–
Skole Raion	7673	10302	10801	5229	6393
Sokal Raion	–	–	–	–	–
Stryi Raion	–	–	–	–	–
Stryi Raion	70	70	132	189	260
Turka Raion	85	119	25	234	61
Yavoriv Raion	120	100	320	95	204

Data source: Main Department of Statistics in Lviv Region [22].

in accommodation facilities, it should be noted the lack of a "pit", typical for the Ukraine's tourism industry in the yrs. 2013–2014. The period of political instability and military intervention of the Russian Federation did not affect the attendance of children's institutions.

In 2018, 121.04 thousand foreign tourists visited sanatoriums of Lviv region [22]. Foreign guests were dominated by citizens of Moldova, Belarus, Azerbaijan, Germany and Poland. Since the end of 2013, the number of foreign tourists has begun to decline significantly. This was because of the unstable situation in the country, primarily due to Russia's military aggression. It can be assumed that recrea-

tion at spas is not very popular among young people. This is confirmed by the terminology itself. After all, even in the definition of health tourism given by the World Tourism Organization, the main purpose of tourists engaged in health tourism is to obtain advanced health services in other regions or countries [18]. The purpose of the clients coming here is the treatment, not the prevention of diseases, which leads to the predominance of older age groups in the structure of tourists.

Most children came to Lviv region from Kyiv and Kyiv region. Children from Lviv region recreated mainly in Odessa, Mykolaiv and Kherson regions [7] (Fig. 2). The main means of promoting spa re-

sorts in Lviv region on domestic and international markets are advertising (printed and in the media), Internet sources (Internet sites of resorts and individual service entities), exhibitions, forums, conferences [7].

Information and promotion support of health tourism is placed on the internet sites of regional authorities, in publications of various brochures and booklets, on exhibition activities, is carried out at specialized events (promotions, conferences, fo-

rums, celebrations, festivals) [27]. Resort topics are well covered on popular national and regional internet pages, in particular on the pages of tourist information centers, on specialized tourism portals in the Lviv region, on portals for various types of tourism, on tourism and recreation sites in some areas and localities. Specialized resort internet sites which provide detailed information about resort areas are regarded quite popular, including the portal "Resorts and sanatoriums of Ukraine" [7].

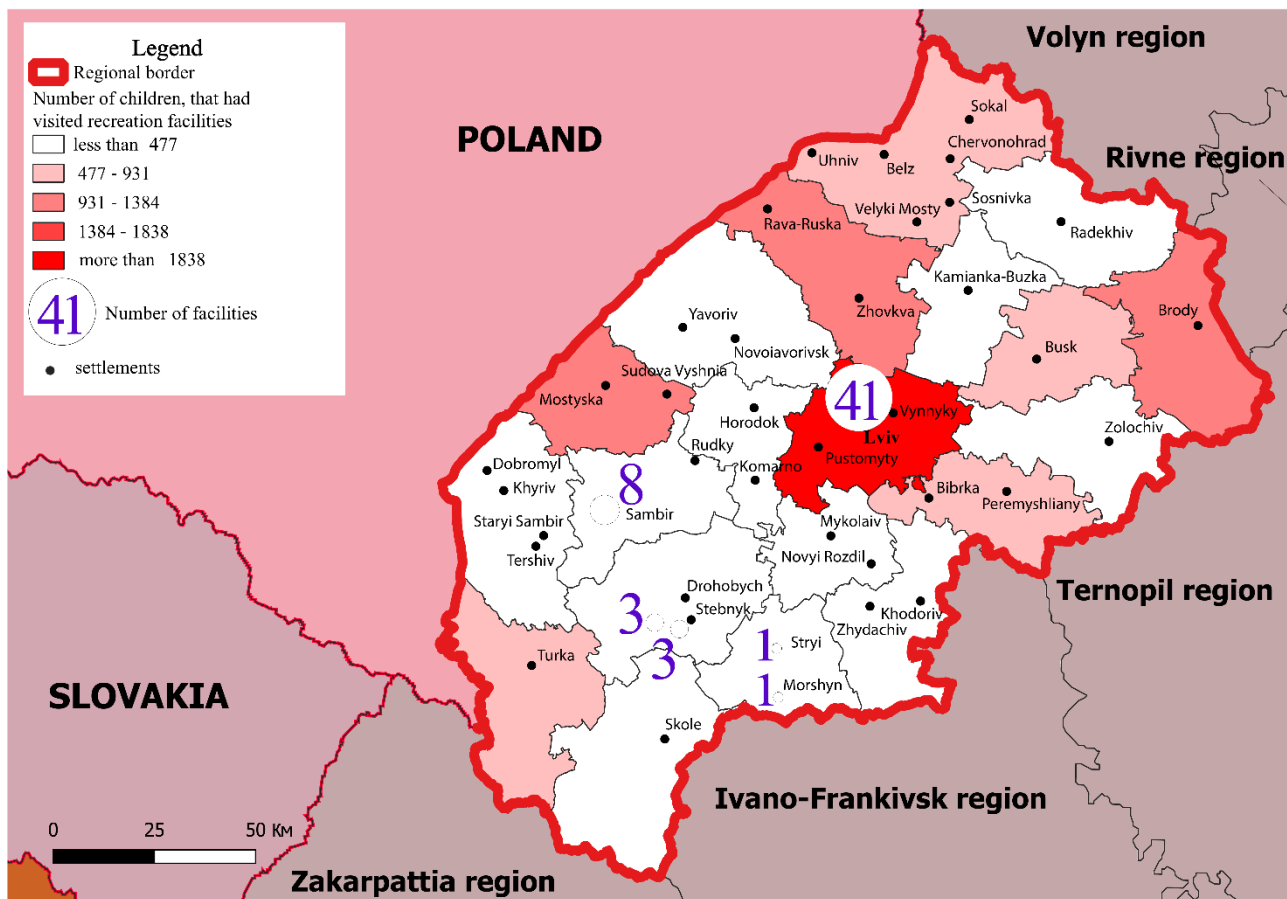


Fig. 2. Service of children staying in medical and wellness facilities in Lviv region in 2018

Visitors are arriving to the resorts of Lviv region with the following purposes:

- 1) residing for the purpose of leisure;
- 2) residing for the purpose of health improvement.

The essence of the first type of recreation is to reside in hotels and boarding houses, making use of recreational paramedical and cosmetic services provided by wellness resort institutions [32].

The strengths of this type of recreation are: 1) large capacity of accommodation in resorts; 2) a wide range of medical services in these institutions.

Weaknesses include: 1) low quality accommodation; 2) insufficient number of proposals for persons arriving at the resort for recreation.

The essence of the second type of recreation is coming to a sanatorium or resort hospital for health

improvement combined with medical or rehabilitation measures [20].

Its strengths are:

- 1) large capacity of resort institutions;
- 2) a large number of medical and spa services.

Weaknesses include:

- 1) lack of information about sanatoriums and resort centers;
- 2) low level of material provision of resorts.

The SWOT-analysis shows that the main advantages of health tourism in Lviv region are favorable geographical location, favorable climatic conditions, the availability of good quality mineral resources, the rich historical and cultural heritage, a large number of resort sanatoriums, etc. (Table 2). The resorts of the region, however, have a number of problems that significantly affect the economic,

## SWOT-analysis of the development of health tourism in Lviv region

<b>Strengths</b>	<b>Weaknesses</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Favorable social-geographic location of resorts – proximity to EU states, international highways and railways.</li> <li>2. Favorable natural and climatic conditions.</li> <li>3. Significant number of mineral water sources.</li> <li>4. Unique healing properties of “Naftusya” mineral water.</li> <li>5. Recognition of Truskavets and Morshyn cities and Skhidnytsia settlement as the largest spa-resort centers of Carpathian foothills.</li> <li>6. Large number of medical and wellness institutions, including sanatoriums, hotels, boarding houses, villas, etc.</li> <li>7. A number of specialized centers for medical rehabilitation and sanatorium treatment, in particular – the International Clinic of Rehabilitation (Truskavets).</li> <li>8. Resumed scientific and practical activities of the resorts, in particular, the study of the healing properties of mineral springs and the elaboration of modern methods of treatment.</li> <li>9. Popularization of separate medical and wellness institutions of Truskavets and Morshyn cities and Skhidnytsia settlement.</li> <li>10. Qualified workforce in medical sphere, as well as in medical and spa services.</li> <li>11. A large number of historical and cultural monuments in the resorts.</li> <li>12. Proximity to cultural centers of the region (Lviv, Drohobych, etc.) and to modern tourist and ski centers (Bukovytsia, Slavsko, Tustan, Play, Krutogir).</li> <li>13. A large number of cafes, restaurants, entertainment centers, etc.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Small area of own land.</li> <li>2. Low quality of drinking water.</li> <li>3. Lack of status of a Resort of state significance.</li> <li>4. Bad roads.</li> <li>5. Insufficient access roads to health resorts institutions.</li> <li>6. Decreased attractiveness of resorts due to the poor conditions of their housing.</li> <li>7. Insufficient level of development of medical, wellness, tourist and recreational infrastructure.</li> <li>8. Small number of hotels of different standards.</li> <li>9. Non-compliance of hotel and tourist complexes of Truskavets and Morshyn cities and Skhidnytsia settlement with world quality standards.</li> <li>10. Insufficient number of specialized educational institutions for training specialists in the field of service.</li> <li>11. Lack of knowledge of foreign languages by the local population.</li> <li>12. Small assortment and low quality of health services.</li> <li>13. Low level of development of local travel agencies.</li> <li>14. Lack in tourist information for Truskavets and Morshyn cities and Skhidnytsia settlement.</li> <li>15. Absence of Lviv region resorts in the international tourist network.</li> </ol>
<b>Opportunities</b>	<b>Threats</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Creating investment projects for the development of recreation areas in Truskavets and Morshyn cities and Skhidnytsia settlement.</li> <li>2. Construction of new roads to the regional center.</li> <li>3. Favorable visa policy for foreign tourists.</li> <li>4. The growing number of guests to the resorts.</li> <li>5. Improving the quality of medical care for the population and guests.</li> <li>6. Creating conditions for unimpeded access for people with special needs to socio-cultural and public facilities.</li> <li>7. Expansion of the market of tourist services under the condition of rational use of available natural and recreational resources and infrastructure.</li> <li>8. Increasing public interest in historical and cultural heritage of Truskavets and Morshyn cities and Skhidnytsia settlement.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Unstable situation in Eastern Ukraine (Russian aggression).</li> <li>2. Instability of the economic situation in the country.</li> <li>3. Unjustifiably negative international image of the region due to complex socio-political events in Ukraine.</li> <li>4. Insufficient level of modernization of medical, wellness, tourist and recreational infrastructure of Lviv region.</li> <li>5. Increasing volumes of outbound tourism to other regions of Ukraine and abroad.</li> <li>6. Ineffective promotion of Lviv region resorts at the international level.</li> </ol>

social and environmental processes, namely – low drinking water resources, unsatisfactory quality of the transportation system of resorts, insufficient development of spa and recreation infrastructure, a

small list of services offered at resorts, the lack of information about resorts, etc.

The analysis of the state of spa resorts of the Lviv region, of the intensity of their usage allows to

substantiate the following steps for their development and improvement of their functioning:

1. To make tourists interested in active sports for the purpose of improvement of their psycho-physical and psychomatic state. A significant proportion of clients of sanatoriums in Lviv region are middle-aged people coming mainly for treatment [2]. Very few of them are young (except for patients of specialized children's institutions), because tourists are not aware of the prospects of spending their free time apart from receiving rehabilitation and treatment [13]. As international experience shows [14], such a problem is not unique to Ukrainian resorts. Therefore, it is important not only to develop the health-improvement products of resorts in detail, but also to create interesting proposals for active recreation (various types of sports and recreation activities).

2. To develop a network of rural tourism facilities and boarding houses around resorts. The majority of the region's health products are quite expensive. This is due to the high costs of living in sanatoriums [5]. Therefore, the development at the resorts of accommodation for different price categories and of different capacity would allow to attract the segment of guests with different financial opportunities to the health and recreation, thereby increasing the number of guests to the resorts [24].

3. To expand opportunities for Ukrainian health products to enter the European market. Only such well-known resorts as Morshyn and Truskavets are commonly known to actively promote their medical and health products in the tourist markets of different levels, in particular, internationally. For this purpose, specialized structures have been created at these resorts (CJSC Truskavets Resort, CCM Morshynkurort), which produce their own information and advertising support. Other resorts in Lviv region do not have such targeting structures and are developing their health products independently or through intermediaries, which is not always effective [9]. Therefore, for the successful development of the health and recreation products of resorts it is necessary to create specialized local promotional and information structures that will represent the resort and recreation area in the domestic and world tourist markets [22].

4. To inform about the possibilities of treatment and rehabilitation in the resort and recreation areas of Lviv region. Ensuring better advertising of the healing environment should be carried out through specialized activities for doctors from different regions of Ukraine and abroad (conferences, scientific seminars and symposia, etc.), where one can learn in detail about treatment methods, equipment of health facilities, accommodation conditions, etc.

5. To involve vacationers in tourist and recrea-

tional activities. As mentioned above, guests come to the sanatoriums only for medical and health purposes, without planning any additional activities during the holiday [26]. In addition, some guests regularly visit the same resort again, i.e. are its regular guests [11]. To help spending leisure time at the resorts, a certain list of recreational activities is offered, namely, excursions, walks, books to read in libraries, etc. Their range should be expanded and diversified.

6. To reconstruct the sanatorium base. The tourist infrastructure has not changed its appearance and equipment for many years in the sanatoriums of Lviv region, modernization has not been carried out and the level of service has not improved [16]. Therefore, the resorts of the region began to lose their reputation in recent years because of the emergence of new more attractive offers of the same type [17].

7. To professionally promote the products of sanatoriums of Lviv region both on the domestic and international tourist market. It should be noted that most health resorts and individual institutions have their own specific features and provide a set of health treatments and additional services, but their unique advantages are not widely advertised [29]. Therefore, only a very general notion about most of the resorts and health facilities in Lviv region is present in the international tourist market. This situation can be changed only through a strong and constant information and promotional campaign about these resources and localities, in particular, providing information through various media (printed, electronic), through multilingualism, a constant updating of internet sources of resorts, participation in tourism exhibitions and salons, through their promotion on specialized conferences and symposia (medical, tourism, investment, etc.) [5].

We address these proposals, first of all, to the Lviv Regional State Administration, which, in accordance with the Constitution, decides on the use of land and natural resources in its subordinate areas, as well as to the Department of Development in general and to the LRSA Department of Tourism in particular, that are entitled with "promoting the further development of tourism infrastructure and the entrepreneurship in the field of tourism...».

**Conclusions.** While studying the domestic and foreign experience in the field of health tourism, the essence of health tourism and its main directions in the Lviv region and in the world were highlighted. The stages of development of medical and health tourism in Lviv region and its main centers were considered.

The development of health tourism is based on the availability of mineral water sources, deposits of therapeutic muds, forest and climatic resources, etc.

This industry belongs to the promising kinds of tourism industry, as there is a tendency of increasing demand among tourists not only for leisure and recreation but also for treatment and rehabilitation.

Lviv region has all the necessary prerequisites for the development of health tourism, namely, the favorable climatic conditions, available natural mineral waters, therapeutic muds, and others. The development of health tourism in the region has great prospects. Such well-known spa resorts as Truskavets, Morshyn, Velykyi Lyubin, Nemyriv, Shklo, and Shidnytsia are located within the region. Prospects for their development are first of all associated with the availability of mineral water sources "Naftusya". As for the resorts of Shklo, Nemyriv and Velykyi Lyubyn, they are also known for their therapeutic muds (peloids). The peloid reserves available here fully meet the needs of sanatoriums that operate on their basis and will promote the development of these resorts.

Ozokerite is considered to be a rather specific recreational resource of Lviv region, which is used for medical purposes. This is a reusable resource. Its largest not only in Lviv region, but also in Ukraine deposit is located in Boryslav (Drohobych district). Its annual production here reaches 700 tons.

As a result of the SWOT-analysis, the main advantages and disadvantages of health and wellness

tourism in Lviv region were identified, and the measures to improve it were substantiated. The article characterized the tourist flows of the region and their importance for the growth and development of its resorts. Within the framework of the conducted research, the proposals for popularization and improvement of the tourist sphere of Lviv region were justified.

The infrastructural provision of resorts is of great importance for the development of health and wellness tourism in the Lviv region. Its main component is the available material base, which includes sanatoriums of various specializations. There are 51 sanatoriums, 6 boarding houses with treatment, 8 prevention sanatoriums, 7 boarding houses and 31 recreation centers located on the territory of the region. We see development prospects in their modernization and in the construction of new ones.

Another development area of health tourism in the Lviv region is the services of spa centers, which are in demand by both foreign and domestic tourists. Most of them are offered in resort cities and recreational areas. The main assortment of services includes various massages, underwater and circular showers, rejuvenating baths, saunas, vitamin and non-alcoholic bars, etc. The popularity of this type of service will continue to grow.

#### Bibliography

1. Архієреєв С. І. Розвиток бальнеологічного туризму в Україні [Текст] / С. І. Архієреєв, В. В. Баранова, К. М. Варавя // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: Міжнародні відносини. Економіка. Країнознавство. Туризм. – 2019. – Вип. 9. – С. 153-163.
2. Безручко Л. Сучасний стан та перспективи розвитку готельних мереж у світі та Україні [Текст] / Л. Безручко, Ю. Жук. // Вісник Львівського університету. Серія міжнародні відносини. – 2018. – №45. – С. 273-280.
3. Веб-сайт Львівської обласної державної адміністрації. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://loda.gov.ua/>.
4. Гамкало М. З. Розвиток гірськолижного туризму в Львівській області [Текст] / Гамкало М.З., Л. Кюріні-Поплавські // Географія та туризм. <https://doi.org/10.17721/2308-135X.2019.43.83-93>
5. Кузишин А. Територіальна організація оздоровчо-відпочинкового туризму в Тернопільській області [Текст] / А. Кузишин, А. Галицька // Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія Географічні науки. Серія: Географічні науки. – №10 – 2019 – С. 180-186.
6. Любіцева О. О. Транскордонне співробітництво з туризму на Розточчі [Текст] / О. О.Любіцева, К. Войцеховський, Ю. В. Зінько, І. В. Кочеткова. // Географія та туризм: науковий збірник. – 2018. – №44. – С. 68-80.
7. Мальська М. Статистичний аналіз туристичних послуг у Львівській області [Текст] // М. Мальська, М. Філь, І. Пандяк // Географія та туризм: наук зб. – Вип. 43 // К: Альфа-ПІК. – 2018. – С. 65-72.
8. Мальська М. П. Туризм у Карпатському регіоні: загрози для довкілля та способи сталого розвитку [Текст] / М. П. Мальська, Ю. В. Зінько, М. Б. Іваник, С. Ф. Благодир // Вісник ЛНУ ім. І. Франка. Серія: Географічна. – 2014. – Вип. 45. – С. 443-451.
9. Молодецький А. Лікувально-оздоровчий туризм в Українських Карпатах і Причорномор'ї: сучасний стан і тенденції [Текст] / А. Молодецький, В. Остра // Вісник Одеського національного університету. Сер.: Географічні та геологічні науки. – Т. 25, вип. 1(36). – 2020. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.1\(36\).205173](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.1(36).205173)
10. Паньків Н. Туристичні ресурси та їхні класифікації / Наталія Паньків. // Рекреаційна географія і туризм. – 2014. – №2. – С. 93-99.
11. Rahmafritria Fitri. Tourism planning and planning theory: Historical roots and contemporary alignment [Text] / Fitri Rahmafritria, Philip L. Pearce, Hera Oktadianac, Heru P.H. Putro // Tourism Management Perspectives 33, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2020.100703>

12. Gabriela Corina Slusariuc. *Health tourism-evolutions and perspectives* [Text] / Gabriela Corina Slusariuc // *Revista de turism-studii si cercetari in turism* – 2020. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.revistadeturism.ro/rdt/article/download/471/296>
13. Aydin Gökhan. *Factors affecting health tourism and international healthcare facility choice* [Text] / Gökhan Aydin // *International Journal of Pharmaceutical and Healthcare Marketing*. – 11(1). – University of East London. – 2017. <https://doi.org/10.1108/IJPHM-05-2015-0018>
14. Joonwoo Moon. *Analyzing Medical Tourism Pull Factors: A Korean American Perspective of the Homeland* [Text] / Joonwoo Moon, Rigg, Julaine S. // *Consortium Journal of Hospitality & Tourism*. – 2020. – Vol. 22, Issue 1. – P. 20-35.
15. Karen Eberechukwu. *Medical Tourism: The Impact of Cost and Wait Time in Relation to Cardiac Surgeries Among Individuals in the United States* [Text] / Karen Eberechukwu // *Marshall Digital Scholar: Scholarship, Publishing and Preservation*. – 2020. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://mds.marshall.edu/etd/1292>
16. Kashuba Y. *Prospects for the transformation of international rural tourism in the Lviv region* [Text] / Y. Kashuba, G. Perig // *Transformational changes of the national economy in the conditions of European integration: a collection of abstracts of the International scientific-practical conference*. Dubliani, 2020. – P. 172.
17. Kholiyavka V. *Modern aspects, factors of influence and prospects of development of medical and medical and health tourism in Ukraine* [Text] / V. Kholiyavka, H. Leshko, J. Mochulska, A. Kukhtiyi // *Bulletin of social hygiene and health care organization of Ukraine*. – № 1. – 2019. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://ojs.tdmu.edu.ua/index.php/visnyk-gigieny/article/download/10280/9814/>
18. Lew A. *Tourism planning and place making: Place-making or placemaking* [Text] / A. Lew // *Tourism Geographies*, – 19(3), 2017. – P. 448-466.
19. Lohmann G. *Tourism theory: Concepts, models and systems* [Text] / G. Lohmann, A. Netto, // Wallingford Oxon: CABI. – 2016. [Електронний ресурс] / Режим доступу: [https://www.academia.edu/42063458/Tourism\\_Theory\\_Concepts\\_Models\\_and\\_Systems](https://www.academia.edu/42063458/Tourism_Theory_Concepts_Models_and_Systems)
20. Miasoid H. *Green eco-tourism in the western regions of Ukraine in the context of complex economic development of the country* [Text] / H. Miasoid, K. Lomakova // *The 16 th International scientific and practical conference «Prospects for the development of modern science and practice» (11-12 May, 2020)*. – Graz, Austria, 2020. – P. 418.
21. Morrison, A. *Marketing and managing tourism destinations* [Text] / A. Morrison // Abingdon: Routledge. – 2019. <https://doi.org/10.4324/9780203081976>
22. *Official site of the Main Directorate of Statistics in Lviv Oblast* [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.lv.ukrstat.gov.ua/>
23. *Official site of Medical Insights International* [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://healthbusinessgroup.com/>
24. Ostovskaya A. *Socio-economic Development of Tourism Infrastructure* [Text] / A. Ostovskaya, E. Smirnova, S. Shendrikova // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – Volume 459, Chapter 4. – 2020. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/459/5/052064>
25. Pakholkiv N. *The role of tourism in the socio-economic development of rural areas* [Text] / N. Pakholkiv // *Transformational changes of the national economy in the conditions of European integration: a collection of abstracts of the International scientific-practical conference*. Dubliani, 2020. – P. 172.
26. Saarinen, J. *Geographies of tourism development and planning* [Text] / J. Saarinen, C. Rogerson, C. Hall // *Tourism Geographies*, – 19(3), 2017. – P. 307-317.
27. Saveleva N. *Medical Tourism Association as an Instrument of Managing Health Industry Competitiveness* [Text] / N. Saveleva, T. Yudina, E. Sinyavskaya, V. Yanyushkin // *Sys Rev Pharm*, 2020. – 11(5). – P. 252-258.
28. Sera Vada. *Positive psychology and tourist well-being: A systematic literature review* [Text] / Sera Vada, Catherine Prentice, Noel Scott, Aaron Hsiao // *Tourism Management Perspectives*. – №33. – 2020. [Електронний ресурс] / Режим доступу: [https://www.academia.edu/41600817/Positive\\_psychology\\_and\\_tourist\\_well\\_being\\_A\\_systematic\\_literature\\_review](https://www.academia.edu/41600817/Positive_psychology_and_tourist_well_being_A_systematic_literature_review)
29. *Statistical Bulletin №11/2019* [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://stat.gov.pl/en/topics/other-studies/informations-on-socio-economic-situation/statistical-bulletin-no-112019,4,107.html>.
30. Stephan J. Page. *Tourism: A Model Synthesis* [Text] / Stephan J. Page, Joanne Connell // 2 Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxon, – Fifth edition. – 2020. – [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://doi.org/10.4324/9781003005520>
31. Szromek R. Adam. *Model of Business Relations in Spa Tourism Enterprises and Their Business Environment* [Text] / Szromek R. Adam // *Department of Organization and Management, Institute of Economy and Informatics, Silesian University of Technology, Akademicka 2A, 44-100 Gliwice, Poland. Sustainability*, 2020. – 12(12). – P. 4941.
32. *The Global Competitiveness Report 2016-2017* / World Economic Forum. Geneva, Switzerland 2016. – P. 383.
33. *The Travel & Tourism Competitiveness Report 2015* / World Economic Forum. Geneva, Switzerland, 2015. – P. 525.
34. *Tourism industry: conclusions from analytical research and sociological survey: Ivano-Frankivsk region – the land for tourism* / L. Aronets, G. Vasylchenko, V. Velikochev, N. Gasyuk, P. Gorishevsky, B. Grechanyk, Y. Zinko, O. Ivanytska, E. Mykytyuk, L. Mykhailyshyn, V. Nasadiuk, V. Perederko, S. Oryshko, D. Symonik, I. Turchak, O. Fedorovich // *Ivano-Frankivsk*, – 2015. – P. 42.

35. *Tourism in Lithuania 2017* [Електронний ресурс] // *Statistics Lithuania*. – 2018. – Режим доступу: <https://osp.stat.gov.lt/statistikos-leidiniu-katalogas?publication=30742>.
36. *Yet-Mee Lim. Medical Tourism Destination Image and its Relationship with the Intention to Revisit: A Study of Chinese Medical Tourists in Malaysia* [Text] / Yet-Mee Lim, Bee-Chuan Sia, Jun-Hwa Cheah and Hiram Ting // *Journal of China Tourism Research*, 15. – 2020. <https://doi.org/10.1080/19388160.2020.1734514>

Submitted October 10, 2020  
Accepted February 21, 2021

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

UDC 911.3

**Iryna Kovalchuk,**

PhD student of the Department of Economic and Social Geography,  
Faculty of Geography, Taras Shevchenko National University of Kyiv,  
2 Acad. Glushkov Av., Kyiv, 02000, Ukraine,  
e-mail: [iryana.horyn@gmail.com](mailto:iryana.horyn@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-6867-1500>;

**Andrii Kovalchuk,**

PhD student of the Department of Geodesy and Cartography,  
Faculty of Geography, Taras Shevchenko National University of Kyiv,  
e-mail: [kovalchuk94a@gmail.com](mailto:kovalchuk94a@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0001-6448-4727>;

**Sergii Zapototskyi,**

DSc (Geography), Professor of the Department of Economic and Social Geography,  
Faculty of Geography, Taras Shevchenko National University of Kyiv,  
e-mail: [zapototsk@gmail.com](mailto:zapototsk@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-3515-4187>;

**Victoriia Zapototska,**

PhD (Geography), Assistant of the Department of Economic and Social Geography,  
Faculty of Geography, Taras Shevchenko National University of Kyiv,  
e-mail: [vzapototska@ukr.net](mailto:vzapototska@ukr.net), <http://orcid.org/0000-0001-9299-2585>

## HEALTH TOURISM IN LVIV REGION: CURRENT STATE AND DEVELOPMENT PROSPECTS

**Introduction.** Health tourism is considered a kind of tourism which is carried out for the purpose of prevention of various diseases and the recreation and provides for guests accommodation in sanatorium-and-spa establishments. This is a special form of tourism, which includes providing medical treatment (often non-drug) or health improvement services.

**Problem formulation.** Health tourism takes one of the leading places in the tourism industry. This is mostly caused by the increase in the population wellbeing.

**Analysis of recent research and publications.** Studies of the development of health tourism in general and in the Lviv region in particular are presented in the works of many Ukrainian and foreign scientists. The article fulfilled the analysis of foreign and domestic sources, which allowed to identify the following ideas that are of interest for the study of health tourism in Lviv region and many other regions of Ukraine

**Highlighting previously unsolved parts of the overall problem.** The fulfilled study allowed us to assess approaches to the analysis of the current state of health tourism in general and in the Lviv region in particular.

The literature is dominated by the opinion that the resort sphere of Lviv region attracts tourists with both favorable prices and a wide range of available services. The issues of estimating the tourist flows coming into the territory of Lviv region were also considered. At the same time, insufficient attention was paid to the study of the status of medical tourism, to the substantiation of proposals aimed at optimizing the development and the improvement of functioning of spa resorts in Lviv region.

**Formulating the purpose of the paper.** The focus of this paper will be set on an objective assessment of the current conditions of the tourism industry based on a quantitative analysis of available statistical data with cartographic and modern statistical methods.

**Presentation of the main research material.** The main directions of formation and development of health tourism in the world are outlined. Cheap health care and leisure services are provided mainly in the resorts of Asia, Latin America and Australia, as well as in some European countries. This is due to the cost of labor, as well as global pricing mechanisms. The main stages in the development of health tourism in Lviv



region are distinguished. The description of Lviv region as an arena for the development of health tourism is given. Spa resorts of Lviv region are attractive first of all by the prices, and also by the wide range of available services. The resort sphere of Lviv region has been studied. Tourist flows in the region are being characterized.

**Conclusions.** The main means of popularizing spa resorts of Lviv region have been identified, including advertising, Internet sources, exhibitions, forums and conferences. The proposals have been worked out directed on optimization of development and improvement of functioning of spa resorts of the Lviv region.

**Keywords:** health tourism, spa resorts, Lviv Region, tourists, medical and health facilities, health care and leisure.

#### **References**

1. Archiyereev S., Baranova V., Varava K. (2019). *Development of spa tourism in Ukraine. Bulletin of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series "International Relations. Economy. Local lore. Tourism"*, 9, 153-163, [in Ukrainian].
2. Bezruchko L., Yu. Zhuk (2018). *Current state and prospects for the development of the hotel networks in the world and in Ukraine. Bulletin of the University of Lviv. International relations series*, 45, 273-280 [in Ukrainian].
3. Lviv Regional State Administration. Available at: <https://loda.gov.ua/>.
4. Hamkalo M.Z., L. Quirini-Poplawski (2019). *Skiing-tourism development in Lviv region. Geography and Tourism* [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.17721/2308-135X.2019.43.83-93>
5. Kuzyshyn A., Halytska A. (2019). *Territorial organization of health and recreation tourism in Ternopil region. Scientific Bulletin of Kherson State University. Series: Geographical Sciences*, 10, 180-186 [in Ukrainian].
6. O.O. Lyubitseva, K. Wojciechowski, Yu. V. Zinko, I.V. Kochetkova (2018). *Cross-border cooperation in the sphere of tourism in Roztocze. Geography and tourism: a scientific collection*, 44, 68-80 [in Ukrainian].
7. M. Malska, M. Fil, I. Pandyak (2018). *Statistical Analysis of Tourist Services in Lviv Region. Geography and Tourism: Sciences*, 43, 65-72 [in Ukrainian].
8. M. P. Malska, Y. V. Zinko, M. B. Ivanik, S. F. Blagodir (2014). *Tourism in the Carpathian region: threats to the environment and ways of sustainable development. Bulletin of Ivan Franko National University of Lviv. Series: Geographical*, 45, 443-451 [in Ukrainian].
9. Molodetsky A., Ostra V. (2020). *Health tourism in the Ukrainian Carpathians and the Black Sea region: current status and trends. Bulletin of Odessa National University. Series: Geographical and geological sciences*. 25, 1 (36) [in Ukrainian]. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.1\(36\).205173](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.1(36).205173)
10. Pankiv N. (2014). *Travel resources and their classification. Recreational geography and tourism*, 2, 93-99 [in Ukrainian].
11. Fitri Rahmafritria, Philip L. Pearce, Hera Oktadianac, Heru P.H. Putro (2020). *Tourism planning and planning theory: Historical roots and contemporary alignment. Tourism Management Perspectives* 33. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2020.100703>
12. Gabriela Corina Slusariuc (2020). *Health tourism-evolutions and perspectives. Revista de turism-studii si cercetari in turism*. Available at: <http://www.revistadeturism.ro/rdt/article/download/471/296>
13. Gökhan Aydın (2017). *Factors affecting health tourism and international healthcare facility choice. International Journal of Pharmaceutical and Healthcare Marketing* 11(1). University of East London. <https://doi.org/10.1108/IJPHM-05-2015-0018>
14. Joonwoo Moon, Rigg, Julaine S (2020). *Analyzing Medical Tourism Pull Factors: A Korean American Perspective of the Homeland. Consortium Journal of Hospitality & Tourism*. 22, 1, 20-35.
15. Karen Eberechukwu (2020). *Medical Tourism: The Impact of Cost and Wait Time in Relation to Cardiac Surgeries Among Individuals in the United States. Marshall Digital Scholar: Scholarship, Publishing and Preservation*. Available at: <https://mds.marshall.edu/etd/1292>
16. Kashuba Y., Perig G. (2020). *Prospects for the transformation of international rural tourism in the Lviv region. Transformational changes of the national economy in the conditions of European integration: a collection of abstracts of the International scientific-practical conference*, 172.
17. Kholiyavka V., Leshko H., Mochulska J., Kukhtiy A. (2019). *Modern aspects, factors of influence and prospects of development of medical and medical and health tourism in Ukraine. Bulletin of social hygiene and health care organization of Ukraine*, 1. Available at: <https://ojs.tdmu.edu.ua/index.php/visnyk-gigieny/article/download/10280/9814/>
18. Lew A. (2017). *Tourism planning and place making: Place-making or placemaking. Tourism Geographies*, 19(3), 448-466.
19. Lohmann G., Netto, A. (2016). *Tourism theory: Concepts, models and systems. Wallingford Oxon: CABI*. Available at: [https://www.academia.edu/42063458/Tourism\\_Theory\\_Concepts\\_Models\\_and\\_Systems](https://www.academia.edu/42063458/Tourism_Theory_Concepts_Models_and_Systems)
20. Miasoid H., Lomakova K. (2020). *Green eco-tourism in the western regions of Ukraine in the context of complex economic development of the country. The 16 th International scientific and practical conference «Prospects for the development of modern science and practice»*. Graz, Austria, 418.
21. Morrison, A. (2019). *Marketing and managing tourism destinations*. Abingdon: Routledge. Access mode: <https://doi.org/10.4324/9780203081976>

22. Official site of the Main Directorate of Statistics in Lviv Oblast. Available at: <https://www.lv.ukrstat.gov.ua/>
23. Official site of Medical Insights International. Available at: <https://healthbusinessgroup.com/>
24. Ostovskaya A., Smirnova E., Shendrikova S. (2020). Socio-economic Development of Tourism Infrastructure. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 459, 4. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/459/5/052064>
25. Pakholkiv N. (2020). The role of tourism in the socio-economic development of rural areas. Transformational changes of the national economy in the conditions of European integration: a collection of abstracts of the International scientific-practical conference. Dubliani, 172.
26. Saarinen, J., Rogerson, C., Hall C. (2017). Geographies of tourism development and planning. *Tourism Geographies*, 19(3), 307-317.
27. Saveleva N., Yudina T., Sinyavskaya E., Yanyushkin V., Rokotyanskaya V. (2020). Medical Tourism Association as an Instrument of Managing Health Industry Competitvity. *Sys Rev Pharm* 11(5), 252-258.
28. Sera Vada, Catherine Prentice, Noel Scott, Aaron Hsiao (2020). Positive psychology and tourist well-being: A systematic literature review. *Tourism Management Perspectives* 33. Available at: [https://www.academia.edu/41600817/Positive\\_psychology\\_and\\_tourist\\_well\\_being\\_A\\_systematic\\_literature\\_review](https://www.academia.edu/41600817/Positive_psychology_and_tourist_well_being_A_systematic_literature_review)
29. Statistical Bulletin (2019). 11. Available at: <https://stat.gov.pl/en/topics/other-studies/informations-on-socio-economic-situation/statistical-bulletin-no-112019,4,107.html>.
30. Stephan J. Page, Joanne Connell (2020). *Tourism: A Model Synthesis*. 2 Park Square, Milton Park, Abington, Oxon, Fifth edition. <https://doi.org/10.4324/9781003005520>
31. Szromek R. Adam (2020). *Model of Business Relations in Spa Tourism Enterprises and Their Business Environment*. Department of Organization and Management, Institute of Economy and Informatics, Silesian University of Technology, Akademicka 2A, 44-100 Gliwice, Poland. *Sustainability*, 12(12), 4941.
32. *The Global Competitiveness Report 2016-2017* (2016). World Economic Forum. Geneva, Switzerland, 383.
33. *The Travel & Tourism Competitiveness Report 2015* (2015). World Economic Forum. Geneva, Switzerland, 525.
34. L. Aronets, G. Vasylenko, V. Velikochey, N. Gasyuk, P. Gorishevsky, B. Grechanyk, Y. Zinko, O. Ivanytska, E. Mykytyuk, L. Mykhailyshyn, V. Nasadiuk, V. Perederko, S. Oryshko, D. Symonik, I. Turchak, O. Fedorovich (2015). *Tourism industry: conclusions from analytical research and sociological survey: Ivano-Frankivsk region – the land for tourism*. *Ivano-Frankivsk*, 42.
35. *Tourism in Lithuania 2017* (2018). Statistics Lithuania. Available at: <https://osp.stat.gov.lt/statistikos-leidiniu-katalogas?publication=30742>
36. Yet-Mee Lim, Bee-Chuan Sia, Jun-Hwa Cheah, Hiram Ting (2020). Medical Tourism Destination Image and its Relationship with the Intention to Revisit: A Study of Chinese Medical Tourists in Malaysia. *Journal of China Tourism Research*, 15. <https://doi.org/10.1080/19388160.2020.1734514>

**Varduhi Gurgeni Margaryan,**

PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Physical Geography and Hydrometeorology,  
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>;

**Valentyna Hrygorivna Klymenko,**

Associate Professor, Department of Physical Geography and Cartography,  
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University,  
4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,  
e-mail: [valent.klimenko@gmail.com](mailto:valent.klimenko@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-6777-1606>;

**Nadiia Ivanivna Cherkashyna,**

Senior Lecturer, V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [n.cherka@gmail.com](mailto:n.cherka@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-4066-2530>;

**SPECIFIC CHANGES IN MAIN CLIMATIC CHARACTERISTICS  
OF THE DEBED RIVER BASIN (ARMENIA)**

**В. Г. Маргарян, В. Г. Клименко, Н. І. Черкашина. ОСОБЛИВОСТІ ЗМІН ОСНОВНИХ КЛІМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК У БАСЕЙНІ РІКИ ДЕБЕД (ВІРМЕНІЯ).** В роботі розглядається зміна основних кліматичних характеристик басейну Дебед (Вірменія). В даний момент - це одна з актуальних проблем, так як багато вчених вважають, що кінець 20 і початок 21 століття, є періодами змін основних кліматичних характеристик. Так середня річна температура приземного шару повітря зростає, а кількість опадів зменшується. В якості вихідного матеріалу в роботі були використані середні місячні дані фактичних спостережень за температурою приземного шару повітря і кількістю опадів «Центру гідрометеорології і моніторингу» ГНКО Міністерства навколишнього середовища Республіки Вірменія басейну Дебед. Дослідження проводилися на 6 метеорологічних станціях басейну р. Дебед (Баграташен, Ташир, Одзун, Степанаван, Пушкінський перевал, Ванадзор) за період спостережень з середини 1930-х рр. по 2018 р. В результаті досліджень було встановлено, що на території, що вивчається розподіл температури повітря і опадів нерівномірний. Так з висотою місцевості знижується температура повітря і збільшується кількість опадів. Вертикальний градієнт відповідно становить 0,54 °C / 100 м і -20 мм / 100 м. Середньорічна температура повітря коливається в межах від 3,74 °C до 12,3 °C, а річна кількість опадів - від 462 мм до 770 мм. Дослідження показали також повсюдну тенденцію до підвищення середньорічної температури повітря і зменшення річної кількості опадів (за винятком деяких метеорологічних станцій). Було встановлено, що в середньому по басейну Дебед з 1964 р. по 1992 р. температура повітря за рік підвищилася на 0,68 °C, з 1993 по 2018 р. - на 1,01 °C, а з 1964 по 2018 р. - на 1,65 °C. В середньому по басейну Дебед відбувається зменшення річної суми опадів, так з 1964 р. по 2001 р. на 126 мм, з 2002 по 2018 р. - на 105 мм. На окремих метеостанціях (Степанаван) спостерігається також тенденція незначного збільшення кількості опадів, особливо значно - після 2002 року.

**Ключові слова:** басейн р. Дебед, річна температура повітря, річна кількість атмосферних опадів, розподіл лінії тренду, багаторічні зміни.

**В. Г. Маргарян, В. Г. Клименко, Н. И. Черкашина. ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ ОСНОВНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В БАСЕЙНЕ РЕКИ ДЕБЕД (АРМЕНИЯ).** В работе рассматривается изменение основных климатических характеристик бассейна Дебед (Армения). В данный момент – это одна из актуальных проблем, так как многие ученые считают, что конец 20 и начало 21 века, являются периодами изменений основных климатических характеристик. Так средняя годовая температура приземного слоя воздуха возрастает, а количество осадков уменьшается. В качестве исходного материала в работе были использованы средние месячные данные фактических наблюдений за температурой приземного слоя воздуха и количеством осадков «Центра гидрометеорологии и мониторинга» ГНКО Министерства окружающей среды Республики Армения бассейна Дебед. Исследования проводились на 6 метеорологических станциях бассейна р. Дебед (Баграташен, Ташир, Одзун, Степанаван, Пушкинский перевал, Ванадзор) за период наблюдений с середины 1930-х гг. по 2018 г. В результате исследований было установлено, что на изучаемой территории распределение температуры воздуха и осадков неравномерное. Так с высотой местности понижается температура воздуха и увеличивается количество осадков. Вертикальный градиент соответственно составляет 0,54 °C / 100 м и -20 мм / 100 м. Среднегодовая температура воздуха колеблется в пределах от 3,74 °C до 12,3 °C, а годовое количество осадков – от 462 мм до 770 мм. Исследования показали также повсеместную тенденцию к повышению среднегодовой температуры воздуха и уменьшения годового количества осадков (за исключением некоторых метеорологических станций). Было установлено, что в среднем по бассейну Дебед с 1964 г. по 1992 г. температура воздуха за год повысилась на 0,68 °C, с 1993 по 2018 г. – на 1,01 °C, а с 1964 по 2018 г. – на 1,65 °C. В среднем по бассейну Дебед происходит уменьшение годовой суммы осадков, так с 1964 г. по 2001 г. на 126 мм, с 2002 по 2018 г. – на 105 мм. На отдельных метеостанциях (Степанаван) наблюдается также тенденция незначительного увеличения количества осадков, особенно значительно – после 2002 года.

**Ключевые слова:** бассейн р. Дебед, годовая температура воздуха, годовое количество атмосферных осадков, распределение линии тренда, многолетние изменения.

**Introduction.** For the past several decades the planet's climate has been rapidly changing due to global warming. The problem of assessing the macroeconomic consequences of climate change in a given territory arose at its background in a given territory [15]. Moreover, the problem of global cli-

mate change has gone beyond the scope of scientific research in this area. It has become the subject of discussion for officials and politicians at various international scientific and political forums. This has led to formulation of solutions on adaptation to climate change and mitigation of their consequences

[11]. Armenia also did not stay away from the problems of global climate change. According to the 4th national meeting [18] on climate change in the Republic of Armenia in the period from 1929-1996 the average annual temperature increased by 0.4 °C, from 1929 to 2007 - by 0.85 °C, from 1929-2012 - by 1.03 °C. From 1929 to 2016 it increased by 1.23 °C, and the average annual precipitation decreased by 6% over the period from 1935-1996 and about 9% - for 1935-2016.

Numerous scientific works consider standard climatic characteristics, such as average annual and average monthly air temperatures, the amount of precipitation for the year and in individual months [6, 11, 19-20]. G.A. Aleksandryan [2], A.B. Bagdasaryan [4], V.G. Margaryan [12-13, 21-22], G. Nersesyan [14], G. G. Surenyan [16] et.al made a great contribution to the study of the main climatic characteristics of Armenia. The issue of climate change in the Republic of Armenia was discussed at the fourth national meeting [18]. A number of climate reference books contain the data on air temperature and precipitation in Armenia [7-8]. This work evaluates the change in the main climatic characteristics in the Debed river basin, using a long series of instrumental observation data (1930–2018).

**Research methods and initial data.** To solve the set tasks, the authors used corresponding research and published works as a theoretical basis in their work. As a starting material in the work, we used the daily factual data of the “Center for Hydrometeorology and Monitoring” of the SNCO, the Ministry of Environment of the Republic of Armenia for more than 80 years (1930–2018) at six meteorological stations.

The authors used the mathematical and statistical, extrapolation, analysis, analogy, correlation, cartographic methods in their research.

To identify climate changes over a significant period, two types of non-stationary mean models were used: a linear trend and stepwise changes in relation to the basic stationary model. In [9, 11]. We have found that the model of stepwise changes in the mean value is more effective than the linear trend model. At the same time, even a preliminary visual analysis indicates that the model of stepwise changes in mean values is more consistent with the structure of the series than the trend model, although it can also be statistically significant [10].

The aim of this work is to analyze and assess the features of the territorial distribution of the main climatic indicators in the Debed river basin, their changes over the past 80–90 years in different conditions of Armenia.

### **Physical and geographical characteristics of the river Debed basin.**

River Debed (Fig. 1) basin is located in the north

of the Republic of Armenia. It occupies an area of 3790 km<sup>2</sup> within the republic (4080 km<sup>2</sup> outside). The lowest point (375 m) of the territory of Armenia is located in the lower reaches of the Debed River. The basin is distinguished by a rugged relief, there are canyons reaching 300 meters in depth (the canyon of the Debed River), as well as separate massifs, reaching more than 2500 meters in height. The difference in altitude exceeds 2800 m.

On the territory of the river Debed there are mountain ranges, valleys with different slopes and exposures, which create a variety of air temperature and precipitation distribution in both vertical and horizontal directions. In the west from the Shirak marz, it is separated by the Javakhk ridge, on the south side it is bounded by the Pambak ridge. The eastern border goes along the divide line between the right tributaries of the Debet and Aghstev rivers. From the west and south-west towards the east and northeast it gradually decreases towards the valley of the Kura river. Lori highland plain, with an average height of 1500 m, is located between the Virahayotsky (Somkheta) and Bazum ridges, Pambak depression is between the Bazum and Pambak ridges [4, 22].

The basin is distinguished by significant moderation: the average annual air temperature amplitudes reach 20.0–22.0 °C. Winters are mild, a particularly large percentage is thawed weather (40-60%).

In the Debed river basin you can trace the mountain-forest, mountain-steppe and alpine climatic zones. A temperate climate of dry steppes forms only in the deep gorges of the extreme northeastern part of the basin. The plain parts of the basin are covered with chernozems with different steppe vegetation, and the mountain slopes are covered with brown-greyish and brown-wooded podzolized soils with deciduous forests. A significant part of the slopes of these ridges is covered with forests [4].

**Research results.** The study area is characterized by an uneven distribution of air temperature and precipitation due mainly to the geographical latitude of the area, general and local circulation of the atmosphere, nature of the active surface, radiation energy and orographic features.

The average annual temperature is positive on the river Debed territory at heights from 451 m to 2066 m, according to actual observations (Table 1). Long-term average annual air temperatures for the period from the 60s of the 20th century to 2018 on average vary from 3.7 °C (Pushkin pass) to 12.3 °C (Bagratashen). Of the 6 meteorological stations, the lowest values of the average monthly temperature (-6.4 °C) are in January at the Pushkin Pass, and the highest values (23.7-24.0 °C) are in Bagratashen in

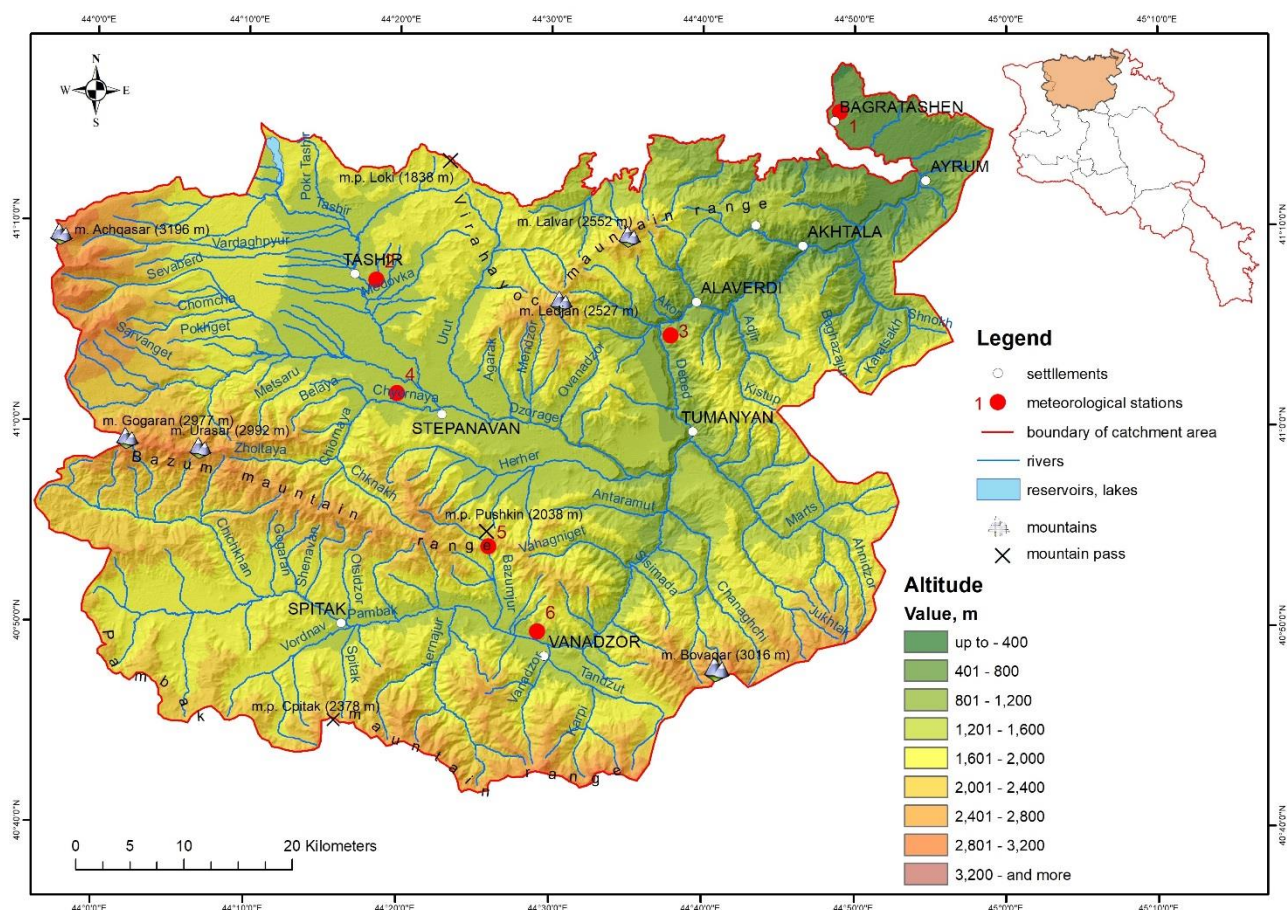


Fig. 1. The network of meteorological stations in the Debed river basin.  
 1 - settlements; 2 - border of the Debed river basin; 3 - rivers; 4 - lake; 5 - passes;  
 6 - *theoretical stations*: 1 - Bagratashen, 2 - Tashir, 3 - Odzun, 4 - Stepanavan,  
 5 - Pushkin Pass, 6 - Vanadzor; 7 - *meteorological posts*

Table 1

Values of average and extreme annual air temperatures at meteorological stations for the period 1964-2018

№	Meteorological stations	Height, m	Air temperature, °C	Atmospheric precipitation, mm
1	Bagratashen	451	12,3	462
2	Tashir	1507	6,2	731
3	Odzun	1105	9,5	547
4	Stepanavan	1397	7,3	668
5	Pushkin pass	2066	3,7	770
6	Vanadzor	1376	8,3	566

July-August. In March-April, the average monthly temperature becomes positive when snowmelt and floods occur in the rivers of the basin.

The annual amount of atmospheric precipitation changes dramatically. Long-term average annual precipitation values for the period 1964-2018 are in the range from 462 mm (Bagratashen) to 770 mm (Pushkin pass). Relatively high rainfall is in the Lori Basin. Here, in Tashir, at an altitude of 1507 m, the annual precipitation is 731 mm, and in Stepanavan at an altitude of 1397 - 668 mm. There is comparatively less precipitation in the lower reaches of the

Debed River (Bagratashen) and in the valley of the Pambak River, in the Spitak Basin (Spitak, 439 mm). A significant part of precipitation falls in April-June (35-45% of the annual amount), minimum amount is in the second half of summer and winter. Moreover, the amount of precipitation in the summer months exceeds the amount of precipitation in the winter months.

As a rule, along with the absolute height of the area, the annual air temperature naturally decreases (Fig. 2-a) and the annual amount of precipitation increases (Fig. 2-b). Annual air temperature de-

creases on average by 0.5 °C with an altitude of every 100 m and the annual precipitation increases by 20 mm. Based on this connection, it is possible to study the air temperature regime and the amount of

precipitation in unexplored and poorly studied areas and to build a map of the territorial distribution of the latter.

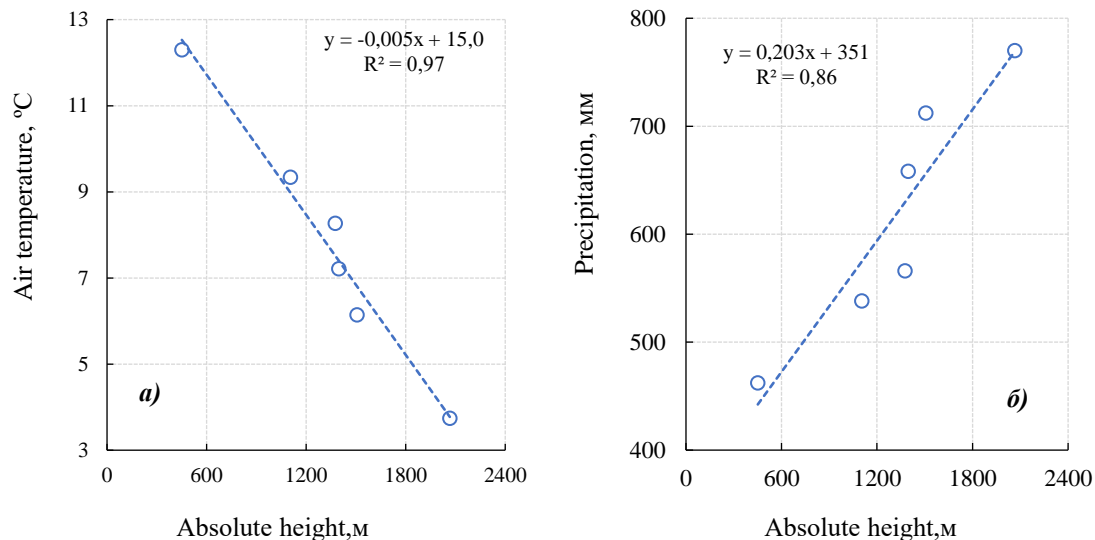


Fig. 2. Dependence of air temperature (a) and atmospheric precipitation (b) on an absolute height in the Debed river basin

Annual precipitation increases with altitude from 450–550 mm below heights of 1000–1100 m to 750 mm above 2000 m. The air temperature, on the contrary, decreases with altitude: at heights up to 1000–1100 m, it changes from 12.0–12.5 to 9.0–1.0 °C, and at altitudes of 2000 m and more, it reaches almost 4.0–4.5 °C (Fig. 2).

Fig. 3 shows the intra-annual distribution of air temperature, atmospheric precipitation at Stepanavan meteorological station and river runoff on the example of Stepanavan water measuring station of the Dzoraget River. As we can see from the figure, the river runoff depends on air temperature and precipitation.

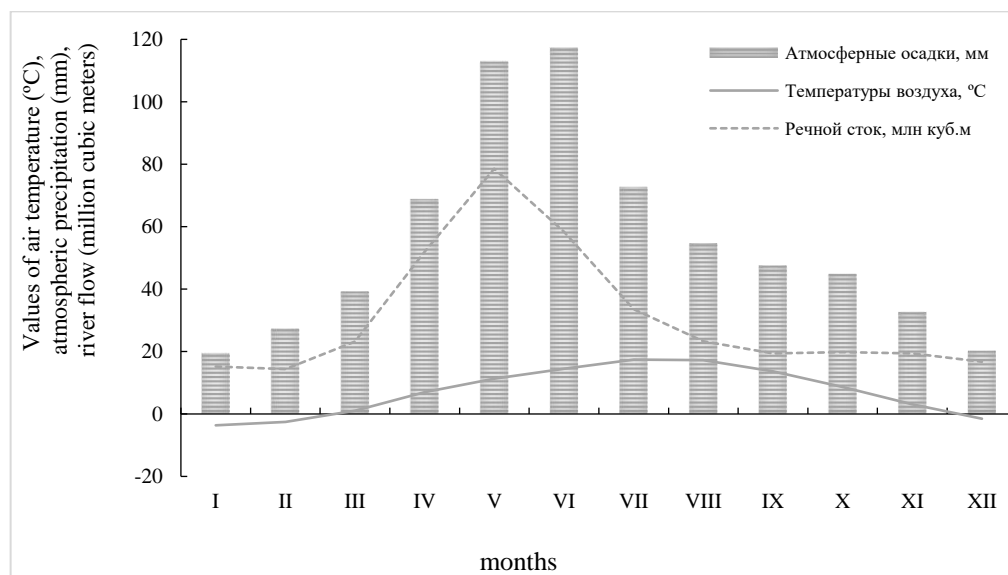


Fig. 3. Annual variation of air temperature and atmospheric precipitation at the weather station Stepanavan, the Dzoraget river flow (Stepanavan village)

The river runoff rises with an increase in atmospheric precipitation, and with an increase in air temperature, on the contrary, it decreases. However, in spring, a steady transition of temperature over 0 °C leads to an increase in river

runoff due to snow melting. Thus, the formation of the river runoff, as well as its intra-annual distribution, is closely related to the climatic conditions of a given territory, in particular, to the spatial and temporal features of air temperature and

precipitation. Therefore, to identify the intra-annual distribution of the river flow in any territory, it is necessary to study in detail distribution of air temperature and precipitation in this territory in time and space.

The authors assessed changes in the mean annual air temperature and atmospheric precipitation both for the entire territory of the Debed basin (Fig. 4), and for each of the currently operating meteorological stations separately (Fig. 5). We found a stable positive trend in the average annual air temperature and a stable negative trend in the annual amount of atmospheric precipitation in the river Debed basin as a whole. Since meteorological stations began their activity at different times (for example, the Pushkin Pass meteorological station has been operating since 1963), the average air temperature for the year and the annual amount of precipitation for the entire territory have been calculated since 1964.

As follows from Fig. 4 (a, b), the air temperature trend lines are positive. This pattern also characterises other regions of our planet, including the South Caucasus [19], Eastern Georgia [17], on the territory of the high-mountain landscapes of the North-East Caucasus [1], the Russian Federation [6], the territories of all CIS states [5], Ulyanovsk region [15], landscapes of the North Caucasus [3].

Since the 1960s, there has been a clear change in annual temperatures, especially in the mid-1990s. Changes in the air temperature trend are represented by two trend lines: for the period 1964–1992 and 1993–2018, which are positive. However, for the period 1964–1992 the rate of annual warming ( $+0.227\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ years}$ ) is less than the rate of annual warming ( $+0.389\text{ }^{\circ}\text{C} / 10\text{ years}$ ) for the period 1993–2018. A significant increase in annual temperatures is observed especially over the period 1993–2018. (Table 2). On average, from 1964 to 1992, the air temperature over the year increased by  $0.68\text{ }^{\circ}\text{C}$ , from 1993 to 2018 - by  $1.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ , and from 1964 to 2018 - by  $1.65\text{ }^{\circ}\text{C}$  in the Debed basin.

The trend lines of the annual amount of atmospheric precipitation are negative (Fig. 4-c, d). As a result of the research, we identified two changes in trend lines: for the period 1964–2001 and 2002–2018. The rate of change in the annual amount of atmospheric precipitation for the period 1964–2001 is  $-33.2\text{ mm} / 10\text{ years}$ , and for the period 2002–2018 is  $61.7\text{ mm} / 10\text{ years}$ . As for the entire period 1964–2018, the rate of precipitation change is insignificant -  $1.02\text{ mm} / 10\text{ years}$  (Fig. 4-c). On average, in the Debed basin, the decrease in the annual amount of precipitation was  $126\text{ mm}$  from 1964 to 2001, by  $105\text{ mm}$  - from 2002 to 2018 (Table 2).

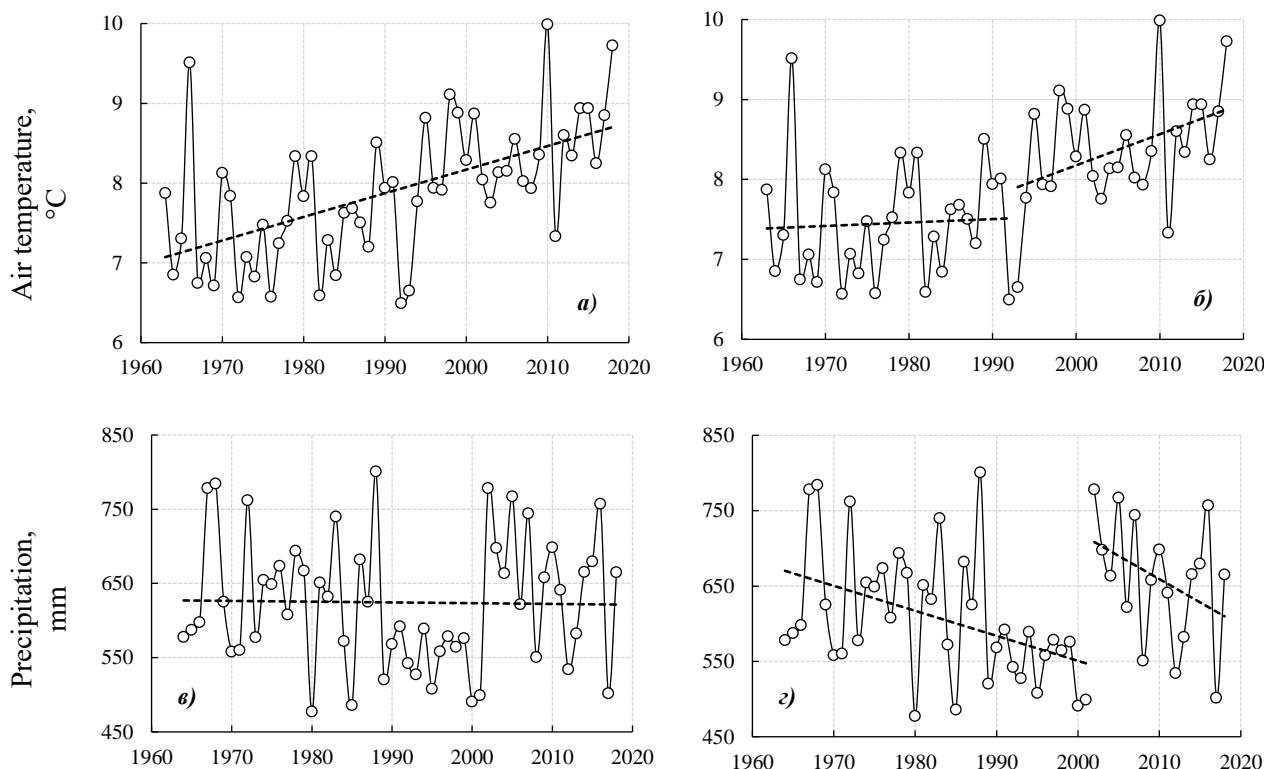


Fig. 4. Long-term changes in the average air temperature (a, b) and the amount of precipitation (c, d) per year in the basin of the river Debed

Statistical characteristics of the average annual air temperature and precipitation

Name	Periods	Statistical characteristics			
		rate of change in temperature (°C / 10 years) and the amount of precipitation (mm / 10 years)	changes in temperature (°C) and the amount of precipitation (mm)	root mean square error	coefficient variations
<b>Air temperatures, °C</b>					
At all stations	1964-1992	+0,227	0,68	1,64	0,51
	1993-2018	+0,389	1,01	1,69	0,81
<b>Annual precipitation, mm</b>					
At all stations	1964–2001	-33,2	126	0,14	15,9
	2002–2018	-61,7	105	0,14	18,0

In the Debed basin, as a whole, we noticed relatively low annual temperatures (less than 6.5–6.6 °C) over the past 60 years - 1972, 1976, 1982, 1992. Since 1993, there has been a sharp rise in temperature. Comparatively high annual temperatures (over 9.5 °C) were in 1966, 2010 and 2018. The warmest were 1966 and 2010 on the territory of alpine landscapes of the North-Eastern Caucasus [1]. A small annual amount of precipitation (less than 500 mm) was recorded in 1980, 1985, 2000, 2016, a large amount of precipitation (more than 750 mm) - in 1967, 1968, 1972, 1988, 2001, 2004, 2015.

Table 2 illustrates characteristics of changes in air temperature and precipitation in the basin of the Debed river. As we see, the standard deviation of air temperature is greater than that of precipitation, and the coefficient of variation of air temperature, on the contrary, is less. On the territory under consideration, as a whole, the standard deviations for air temperature vary within 1.64–1.69 for the period from 1964–1992 to 1993–2018. The coefficient of variation is 0.51–0.81, and for precipitation, respectively 0.14 and 15.9–18.0. For air temperature, with an increase in standard deviations, the coefficient of variation also increases. Moreover, the standard deviations have smaller values than the coefficient of variation.

Fig. 5 and Fig. 6 shows the long-term changes in the average annual air temperature and the annual amount of precipitation in the Debed river basin for meteorological stations at different heights: Stepanavan - 1397 m, Odzun - 1105 m. In the Debed basin, according to the data of all operating meteorological stations, we observed a tendency towards an increase in the average annual air temperature, what cannot be said about precipitation.

Changes in the air temperature trend for the Stepanavan and Odzun meteorological stations are also represented by two positive trend lines (Fig. 5 - b, d). Changes in the air temperature trend for the Stepanavan meteorological station are presented for the period 1932–1992 and 1993–2018, and for the Odzun meteorological stations - for the period 1940–1992 and 1993–2018. The rate of annual warming is higher and amounts to +0.397 °C / 10 years - for the Stepanavan meteorological stations and +0.383 °C / 10 years - for the Odzun meteorological stations for the period 1993–2018. For the period 1993–2018 there is a significant increase in annual temperatures. So, for the Stepanavan meteorological station, the air temperature over the year, respectively, increased by 1.03 °C and 1.00 °C from 1993 to 2018.

The trend lines of the annual amount of atmospheric precipitation are both positive (Fig. 6 - a) and negative (Fig. 6 - c). The rate of change in the annual amount of atmospheric precipitation at the Stepanavan meteorological stations for the period 1932–2001 is +2,328 mm / 10 years, and at the Odzun meteorological stations for the period 1940–1992 is 4.817 mm / 10 years.

As a result of the research, we identified two changes in trend lines for the period 1932–2001 and 2002–2018 - at the Stepanavan meteorological stations (Fig. 6 - b); for the period 1940–2001 and 2002–2018 - at the Odzun meteorological station (Fig. 6 - d). The rate of change for the Stepanavan meteorological station in the annual amount of atmospheric precipitation is +1.28 mm / 10 years for the period 1932–2001 and -79.056 mm / 10 years - for the period 2002–2018. (Fig. 6 b). At the Odzun meteorological stations, the rate of change in the annual amount of atmospheric precipitation is -13.45 mm / 10 years for the period 1940–2001 and



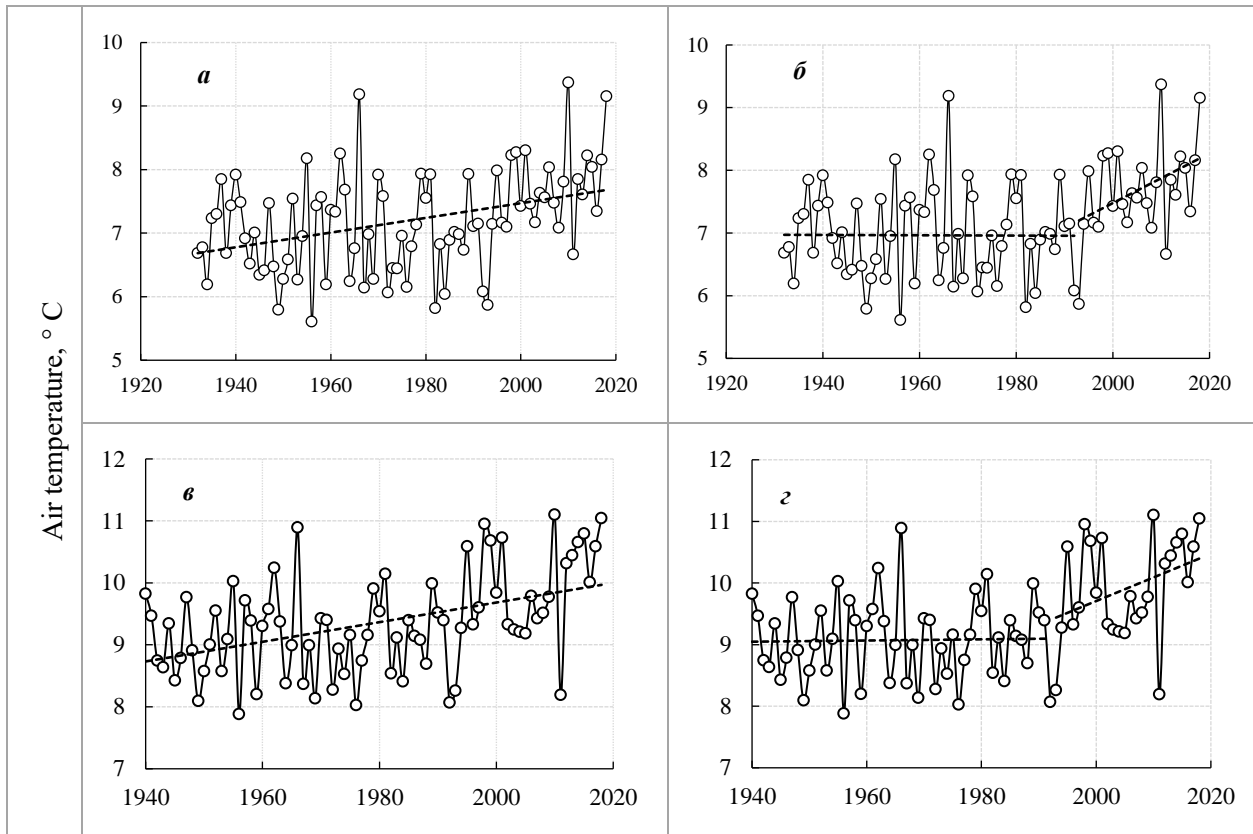


Fig. 5. Long-term changes in the average annual air temperature in the basin of the river Debed for meteorological stations at different heights: Stepanavan - 1397 m (a, б), Odzun - 1105 m (в, г)

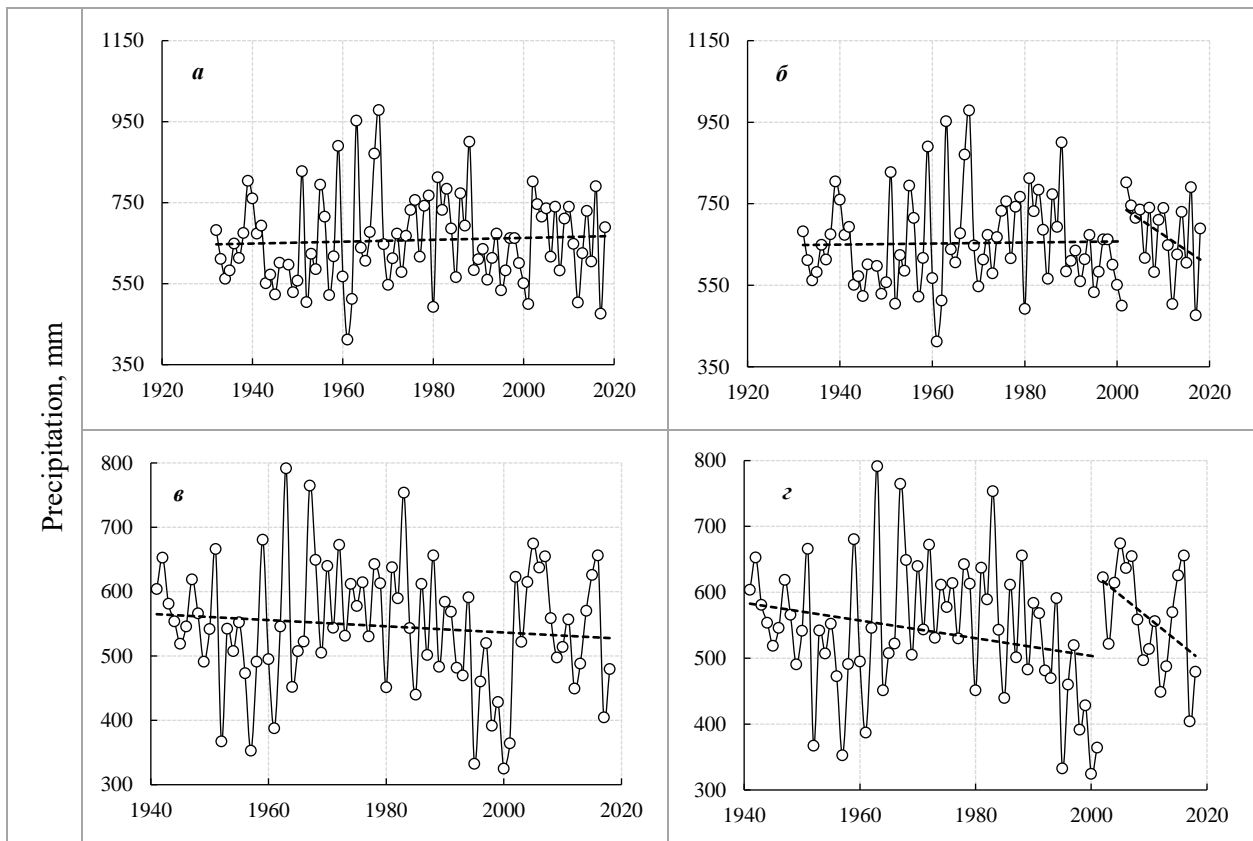


Fig. 6. Long-term changes in the annual amount of precipitation in the basin of the river Debed for meteorological stations at different heights: Stepanavan - 1397 m (a, б), Odzun - 1105 m (в, г)

-70.85 mm / 10 years - for the period 2002–2018. (Fig. 6 d)

Thus, over the entire observation period, the rate of change in precipitation is insignificant - +2.328 mm / 10 years (Stepanavan) and - 4.817 mm / 10 years (Odzun). Significant changes in the annual amount of atmospheric precipitation occur more over the period 2002–2018 - from -79.056 mm / 10 years (Stepanavan) to -70.85 mm / 10 years (Odzun). On average, the decrease in the annual amount of precipitation ranges from 120 mm (Odzun) to 129 mm (Stepanavan) and this occurred from 2002 to 2018.

In the study area, we observe a tendency towards a decrease in the annual amount of precipitation, especially since 2002. At the Stepanavan meteorological station, there is a tendency for a slight increase in the amount of precipitation for the period 1932–2018 (Fig. 6 - a) and for the period 1932-2001 (Fig. 6 - b). The revealed tendencies of changes in the amount of precipitation in comparison with the tendencies of changes in air temperature have a lower statistical significance and are less stable. A weak tendency to an increase in the amount of precipitation is observed in other regions [15].

**Conclusions.** As a result of the research, we came to the following conclusions:

- distribution of air temperature and precipitation in the study area is uneven. The air temperature decreases and the amount of precipitation increases with the height. The vertical gradient is 0.54 °C / 100 m and -20 mm / 100 m, respectively. The average annual air temperature ranges from 3.74 °C to 12.3 °C, and the annual precipitation ranges from 462 mm to 770 mm;

- long-term fluctuations of the average air temperature for the year are characterized by positive trends in all places. On average, from 1964 to 2018

the air temperature in the basin of the Debed river increased by 1.65 °C. A significant increase in annual temperatures has been observed after the 1990s, when the rate of annual warming was +0.389 °C / 10 years (for the period 1993–2018). The warmest years were 1966, 2010 and 2018;

- the tendency to decrease the annual amount of precipitation predominantly prevails. The most significant amount of precipitation decreased after 2002. The rate of change in the annual amount of atmospheric precipitation for the period 2002–2018 was -61.7 mm / 10 years, for the entire period 1964-2018 - 1.02 mm / 10 years. On average, there was a 126 mm decrease in annual precipitation in the basin of the Debed river from 1964 to 2001, by 105 mm - from 2002 to 2018. At the Stepanavan meteorological station, there is a tendency for a slight increase in the amount of precipitation;

- the rate of change in precipitation in the basin of the Debed river is insignificant for the entire observation period for meteorological stations at different heights. So, at the Stepanavan meteorological station, the rate of precipitation change is +2.328 mm / 10 years from 1932 to 1992, and at the Odzun meteorological station - 4.817 mm / 10 years from 1940 to 1992;

- the rate of change in the annual amount of atmospheric precipitation was greater from 2002 to 2018 - from -79.056 mm / 10 years (Stepanavan) to -70.85 mm / 10 years (Odzun). For the period 2002-2018 the decrease in the annual amount of precipitation was in the range from 120 mm (Odzun) to 129 (Stepanavan);

- it is necessary to develop strategic programs to adapt the consequences of changes in the main climatic characteristics. This will serve as a stimulus for the long-term development of the region's economy.

### Bibliography

1. Абдулжалимов А.А. Современные климатические изменения высокогорных ландшафтов Северо-Восточного Кавказа [Текст] / А.А. Абдулжалимов, З.В. Атаев, В.В. Братков // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. – 2015. – № 2. – С. 86–94.
2. Александрян Г.А. Атмосферные осадки в Армянской ССР [Текст] / Г.А. Александрян. – Ереван: изд-во АН АрмССР. – 1971. – 180 с.
3. Атаев З.В. Реакция ландшафтов Северного Кавказа на современные климатические изменения [Текст] / З.В. Атаев, В.В. Братков // Юг России: экология, развитие. – 2014. – №1. – С. 141–157.
4. Багдасарян А. Б. Климат Армянской ССР / А. Б. Багдасарян. – Ереван: изд-во АН АрмССР. – 1958. – 151 с.
5. Бардин М. Ю. Особенности наблюдаемых изменений климата на территории Северной Евразии по данным регулярного мониторинга и возможные их факторы [Текст] / М. Ю. Бардин, Т. В. Платова, О.Ф. Самохина // Труды ФГБУ. – М.: Гидрометцентр России. – 2015. – Вып. 358. – С. 13–35.
6. Груза Г.В. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха [Текст] / Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова. – Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». – 2012. – 194 с.
7. Климатический справочник [Текст]. Ч. I. Температура воздуха и почвы. – Ереван, 2011. – 150 с. (на армянском яз.).
8. Климатический справочник [Текст]. Часть II. Влажность воздуха, атмосферные осадки и снежный покров. – Ереван, 2012. – 172 с. (на армянском языке).

9. Кириллина К. С. Оценка современных климатических изменений температуры воздуха на территории республики Саха (Якутия) [Текст] / К. С. Кириллина, В. А. Лобанов // Ученые записки РГГМУ. – 2015. – № 38. – С. 137–151.
10. Лобанов В. А. Оценка климатических изменений температуры воздуха и их устойчивости на территории центральной Азии [Текст] / В. А. Лобанов, С. А. Мамедов // Ученые записки РГГМУ. – 2018. – № 51. – С. 22–36.
11. Лобанов В. А. Применение эмпирико-статистических методов для моделирования и анализа климатических изменений [Текст] / В. А. Лобанов, А.Е. Шадурский // Ученые записки РГГМУ. – 2010. – № 14. – С. 73–88.
12. Маргарян В.Г. Закономерности пространственно-временных изменений атмосферного увлажнения в РА [Текст]: автореф. дис. ученой степени канд. геогр. наук / В.Г. Маргарян. – Ереван, 2009. – 169 с. (на армянском яз.).
13. Маргарян В.Г. Закономерности пространственно-временного изменения экстремальных температур приземного слоя атмосферы и их воздействие на ландшафтную структуру Араратской котловины [Текст] / В.Г. Маргарян, Н.И. Самвелян // Вестник ВГУ, серия: география, геоэкология. – 2019. – №4. – С. 15–22. <https://doi.org/10.17308/geo.2019.4/2707>
14. Нерсисян А. Г. Климат Армении [Текст] / А. Г. Нерсисян. – Ереван. – 1964. – С. 304.
15. Переведенцев Ю.П. Изменение основных климатических показателей на территории Ульяновской области [Текст] / Ю.П. Переведенцев, Р.Б Шарипова // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». – 2012. – Вып. 1. – С.136–144.
16. Суренян Г. Г. Синоптический анализ барических полей, формирующих погодноклиматические условия Республики Армения [Текст]: дис. канд. геогр. наук / Г. Г. Суренян. – Ереван, 2010. – 145 с. (на армянском яз.).
17. Amiranashvili A. Climate Change in Georgia; statistical and nonlinear dynamics predictions / A. Amiranashvili, T. Matcharashvili, T. Chelidze // Journal of Georgian Geophysical Society, Issue (A), Physics of Solid Earth. – V. 15a, 2011-2012. – Pp. 67–87.
18. Armenia's fourth national communication on climate change, 2014. – 213 p.
19. Building Resilience to Climate Change in South Caucasus Agriculture / Nicolas Ahouissoussi, James E. Neumann, and Jitendra P. Srivastava, Editors. International Bank for Reconstruction and Development, 2014. – 167 p. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-0214-0>
20. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change). The physical science basis. In Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Thomas F. Stocker, Dahe Qin, Gian-Kasper Plattner, Melinda M.B. Tignor, Simon K. Allen, Judith Boschung, Alexander Nauels, Yu Xia, Vincent Bex, Pauline M. Midgley (eds). Cambridge: Cambridge University Press, 2013. – 1552 p.
21. Margaryan V.G. Assessment of climatic trend of air temperature at the earth surface in the context of stable development (case of Gyumri city) / V.G. Margaryan // Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology". – No. 50. – Pp. 125–135. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-50-09>
22. Margaryan V. About the features of the time course of the average annual air temperature in the territory of the Debed river basin (Armenia) / V. Margaryan, G. Tsibulskii, K. Raevich // E3S Web of Conferences, 2020. – Vol. 223, id. 03009. Regional Problems of Earth Remote Sensing (RPERS 2020).

Submitted December 20, 2020

Accepted February 19, 2021

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

UDC 551.583: 551.589

**Varduhi Margaryan,**

PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Physical Geography and Hydrometeorology,  
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>;

**Valentyna Klymenko,**

Associate Professor, Department of Physical Geography and Cartography,  
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University,  
4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,  
e-mail: [valent.klimenko@gmail.com](mailto:valent.klimenko@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-6777-1606>;

**Nadiia Cherkashyna,**

Senior Lecturer, V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [n.cherka@gmail.com](mailto:n.cherka@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-4066-2530>;

### **SPECIFIC CHANGES IN MAIN CLIMATIC CHARACTERISTICS OF THE DEBED RIVER BASIN (ARMENIA)**

**Formulation of the problem.** The article discusses changes in the main climatic characteristics in the Debed river basin (Armenia) at six meteorological stations.

**The aim of the work** is to analyze and assess peculiar territorial distribution of the main climatic indicators in the Debed river basin, their changes over the past 80-90 years in different conditions of Armenia.

**Methods.** To solve the set tasks, the authors used corresponding research and published works as a theoretical basis in the work. As a starting material, the work used the daily factual data of the "Center for Hydrometeorology and Monitoring" of the SNCO, Ministry of Environment of the Republic of Armenia for the period from 1930 to 2018 at six meteorological stations.

The authors applied the following research methods in the article: mathematical and statistical, extrapolation, analysis, analogy, correlation, cartographic.

**Results.** Climate of the earth has been changing rapidly over the past decades, leading to global warming. As a result, we are facing the problem of assessing the macroeconomic consequences of climate change in this territory. Armenia did not remain aloof from the problems of global climate change.

On the territory of the river Debed's basin air temperature distribution and precipitation is uneven, due to the geographical latitude of the area, general and local circulation of the atmosphere, radiation energy and orographic features. We notice a decrease in air temperature and an increase in precipitation with the height of the terrain and the vertical gradient, respectively, is 0.54 °C / 100 m and -20 mm / 100 m. The average annual air temperature ranges from 3.74 °C to 12.3 °C, and the annual precipitation is from 462 mm to 770 mm.

Studies have also shown that long-term fluctuations in average air temperature over the year are generally characterized by positive trends. Air temperature in the basin of the river Debed increased by 1.65 °C on average over the year from 1964 to 2018. A particularly significant increase in annual temperatures has been observed after the 1990s, when the rate of annual warming reached +0.389 °C / 10 years (for the period 1993-2018). The warmest years were 1966, 2010 and 2018.

The tendency towards a decrease in the annual amount of precipitation prevails in the area. The most significant amount of precipitation decreased in the basin of the river Debed after 2002. The rate of changes in the annual amount of atmospheric precipitation for the period 2002–2018 reached -61.7 mm / 10 years, and for the entire period 1964–2018 - 1.02 mm / 10 years. On average a decrease in annual precipitation was 126 mm from 1964 to 2001, 105 mm - from 2002 to 2018 in the basin of the river Debed. There is a tendency for a slight increase in the amount of precipitation at the Stepanavan weather station.

**Keywords:** river Debed basin, annual air temperature, annual precipitation, trend line distribution, long-term changes.

#### **Reference**

1. Abdulzhalimov A.A., Ataev Z.V., Bratkov V.V. (2015). *Modern climate changes of high-mountain landscapes of the North-Eastern Caucasus. Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Journal Dagestan State Pedagogical University. Natural and Exact Sciences. 2, 86-94 [In Russian].*
2. Aleksandryan G.A. (1971). *Atmospheric precipitation in Armenian SSR. Yerevan. Science of Academy of ASSR, 180 [In Russian].*
3. Atayev Z.V., Bratkov V.V. (2014). *Reaction of landscapes of the North Caucasus on the current climatic changes // The South of Russia: ecology, development. 1, 141-157 [In Russian].*

4. Bardin M.Yu., Platova T.V., Samokhina O.F.(2015). Features of observed climate changes on the territory of Northern Eurasia according to regular monitoring data and their possible factors // Proceedings of the FSBI «Hydrometeorological Center of Russia». 358, 13-35 [In Russian].
5. Gruza G.V., Rankova E.Ya. (2012). Observed and expected climate changes over Russia: surface air temperature. Obninsk: «VNIIGMI-MTSD», 194 [In Russian].
6. Baghdasaryan A.B. *Klimat Armyanskoj SSR. (1958). The climate of Armenian SSR. Yerevan: Publishing House of the Armenian SSR Academy of Sciences, 151 [In Russian].*
7. *Climatic handbook. Part 1. Air and soil temperature (2011). Yerevan, 150 [In Armenian].*
8. *Climatic handbook. Part 2. Air humidity, precipitation and snow cover (2012). Yerevan, 172 [In Armenian].*
9. Kirillina K.S., Lobanov V.A. (2015). Assessment of modern climatic changes of air temperature in the territory of the Republic of Sakha (Yakutia). Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University (RSHU). 38, 137–151 [In Russian].
10. Lobanov V.A., Mammedov S.A. (2018). Assessment of climatic changes in air temperature and their stability in Central Asia. Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University (RSHU). 51, 22–36. [In Russian].
11. Lobanov V.A., Shadursky A.E. (2010). Application of empiric-statistical methods for modeling and analysis of climatic changes. Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University (RSHU). 14, 73–88. [In Russian].
12. Margaryan V.G. (2009). Regularities of atmospheric humidification spatial-temporal distribution in the Republic of Armenia. Thesis for the degree of candidate of geographical sciences. Yerevan, 169 [In Armenian].
13. Margaryan V.G., Samvelyan N.I. (2019). The regularities of spatial and temporal change of extremal temperatures of earth layer of atmosphere and its influence on the environment Ararat valley hollow. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria Geografia. Geoekologia. 4, 15-22 [in Russian] <https://doi.org/10.17308/geo.2019.4/2707>
14. Nersesyan A.G. (1964). *Klimat Armenii [Climate of Armenia]. Yerevan, 304 [in Armenian]*
15. Perevedentsev Yu.P., Sharipova R.B. (2012). Change of the basic climate indicators in the territory of the Ulyanovsk region. Bulletin of the Udmurt University. Series «Biology. Earth Sciences». 1, 136–144 [In Russian].
16. Surenyan G.G. (2010). Synoptic analysis of baric fields forming the climatic conditions of the Republic of Armenia. Thesis for the degree of cand. geogr. sciences. Yerevan. 145 [In Armenian].
17. Amiranashvili A., Matcharashvili T., Chelidze T. (2012). Climate Change in Georgia; statistical and nonlinear dynamics predictions. Journal of Georgian Geophysical Society, Issue (A), Physics of Solid Earth, 15a, 2011-2012, 67-87.
18. Armenia's fourth national communication on climate change (2014). 213.
19. Building Resilience to Climate Change in South Caucasus Agriculture (2014). Nicolas Ahouissoussi, James E. Neumann, and Jitendra P. Srivastava, Editors. International Bank for Reconstruction and Development. 167. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-0214-0>
20. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change) (2013). The physical science basis. In Contribution of Working Group I to the Firth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Thomas F. Stocker, Dahe Qin, Gian-Kasper Plattner, Melinda M.B. Tignor, Simon K. Allen, Judith Boschung, Alexander Nauels, Yu Xia, Vincent Bex, Pauline M. Midgley (eds). Cambridge: Cambridge University Press. 1552.
21. Margaryan V.G. (2019). Assessment of climatic trend of air temperature at the earth surface in the context of stable development (case of Gyumri city). Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology». 50, 125-135. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-50-09>
22. 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) // E3S Web of Conferences, 223, id. 03009. Regional Problems of Earth Remote Sensing (RPERS 2020).

UDC 911.3:614(477)

**Liudmyla Mykolaivna Niemets,**

DSc (Geography), Professor, Head of the Department of Human Geography and Regional Studies,  
V.N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,  
e-mail: [ludmila.niemets@karazin.ua](mailto:ludmila.niemets@karazin.ua), <https://orcid.org/0000-0001-9943-384X>;

**Oksana Volodymyrivna Bartosh,**

Associate Faculty, School of Humanitarian Studies, Environment, Sustainability,  
Royal Roads University, 2005 Sooke Road, Victoria BC V9B 5Y2, Canada,  
e-mail: [obartosh@directions-eprg.ca](mailto:obartosh@directions-eprg.ca);

**Kateryna Yuriivna Sehida,**

DSc (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,  
V.N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [kateryna.sehida@karazin.ua](mailto:kateryna.sehida@karazin.ua), <https://orcid.org/0000-0002-1122-8460>;

**Kostiantyn Arkadiiovych Niemets,**

DSc (Geography), Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,  
V.N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [konnem1948@gmail.com](mailto:konnem1948@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-7262-2111>;

**Liudmyla Vasylivna Kliuchko,**

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,  
V.N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [ludmila.klychko@karazin.ua](mailto:ludmila.klychko@karazin.ua), <https://orcid.org/0000-0001-6937-3364>;

**Kateryna Oleksandrivna Kravchenko,**

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,  
V.N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [kateryna.kravchenko@karazin.ua](mailto:kateryna.kravchenko@karazin.ua), <https://orcid.org/0000-0003-4654-3185>;

**Ievgeniia Yuriivna Telebienieva,**

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,  
V.N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [telebenevaev@gmail.com](mailto:telebenevaev@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-7013-8836>

## HUMAN-GEOGRAPHICAL PECULIARITIES OF THE HEALTHCARE SYSTEM OF UKRAINE IN THE CONDITIONS OF MODERN CHALLENGES

*Л. М. Немець, О. В. Бартош, К. Ю. Сегіда, К. А. Немець, Л. В. Ключко, К. О. Кравченко, Є. Ю. Телебенева. СУСПІЛЬНО-ГЕОГРАФІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМИ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ В УМОВАХ СУЧАСНИХ ВИКЛИКІВ. На сьогоднішній день у світі існує багато глобальних екологічних, соціально-демографічних, економічних проблем, які створюють загрозу існування людської цивілізації. Однією з проблем було поширення коронавірусної інфекції COVID-19, до якої не була готова система охорони здоров'я України, як і багатьох країн постсоціалістичного простору. У цих країнах відбуваються трансформації в сфері охорони здоров'я, проте вони не відповідають сучасним світовим нормам та стандартам. Дане дослідження виконане на основі суспільно-географічного підходу до перебігу соціально-географічних процесів на прикладі трансформації системи охорони здоров'я з метою встановлення ключових особливостей системи охорони здоров'я України в період її трансформації з огляду на позитивний досвід функціонування медичних систем країн світу, оцінки її здатності відповідати на соціальний запит та сучасні виклики. На основі наукового аналізу зарубіжних публікацій та провідних досліджень визначено особливості, переваги та недоліки існуючих моделей систем охорони здоров'я в різних країнах, можливості впровадження їхніх елементів у систему охорони здоров'я України. За допомогою ретроспективного аналізу визначено особливості становлення системи охорони здоров'я України, виявлено ключові риси та принципи за системою М. О. Семашика, окреслено її позитивні та негативні риси, збережені до сьогодні. За допомогою статистичного аналізу визначено місце України серед інших країн світу за показниками розвитку системи охорони здоров'я. На основі контент-аналізу виявлено особливості трансформації системи охорони здоров'я України, особливості запровадження реформи, її позитивні практики та сучасні складнощі й проблеми. За допомогою SWOT-аналізу визначено сильні та слабкі сторони системи охорони здоров'я України в умовах реформування та трансформації, її можливості та загрози з огляду на сучасні виклики.*

**Ключові слова:** система охорони здоров'я, страхова медицина, Всесвітня організація охорони здоров'я, ВВП на душу населення, Україна, постсоціалістичні країни.

*Л. Н. Немец, О. В. Бартош, Е. Ю. Сегиды, К. А. Немец, Л. В. Ключко, Е. А. Кравченко, Е. Ю. Телебенева. ОБЩЕСТВЕННО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ УКРАИНЫ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННЫХ ВЫЗОВОВ. На сегодняшний день в мире существует много глобальных экологических, социально-демографических, экономических проблем, которые создают угрозу существованию человеческой цивилизации. Одна из таких проблем – распространение коронавирусной инфекции COVID-19, к которой не была готова система здравоохранения Украины, как и многих постсоциалистических стран. В этих странах происходят трансформации в сфере здравоохранения, но не всегда они отвечают современным мировым нормам и стандартам. Данное исследование выполнено на основе общественно-географического подхода к социально-географическим процессам на примере трансформации системы здравоохранения с целью выявления ключевых особенностей системы здравоохранения Украины в период трансформации, учи-*

© Niemets L. M., Bartosh O. V., Sehida K. Yu., Niemets K. A., Kliuchko L. V., Kravchenko K. O., Telebienieva Ie. Yu., 2021

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-54-16>

*тывая положительный опыт функционирования медицинских систем стран мира, оценки возможности отвечать социальному запросу и современным вызовам. На основе научного анализа зарубежных публикаций и ведущих исследований определены особенности, преимущества и недостатки существующих моделей систем здравоохранения в разных странах, возможности внедрения их элементов в систему здравоохранения Украины. С помощью ретроспективного анализа выявлены особенности становления системы здравоохранения Украины, определены ключевые черты и принципы по системе Н. А. Семашко, ее положительные и отрицательные черты, сохранившиеся до сих пор. С помощью статистического анализа определено место Украины среди других стран мира по показателям развития системы здравоохранения. На основе контент-анализа выявлены особенности трансформации системы здравоохранения Украины, особенности внедрения реформы, ее положительные практики и современные сложности и проблемы. С помощью SWOT-анализа представлены сильные и слабые стороны системы здравоохранения Украины в условиях реформирования и трансформации, ее возможности и угрозы учитывая современные вызовы.*

**Ключевые слова:** система здравоохранения, страховая медицина, Всемирная организация здравоохранения, ВВП на душу населения, Украина, постсоциалистические страны.

**Relevance.** The XXI century brought outstanding scientific achievements in many fields of science and technology to modern civilization. It applies to nano- and nano-biotechnologies, space exploration, treatment of many previously incurable diseases, and so on. Scientists are actively working on artificial intelligence, creating highly sophisticated robotics for hazardous industries, care for the seriously ill, etc. At the same time, global ecological, socio-demographic, and economic problems are increasingly confronting human civilization with new challenges and threats to human survival.

Along with the problems of poverty, hunger, terrorism, and military conflict, the country was hit by the coronavirus infection COVID-19 in early 2020, which, starting with China, quickly spread to all continents, penetrating even Antarctica [9]. Today, the most scientifically and technologically powerful medical systems cannot overcome this threat, which turned into a real devastating pandemic. Developed countries of the world, spending huge sums on vaccines and drugs, are not able to achieve satisfactory results so far; the number of patients and deaths is growing. Moreover, the virus mutates menacingly, nullifying the scientists' efforts. As of May 10, 2021, according to the WHO, more than 3.3 million people of all ages have already died from COVID-19 and its complications, and more than 161 million people have become ill [9]. The analysis of statistics demonstrates rapid virus growth and new mutated strains will appear, in particular this situation is observed in India; its medical system does not withstand pressure and it needs for other countries' assistance. One country after another is declaring hard lockdowns, the economy is rapidly losing its potential, and the real victory over the disease is far enough. The most vulnerable countries were those with unstable economies and health care systems. Such countries include, in particular, the countries of the post-socialist and post-Soviet space. There are still transitional (transformational) processes affecting geopolitical, socio-economic, demographic aspects in many of these countries. Health care systems have not yet been transformed in accordance with world norms and standards.

**Analysis of previous research.** Various authors from the standpoint of different sciences widely studied the development of the health care systems in countries around the world and their ability to respond to global challenges. In particular, Lanea et al. [25] proposed potential best practices for health management systems that can be the basis for health policy development in low- and middle-income countries. Bertens and Vonk [16] analyzed the historical milestones of the formation of public-private health insurance in the Netherlands. Dózsa et al. [20] examined structural changes in the Hungarian health care system and identified the following trends: reduction of beds in emergency departments, decrease in the number of patients discharged from hospitals, reduction in the number of hospitals, change of the activity profile, one-day surgery development, development of the home health care program. Inoue et al. [22] developed a forecast model, which calculates the cost of health care by 2030, both in Japan as a whole and by individual age groups. Xiao et al. [53] analyzed the 'Healthy China' model. The implementation of this model in the country aims to provide the population with sufficient and equal access to health care in compliance with the policy of referring patients to specialists [23; 53]

Researchers also have been studying the peculiarities of the functioning and transformation of the health care system of Ukraine. In particular, Luck et al. [28], in their research «Patient and provider perspectives on quality and health system effectiveness in a transition economy: Evidence from Ukraine» considers a crucial today's issue for Ukraine and other former Soviet republics and Eastern European countries, which are in dire need of more efficient health care systems [28].

Cockerham et al., in the paper "Health lifestyles and political ideology in Belarus, Russia, and Ukraine", examined the relationship between political ideology and the practice of a healthy lifestyle and health self-assessment in Belarus, Russia, and Ukraine [18].

The National Institute for Strategic Studies, in its publications investigate the main problems and

shortcomings of the current health care system in Ukraine [42]

Ukrainian scientists of Ivan Franko National University of Lviv Dolbneva and Goncharuk, in their paper "Necessity and main directions of improving the order of formation and use of health care resource potential in Ukraine", analyze the current state and main problems of resource provision of the health care system of Ukraine [2].

Ukrainian scientists Sazonets and Zima note the main problems of the current state of the health care system in their study "Identification of problems and main directions of reforming the health care system of Ukraine". The paper states that Ukraine's health care management system has remained virtually unchanged for a long time. The authors propose promising ways to reform the social management system of health care in Ukraine, which need an immediate solution [13].

Korniychuk in his study "Transformation of the health care system of Ukraine: Status and prospects" considers the conceptual requirements for the transformation and development of the health care system and current trends in its functioning in Ukraine [4].

In our previous studies, we have already discussed the peculiarities of the health care system functioning of the Ukraine's regions and the state as a whole [38]. Also the geographical features of social development of Donetsk region were established, the development trajectory of separate components, including health care system, was determined, the component and correlation analyses were performed [40]. We have also considered the social infrastructure development of Kharkiv region, including the role of medicine, accessibility and population security, and proposed the development trajectory for the region [24, 40, 41]. Furthermore, we also examined the issues of the development strategies of the Ukraine's regions taking into account the European experience [33, 34, 39]. However, despite significant developments in this area, the problem of finding opportunities to improve the resource potential of the medical sector at the regional and national levels remains open. In addition to identifying resources for decreasing the risks of pandemics, the challenging issue of developing sustainable regional and urban environments [35], must integrate socio-economic, tourism [51], environmental [29], cultural [36] and technical [46] areas.

There is a need to extend the use of international standards to medical quality management systems, these standards would improve ability of the state's medical system to respond to modern societal demands and epidemiological threats. All these issues determine the feasibility and relevance of further research.

**Setting goals and tasks.** This publication embodies an attempt to establish the key features of the health care system of Ukraine during its transformation given the positive experience of medical systems in the world, from the positions of human geography to identify current challenges and to assess the ability to respond to social demand and the threat of the global crisis in the form of new diseases, the spread of epidemics threatening to human health, quality and life expectancy. The following tasks are set to achieve this research goal:

- based on scientific analysis of foreign publications and leading research to determine the features, advantages, and disadvantages of existing models of health care systems in different countries, the possibility of introducing their elements into the health care system of Ukraine;
- with the help of retrospective analysis to determine the features of the health care system of Ukraine, to identify key features and principles of the M. O. Semashko's system, to outline its positive and negative features preserved to this day;
- with the help of statistical analysis to determine the place of Ukraine among other countries in terms of the health care system development;
- based on the content analysis to identify the features of the transformation of Ukraine's health care system, the peculiarities of the reform, its positive practices, and current difficulties and problems;
- with the help of SWOT analysis to identify the strengths and weaknesses of the health care system of Ukraine in terms of the reformation and transformation, its opportunities, and threats given the current challenges.

**Information base and research methods.** The information base of the study is the statistics of the World Health Organization (WHO) on the number of beds in the world and the number of clients per doctor in a country, the World Bank statistics on the value of gross domestic product of the countries of the world and spending on health care. Analysis of the reform of the Ukraine's health care system was performed according to the information from the National Strategy for Health Care Reform in Ukraine for the period 2015 – 2020, as well as data and information from scientific papers, collections, official websites and Internet resources, reference books with special literature.

This research is conducted on the basis of human-geographical approach [8] using the following methods:

- *methods of induction and deduction* – for logical understanding and processing of available



data and information on the state of the health care system of different countries;

- *comparison method* is used at almost all stages of the study to determine the current state of the health care system of different countries and compare their development level;

- *formalization method* – statistical characteristics are presented in a formalized form, which allows to quantify the state of the health care system of different countries;

- *analogy method* allows to identify the general features of the health care system of post-socialist countries;

- *methods of analysis* (conditional division of an object or phenomenon into constituent parts (elements) for more detailed study) and *synthesis* (combination of elements of the studied object into a single whole) are used to study individual components of the health care system and formation of a holistic view of the development peculiarities of the health care system of Ukraine;

- *systematization methods, including ranking and grouping* allows to identify a certain order in the processes and phenomena studied, to generalize their common and distinctive features, to identify internal features and to form different groups of countries according to the economic development and current state of the health care systems and present the results of the analysis in the form of a ranked list;

- *historical method* studies all the changes having occurred in the health care system of Ukraine in different periods and determine the factors caused these changes;

- *graphical method* allows to visualize the results of the statistical database processing and calculation of indicators characterizing the state of the health care system of different countries;

- *mathematical and statistical method* allows to process the formed databases and calculate the necessary indicators characterizing the health care system of different countries;

- *SWOT - analysis method* was used to predict the development of the health care system of Ukraine, to identify strengths and weaknesses, as well as opportunities and threats to further evolution of this system.

**Presentation of the main material.** Today, there are several models of medical systems in the world. The practice of insurance medicine is widespread. In most countries, it is a form of social protection of the population's interests in the health care system [45]. We can distinguish models of the single-payer, compulsory insurance and hybrid system (International Healthcare Systems).

Let's examine these models of medical systems in more detail. The state pays for medical care in the

*single-payer model* and limits the alternative mechanisms for paying services which it covers. This model is typical for *Canada* and *Taiwan*. The state and local budgets in *Canada* fund health care. The cost of financing *Canada's* health care system is 7.93% of GDP [52]. There are approximately equal share of general practitioners and narrow specialists in *Canada* [45].

There are public and private insurance programs in *China*. About 95% of the population has at least basic health insurance. Despite this, public health insurance usually covers only about half of medical expenses, with a lower share for severe and chronic diseases. As part of the 'Healthy China 2020' initiative, *China* has made efforts to reduce health care costs by requiring insurance to cover 70% of costs by the end of 2018 [17, 27].

Genel Sağlık Sigortası has universal health insurance in *Turkey*, which is financed by a tax surcharge to employers, which is currently 5%. Public funding covers approximately 75.2% of health expenditures [15]. The cost of financing *Turkey's* health care system is 3,2% of GDP [52]. Genel Sağlık Sigortası covers emergencies, occupational accidents and diseases, infectious diseases, preventive medical services (drug and alcohol abuse), childbirth, infertility treatment for women under 39, cosmetic surgery deemed medically necessary [31].

*Albania's* universal health care system is based on both mandatory and voluntary contributions, supplemented by funding from the state budget [32]. The cost of financing *Albania's* health care system is 2,8% of GDP [52]. The *Albanian Constitution* guarantees the right for health insurance for *Albanian* citizens. From 2008, patients have to pay a small fixed surcharge for visiting primary health care centers or specialized hospital treatment [47].

There is a mandatory payroll tax in *Romania*, which the country uses to provide for the entire population. In addition to health insurance, the government also operates most hospitals in the country, many of them need modernization. The cost of financing *Romania's* health care system is 4,43% of GDP [52]. A number of medical services are paid for by citizens at their own expense [30]. Every *Romanian* citizen is entitled to free, unlimited medical procedures prescribed by a doctor only if the insurance is confirmed. Citizens of the *European Union*, together with *Romanian* citizens who do not pay for insurance, are entitled to free emergency medical care [21].

There is a state insurance system in *Poland* operating as a state health care system (*Narodowy Fundusz Zdrowia*) and it is free for all *Polish* citizens, provided that they fall into the category of "insured". The cost of financing *Poland's* health care

system is 4,5% of GDP [52]. Private medical care is also widespread in Poland [19].

The model *of the compulsory insurance* (the government requires the purchase of health insurance from private and public insurance companies) operates in Germany, Japan, the Netherlands, and Switzerland. In Germany, citizens receive insurance in "Sickness Funds", regulated by the Statutory Health Insurance System (SHI). Physicians participating in SHI must join regional associations that have entered into agreements with Sickness Funds. At the same time they are allowed to take private patients. Almost half of the hospitals are public [45]. The cost of financing Germany's health care system is 8,8% of GDP [52].

Mandatory Health Insurance (MHI) and a market-based approach to health care are combined in *Switzerland*. All Swiss residents must have a health insurance policy. State insurance covers most doctors and some prevention services. The cost of financing Switzerland's health care system is 3,7% of GDP [52]. Voluntary insurance services are provided by health insurance funds, which allows receiving better medical services. Doctors are allowed private practice [5, 45].

There is a system of general compulsory health insurance in *Japan*, which is usually associated with the work place, consists of private and public insurance companies. The cost of financing Japan's health care system is 9,2% of GDP [5, 52].

Two statutory forms of insurance cover health care in the Netherlands: *Zorgverzekeringswet* (Zvw), often referred to as "basic insurance", which covers general health care; and *Algemene Wet Bijzondere Ziektekosten* (AWBZ) covers long-term treatment [48]. The cost of financing the Netherlands' health care system is 6,48% of GDP [52].

The *hybrid system* combines elements of single-payer systems with private insurance; the government provides a standard set of services for all citizens with the possibility of supplementing private insurance. These include countries such as UK, France, Singapore, USA.

There is a National Health Service in *UK*, which provides health care to British. Health services are free, financed by tax revenues. The cost of financing UK's health care system is 7,86% of GDP [52]. In *the UK* most medical workers are civil servants [5].

In *France* the universal health insurance is enshrined, it is provided with a reliable system of insurance funds. They are usually tied to jobs and they are private companies regulated and controlled by the state [5]. The cost of financing France's health care system is 8,26% of GDP [52].

There is a National Health Plan in *Singapore*,

which has three funds: Medisave (mandatory savings account with tax-free contributions), MediShield (covers catastrophes) and Medifund (additional program for the poor). Additional insurance is also possible. Most hospitals are state-owned and subsidized from the state budget [5, 45]. The cost of financing Singapore's health care system is 2,25% of GDP [52].

Citizens are insured under various systems in *USA*. A significant number of citizens are allowed to be uninsured. Most Americans are insured through an employer, who bears a substantial portion of the costs, and insurance is not subsidized [49]. There is the Medicare program, a state-funded insurance program for the poor that is funded by federal and state revenues. 70% of hospitals are non-profit, 15% are commercial and 15% are public [45]. The cost of financing USA's health care system is 8,5% of GDP [52].

Therefore, all models of health care financing systems in the world can be represented by four options:

- a model that operates in Germany, France, Belgium, the Netherlands, Japan, Switzerland and some Latin American countries, the so-called Bismarck's model. Features of the model: most medical institutions are private, medical services are paid for by the employee insurance fund, which is financed jointly by employers and employees through payroll deductions;

- a model operating in Canada, Taiwan and South Korea. This system has elements of the two previous models. It provides medical services by private providers, but payment is made through the state insurance program, which every citizen pays. National health insurance plans also control costs by limiting reimbursement for certain medical services or forcing patients to wait for treatment;

- a model of direct payment, used in many developed countries for certain services, as well as all countries for the purchase of over-the-counter drugs. Medical care is paid by consumers directly to health care providers;

- a model operating in the UK, Spain, mostly Scandinavia and New Zealand – the Beveridge's model. Features of the model: most medical institutions are public, medical care is provided and financed by the government through taxes, the patient does not pay for medical services [14]. Many developed countries – Sweden, Ireland, Great Britain, Denmark, Italy and others – have created their budget health care systems, which still operate, similar to the first Semashko's system created in the USSR.

The Semashko's system was developed and implemented in the Soviet Union under the M. O. Semashko's leadership. Various versions of this system

have been used throughout the world, mainly in the former socialist bloc countries. The experience of building a M. O. Semashko's system was carefully studied and used in the design of a similar Beveridge's system [6].

The M. O. Semashko's system was based on the following principles:

- Free general medical care, which was declared a citizen's right under the constitution. All citizens, regardless of age, social status and financial well-being, received the right to qualified medical care and this right was guaranteed by the state [6];

- The state created a special structure – the Ministry of Health for the practical implementation of these guarantees. All polyclinics, hospitals and other health care institutions are state-owned enterprises, and all doctors are civil servants; funding was directly from the state budget [6]. Considerable attention was also paid to the creation of a disease prevention system, which M. O. Semashko gave a leading role in the organization of a new health care system: in 1918 a medical education center was established, which was transformed into a medical institute in 1930;

- Prevention and social hygiene were declared a priority development of the state health policy;

- It was proposed to organize medical care on two main principles: precinctal and hierarchical. primary care was provided by specialists of general profile, diagnosis and treatment of most common diseases at the grassroots level (FAP, therapeutic area and district hospital) [26]; more complex cases were transferred to regional, republican and all-Union institutes and hospitals by means of the referrals system [44]. Training of specialists in medical institutions of higher education and technical schools was also aimed at this.

In 1991, with independence, Ukraine inherited from the USSR an extensive but fairly tightly centralized health care system, based on the Semashko's system, a model of the national health care system in which health services were provided by a hierarchical system of public institutions merged into the Ministry of Health and funded from the national budget [26] This system provided an acceptable level of medical care needed to treat the most common diseases at that time and provided comprehensive coverage of the population with health services and preventive measures. To ensure financial protection of the population and improve its health, the Government of Ukraine has implemented a transformational reform of the health care system by modernizing the outdated health care system, increasing its efficiency to improve public access to quality health services since 2015. Therefore, the priority task of reforming the medical system of Ukraine is to change its funding to stimulate the introduction of

information technology, to accelerate transformations in the provision of medical services and so on. The Law of Ukraine "On State Financial Guarantees of Medical Care" [12] was adopted in 2017, which regulates the financing of the health care system, establishment of the National Health Service of Ukraine (NHSU) [50].

For the first time in the history of Ukraine, funds from the state guaranteed package of medical services can be provided to private medical institutions and private doctors. Patients were able to freely choose a general practitioner - family doctor, therapist and pediatrician, regardless of the place of registration by signing the declaration. Doctors have become a key source of funding for primary care, as the budget of medical institutions now depends on the number of signed declarations [3]. One doctor has about two thousand patients.

As noted, Ukraine's health care system is currently in the process of transformation, as the "old" system is no longer working, and the "new" system has not been fully viable. The acute problem for Ukraine is the lack of professional training of infectious disease doctors, who have virtually ceased to graduate since the reforms of 2017 [10]. In addition, the system of medical education and continuous professional development is being reformed in Ukraine. The system of advanced doctors training has changed significantly.

However, notwithstanding some positive reforms of the health care system of Ukraine, the medical system still has many problems that have been significantly exacerbated during the global pandemic COVID-19. According to statistics from the WHO, medicine in the world is becoming more expensive every year in developing countries by an average of 6% annually, in developed countries – by 4%. In 2019, the cost of medicine in the world amounted to 10% of global gross domestic product, and the growth rate of expenditures outpaces the growth rate of the world economy [9]. At the same time, the volume of domestic general government health expenditure (GGHE-D) as a percentage of gross domestic product (GDP) (%) varies significantly from country to country: from 0.4-0.8% in Bangladesh, Afghanistan and a number of African countries up to 8-10% in France, Denmark, USA, Norway, Germany, Japan, Sweden, Cuba and reaches a maximum value of 15% in Tuvalu [9]. Our analysis shows a common trend for European and post-Soviet countries (Fig. 1), as the health care expenditures are positively correlated with the country's GDP. More than 7% expenditures for health care system in Iceland, Finland, Austria, Belgium, United Kingdom, France, Denmark, Norway, Germany, Sweden; GDP per population is 40-80 thousand dollars in these countries. It is worth noting

Luxembourg, Switzerland, and Ireland as countries with a high level of GDP per population (above 77.5 thousand dollars), but with a low share of funding for the health care system: 3,5-5%. Most countries in the post-Soviet space have low GDP per population and a share of spending on the health care system. It is worth focusing on the total expenditure of GGHE-D per population, which is shown in the figure by weight bubble. Thus, the largest funds per capita are in Luxembourg, Sweden, Denmark, Iceland, Norway (5-6 thousand US dollars); in Switzerland, United Kingdom, Netherlands, France, Finland, Belgium, Austria, Ireland, Germany (3-4 thousand US dollars) in 2019. Therefore, the indicator of

the share of domestic total public expenditures on health care in GDP and, most importantly, the population's provision with these expenditures correlates with the development level of the world. The governments of highly developed countries understand that sustainable socio-economic development is possible under the condition of a healthy nation, which requires significant allocations to the health care. Regarding the statistical indicators of Ukraine, the per capita expenditures amounted to 110 US dollars in 2019; expenditures on the health care system was 3.7%, and GDP per population was about 3 thousand US dollars.

Consider the distribution of European and post-

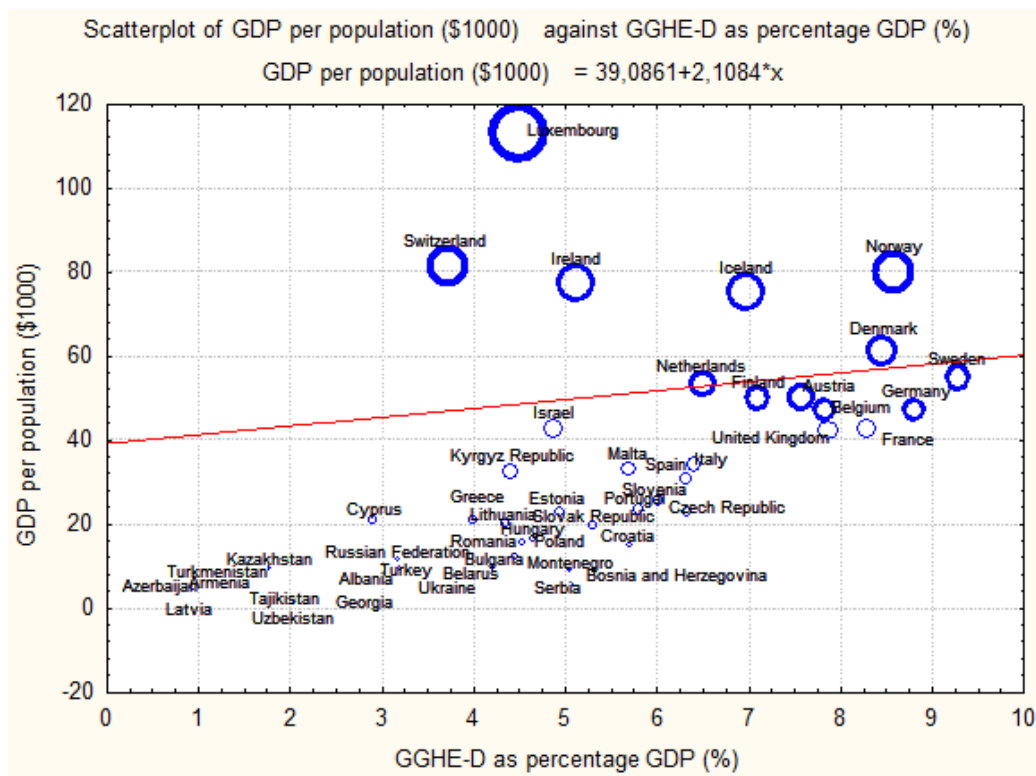


Fig. 1. Distribution of European and post-Soviet countries by GDP and share of expenditures on the health care system (constructed by [9, 52])

Soviet countries in terms of the population provision with doctors in accordance with the share of domestic general government expenditures with GDP per population, as shown in the figure 2 by weight bubble. While a positive relationship between doctors provision and the share of spending on the health care system can be identified as a general trend, the doctors provision does not have a clear direct correlation with the amount of funding for health care system per population. More than 50 doctors per 10 000 population are in Lithuania, Belarus, Austria, Portugal, Israel, the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, Belgium, Greece, France; with the highest rates of 70 and 80 in Georgia and Italy, respectively. Countries such as Luxembourg and Ireland, with high GGHE-D expenditures per

population characterizes a low provision of doctors (30-32 medical doctors per 10 000 population). Regarding the statistical indicators of Ukraine, the provision of the population with doctors is 30 medical doctors per 10 000 population.

Consider the distribution of European and post-Soviet countries in terms of the population provision with hospital beds in accordance with the share of domestic general government expenditures with GDP per population, as shown in the figure 3 by weight bubble. Higher provision of hospital beds is observed for countries with low funding for health care system. Exceptions are Germany, Austria, France, Belgium, where GGHE-D is high and the number of hospital beds is 55-80 per 10 000 population. The highest security rate among the surveyed

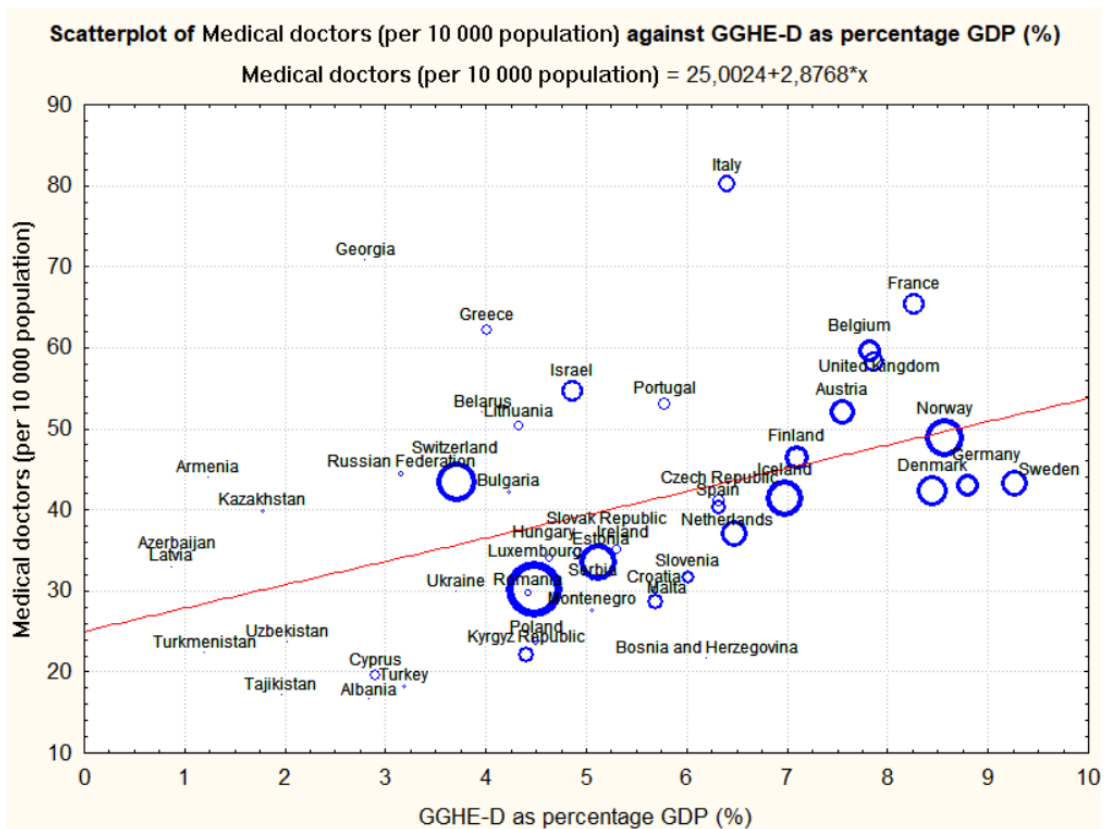


Fig. 2. Distribution of European and post-Soviet countries by a number of medical doctors and share of expenditures on the health care system (constructed by [9, 52])

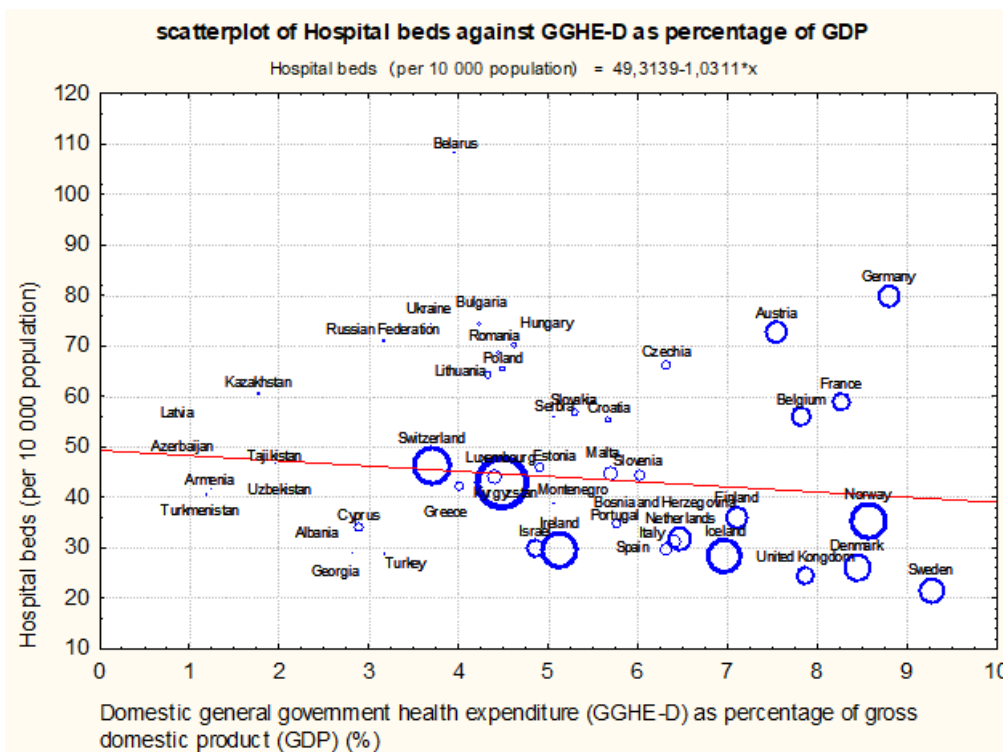


Fig. 3. Distribution of European and post-Soviet countries by the share of expenditures on the health care system and provisions of the population with hospital beds (constructed by [9, 52])

countries is in Belarus and it is 108 beds / 10,000 population. More than 55 beds / 10,000 population are in Serbia, Republic of Moldova, Slovakia, Kazakhstan, Lithuania, Poland, Czechia, Romania,

Hungary, Russian Federation, Bulgaria. Regarding the statistical indicators of Ukraine, the population provision with hospital beds is 74,6 hospital beds per 10 000 population.

Compared to other countries, public spending on health care in Ukraine has been remained low. In 2014, it decreased to 2.9%, which is significantly below the average indicator for the European region's countries - 5%, the European Union - 6% and slightly below the average for countries with income levels below the average - 3.1%. Thus, the share of domestic total government expenditures on health care in Ukraine's GDP is 3.7%, 110 US dollars per population; population provision with doctors is 30 medical doctors per 10,000 population [3].

The health expenditures in Ukraine increased in real terms per capita by 20% between 2015 and 2020, but this increase is partly due to a decrease in population (by 2.9% over the period) and it is much slower than economic growth. In addition, consolidated health expenditure as a percentage of GDP declined significantly by almost 15%, indicating that public health expenditure grew much more slowly than the economy [1]. The decline in public expenditures on health care in Ukraine and the further increase in household payments are due to the conflicts, political instability and a sharp economic downturn in 2014 and 2015, insufficient resource provision, which was especially appeared in the conditions of global pandemic. The health workers' wages, particularly those working in the public finance sector, remain extremely low. Problems with COVID-19 are rapidly exacerbated in Ukraine, testing health care system.

By the time COVID-19 appeared, the situation had worsened and all the problems that have been growing since 1991 have worsened catastrophically. It turned out that medical institutions in Ukraine are not ready to fight epidemics. But the main problem was the lack of infectious disease doctors and the need for urgent retraining of doctors working in Ukraine, as the number of them has decreased significantly due to the significant emigration of highly qualified specialists.

During the year of the COVID-19 epidemic, a lot has been done in this direction, but the recovery process is slow. Thanks to patrons and charitable organizations, during this time many high-quality hospital equipment were created, oxygen was supplied and ventilators were purchased. But these "achievements" have paid a heavy price for the loss of many people's health and lives, including medical workers. There is no longer any doubt that no country in the world is able to overcome COVID-19 on its own, so the issue of immunization is becoming extremely important and urgent. Unfortunately, in this regard, Ukraine lags far behind many developed countries and Europe. Compared to many European countries, the vaccine arrived in Ukraine with a significant delay, only in the second half of February 2021, in a rather limited quantity and only one man-

ufacturer (India). To date, there has been a situation of distrust to this vaccine and public fear of it. At the same time, there is a significant increase in the morbidity, which was somewhat restrained by previous quarantine measures, introduced in 2020 and early 2021. The third wave of COVID-19 is unfolding in Ukraine against the backdrop of these problems. Of course, Ukraine alone cannot get out of this critical situation without the support and assistance of the developed countries and Europe.

Overall, Ukraine has a wide range of problems in the health care system development, which are due to domestic problems and are complicated by the deployment of the global pandemic COVID-19. Let's identify current problems, prospects, opportunities and threats with the help of SWOT-analysis (table 1).

**Conclusions.** This study examines the health care system transformation using a human-geographical approach to the socio-geographical processes. The 21st century poses a number of serious challenges to the global community that require a concerted effort by all world countries. This is especially true of the emergence and spread of new dangerous diseases that threaten the world's population in the form of global pandemics. This is clear from the analysis of these problems on the example of Ukraine, which, like other countries in this group, needs the support and assistance of other more successful countries in socio-economic terms. The health care system plays an exceptional role in the structure of the social sphere of each state. However, in the last few years, in connection with the global COVID-19 pandemic, new requirements regarding the level and quality of medical care have been put forward in Ukraine and internationally. It is significant that even the health care systems of highly developed countries at the height of the pandemic were on the verge of collapse and the health care system of Ukraine has shown once again its inability to provide quality medical services. Thus, it is urgent to study current trends in world medical practice, effective models of health care systems in different countries and the possibilities of their implementation in Ukraine. Using human-geographical analysis of the state of the health care system of Ukraine, this study made the following observations regarding the country's ability to response to modern health-related challenges.

The analysis of a significant number of foreign and domestic scientific works showed that the development and improvement of the health care system is the subject of research by specialists in the medical field, economic, political, legal, geographical and many others. The research pays special attention to the issues of overcoming the "coronavirus" crisis, best health practices that can be used

SWOT-analysis of the health care system development of Ukraine  
(summarized by the authors according to [1, 2, 4, 7, 11, 13, 37, 38, 39, 43, 50])

<b>Strengths</b>	<b>Weaknesses</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ukraine is one of the European countries with the largest number of medical institutions and medical specialists.</li> <li>2. Sustainability of the main elements of the health care system of Ukraine, formed by the Semashko's system, which guaranteed its significant subsidies, possibility of access to medical services throughout the country.</li> <li>3. Formation of the financing system of medical institutions depending on the volume of medical services provided by them to the population.</li> <li>4. The ongoing reform of the medical field has allowed patients choosing a doctor according to their own preferences, regardless of registration, which is quite relevant at the moment, as there is a large cohort of people working or studying outside the place of registration.</li> <li>5. Increasing the level of market capitalization and the volume of insurance operations, in particular, global companies that have offices in Ukraine are implementing the practice of health insurance of their employees.</li> <li>6. Medical education in Ukraine is popular both in the country and abroad, as evidenced by the large number of foreign students studying medical specialties.</li> <li>7. Interest of the world investors.</li> <li>8. The "Affordable Medicines" program, which operates for elderly patients with chronic diseases, in particular - the cardiovascular system.</li> <li>9. A significant number of hospitals, high availability of beds in terms of population in Ukraine.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Imperfection of the regulatory framework in the field of health care.</li> <li>2. Lack of a clear policy for the development of the health care system.</li> <li>2. Uncompetitiveness of the modern health care system on the world market, lack of comprehensive modernization of the material base.</li> <li>3. Significant reduction in the quality of personnel in the health care system of Ukraine, which is manifested in the low competitiveness of graduates of higher medical educational institutions.</li> <li>4. Fragmentation of the proposed reforms and their partial implementation, lack of processes for monitoring the results of implemented reforms.</li> <li>5. Corruption and bureaucratization of this industry, inconsistency with world standards of service.</li> <li>6. Insignificant sector of introduction of the insurance medicine, which slows down the health care system development in Ukraine.</li> <li>7. Insolventy of the population to be treated at their own expense, high cost of quality medicines, lack of certain imported medicines in the country.</li> <li>8. Collapse of some population support programs (in particular, free hemodialysis), etc.</li> <li>9. The focus of government on addressing the needs of the medical sector, rather than meeting the medical needs of the population, the lack of comprehensive programs for the rehabilitation of the population.</li> </ol>
<b>OPPORTUNITIES</b>	<b>THREATS</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Introduction of a state-guaranteed package of medical services.</li> <li>2. Formation of a managed market of paid medical services, promotion of health care institutions of all forms of ownership, creation of conditions to meet the population's needs in medical services.</li> <li>3. Evolution of the health care system in the process of addressing the current challenges of the COVID-19 pandemic.</li> <li>4. Digitization of the health care system, the use of innovative technologies in the services provision, such as: coordination of appointments and procedures, exchange of data on analysis results and involvement of patients in treatment, development of medical directories, register of medical services, diagnoses and procedures.</li> <li>5. Formation of the necessary resource funds in health care focuses on the conditions of the uncertain economy, which is constantly changing. Increasing the autonomy of hospitals.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Political and economic instability in the country.</li> <li>2. High inflation level, which significantly affects the cost of medical services and medicines.</li> <li>3. Exacerbation of the situation with COVID-19 and stagnation of the health care system.</li> <li>4. Lack of own patented and clinically tested vaccine from COVID-19, the necessary equipment and facilities for its production, which leads to dependence on other countries.</li> <li>5. Low solvency of the population.</li> <li>6. Distrust of the domestic health care system and the qualification level of medical staff.</li> <li>7. High workload of family doctors (about 2 thousand people per doctor), which makes it impossible to provide quality diagnostic and consulting care, especially during a pandemic.</li> <li>8. Lack of proper means of ensuring medical staff's life and health during the diagnosis and treatment COVID-19 leads to the dismissal of</li> </ol>

<ol style="list-style-type: none"> <li>6. Adherence to a unified health care policy and comprehensive regulation of modern processes.</li> <li>7. Interaction with consumers of medical services in order to improve the service level.</li> <li>8. Formation of a highly professional cohort of doctors of the future, creation of the continuous professional development system of medical workers with mandatory independent certification.</li> <li>9. Improving logistics and providing specialized medical equipment to health care facilities.</li> <li>10. Formation of the public health system on the basis of relevant legislation. Reorientation from the system of treatment to the system of strengthening the population health, quality provision of health and recreational needs of the population at the regional and national levels. Introduction of a system of socio-economic incentives for a healthy lifestyle, restriction of advertising of alcohol, tobacco and other substances harmful to health, etc.</li> <li>11. Guaranteeing the quality, effectiveness and availability of medicines.</li> <li>12. Development of a cluster health care system based on coordination of common interests of health care institutions, educational institutions, research organizations, medicines suppliers, state and business structures, as well as public structures taking care of these issues.</li> <li>13. Creating more transparent working conditions and greater accountability in the field of health care.</li> <li>14. Providing support, including financial, to vulnerable groups.</li> </ol>	<p>medical staff, increasing the morbidity among physicians.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>9. Lack of the clear course and clear progress in the implementation of the reform, thus the old system is already destroyed, and the new has not yet formed, which in a global pandemic can become extremely dangerous and have irreversible catastrophic consequences</li> <li>10. "Brain drain" - migration abroad of talented professionals for employment and permanent residence.</li> <li>11. The focus of global research over the past few years on overcoming the problem of COVID-19, which to some extent inhibits the development of other research areas of the medical field.</li> <li>12. Further orientation of the affluent population to treatment in foreign medical institutions due to the lack of some specialized types of medical services (in particular - organ transplantation).</li> <li>13. Outdated transport infrastructure does not always allow paramedics to reach a patient in need of emergency care in a timely manner.</li> </ol>
---	--

by post-Soviet camp countries and developing countries, namely: the use of a powerful monitoring system, identifying sources of funding, attracting investors, the possibility of structural changes in the health care system. A number of domestic studies were also analyzed, stating that the healthcare system's reform is an integral part of socio-economic transformations in Ukraine.

With the help of retrospective analysis, we have described the features of the Ukraine's health care system, identified key principles of the M. O. Semashko's system, outlined its positive and negative features preserved to this day. Semashko's system worked well in the conditions of command-administrative system of management of state structures, including health care, which was entirely public. Since independence (1991) the classical M.O. Semashko's system began to "slip" in Ukraine. There were a number of reasons for this. One of the main problems is the economic issues associated with the severance of "established" ties in the Soviet space, as many large enterprises did not survive, became bankrupt, turned into enterprises with huge debts, or were forced to reduce production and workers. The reformation of the health care system

of Ukraine has been taking place without taking into account all the positive aspects of the M.O. Semashko's system, which led to the departure of a significant number of medical workers to private practice. The basis for the formation of a modern health care system in Ukraine is the M.O. Semashko's system, which at one time allowed to provide free general medical care, provide disease prevention, care for social hygiene. Its main feature was the comprehensive coverage of the population with medical services, treatment of the most common diseases at that time. However, the situation changed dramatically with the transition from a command-administrative to a market economy, and the M.O. Semashko's system gradually lost its effectiveness. Thus, the reform introduced by the Government of Ukraine, launched in 2015, it is a natural reaction to the decline of the outdated health care system. The reform aims to increase the efficiency of the health care system in order to improve public access to quality health services.

Statistical analysis has shown that currently Ukraine has extremely low indicators of financing the medical system both in terms of the share of expenditures from GDP and the provision of the popu-



lation with these expenditures. According to statistics from the WHO, the cost of medicine in the world amounted to 10% of global gross domestic product, in Ukraine - 3.7%, and GDP per population was about 3 thousand US dollars, per capita expenditures were 110 US dollars in 2019. These indicators are extremely low in comparison with the leading European countries, for the most part they are similar to the indicators of the post-Soviet countries, which in the context of modern challenges are the most vulnerable due to economic turmoil.

Today the health care system in Ukraine is in a state of transformation. Insurance medicine is still in a rudimentary state and does not always meet the needs (financial in the first place) of the population. Salaries of physicians remain quite low compared to neighboring countries, which, in turn, leads to an increase in the "outflow" of health workers from the country. One of the most painful mistakes of the "transformation" of the health care system was the cessation of training of infectious diseases specialists in higher education institutions starting in 2019, as well as the reduction, consolidation and elimination of a number of specialized hospitals, infectious diseases hospitals, tuberculosis dispensaries, mental hospitals, etc. which immediately led to the outbreaks and a spread of such dangerous diseases as measles, tuberculosis, HIV, AIDS, etc. The number of beds in hospitals and the material and technical equipment of medical institutions have sharply decreased. Medical services became inaccessible to the general population, as economic problems in Ukraine grew and reached its apogee in 2014, when Russia's aggression against Ukraine began, then the annexation of the Autonomous Republic of Crimea and the implementation of joint forces operation in Donbas.

SWOT-analysis of the development of the Ukraine's health care system showed the presence of a wide range of strengths and weaknesses, opportunities and threats to development. Among the strengths it is worth noting the high supply of medical institutions and medical professionals, a quality basis for development - the M.O. Semashko's system, and attempts to implement global models of medical development. Among the weaknesses are the outdated material and technical base, insufficient level of funding and inefficient use of available resources of the health care system. Among the threats to the development are the aggravation of the situation with COVID-19, the lack of a clear course and clear progress in the implementation of the reform, so the old system is already destroyed, and the new one has not yet formed, which during the global pandemic can be extremely dangerous and have irreversible catastrophic consequences, labor migration of talented doctors. Among the opportunities are the creation of sufficient resources in the field of health care in an uncertain, changing economy, interaction with consumers of medical services to improve patient care, forming a highly qualified cohort of doctors of the future, improving logistics and providing specialized medical equipment health care system.

In further research, the authors are going to continue their analysis of the health care system of individual regions of Ukraine using human-geographical approach, to analyze and monitor the status of dangerous diseases, in particular at COVID-19 in the regions of Ukraine; to analyse institutional changes to strengthen the state of the health care system in Ukraine as a whole in order to improve the quality and life expectancy of the population.

### **Bibliography**

1. *Бюджетний простір для системи охорони здоров'я в Україні. Програмний документ для підтримки діалогу щодо підготовки бюджету на 2021 рік / Всесвітня організація охорони здоров'я. – 2020. – № 20/01. – 27 с. – Режим доступу: <https://www.euro.who.int/en/countries/ukraine/publications/budgetary-space-for-health-in-ukraine.-policy-document-to-support-budget-preparation-dialogue-for-20212020>*
2. *Долбнева Б. В. Необхідність та основні напрямки вдосконалення формування та використання ресурсного потенціалу охорони здоров'я в Україні / В. Д. Долбнева, С. М. Гончарук // Економіка та управління національним господарством. Проблеми економіки. – 2016. – № 3. – С. 46-52. – Режим доступу: [https://www.problecon.com/export\\_pdf/problems-of-economy-2016-3\\_0-pages-46\\_52.pdf](https://www.problecon.com/export_pdf/problems-of-economy-2016-3_0-pages-46_52.pdf)*
3. *Кадрові ресурси системи охорони здоров'я в Україні. Ситуаційний аналіз / Д. Богдан, А. Бойко, А. Василькова та ін. Проект USAID «Підтримка реформи охорони здоров'я». – Київ, 2019. – 133 с. – Режим доступу: <https://www.skeptic.in.ua/wp-content/uploads/HRH-situational-analysis-2019.pdf>*
4. *Корнійчук О. П. Трансформація системи охорони здоров'я: стан та перспективи / О. П. Корнійчук // Український медичний часопис. Актуальні питання клінічної практики. – 2013. – № 4 (96) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.umj.com.ua/article/63259/transformaciya-sistemi-oxoroni-zdorov-ya-ukraini-stan-ta-perspektivi>*
5. *Мельниченко А. 10 стран с лучшей системой здравоохранения в мире / А. Мельниченко // Благодійна організація «Лікарська каса Житомирської області». – 9 жовтня, 2017 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://likkasa.com.ua/10-stran-s-luchshej-sistemoj-zdravooxraneniya-v-mire/>*
6. *Механик А. Пирамида Семашко / А. Механик // Эксперт. – 1 августа 2011 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://expert.ru/expert/2011/30/piramida-semashko/>*

7. Національна стратегія реформування системи охорони здоров'я в Україні на період 2015-2020. – 41 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://uoz.cn.ua/strategiya.pdf>
8. Немець К. А. Багатовимірний аналіз у суспільній географії (нетрадиційні методи). Монографія / К. А. Немець, К. Ю. Сегіда, Л. М. Немець. – Харків: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2016. – 120 с.
9. Офіційний веб-сайт Світової організації охорони здоров'я [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.who.int/data/gho/data/indicators>
10. Пандемія довела: у медичних вишах України відновлять навчання вірусологів / Новинарня. – 13 травня 2020 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://novynarnia.com/2020/05/13/virusolohy/>
11. Правові засади реформування галузі охорони здоров'я : стан, проблеми, перспективи розвитку / Міністерство юстиції [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://minjust.gov.ua/m/str\\_6764](https://minjust.gov.ua/m/str_6764)
12. Про державні фінансові гарантії медичного обслуговування населення / Відомості Верховної Ради. – 2018. – № 5, ст. 31 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2168-19#Text>
13. Сазонець І. Л. Визначення проблем та основних напрямів реформування системи охорони здоров'я України / І. Л. Сазонець, І. Я. Зима // Електронний журнал «Державне управління: удосконалення та розвиток». – 2018. – № 12. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2156-2018.12.2>
14. Торгун О. Чотири моделі страхової медицини. Яку обрала нова влада? / О. Торгун // НМ. – 24 січня 2020 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://nv.ua/opinion/strahovaya-medicina-v-ukraine-choit-znat-poslednie-novosti-50065848.html>
15. Atun R. Transforming Turkey's Health System / R. Atun // The New England Journal of Medicine. – 2015. – 373 (14). – P. 1285-1289. DOI: <https://doi.org/10.1056/NEJMp1410433>
16. Bertens R.M. Small steps, big change. Forging a public-private health insurance system in the Netherlands / R.M. Bertens, R. A. A. Vonk // Social Science & Medicine. – 2020. – Vol. 266. – 113418. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2020.113418>
17. China's Progress Report on Implementation of the 2030 Agenda for Sustainable Development (2019) / Ministry of Foreign Affairs of the People's Republic of China. – September, 2019. – 122. с. – Режим доступу: [https://www.fmprc.gov.cn/mfa\\_eng/topics\\_665678/2030kcxzfzc/P020190924780823323749.pdf](https://www.fmprc.gov.cn/mfa_eng/topics_665678/2030kcxzfzc/P020190924780823323749.pdf)
18. Cockerham W.C. Health lifestyles and political ideology in Belarus, Russia, and Ukraine / W.C. Cockerham, B.P. Hinote, G.B. Cockerham, P. Abbott // Social Science & Medicine – 2006. – Vol. 62 (Issue 7). – P. 1799-1809. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2005.08.024>
19. Cybulska A. Korzystanie ze świadczeń i ubezpieczeń zdrowotnych / A. Cybulska // KOMUNIKATZBADANÍ. – 2016. – NR 112. – 17 p. – Режим доступу: [https://www.cbos.pl/SPISKOM.POL/2016/K\\_112\\_16.PDF](https://www.cbos.pl/SPISKOM.POL/2016/K_112_16.PDF)
20. Dózsa C. Structural Changes in the Hungarian Healthcare System Between 2000 and 2017 / C. Dózsa, K. Jankus, T.M. Helter // Value in Health Regional. – 2019. – Issues, 19. – P. 92-98. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vhri.2019.05.002>
21. Gheorghita E. Bugetul Ministerului Sănătății, mai mare cu 80,95% în 2013 / E. Gheorghita // Mediafax.ro. – 2013, January 21. – Режим доступу: <https://www.mediafax.ro/economic/bugetul-ministerului-sanatatii-mai-mare-cu-80-95-in-2013-10511758>
22. Inoue S. Construction of System Dynamics Model for Medical Care System of Japan / S. Inoue, H. Xu., J. Maswana, M. Kobayashi // Value in Health. – 2016. – 19 (7). – P. A820. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jval.2016.08.616>
23. Kerner Á. Description Of The Chinese Health Care System After The Health Care Reform / Á. Kerner, T. Csákvári, J. Betlehem, B. Molics, N. Danku, D. Endrei et al. // Value in Health. – 2017. – 20 (9). – P. A514. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jval.2017.08.652>
24. Kostrikov S. Geoinformation Approach to Urban Geographic System Research (Case Studies of Kharkiv region, Ukraine) / S. Kostrikov, L. Niemets, K. Sehida, K. Niemets, C. Morar // Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", 2018. – Issue 49. – P. 107-124. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-09>
25. Lanea J. Strengthening health policy development and management systems in low- and middle- income countries: South Africa's approach / Lanea, J., Andrews, G., Orange, E., Brezak, A., Tanna, G., Lebeso, L., et al. // Health Policy OPEN. – 2020. – Vol. 1. – 100010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hpopen.2020.100010>
26. Lekhan V. Ukraine. Health system review / V. Lekhan, V. Rudi, E. Richardson // Health Systems in Transition. – 2010. – 12 (8):1. – P. 183. Режим доступу: [https://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0011/152849/e94973R.pdf](https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0011/152849/e94973R.pdf)
27. Liu Y. China's Health Care Reform: Far From Sufficient / Y. Liu. – The New York Times. – 2011, November 1. – Режим доступу: <https://www.nytimes.com/roomfordebate/2011/11/01/is-china-facing-a-health-care-crisis/chinas-health-care-reform-far-from-sufficient>
28. Luck J. Patient and provider perspectives on quality and health system Patient and provider perspectives on quality and health system effectiveness in a transition economy: Evidence from Ukraine / J. Luck, J.W. Peabody, L.M. DeMaria, C.S. Alvarado, R. Menon // Social Science & Medicine. – 2014. – Vol. 114. – P. 57-65. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2014.05.034>
29. Lukić T. Rainfall erosivity and extreme precipitation in the Pannonian Basin – preliminary results / T. Lukić, A. Lukić, B. Basarin, T. Ponjiger, D. Blagojević, M. Mesaroš, M. Milanović, M. Gavrilov, D. Pavić, M. Zorn, B. Komac,

- Đ. Miljković, D. Sakulski, S. Babić-Kekez, C. Morar, S. Janičević // *Open Geosciences*. – 2019. – Vol. 11(1). – P. 664-681. DOI: <https://doi.org/10.1515/geo-2019-0053>
30. McMahon J. 5 Facts about healthcare in Romania / J. McMahon // *The Borgen Project*. – 2020, August 5. – Режим доступу: <https://borgenproject.org/healthcare-in-romania/#:~:text=Romania%20has%20a%20program%20of%20universal%20health%20insurance.&text=Romania%20consistently%20spends%20around%204,are%20aging%20and%20chronically%20underfunded>
31. Mehtar T. *The Health Insurance System in Turkey* / T. Mehtar, S. Mollahaliloglu // *Angluinfo Turkey*. – 2011 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.angluinfo.com/how-to/turkey/healthcare/health-system/health-insurance>
32. Memia F. *Health Care Insurance System in the Republic of Albania and Development Perspective* / F. Memia // *Journal of Educational and Social Research*. – 2015. – Vol. 5, №1. – P. 49-53. DOI: <https://doi.org/10.5901/jesr.2015.v5n1p49>
33. Morar C. *Aspects Regarding the Military Cultural-Historical Heritage in the City of Oradea, Romania* / C. Morar, G. Nagy, M. Dulca, L. Boros and K. Sehida // *ANNALES – Annals for Istrian and Mediterranean Studies – Series Historia et Sociologia*. – 2019. – Vol. 29, Issue 2. – P. 303-323. – Режим доступу: [https://www.researchgate.net/publication/336720560\\_Aspects\\_regarding\\_the\\_military\\_cultural-historical\\_heritage\\_in\\_the\\_city\\_of\\_Oradea\\_Romania](https://www.researchgate.net/publication/336720560_Aspects_regarding_the_military_cultural-historical_heritage_in_the_city_of_Oradea_Romania)
34. Morar C. *Brownfields Regeneration, between Sustainable Urban Development and Cultural Heritage, the former military sites in Oradea, Romania* / C. Morar, M. Dulca, G. Nagy // *Journal of Urban and Regional Analysis*. – 2016. – Vol. VIII (1). – P. 75-84. DOI: <https://doi.org/10.37043/JURA.2016.8.1.6>
35. Morar C. *Shaping Sustainable Urban Environments by Addressing the Hydro-Meteorological Factors in Landslide Occurrence: Ciuperca Hill (Oradea, Romania)* / C. Morar, T. Lukić, B. Basarin, A. Valjarević, M. Vujičić, L. Niemets, I. Tebieniava, L. Boros, G. Nagy // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2021. – Vol. 18(9). – 5022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18095022>
36. Morar C. *Heritage, Culture and Regeneration of the former Military Areas in the city of Oradea (Romania)* / C. Morar, G. Nagy, L. Boros, M. Gozner, L. Niemets, K. Sehida // *Arhitektúra & urbanizmus*. – 2021. – Vol. 55. – P. 1-2.
37. Niemets L. *Analysis of development trajectory for social infrastructure of Kharkiv region* / L. Niemets, P. Kobylin, K. Segida // *Actual Problems of Economics*. – 2014. – 161 (11). – P. 409-418.
38. Niemets K. *Features of social and geographical researches of health care system of the border region* / K. Niemets, L. Kliuchko, G. Kulieshova // *Economic Annals-XXI*. – 2015. – №1-2 (1). – P. 93-97. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecchado\\_2015\\_1-2\(1\)\\_24](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecchado_2015_1-2(1)_24)
39. Niemets K. *Some Issues of the Formation and Implementation of the Development Strategies of Ukraine's Regions Taking into Account European Experience* / K. Niemets, K. Sehida, L. Niemets, O. Krainyukov, I. Tebieniava, P. Kobylin // *Proceedings of the 32nd International Business Information Management Association Conference (2018, November 15-16, Seville, Spain)*. – P. 314-327 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ibima.org/accepted-paper/formation-and-implementation-of-the-development-strategies-of-ukraines-regions-in-the-aspect-of-eurointegration/>
40. Niemets K. *The analysis of the research results of sociogeographical features of Donetsk region's social development as an old industrial region* / K. Niemets, J. Yakovleva, L. Niemets // *Actual Problems of Economics*. – 2014. – 162 (12). – P. 271-280.
41. Niemets L. *Innovation and Investment Potential of Region as a Factor of its "Smart Transformation": Kharkiv Region Case Study (Ukraine)* / L. Niemets, K. Mezentsev, C. Morar, K. Sehida, N. Husieva, V. Peresadko // *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 2018. – Issue 49. – P. 137-159. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-11>
42. Popchenko, T. *On the priority areas for improving the domestic health sector. Analytical note* / T. Popchenko // *National Institute for Strategic Studies* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://old2.niss.gov.ua/articles/480/>
43. *Quantitative and qualitative analysis of Ukraine's emergency medical services to assess current capacities and opportunities for future development (2020)* / World Health Organization. Regional Office for Europe [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.euro.who.int/en/countries/ukraine/publications/quantitative-and-qualitative-analysis-of-ukraines-emergency-medical-services-to-assess-current-capacities-and-opportunities-for-future-development-2020>
44. Sheiman I. *Rocky road from the Semashko to a new health model* / I. Sheiman // *Bull World Health Organ*. – 2013. – 91. – P. 320-321. DOI: <http://dx.doi.org/10.2471/BLT.13.030513>
45. Slaybaugh C. (n.d.). *International Healthcare Systems: The US Versus the World* / C. Slaybaugh (n.d.) // *Axene Health Partners* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://axenehp.com/international-healthcare-systems-us-versus-world/>
46. Stankov U. *Shared Aerial Drone Videos — Prospects and Problems for Volunteered Geographic Information Research* / U. Stankov, Đ. Vasiljević, V. Jovanović, M. Kranjac, M. Vujičić, C. Morar, L. Bucur // *Open Geosciences*. – 2019. – Vol. 11(1). – P. 462-470. DOI: <https://doi.org/10.1515/geo-2019-0037>
47. Tomini S. M. *Paying out-of-pocket and informally for health care in Albania: the impoverishing effect on households* / S. M. Tomini, W. Groot, M. Pavlova, F. Tomini // *Frontiers in Public Health*. – 2015. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2015.00207>

48. TOP 10: Countries with the best healthcare system [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.cignaglobal.com/blog/healthcare/top-10-countries-best-healthcare-system>
49. Tran L.D. Public health and the economy could be served by reallocating medical expenditures to social programs / L.D. Tran, F.J. Zimmerman, J.E. Fielding // *SSM - Population Health*. – 2017. – Vol. 3. – P. 185-191. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssmph.2017.01.004>
50. Ukraine: review of health financing reforms 2016–2019 / WHO–World Bank Joint Report, 2019 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0018/425340/WHO-WB-Joint-Report\\_UKR\\_Full-report\\_Web.pdf](https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0018/425340/WHO-WB-Joint-Report_UKR_Full-report_Web.pdf)
51. Vujičić D. M. A multi-criteria decision analysis with special reference to loess and archaeological sites in Serbia (Could geosciences and archaeology cohabitate?) / D. M. Vujičić, D. A. Vasiljević, T.A. Hose, N. Tasić, C. Morar, A. Đurić, S. B. Marković // *Open Geosciences*. – 2018. – Vol. 10 (1). – P.333-343. DOI: <https://doi.org/10.1515/geo-2018-0026>
52. World Bank national accounts data, and OECD National Accounts data files. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?view=chart>
53. Xiao Y. Towards healthy China 2030: Modeling health care accessibility with patient referral / Y. Xiao, X.Chen, Q. Li, P. Jia, L. Li, Z. Chen // *Social Science & Medicine*. – 2021. – Vol. 276. – P. 113834. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2021.113834>

Submitted April 7, 2021

Accepted May 17, 2021

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

UDC 911.3:614(477)

**Liudmyla Niemets,**

DSc (Geography), Professor, Head of the Department of Human Geography and Regional Studies,  
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>;

**Oksana Bartosh,**

Associate Faculty, School of Humanitarian Studies, Environment, Sustainability,  
Royal Roads University, 2005 Sooke Road, Victoria BC V9B 5Y2, Canada,  
e-mail: [obartosh@directions-eprg.ca](mailto:obartosh@directions-eprg.ca);

**Kateryna Sehida,**

DSc (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,  
V.N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [kateryna.sehida@karazin.ua](mailto:kateryna.sehida@karazin.ua), <https://orcid.org/0000-0002-1122-8460>;

**Kostiantyn Niemets,**

DSc (Geography), Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,  
V.N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [konnem1948@gmail.com](mailto:konnem1948@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-7262-2111>;

**Liudmyla Kliuchko,**

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,  
V.N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [ludmila.klychko@karazin.ua](mailto:ludmila.klychko@karazin.ua), <https://orcid.org/0000-0001-6937-3364>;

**Kateryna Kravchenko,**

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,  
V.N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [kateryna.kravchenko@karazin.ua](mailto:kateryna.kravchenko@karazin.ua), <https://orcid.org/0000-0003-4654-3185>;

**Ievgeniia Tebieniieva,**

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,  
V.N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [tebenevaev@gmail.com](mailto:tebenevaev@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-7013-8836>

## HUMAN-GEOGRAPHICAL PECULIARITIES OF THE HEALTHCARE SYSTEM OF UKRAINE IN THE CONDITIONS OF MODERN CHALLENGES

**Relevance.** The paper examines the issues of the health care system development of Ukraine in the context of modern challenges. Today, there are many global environmental, socio-demographic, and economic problems threatening the existence of human civilization. One of the problems was the spread of coronavirus infection COVID-19, which demonstrated unpreparedness of Ukraine and post-socialist countries' health

care systems. These countries are undergoing health care transformations, but they do not meet modern world norms and standards.

**The purpose of the article** is to establish the key features of the health care system of Ukraine during its transformation given the positive experience of medical systems in the world, from the positions of human geography to identify current challenges and to assess the ability to respond to social demand and the threat of the global crisis in the form of new diseases, the spread of epidemics threatening to human health, quality and life expectancy.

**Methods.** This research is conducted on the basis of human-geographical approach with use of the set of methods and tools to analyze the health care system, which is extremely important for obtaining verified and scientifically sound results. In particular, the authors used methods of induction and deduction, comparison, formalization, analogy, analysis, systematization, including ranking and grouping, historical, graphical, mathematical and statistical, SWOT-analysis methods.

**Results. Scientific novelty and practical significance.** The features, advantages and disadvantages of existing models of health care systems in different countries were identified. In particular, models of medical systems were considered: a model of the single-payer, model of obligatory insurance, and hybrid system. The peculiarities of the formation of the health care system of Ukraine were determined, the key features and principles of the M.O. Semashko's system were identified, its positive and negative features preserved to this day were outlined. The distribution of European and post-socialist countries was analyzed according to the indicators of state budget expenditures on health care and GDP, number of doctors, hospital beds per capita. The transformational processes in the health care system of Ukraine, the peculiarities of the medical reform in Ukraine were revealed, the peculiarities of the development of the medical system in the conditions of the pandemic were characterized. The SWOT analysis identified the strengths and weaknesses of the Ukraine's health care system in terms of reform and transformation, its opportunities and threats in the light of current challenges.

**Keywords:** health care system, insurance medicine, World Health Organization, GDP per capita, Ukraine, post-socialist countries.

#### **References**

1. *Budgetary space for health in Ukraine. Policy document to support budget preparation dialogue for 2021 (2020). Health Policy Paper Series No. 20/01. World Health Organization. Regional Office for Europe. Available at: <https://www.euro.who.int/en/countries/ukraine/publications/budgetary-space-for-health-in-ukraine.-policy-document-to-support-budget-preparation-dialogue-for-20212020> [in Ukrainian].*
2. Dolbneva, D.V., Goncharuk, S.M. (2016). *Neobkhidnist ta osnovni napriamky vdoskonalennia poriadku formuvannia ta vykorystannia resursnoho potentsialu okhorony zdorovia v Ukraini. [The necessity and main directions for improving the order of the formation and use of resource potential of health care in Ukraine]. Ekonomika ta upravlinnia natsionalnym hospodarstvom, Problemy ekonomiky [Economics and management of the national economy, Problems of economy], 3, 46-52. Available at: [https://www.problecon.com/export\\_pdf/problems-of-economy-2016-3\\_0-pages-46\\_52.pdf](https://www.problecon.com/export_pdf/problems-of-economy-2016-3_0-pages-46_52.pdf) [in Ukrainian].*
3. Bogdan, D., Boyko, A., Vasilkova, A. et al. (2019). *Kadrovi resursy systemy okhorony zdorovia v Ukraini. Sytuatsiyni analiz. Proekt USAID «Pidtrymka reformy okhorony zdorovia» [Human resources of the health care system in Ukraine. Situational analysis. USAID Health Care Reform Support Project]. Kiev. Available at: <https://www.skeptic.in.ua/wp-content/uploads/HRH-situational-analysis-2019.pdf> [in Ukrainian].*
4. Korniychuk, O.P. (2013). *Transformatsiia systemy okhorony zdorovia Ukrainy: stan ta perspektyvy [Health care transformation in Ukraine: the state and prospects]. Ukrainskyi medychnyi chasopys. Aktualni pytannia medychnoi praktyky [Ukrainian medical journal. Current issues of medical practice], 4 (96), VII/VIII. Available at: <https://www.umj.com.ua/article/63259/transformaciya-sistemi-oxoroni-zdorov-ya-ukraini-stan-ta-perspektivi> [in Ukrainian].*
5. Melnichenko, A. (2017, October 9). *10 stran s luchshej sistemoj zdravooxraneniya v mire [10 Countries with the best healthcare system in the world] Available at: <https://likkasa.com.ua/10-stran-s-luchshej-sistemoj-zdravooxraneniya-v-mire/> [in Russian].*
6. Mechanic, A. (2011, August 1). *Pyramyda Semashko [Semashko's Pyramid]. Expert, 30-31 (764). Available at: <https://expert.ru/expert/2011/30/piramida-semashko/> [in Russian].*
7. *Natsionalna stratehiia reformuvannia systemy okhorony zdorovia v Ukraini na period 2015-2020 roky [National strategy for reforming the health care system in Ukraine for the period 2015-2020]. Available at: <https://uoz.cn.ua/strategiya.pdf> [in Ukrainian].*
8. Niemets, K. A., Sehida, K. Yu., Niemets, L. M. (2016). *Multidimensional analysis in human geography (non-traditional methods): monograph [Bahatovymirnyy analiz u suspil'niy heohrafiyi (netradytsiyni metody): monohrafiya], Kharkiv, V.N. Karazin Kharkiv National University, 120 [in Ukrainian].*
9. *Official web-site of the World Health Organization. Available at: <https://www.who.int/data/gho/data/indicators>*

10. Pandemiiia dovela: u medychnykh vyshakh Ukrainy vidnovliat navchannia virusolohiv [The pandemic proved: training of virologists will be resumed in medical universities of Ukraine] (2020, May 13). Novynarnia. Available at: <https://novynarnia.com/2020/05/13/virusolohy/> [in Ukrainian].
11. Pravovi zasady reformuvannia haluzi okhorony zdorovia: stan, problemy, perspektyvy rozvytku [Legal bases of health care reform: state, problems, prospects of development]. Available at: [https://minjust.gov.ua/m/str\\_6764](https://minjust.gov.ua/m/str_6764) [in Ukrainian].
12. Pro derzhavni finansovi harantii medychnoho obsluhovuvannia naseleння [About the state financial guarantees of medical service of the population] 2168-VIII. Vidomosti Verkhovnoi Rady [Information of the Verkhovna Rada], № 5, art.31 (2018) [in Ukrainian].
13. Sazonets, I., Zyma, I. (2018). Identification of problems and main directions of reform health care system of Ukraine. Elektronnyi zhurnal «Derzhavne upravlinnia: udoskonalennia ta rozvytok» [Electronic journal "Public Administration: Improvement and Development"], 12, <https://doi.org/10.32702/2307-2156-2018.12.2>
14. Torhun, A. (2020, January 24). Four models of health insurance. Which one did the new government choose? NV. Available at: <https://nv.ua/opinion/strahovaya-medicina-v-ukraine-cto-stoit-znat-poslednie-novosti-50065848.html>
15. Atun, R. (2015, October 1.). Transforming Turkey's hHealth Ssystem. The New England Journal of Medicine, 373 (14), 1285-1289, <https://doi.org/10.1056/NEJMp1410433>
16. Bertens, R.M., Vonk, R.A.A. (2020). Small steps, big change. Forging a public-private health insurance system in the Netherlands. Social Science & Medicine, 266, 113418, <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2020.113418>
17. China's Progress Report on Implementation of the 2030 Agenda for Sustainable Development (2019): Ministry of Foreign Affairs of the People's Republic of China. Available at: [https://www.fmprc.gov.cn/mfa\\_eng/topics\\_665678/2030kcxzfzc/P020190924780823323749.pdf](https://www.fmprc.gov.cn/mfa_eng/topics_665678/2030kcxzfzc/P020190924780823323749.pdf)
18. Cockerham, W.C., Hinote, B.P., Cockerham, G.B., Abbott, P. (2006). Health lifestyles and political ideology in Belarus, Russia, and Ukraine. Social Science & Medicine, 62 (7), 1799-1809, <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2005.08.024>
19. Cybulska, A. (2016). Korzystanie ze świadczeń i ubezpieczeń zdrowotnych. KOMUNIKATzBADANÍ, NR 112. Available at: [https://www.cbos.pl/SPISKOM.POL/2016/K\\_112\\_16.PDF](https://www.cbos.pl/SPISKOM.POL/2016/K_112_16.PDF)
20. Dózsa, C., Jankus, K., Helter, T.M. (2019). Structural Changes in the Hungarian Healthcare System Between 2000 and 2017. Value in Health Regional Issues, 19, 92-98. <https://doi.org/10.1016/j.vhri.2019.05.002>
21. Gheorghita, E. (2013, January 21). Bugetul Ministerului Sănătății, mai mare cu 80,95% în 2013. Mediafax.ro. Available at: <https://www.mediafax.ro/economic/bugetul-ministerului-sanatatiei-mai-mare-cu-80-95-in-2013-10511758>
22. Inoue, S., Xu, H., Maswana, J., Kobayashi, M. (2016). Construction of System Dynamics Model for Medical Care System of Japan. Value in Health, 19 (7), A820, <https://doi.org/10.1016/j.jval.2016.08.616>
23. Kerner, Á., Csákvári, T., Bellehem, J., Molics, B., Danku, N., Endrei, D et al. (2017). Description Of The Chinese Health Care System After The Health Care Reform. Value in Health, 20 (9), A514, <https://doi.org/10.1016/j.jval.2017.08.652>
24. Kostrikov, S., Niemets, L., Sehida, K., Niemets, K., Morar, C. (2018). Geoinformation Approach to Urban Geographic System Research (Case Studies of Kharkiv region, Ukraine). Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", 49, 107-124, <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-09>
25. Lanea, J., Andrews, G., Orange, E., Brezak, A., Tanna, G., Lebeso, L., et al. (2020). Strengthening health policy development and management systems in low- and middle- income countries: South Africa's approach. Health Policy OPEN, 1, 100010, <https://doi.org/10.1016/j.hpopen.2020.100010>
26. Lekhan, V., Rudyi, V., Richardson, E. (2010). Ukraine. Health system review. Health Systems in Transition, 12 (8). [https://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0011/152849/e94973R.pdf](https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0011/152849/e94973R.pdf)
27. Liu, Y. (2011, November 1). China's Health Care Reform: Far From Sufficient. The New York Times. Available at: <https://www.nytimes.com/roomfordebate/2011/11/01/is-china-facing-a-health-care-crisis/chinas-health-care-reform-far-from-sufficient>
28. Lucka, J., Peabodybc, J.W., DeMariabc, L.M., Alvaradoa, C.S., Menond, R. (2014). Patient and provider perspectives on quality and health system Luck, J., Peabody, J.W., DeMaria, L.M., Alvarado, C.S., Menon, R. (2014). Patient and provider perspectives on quality and health system effectiveness in a transition economy: Evidence from Ukraine. Social Science & Medicine, 114, August 2014, 57-65, <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2014.05.034>
29. Lukić, T., Lukić, A., Basarin, B., Ponjiger, T., Blagojević, D., Mesaroš, M., Milanović, M., Gavrilov, M., Pavić, D., Zorn, M., Komac, B., Miljković, Đ., Sakulski, D., Babić-Kekez, S., Morar, C. & Janičević, S. (2019). Rainfall erosivity and extreme precipitation in the Pannonian Basin – preliminary results. Open Geosciences, 11(1), 664-681, <https://doi.org/10.1515/geo-2019-0053>
30. McMahon, J. (2020, August 5). 5 Facts about healthcare in Romania. The Borgen Project. Available at: <https://borgenproject.org/healthcare-in-romania/#:~:text=Romania%20has%20a%20program%20of%20universal%20health%20insurance.&text=Romania%20consistently%20spends%20around%204,are%20aging%20and%20chronically%20underfunded>
31. Mehtap, T., Mollahaliloglu, S. (2011). The Health Insurance System in Turkey. Angluinfo Turkey. Available at: <https://www.angloinfo.com/how-to/turkey/healthcare/health-system/health-insurance>
32. Memia, F. (2015). Health Care Insurance System in the Republic of Albania and Development Perspective. Journal of Educational and Social Research, 5 (1), January 2015. <https://doi.org/10.5901/jesr.2015.v5n1p49>

33. Morar, C., Dulca, M., Nagy, G. (2016). Brownfields Regeneration, between Sustainable Urban Development and Cultural Heritage, the former military sites in Oradea, Romania. *Journal of Urban and Regional Analysis*, VIII (1), 75-84, <https://doi.org/10.37043/JURA.2016.8.1.6>
34. Morar, C., Nagy, G., Dulca, M., Boros, L., Sehida, K. (2019). Aspects Regarding the Military Cultural-Historical Heritage in the City of Oradea, Romania. *ANNALES – Annals for Istrian and Mediterranean Studies – Series Historia et Sociologia*, Issue 2, 303-323, Available at: [https://www.researchgate.net/publication/336720560\\_aspects\\_regarding\\_the\\_military\\_cultural-historical\\_heritage\\_in\\_the\\_city\\_of\\_oradea\\_romania](https://www.researchgate.net/publication/336720560_aspects_regarding_the_military_cultural-historical_heritage_in_the_city_of_oradea_romania)
35. Morar, C. Lukić, T., Basarin, B., Valjarević, A., Vujičić M., Niemets, L., Telebienieva, I., Boros, L., Nagy, G. (2021). Shaping Sustainable Urban Environments by Addressing the Hydro-Meteorological Factors in Landslide Occurrence: Ciuperca Hill (Oradea, Romania). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(9), 5022; <https://doi.org/10.3390/ijerph18095022>
36. Morar, C., Nagy, G., Boros, L., Gozner, M., Niemets, L., Sehida, K. (2021). Heritage, Culture and Regeneration of the former Military Areas in the city of Oradea (Romania). *Arhitektúra & urbanizmus*, 55, 1-2.
37. Niemets, L., Kobylin, P., Segida, K. (2014). Analysis of development trajectory for social infrastructure of Kharkiv region. *Actual Problems of Economics*, 161 (11), 409-418.
38. Niemets, K., Kliuchko, L., Kulieshova, G. (2015). Features of social and geographical researches of health care system of the border region. *Economic Annals-XXI*, 1-2 (1), 93-97. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecchado\\_2015\\_1-2\(1\)\\_24](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecchado_2015_1-2(1)_24)
39. Niemets, K., Sehida, K., Niemets, L., Krainyukov, O., Telebienieva, I., Kobylin, P. (2018). Some Issues of the Formation and Implementation of the Development Strategies of Ukraine's Regions Taking into Account European Experience. *Proceedings of the 32nd International Business Information Management Association Conference (November 15-16, 2018, Seville, Spain)*, 314-327. Available at: <https://ibima.org/accepted-paper/formation-and-implementation-of-the-development-strategies-of-ukraines-regions-in-the-aspect-of-eurointegration/>
40. Niemets, K., Yakovleva, J., Niemets, L. (2014). The analysis of the research results of sociogeographical features of Donetsk region's social development as an old industrial region. *Actual Problems of Economics*, 162 (12), 271-280.
41. Niemets, L., Mezentsev, K., Morar, C., Sehida, K., Husieva, N., Peresadko, V. (2018). Innovation and Investment Potential of Region as a Factor of its "Smart Transformation": Kharkiv Region Case Study (Ukraine). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 49, 137-159, <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-11>
42. Popchenko, T. On the priority areas for improving the domestic health sector. Analytical note. National Institute for Strategic Studies. Available at: <http://old2.niss.gov.ua/articles/480/>
43. Quantitative and qualitative analysis of Ukraine's emergency medical services to assess current capacities and opportunities for future development (2020). World Health Organization. Regional Office for Europe. Available at: <https://www.euro.who.int/en/countries/ukraine/publications/quantitative-and-qualitative-analysis-of-ukraines-emergency-medical-services-to-assess-current-capacities-and-opportunities-for-future-development-2020>
44. Sheiman, I. (2013) Rocky road from the Semashko to a new health model. *Bull World Health Organ*, 91, 320–321, <http://dx.doi.org/10.2471/BLT.13.030513>
45. Slaybaugh, C. (n.d.). *International Healthcare Systems: The US Versus the World*. Axene Health Partners. Available at: <https://axenehp.com/international-healthcare-systems-us-versus-world/>
46. Stankov, U., Vasiljević, Đ., Jovanović, V., Kranjac, M., Vujičić, M., Morar, C. & Bucur, L. (2019). Shared Aerial Drone Videos — Prospects and Problems for Volunteered Geographic Information Research. *Open Geosciences*, 11(1), 462-470, <https://doi.org/10.1515/geo-2019-0037>
47. Tomini, S. M., Groot, W., Pavlova, M., Tomini, F. (2015). Paying out-of-pocket and informally for health care in Albania: the impoverishing effect on households. *Frontiers in Public Health*, 28 August 2015, <https://doi.org/10.3389/fpubh.2015.00207>
48. TOP 10: Countries with the best healthcare system. Available at: <https://www.cignaglobal.com/blog/healthcare/top-10-countries-best-healthcare-system>
49. Tran, L.D., Zimmerman, F.J., Fielding, J.E. (2017). Public health and the economy could be served by reallocating medical expenditures to social programs. *SSM - Population Health*, 3, 185-191, <https://doi.org/10.1016/j.ssmph.2017.01.004>
50. Ukraine: review of health financing reforms 2016–2019 (2019). WHO–World Bank Joint Report. Available at: [https://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0018/425340/WHO-WB-Joint-Report\\_UKR\\_Full-report\\_Web.pdf](https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0018/425340/WHO-WB-Joint-Report_UKR_Full-report_Web.pdf)
51. Vujičić, D. M., Vasiljević, D. A., Hose, T.A., Tasić, N., Morar, C., Đurić, A., Marković, S. B. (2018). A multi-criteria decision analysis with special reference to loess and archaeological sites in Serbia (Could geosciences and archaeology cohabitate?). *Open Geosciences*, 10(1), 333-343, <https://doi.org/10.1515/geo-2018-0026>
52. World Bank national accounts data, and OECD National Accounts data files. <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?view=chart>
53. Xiao, Y., Chen, X., Li, Q., Jia, P., Li, L., Chen, Z. (2021). Towards healthy China 2030: Modeling health care accessibility with patient referral. *Social Science & Medicine*, 276, May 2021, 113834, <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2021.113834>

УДК 930.2:351.791(477.54-25)"165/202"

**Нестеренко Вікторія Олександрівна,**

к. іст. н., викладач кафедри українознавства філософського факультету,  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, м. Свободи, 6, 61022, м. Харків,  
e-mail: [viktoria.nesterenko@karazin.ua](mailto:viktoria.nesterenko@karazin.ua), <https://orcid.org/0000-0001-5773-5014>

## РІКИ У МІСЬКОМУ ПРОСТОРИ ХАРКОВА: ІСТОРІЯ ВЗАЄМОДІЇ ПРИРОДИ ТА СУСПІЛЬСТВА (ДРУГА ПОЛОВИНА XVII – ПОЧАТОК XXI СТ.)

Стаття присвячена актуальному на сьогоднішній день питанню про відновлення водних ресурсів міста Харкова. На основі історичних джерел реконструюється зміна функціонального значення річок Харків, Лопань, Уди, Нетіча та Немышля у міському просторі впродовж другої половини XVII – початку XXI ст. Визначено, що в різні періоди ріки виконували наступні функції – районування, асенізаційну, господарчу, рекреаційну та естетичну. Визначається, як змінювались відносини між суспільством та так званими «блакитними просторами» (blue space), і як саме вони впливали на стан забрудненості річок. Розроблено періодизацію «історії рік» у харківському просторі, яка розділена на п'ять періодів відповідно до змін антропогенного тиску та політики влади щодо благоустрою. У статті проаналізовано заходи очільників міста різних епох та містобудівельні концепції, які стосувались впорядкування річок та прилеглої території. Визначено як саме впливали ріки на формування майбутніх районів міста від початку існування фортеці. Доведено, що місто відчувало проблеми з питною водою впродовж XIX ст. через надмірний антропогенний тиск на доступні водні ресурси, а «впорядкування» території, що включало осушення боліт, тільки погіршило ситуацію. За радянських часів ріки та прилегла територія були реконструйовані, в тому числі, зведено дамби. Це дозволило уникнути повеней, але призвело до поступового зміння рік. На берегах створено паркові зони та спортивні комплекси. На сучасному етапі загальносвітовою тенденцією є ревіталізація річок, тобто повернення їх до стану доіндустріальної епохи. Це потребує комплексного дослідження як у галузі екології, так і у галузях історії та культурології з метою перетворення сучасних рік на об'єкти, що виконують естетичну та рекреаційну функцію у міському просторі. Таким чином, стаття має як теоретичне значення, адже торкається нерозробленої досі теми історії рік у міському просторі Харкова, так і практичне значення, адже привертає увагу до проблеми ревіталізації місцевих водних ресурсів та містить пропозиції відповідно до світового досвіду відновлення рік.

**Ключові слова:** ревіталізація, ріка, Харків, екосистемна послуга, антропогенний тиск, міський простір, містобудівельні концепції, благоустрій.

**В. А. Нестеренко. РЕКИ В ГОРОДСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ ХАРЬКОВА: ИСТОРИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИРОДЫ И ОБЩЕСТВА (ВТОРАЯ ПОЛОВИНА XVII – НАЧАЛО XXI СТ.).** Статья посвящена актуальному на сегодняшний день вопросу о восстановлении водных ресурсов города Харькова. На основе исторических источников реконструируется изменение функционального значения рек Харьков, Лопань, Уды, Нетеч и Немышля в городском пространстве в течение второй половины XVII - начала XXI века. Определено, что в разные периоды реки выполняли следующие функции - районирования, ассенизационную, хозяйственную, рекреационную и эстетическую. Определяется, как менялись отношения между обществом и так называемыми «голубыми пространствами» (blue space), и как они влияли на загрязнение рек. Разработана периодизация «истории рек» в харьковском пространстве, которая разделена на пять периодов в соответствии с изменениями антропогенного давления и политики властей по благоустройству. В статье проанализированы меры, которые принимала городская власть разных эпох, и градостроительные концепции, касающиеся благоустройства рек и прилегающей к ним территории. Определено, как реки влияли на формирование городских районов от момента создания крепости. Доказано, что город ощущал проблемы с питьевой водой в течение XIX в. из-за чрезмерного антропогенного давления на доступные водные ресурсы, а «благоустройство» территории, включающее осушение болот, только ухудшило ситуацию. В советское время реки и прилегающая территория были реконструированы – возведены дамбы, что позволило избежать наводнений, но привело к их постепенному высыханию, а по берегам рек созданы парковые зоны и спортивные комплексы. Определено, что на современном этапе общемировой тенденцией является ревитализация рек, которая требует комплексного исследования как в области экологии, так и в области истории и культурологии с целью превращения современных рек в объекты, которые выполняют эстетическую и рекреационную функции в городском пространстве. Таким образом, статья имеет как теоретическое значение, ведь касается не разработанной до сих пор темы истории рек в городском пространстве Харькова, так и практическое значение, ведь привлекает внимание к проблеме ревитализации местных водных ресурсов и содержит предложения в соответствии с мировым опытом восстановления «голубых пространств».

**Ключевые слова:** ревитализация, река, Харьков, экосистемные услуги, антропогенное давление, городское пространство, градостроительные концепции, благоустройство.

**Постановка проблеми.** Міста нерозривно пов'язані з ріками біля яких вони знаходяться. Наявність ріки була однією з найважливіших умов під час визначення місця для нового поселення у Європі, а потім часто ставала його символом – як Темза для Лондона, Рейн для Берліну, Дніпро для Києва. Проте в різні часи відносини міста та ріки не були такими вже однозначними. Ріка, в першу чергу, була джерелом води, а також виступала транспортною артерією, виконувала асенізаційну функцію, давала енергію млинам та, в майбутньому, електростанціям, спричиняла

стихійні лиха і навіть інколи ховалась турботливими містянами до каналізаційних труб. Ріка ставала перешкодою, що ускладнювала переміщення містом, стимулюючи розвиток інфраструктури окремих районів. Природа та місто продовжують свою коеволюцію й останнім часом увага до історії річок у міському просторі зростає, а у європейських та американських містах масово відбуваються процеси ревіталізації водних ресурсів, тобто реконструкції річищ які або обміліли, або взагалі були сховані у бетонні колектори у минулому та навіть позаминулому століттях [59].



Дослідники наголошують на необхідності вивчення досвіду минулого для створення сучасних сталих (sustainable) міст [58, р. 14], разом ще більше актуалізуючи дослідження екологічного стану рік. Головним завданням на сучасному етапі вважається пошук балансу між природним середовищем та містом [61, 63].

Для України ідея ревіталізації не є новою, проте й досі вона залишається лише в теоретичній та мистецькій площинах. У 2011 році Олесь Дзиндра, засновник «Музею ідей» у Львові, підтримав проект ревіталізації львівської річки Полтви, називаючи її «брудним сумлінням львів'ян» [41]. У 2019 р. на сайті міської ради Львова навіть було зареєстровано петицію з вимогами відновити ріку; петиція зібрала необхідну кількість голосів і була направлена на розгляд до Державної екологічної інспекції у Львівській області, проте подальша її доля невідома [33]. Ставлення міських очільників до цієї проблеми навіть викликає подив, адже Львів чи не єдиний обласний центр України у якому відсутня ріка.

2013-го року Верховна рада України прийняла закон «Про затвердження Загальнодержавної цільової програми розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року», який передбачав пошук оптимального варіанту комплексного вирішення проблеми забрудненості головної водної артерії країни [34]. Відповідно до цього міські самоврядування мали затвердити перелік заходів в рамках загальнодержавної політики. У Запоріжжі впродовж останніх років розпочалась міська програма дослідження водних ресурсів, що розрахована на десять років та спрямована на розв'язання проблеми відновлення водних екосистем малих річок [13]. Програма охоплює як наукові дослідження, так і практичні заходи – зведення очисних споруд, впорядкування зон рекреації тощо, але ЗМІ категорично незадоволені реалізацією програми, точніше її відсутністю: станом на вересень 2020 року ще не було розпочато навіть перший етап роботи [15, 37]. В аналогічному документі з Миколаївської області докладно проаналізовано основні проблеми регіону [36, с. 2 – 10], проте знайти приклади здійснення конкретних заходів наразі не вдалося. Єдиний в Україні більш-менш реалізований проект – часткове відновлення річки Сапалаївка у м. Луцьк у 2012 – 2016 рр. [17]. Останні наукові дослідження показали позитивні результати здійсненої у місті реконструкції, але загальний стан водної артерії залишається незадовільним [10, с. 21, 27].

Разом з цим українські вчені активно досліджують питання очищення річок від промислових забруднень та патентують свої винаходи. В тому числі, представники Запорізького націона-

льного університету Гвоздяк П. І., Капарник А. І., Домбровський К. О., Рильський О. Ф. та Болгова О. С. запатентували метод очищення вищої водної рослинності шляхом розміщення у воді плотика, на якому здійснюється іммобілізація необхідних для процесу мікроорганізмів [32]. Практичні дослідження, в тому числі, зі стічними водами заводу «МоторСіч» показують дієвість методики. Дослідники з Придніпровської державної академії будівництва та архітектури у своїх публікаціях зазначають актуальність очищення та збереження саме малих річок, які є частиною загальної системи водних ресурсів [28, с. 258].

У Харкові тема ревіталізації річок залишається полем діяльності міських активістів. Наприклад, об'єднання ландшафтних дизайнерів «Інший шлях» наразі розробляє концепцію відновлення річки Студенок (притока річки Уди у районі Харківського тракторного заводу), яка наразі фактично перетворилась у тоненький струмок. В той час для міста є актуальними всі ті ж проблеми, що й в інших регіонах України: забрудненість рік побутовими та промисловими відходами, паводки та одночасно з цим поступове зникнення малих рік. Проте порівнюючи стратегії розвитку міста з іншими регіонами України впадає в око повне ігнорування проблем водних об'єктів на території міста як у планах, актуальних до 2020 р., так і в концепції плану до 2030 р. [45 порівнюючи з 22, 35 та 36].

Таким чином, проблема відновлення та збереження водних ресурсів України актуалізована на державному рівні у вигляді законодавчих актів, існують наукові розробки для покращення екологічного стану рік, громадські організації пропонують свої варіанти вирішення проблем. Вважається, що подібні проекти неможливо реалізувати в Україні через нестачу коштів. Натомість на нашу думку проблема полягає у відсутності активного залучення громади до проблеми та поширення серед населення інформації про стан річок та можливості його покращення, а головне – про рекреаційну, естетичну та містотворчу роль водних об'єктів. Цей аспект виводить проблему з площини суто технічної у простір культурологічних досліджень. Заходи у сфері ревіталізації мають починатись з теорії – саме тому дана робота присвячена історії взаємодії міста Харкова та річок, що протікають його територією.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Природа Слобідської України достатньо відображена у джерелах та публікаціях за останні три століття – причому, як природознавчого, так і історичного спрямування. Одним з перших істориків, який звернув увагу на проблему стихійних

лих та розливів річок, був професор Харківського імператорського університету Д. І. Багалій. Він не оминав цю тему як у загальних виданнях з історії регіону [5, 6, 7], так і в окремих статтях [8]. Його робота має описовий характер, проте дослідник створював її на основі документів, частина з яких нам вже недоступна, та позначив відомі йому природні об'єкти Слобідської України. Дослідження господарської функції річок та їх екологічного стану в різні часи піднімали професори Харківського імператорського університету, Технологічного інституту та гласні міської думи. Так наприклад, на основі виступу гласного Є. Гордеєнка була опублікована брошура, яка містить аналіз заходів міської влади щодо благоустрою та загального санітарного стану міста [11]. Невтішні висновки Є. Гордеєнка підтверджують й інші дослідження – професор Технологічного інституту О. Шимков опублікував роботу, що визначала залежність економічних та господарчих втрат міста від його екологічного стану [54]. М. Сумцов використовує інформацію щодо жахливого стану міської природи для обґрунтування термінової потреби будівництва клініки для лікування хвороби очей [46]. Професор О. Морозов визначав, як змінився за сто років (1787-1887 рр.) рельєф міста та розташування річищ на основі давнього топографічного опису намісництва [27]. Нарешті, у загальному дослідженні, присвяченому розвитку міста на початку ХХ століття, докладно описані параметри наявних водних джерел та актуальність їх очищення [42, 43].

Архітектори радянського періоду намагались максимально впорядкувати річки шляхом обмеження їх берегів дамбами та гранітними набережними. А. Л. Ейгорн визначав долини харківських річок небезпечними з точки зору можливих повней та акцентував увагу на необхідності меліоративних робіт [55, с. 40]. А. М. Касьянов описував плани реконструкції Харкова, окрему увагу приділяючи рекреаційним зонам та благоустрою території [19, 20]. У 60-тих роках вперше в Харкові з'являється ідея об'єднати паркові зони вздовж річок у центрі міста в єдиний рекреаційний комплекс [19, с. 27].

У західних країнах індустріалізація розпочалась раніше, відповідно, наразі існує більше досліджень присвячених стану річок у міському просторі. Важливо зазначити, що в англійській мові історіографії використовуються терміни «urban rivers», «blue space» та «man-made space», яким складно знайти відповідники в українській мові. Західні дослідники вивчають тему ревіталізації, базуючись на міждисциплінарному підході – на межі екології, історії, культурології та соціології. Дослідниця у галузі історії навколишнього сере-

довища (environmental history) Лаура Дж. Мартін вивчає функції річок у міському просторі на різних етапах розвитку американського міста на прикладі річки Провіденс [62]. Бразильський архітектор Ж. Лернер у своїй книзі «Акупунктура міста» досліджує проект ревіталізації річки у м. Сеул та визначає роль водних ресурсів у міському просторі [25]. З кожним роком зростає кількість проектів (в тому числі, реалізованих) стосовно відновлення водних ресурсів у різних містах, відповідно, зростає кількість публікацій з цієї теми [9, 23, 56, 57, 59].

В Україні регулярно проводяться дослідження екологічного стану водних ресурсів. Дослідники підкреслюють, що кількість малих річок за останні роки зменшилась на 10 000 об'єктів [28, с. 69], ті ж, що залишились, щорічно наповнюються на 30% менше ніж повинні. У різних регіонах країни відзначається значний рівень забрудненості водних ресурсів, проте одночасно з цим патентуються ефективні методи їх очищення, в основному, від промислових відходів [32, 52]. В тому числі, маємо роботи, присвячені безпосередньо харківським річкам [18, 21, 26, 64]. Науковці зазначають, що покращити стан водоймищ можливо, але треба терміново розпочинати цей процес.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Тема ревіталізації водних ресурсів є міждисциплінарною, адже залучає не тільки архітекторів і дослідників природничих наук, але й культурологів та істориків. Таке комплексне розуміння проблеми дозволить не тільки покращити стан річок, але й визначити їх роль як об'єктів культури та відпочинку у міському просторі. Проте наразі історія річок та взагалі «блакитних просторів» міста Харкова залишається «білою плямою». Відсутня періодизація процесу, розуміння етапів зростання антропогенного тиску на навколишнє середовище, чинників, що призвели до сучасного стану водних об'єктів та функцій, що виконували річки у міському просторі в минулому. Крім того, у сучасній літературі щодо реконструкції набережних відсутнє розуміння комплексності річкової системи та зв'язку методів будівництва із загальним станом водного об'єкту.

**Формулювання мети статті.** Метою даної роботи є визначення переліку функцій, які виконували річки Харків, Лопань, Нетічка, Немишля та Уди у міському просторі впродовж другої половини ХVII – початку ХХI ст. та аналіз місця, що їх займають згадані водні об'єкти у сучасній функціональній організації міського простору. Це допоможе зрозуміти причини їх поточного стану, роль означених об'єктів для міста та підготувати подальші проекти щодо ревіталізації. Практич-

ним результатом дослідження стануть пропозиції до стратегії розвитку міста Харкова на 2020 – 2030 рр. щодо включення ревіталізації водних об'єктів до переліку цілей розвитку міського простору.

Визначаючи хронологічну періодизацію дослідження, розглядалися два можливі підходи: періодизація відповідно до етапів формування міського простору Харкова та періодизація відповідно до зростання чисельності населення і, у зв'язку з цим, збільшення антропогенного тиску на територію. Врешті, виходячи з того, що дослідження фокусується передовсім на історичному контексті, було обрано перший шлях. Початковим періодом дослідження вважається друга половина XVII – середина XVIII ст., коли місто виникло як фортеця для захисту від набігів татар. Другим періодом визначається 1764 – 1860 р., коли Харків остаточно сформувався як типовий губернський центр Російської імперії з затвердженим планом забудови міста та переліком заходів спрямованих на його впорядкування (які, в тому числі, стосувались осушення боліт). Третій період тривав до 1917 року і відзначався стрімким розвитком міста як важливого транспортно-промислового вузла Російської імперії, що призвело до різкого зростання його території та чисельності населення. Четвертий період охоплював радянську добу, коли влада здійснила спробу реконструювати міський простір модернізувавши місто. П'ятий період – від проголошення Незалежності України і до сьогодні, коли актуалізуються питання ревіталізації рік і реконструкції міста відповідно до урбаністичних принципів останніх років.

**Методика дослідження.** Важливим аспектом дослідження є процес ревіталізації, тож необхідно окреслити його визначення. Перш за все, ревіталізація стосується відновлення екологічного стану водного об'єкту, натомість інші цінності на кшталт соціальних, економічних та естетичних йдуть на додачу [59, р. 9]. Вчені сходяться на тому, що відновлення необхідно доводити до стану, відповідному доіндустріальному освоєнню регіону. Тим не менш варто зауважити, що саме по собі очищення ріки від сміття та промислового забруднення не може називатись ревіталізацією. Для здійснення цього процесу необхідно залучення широкого кола акторів – вчених, еко-активістів, міських очільників тощо. На думку європейських вчених усі водні об'єкти, які ще можна врятувати, неважливо від їх розміру мають потребу в ревіталізації та «відновленні до природнього стану» [56]. Серед основних етапів виділяють наступні: підвищення екологічної функціональності об'єкту; забезпечення захисту від повеней; збільшення культурного та рекреацій-

ного значення; забезпечення стабільності результатів [57, р. 7].

Кожен природний комплекс виконує певну життєвоважливу для людини екологічну послугу (ecosystem service), і суть цієї послуги залежить від конкретної культурної парадигми певного історичного періоду. Наприклад, американська дослідниця у галузі студій довкілля Лаура Дж. Мартін виділяє наступні екологічні послуги: використання ресурсів, що дає вода та використання її як транспортної артерії (господарська функція); відродження річки як мистецького та туристичного об'єкта (рекреаційна та естетична функція); паралельно з цим річка може стати для міста джерелом стихійних лих, шкода від яких буде перевищувати будь-яку послугу [62, с. 251]. Засновуючись на цій тезі, розглянемо, як змінювалось використання річок, що протікали містом Харків, впродовж другої половини XVII – початку XXI ст.

Джерелами даної роботи є описи природи міста Харкова. Докладна інформація щодо стану слобідських річок зібрана в «Описах Харківського намісництва» кінця XVIII ст. [30]. На початку XX ст. міська дума підготувала докладну роботу, яка торкалась різних сфер міського господарства, в тому числі, екології та водозабезпечення – «Современное хозяйство города Харкова» [42, 43]. Проблеми з забрудненістю рік та відсутністю чистої води були настільки серйозними, що їх не оминали і укладачі туристичних путівників [12, 47]. У Додатках до Харківського календаря є статті про господарство, промисли та рослинний світ Слобожанщини, спогади, а також нариси про клімат, епідемії та стихійні лиха [16, 27, 31, 39, 40, 44, 50]. Окремо необхідно згадати газетні статті, які ілюструють масштаб стихійних лих у Харкові [2, 3]. В якості джерел щодо сучасного стану річок міста Харкова використовувались дані, зібрані екологами [18, 21, 26, 64]. Частково залучались архівні матеріали щодо реконструкції міста Харкова [1]. Таким чином, маємо достатньо історичних джерел для вивчення поставленої нами проблеми.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Важливою особливістю харківських річок є те, що їх декілька, і їх долі ілюструють кілька можливих сценаріїв історії рік в урбанізованому середовищі – використання в якості рекреаційного об'єкту, зміління, пересихання, часткове перекриття бетонним колектором. Основними ріками, які асоціюються з містом Харків, є однойменна ріка Харків та ріка Лопань. Саме у їх міжріччі, як у дуже вигідному зі стратегічної точки зору місці, виникла харківська фортеця (рис. 1).

Уди перетинають сучасне місто з південно-західної сторони, окреслюючи район Холодної

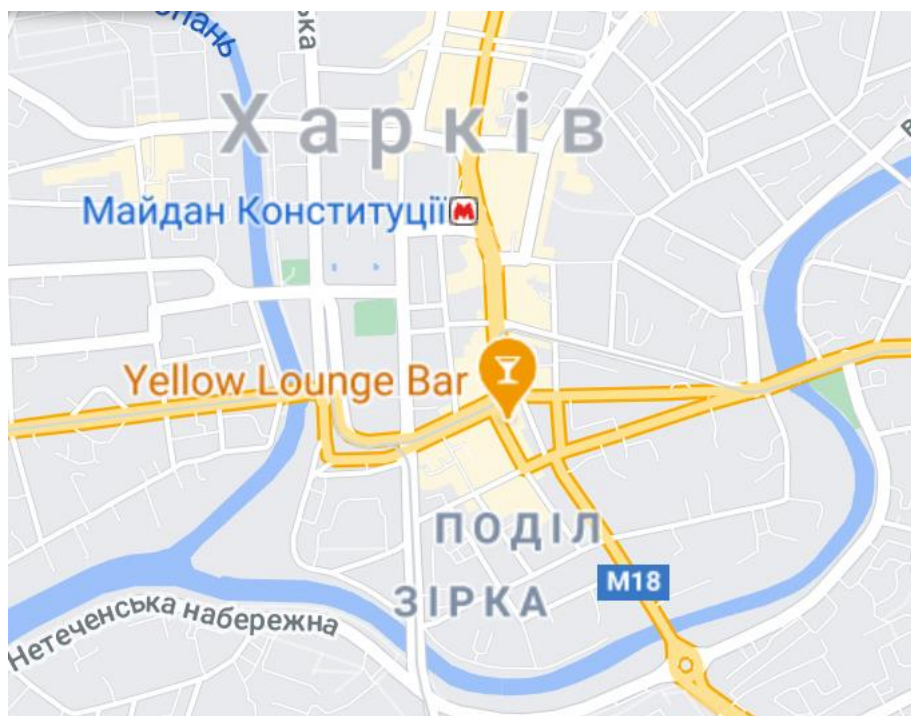


Рис. 1. Сучасна мапа «міжріччя», в якому виникла фортеця Харків

гори. Нетіча вважається старим річищем Харкова, яка в подальшому стала його притокою, на початку XX ст. вона описується як «ряд мелких озер и болот», які з'єднуються між собою тільки під час весінніх паводків [12, с. 75]. На сучасній мапі міста вона являє собою вузький струмок у південній частині міста (історичний район Москалівка). Так само притокою Харкова є річка Не-

мишля. Наразі вона перетинає тоненьким потоком східну частину міста та з'єднує кілька ставків. Попри локальність останніх двох водних об'єктів, ми включаємо їх у дослідження, тому що вони відіграють важливу роль у формуванні міського простору. На сучасному етапі річкова мережа Харкова без урахування менших приток виглядає наступним чином (табл. 1).

Таблиця 1

## Річкова мережа м. Харкова

Назва ріки	Довжина	Належність до річкових басейнів	Стан з точки зору екології
Харків	71 км	Басейн Сіверського Дінця, ліва притока р. Лопань	За даними міської ради, відноситься до 3-го ступеня забрудненості
Лопань	96 км	Басейн Сіверського Дінця, ліва притока р. Уди	За даними міської ради, відноситься до 3-го ступеня забрудненості
Уди	164 км	Басейн Сіверського Дінця, права притока Сіверського Дінця	За даними міської ради, відноситься до 3-го ступеня забрудненості
Нетіч	Інформація відсутня, адже річка наразі у бетонному колекторі	Вважається давнім руслом річки Харків; наразі є притокою цієї річки.	Інформація відсутня
Немишля	23 км.	Притока річки Харків	За даними міської ради, відноситься до 3-го ступеня забрудненості

Досліджуючи харківські ріки, ми маємо виділити наступні функції: районування, асенізаційну, господарчу, рекреаційну та естетичну. Останні дві будуть нами об'єднані в одну функцію. Перейдемо до безпосереднього розгляду

функцій означеної річкової мережі. Як поетично сказав автор путівника по Харкову 1902 р. О. М. Гусев «самою природою Харьков уже разделен на три части» [12, с. 23], і це буде найперша функція яку ми проаналізуємо, і яка буде актуаль-

ною майже весь період нашого дослідження. Місто поділялось на три частини – Захарківську, Залопанську та центральну, яка, відповідно, розташовувалась у міжріччі. Проте ріки не просто механічно поділили місто на три райони, а визначили певну кластерність міського простору. Район міжріччя, де знаходилась фортеця та її посад, був доволі густо заселений від початку формування міста (середина XVII ст.) і, відповідно, ця ділянка зазнавала найбільшого антропогенного тиску впродовж усього періоду. З другої половини XVIII ст. до міського ареалу остаточно включаються Залопанська та Захарківська частини. Відповідні річки – Лопань та Харків – влітку міліли, що дозволяло мешканцям спокійно переходити у центральну частину фактично вброд; проте під час паводків містяни були повністю відрізані від центра, що змушувало їх розвивати власну інфраструктуру (передовсім, будувати церкву та ринок) та загальмовувало зростання населення цих районів. Звичайно, місцева влада намагалась розв'язати проблему, поступово збільшуючи кількість переправ, а також кам'яних і дерев'яних мостів [12, с. 76-77], та займаючись осушенням боліт [39, с. 156]. Врешті проблема сполучення між районами зникає, проте саме районування залишається актуальним до 20-тих років XX ст. Внаслідок стрімкого розвитку та радянської реконструкції у місті з'являються нові райони і потреба ділити його за природними об'єктами втрачає актуальність. Путівники радянської доби вже використовують адміністративний поділ районів [20, 49], проте назви, пов'язані із водними об'єктами, відображені в урбанонімах дорадянської доби. «Захарківська» та «Залопанська» частини залишаються у мемуарах та краєзнавчих розвідках [14].

На сьогоднішній день річки Харків та Лопань доволі чітко відділяють старий центр зі сторони проспекту Гагаріна та вулиці Полтавський шлях, а один з районів міста після декомунізації 2015 року отримав назву Немишлянський (колишній Фрунзенський). Назва «Нетіча» залишається на мапі сучасного міста у вигляді Нетеченських набережної, вулиці, бульвару та провулку, що дозволяє уявити наскільки масштабною раніше була річка. Проте внаслідок осушення частини території майже зникла і сама річка, і об'єкти, пов'язані з нею у дорадянський час (острів – орієнтовно на місці кільцевого перехрестя на вулиці Вернадського біля станції метро Гагаріна). За назвою гідропарку, Журавлівкою називається район міста від станції метро Київська до ріки. Таким чином, хоча водні об'єкти більше не поділяють місто на частини, їх назви відображені в окремих районах та вулицях.

Наступною функцією, яку ми розглянемо,

буде асенізаційна – ріки виконують її впродовж усього свого співіснування з містом. Крім побутових відходів, водні джерела виводили з міста бруд з ремісничих виробництв. Заливні луки на південній окраїні Харкова були місцем прекрасного пасовиська для різної худоби, тож у місті набували популярності пов'язані із скотарством ремесла, в тому числі, вироблення вовни. Вода з річок використовувалась на вовномийках і – брудна – зливалась назад. Рештки виробництва загальмовували рух води, що негативно позначалось на її якості [42, с. 113].

В центрі Харкова у другій половині XVII – першій половині XIX ст. регулярно відбувались ярмарки, які збільшували навантаження на річки відходами від худоби та коней. Влада намагалась з цим боротись, але закони, що вводили кару за засмічення вулиць, стосувались, передовсім, столиці [наприклад, 29]. Незважаючи на ситуацію, ще наприкінці XVIII ст. вода з річок вважалась питною [30, с. 54]. Однак, забруднення рік стало відчутною проблемою з 30-тих років XIX ст., коли місто вразила холера. У своїх спогадах Ф. О. Рейнгардт описує страшну епідемію цієї хвороби, що у 1830 р. забрала життя приблизно 1000 мешканців (при тодішньому населенні у 20 000) [40, с. 260]. Головними методами боротьби із хворобою залишались карантин та дезінфекція вапном тіл померлих. За спогадами Ф. О. Рейнгардта, лікарі достеменно не розуміли причин епідемії та методів лікування, а населення не довіряло їм, вважаючи, що звернувшись до лікарні, людина точно помре. Те, що холера – хвороба брудної води, стало зрозумілим набагато пізніше. У 1848 – 1849 роках від цієї хвороби у місті померло ще близько 1000 людей [8, с. 358]. 1860 року у розвідці про топографію міста читаємо, що вода з харківських рік непридатна як питна, причини цього – будівництво млинів, тому що вода дуже повільна і в ній розвивається багато водорості, крім того, згадується забрудненість води після миття вовни [16, с. 2]. Звичайно, ця інформація ніяк не позначилась на повсякденному житті місцевих мешканців та їх ставленні до рік – вони продовжували скидати власне сміття у воду, тож «падаль и навоз на улицах» були постійною проблемою [44, с. 183, 187]. Автор книги з інтригуючою назвою «Во что обходится городу Харькову его неблагоустройство» Шимков О. П. у 1881 році зазначав, що «помои из города не вывозятся, а вываливаются на улицы», звідки потрапляють у воду, і це стає причиною хвороб; дослідник підраховує, що за рік від «неблагоустроенности» помирає 700-800 харків'ян [54, с. 11-12]. Так само «негодною» характеризував воду путівник авторства І. О. Устінова [47, с. 3]. Крім того, сміття, яке городяни викидали у воду, вва-

жалось основним джерелом зміління рік. На початку ХХ ст. О. Гусев негативно описував стан місцевих водних ресурсів, зазначаючи, що вода з харківських рік вже не годиться до вживання навіть в якості технічної [12, с. 69]. З 80-тих років ХІХ ст. і до 1914 р. міські гласні постійно піднімають питання брудної води [11, 42, 46], називаючи воду в місті «гнилою» [46, с. 2].

Здавалосьь, що проблема була вирішена за радянської влади завдяки організації централізованого вивезення сміття на звалища. У зауваженнях щодо реконструкції міста 1930-того року передбачається, що всі індустріальні об'єкти будуть винесені на окраїни міста нижче за течією ріки [1, арк. 5], щоб покращити екологічний стан міста, хоча ріки продовжують сприйматись як інструменти для виведення води, що використовувалась для промислових об'єктів [1, арк. 31]. Тим не менш, ріки продовжили виконувати асептизаційну функцію, і мова йде не тільки про промисловість. Навіть у 80-тих роках ХХ ст. мешканка вулиці Краснодарської Людмила Пасько згадує, як її сусіди регулярно викидали сміття у річку Немишлю, яка протікала повз. Сучасні звіти комунальних служб після очищення ріки свідчать, що така ситуація актуальна і досі [51], тож харківські ріки виконують асептизаційну функцію вже понад 350 років.

Наступною розглянемо господарську функцію річок. Попри те, що Д. І. Багалій характеризує взагалі всі слобідські річки як мілкі, наприкінці ХVІІІ ст. на них розташовувалось 1537 млинів по всьому Харківському намісництву [30, с. 65], що, звичайно, впливало на річкову систему загалом. У самому Харкові знаходилося чотири млини, і автори кінця ХVІІІ ст. зазначали їх негативний вплив на природу міста [30, с. 54]. Впродовж наступних двох століть ріки міліють, але продовжували відігравати роль у господарстві. Розливаючись, вони утворювали левади та заболочені місцевості, де зростало достатньо трави для випасання худоби. Вище згадані вовномийки у південній частині міста також потребували достатньої кількості води, так само як гуральні і ковальні.

Раціоналістична концепція управління містом, що була популярна у ХІХ столітті, передбачала й управління його природними ресурсами максимально вигідно для людини, проте така політика часто призводила до погіршення їх стану. Рельєф міста та річища змінювались під впливом людської діяльності. У 1877 р. Ю. Морозов, порівнюючи сучасне йому місто із планом кінця ХVІІІ ст. зазначає, що мостіння та нівелювання вулиць поступово знищує природне розташування харківських річищ [27, с. 20]. Місто залежало від природних акторів, проте одразу ставлення

до природи передбачало не взаємодію, а «войовничче одомашнення». Навесні ріки розливались, що інколи мало катастрофічні наслідки. Повінь 1805 року призвела до збільшення в місті мурованих споруд, які зводились на місцях зруйнованих дерев'яних [6, с. 32], наступна сильна повінь сталась у 1853 році. У середині ХІХ ст. продовжуючи боротьбу з повенями губернатор С. О. Кокоскін наказав підняти рівень берегів рік [39, с. 156]. Проте тут важливо зазначити, що неправильне розуміння поняття благоустрою призвело до низки екологічних катаклізмів, які регулярно зупиняли нормальне функціонування міського життя. Класичною для містян став жарт «парадоксально, що Харкову не вистачає питної води й одночасно місто постійно страждає від потопів» [11, с. 12]. Забудова без врахування природних чинників призвела до того, що повені підтоплювали значні території [422, 3], а влітку навпаки повністю пересихали – як згадує Ю. Шевельов у мемуарах про своє дитинство, «Місто майже з'їло ті річечки...» [53, с. 37].

На початку ХХ ст. існувала ідея зробити річку Сіверський Донець придатною для перевезення великих вантажів, бо вважалося, що таке перевезення вийде дешевше, ніж залізницею [38, с. V]. Для цього розроблявся проект реконструкції не тільки Сіверського Дінця, але й його притоків, в тому числі, річок Уди, Харків та Лопань [38, с. 74]. Передбачалось поглиблення та розширення річищ. Проте ця ідея так і не була реалізована, що до певної міри ілюструє її утопічність.

Радянська влада продовжила використовувати водні об'єкти у господарських цілях, вважаючи кількість річок в місті достатньою для існуючих промислових об'єктів [1, арк. 4]. Паралельно міські планувальники почали розв'язувати проблему підтоплення окремих територій [55, с. 39]. На річці Лопань з'являється Лопанська (1933 р.) та Гончарівська (1934 р.) плотини метою яких було регулювати рівень води та забезпечувати промислові об'єкти технічною водою [20, с. 22, 44]. Передбачалось зробити ріки придатними для водного транспорту, облаштувати річковий порт на місці впадіння Лопані в Уди [55, с. 49]. Основними промисловими користувачами ріки Уди стали ТЕЦ-3 (збудована у 1934 р.) та ТЕЦ-5 (збудована у 1972 р., знаходиться за межами Харкова, в смт. Пісочин). На річці Харків було збудовано Журавлівський гідропарк (1962 р.). З 1932 по 1953 роки у місті існував водний трамвай. Створені за радянських часів промислові об'єкти досі використовуються без серйозного оновлення матеріально-технічної бази, в тому числі, без вдосконалення очисних споруд. Натомість ідея зробити харківські річки транспортними арте-

ріями майже не згадується.

Річки виконували також рекреаційну та естетичну функції. Взимку традиційними розвагами містян були катання на санчатах, проте справжній благоустрій прилеглих територій з метою зробити їх придатними для відпочинку розпочався лише на початку ХХ ст. На березі річки Лопань облаштували сквер. Тодішніми дослідниками-урбаністами річка сприймалась більше як частина паркової зони ніж як окремий об'єкт відпочинку [12, с. 69]. В радянські часи Харків мав три генеральних плани – 1925, 1930 та 1967 [20, с. 29, 34], які, в тому числі, вирішували питання благоустрою. Радянська влада поставила на меті зробити ріки повноводними та перетворити їх на справжню окрасу міста, вони сприймалися як елементи «оздоровлення и украшения» [4, с. 40, 49]. Статті 30-х років ХХ ст. показують, що річкова мережа серйозно враховується при планах реконструкції різних частин міста та визначає його санітарно-гігієнічні умови [19, 55]. Звучить ідея створення загальних рекреаційних зелених масивів вздовж рік з окремим водним об'єктом на Стрілці (місце злиття річок Харків та Лопань) [19, с. 59].

Радянський архітектор Фомін В. А. характеризує кількість зелених насаджень у 60-тих роках ХХ ст. як «недостатню» і описує проект озеленення берегів рік: значну кількість зелених насаджень планувалось висадити біля Журавлівського та Олексіївського гідропарків, на берегах Харкова, Лопані та Немишлі [49, с. 60]. Також бульвари вздовж Харкова та Лопані мали поєднати зелені насадження центру в один загальний зелений масив, який стане місцем «масового відпочинку городян» [49, с. 64, 66]. За тогочасними стандартами рекомендувалось облицювати набережні залізобетонними конструкціями, гранітом або м'якими породами каменю [4, с. 239], що для сучасного розуміння благоустрою виглядає неприйнятним. На річках Харків, Уди та Лопань облаштовано гідропарки та місця для відпочинку. Зараз найбільшою популярністю користується Журавлівський (р. Харків) та Олексіївський (р. Лопань) гідропарки, реконструйовано сквер Стрілка та набережні у центрі міста. Проте здійснені заходи не відповідають сучасним вимогам щодо ревіталізації.

Виконуючи всі ці функції впродовж століть, харківські ріки наразі перебувають у жахливому стані. Було проведено дослідження забрудненості річки Харків і вчені роблять висновок про досягнення межі у природокористуванні її водними ресурсами [26, с. 37]. Аналогічна ситуація склалася з Удами [64, р. 17]. Нетіч зникла з мапи міста, її долю скоро повторить Немишля. Виходячи з цього, дослідники мають зрозуміти сучасну

функцію річки у міському просторі з метою вивчення шляхів її відновлення. В організації сучасного міського простору харківські річки продовжують визначати обриси центру міста, залишаються важливими об'єктами рекреації та посідають важливе місце в ментальній мапі міста – містяни призначають зустрічі «на набережній», надають містичного значення «злиттю двох річок» та переповідають анекдоти про Нетіч яка не тече.

Для відповіді на питання щодо перспектив ревіталізації харківських річок звернемося до світового досвіду. Бразильський архітектор та автор роботи «Акупунктура міста» Жейме Лернер ввів поняття «аквапунктура міста», підкреслюючи, що водні ресурси приваблюють нас своєю естетикою та є дуже важливими елементами творення образу сучасного міста [25, с. 84]. Більше того, його «аквапунктура» – поняття, яке зображує місто як живий організм, а ріки – як обов'язкові елементи його системи життєзабезпечення, тож автор з сумом констатує «міста, що забетонували свої канали, засипали річки», чим спровокували справжні екологічні катастрофи [25, с. 86]. В якості позитивного прикладу автор наводить проект відновлення річки у місті Сеул (яка перетворилась на брудний струмок, була захована у колектор та перекрита автострадою, проте зараз очищується) [25, с. 25]. Американська дослідниця Лаура Дж. Мартін описує досвід реконструкції річки Провіденс після того, як мешканці заховали її до підземного колектору. На початку 90-тих років ХХ ст. річка була відроджена і стала не просто рекреаційним або туристичним об'єктом, а справжньою візитівкою міста [62, р. 245]. Тереза Хавранкова вважає найкращим варіантом облаштувати берега річок під паркові зони, проте при їх плануванні варто максимально зберігати або ж відновлювати природне середовище [61, р. 415]. Вона підкреслює, що водні об'єкти найбільше приваблюють містян у міському середовищі. Таким чином, на сучасному етапі акцентується увага на естетичній та рекреаційній функціях річок. Паралельно з цим відновлена річка у місті суттєво покращить його екологічний стан, що є напроцуд актуальним для постіндустріальних міст. Зважаючи на принцип симетрії в нашій міській мережі, без якісної роботи щодо відновлення річищ неможливо покращити стан урбанізованого середовища в цілому і варто припинити сприймати ріку як пасивний об'єкт, що тільки зазнає впливу людини.

Саме тому на сучасному етапі все частіше звучать вимоги про ревіталізацію рік у місті. Проте важливо зрозуміти, що ревіталізація, на думку сучасних дослідників, полягає не просто в очищенні річки, а передбачає повне прибирання

## Функції рік у міському просторі Харкова

Період	Функція	Харків	Лопань	Уди	Нетіч	Немишля
Друга половина XVII – середина XVIII ст.	Районування	Відділяє від центру Захарківську частину, сприяла розвитку інфраструктури окремого району.	Відділяє від центру Залопанську частину, сприяла розвитку інфраструктури окремого району.	Не входить у територію міста.	-	-
	Асенізація	Виведення побутових та промислових відходів з міста, а також відходів тваринництва.				
	Господарча	Можливість використовувати воду для господарчих та побутових потреб. На річках розташовувались млини.				
	Рекреаційна та естетична	Інформація відсутня.				
1764 – 1860 рр.	Районування	Залишається актуальним з попереднього періоду.	Залишається актуальним з попереднього періоду.	Окреслює район Холодної гори.	З'являються урбаноніми, пов'язані із назвою річки.	З'являються урбаноніми, пов'язані із назвою річки.
	Асенізація	Виведення побутових та промислових відходів з міста, а також відходів тваринництва. Внаслідок забрудненості води почались епідемії холери.				
	Господарча	Річки використовуються для потреб господарства, випасу худоби, але користь від них зменшується за рахунок руйнівних повеней.				
	Рекреаційна та естетична	Інформація відсутня. Проте виходячи з тогочасних описів річок навряд чи вони могли вважатись привабливими місцями відпочинку.				
1861 – 1917 рр.	Районування	Залишається актуальним з попереднього періоду.	Залишається актуальним з попереднього періоду.	Залишається актуальним з попереднього періоду.	В деяких джерелах «Занетеченская часть» згадується поряд із «Захарківською».	Залишається актуальним з попереднього періоду.
	Асенізація	Виведення побутових та промислових відходів з міста. Проблема забрудненості річок непокоїть громадських активістів та інтелектуальну еліту міста.				
	Господарча	Складається парадоксальна ситуація, коли змілілі ріки непридатні в якості джерела навіть технічної води, але їх сезонні розливи руйнують забудову. Ідеї використовувати харківські річки як транспортні артерії підтримки не знайшли.				
	Рекреаційна та естетична	Починається облаштування скверу на березі річки Лопань. Вважається, що в цей час Нетіч схована у підземний колектор.				
1917 – 1991 рр.	Районування	З адміністративного поділу зникає Захарківська частина, проте вона залишається актуальною для мемуарів.	З адміністративного поділу зникає Залопанська частина, проте вона залишається актуальною для мемуарів.	Урбаноніми відсутні.	Використовуються урбаноніми, які походять від назви річки.	Використовуються урбаноніми, які походять від назви річки.
	Асенізація	Внаслідок розбудови комунікацій для очищення води та систем вивезення сміття стан води мав би покращитись; проте стрімкий розвиток промисловості не відповідає можливостям щодо очищення води, а мешканці приватного сектору продовжують скидати сміття у річки.				
	Господарча	Водопостачання для промислових об'єктів та ТЕЦ. Для регулювання рівня води зводяться плотини.				
	Рекреаційна та естетична	Споруджено Журавлівський гідропарк. На місці злиття з	Споруджено Олексіївський лугопарк; рекреаційна зона у парку імені	1967 року обладнано Жовтневий гідропарк.	Річка знаходиться у підземному колекторі	Об'єкти відсутні



		Лопанню споруджено сквер Стрілка	Квітки-Основ'яненка; парку Мирський гай.			
Після 1991 р.	Районування	Урбаноніми відсутні; проте на честь Журавлівського гідропарку, що розташований на річці, названо район міста.	3 урбаноніми на сучасній мапі міста.	6 урбанонімів на сучасній мапі міста.	4 урбаноніми на сучасній мапі міста.	3 урбаноніми, включаючи назву адміністративного району
	Асенізація	Використовується для виведення промислових відходів; річки значно забруднені й побутовими відходами.				
	Господарча	Використовується для потреб промисловості міста та енергопостачання.				
	Рекреаційна та естетична	Реконструйовано Журавлівський гідропарк, сквер Стрілка.	Реконструйовано парк імені Квітки-Основ'яненка; Олексіївський лугопарк.	Удянський гідропарк, знаходиться у занедбаному стані.	Об'єкти відсутні.	Об'єкти відсутні.

дамб і повернення природного річища [9, с. 86, 23, с. 113]. Більше того, ріка може стати головним орієнтиром або «каркасом району» та надавати йому нових сенсів [9, с. 88], але для цього вона має розумітись як окремий простір, що живе за власними законами.

Зважаючи на роль, яку річки відігравали у районуванні міста Харкова, вони залишаються важливими компонентами міської ідентичності. Наразі облаштовані місця у сквері Стрілка та гідропарках стали популярними об'єктами відпочинку. Відповідно до бажання міста розвивати свій туристичний потенціал, після ревіталізації харківські річки могли б стати об'єктами, які б залучали туристів щонайменше зі всієї України. Однак, серед проблем, які необхідно вирішити – не тільки очищення рік від побутових відходів, але й регулювання промислових викидів. Крім того, відповідно до ідеї «повернути доіндустріальний стан рік» необхідно прибрати дамби, що перешкоджають руху води, а це, в свою чергу, протирічить сучасним економічним інтересам міста. Необхідно враховувати також методи залучення громади у процеси ревіталізації рік.

Тим не менш, ревіталізацію можна почати з окремої ділянки, як наприклад зробили у Луцьку. Здається, найактуальнішим зараз буде відродження річки Нетіча. Вона знаходиться в найгіршому стані з точки зору екології, наразі не несе жодної користі для промислових об'єктів, відкрита її частина відносно коротка – за вимірами на Google maps довжина потоку – 596 м. Річка протікає в історичному районі міста з дуже засушливим кліматом – таким чином, ревіталізація може стати початком ширшого проєкту реконструкції району, а по-друге покращить якість по-

вітря. І, зрештою, Нетеченський бульвар виправдає свою назву.

**Висновки.** Харківські ріки були та залишаються важливим елементом мережі, що творить міський простір. Адміністративний поділ, який вони визначали, поступово втратив свою актуальність, проте водні об'єкти все одно визначають структуру міста для планувальників. Господарська функція річок як джерела ресурсів та транспортних артерій, порівнюючи з минулим, не втратила свою актуальність. Рекреаційна функція виходить на перший план, проте можна сказати, що в сучасному місті вона виконується лише наполовину у вигляді окремо облаштованих набережних та гідропарків. Необхідна комплексна робота та ревіталізація за актуальними правилами. Все частіше лунають заклики, що наші міста мають бути перш за все красивими та привабливими для життя, тож необхідне глибоке дослідження водних ресурсів як естетичних об'єктів. Крім того, річки можуть значно покращити екологічний стан міст. Річ у тому, що клімат урбаністичного поселення в умовах знищення зелених насаджень є дуже засушливим, тож зони відпочинку біля річок є важливою необхідністю для городян та можуть збільшити рівень зволоженості навколишнього району. В цьому контексті актуальним є ревіталізація ріки Нетіча у промисловому районі Москалівка. Відповідно до історичної епохи змінюється підхід містян до функцій, що їх виконує ріка. Історичний досвід допомагає нам зрозуміти помилки у підходах до міського природокористування. Сучасним трендом є більш виважене ставлення до річок, таким чином, сподіваємось на актуалізацію ідеї відновлення річок міста Харків найближчим часом.

## Література

1. *Общие установки перепланирования и реконструкции Харькова*. – Державний архів Харківської області, ф. 1296, оп. 1, спр. 326, 50 арк, 1930 р.
2. [Подвиг Оренбургского казачьего полка] // Южный край. – 1893. – 11 марта.
3. [Разлив реки] // Русское слово. – 1908. – 31 марта.
4. Бабуров В. В. *Планировка и застройка городов* / В. В. Бабуров, П. И. Гольденберг, Л. С. Залеская. – Москва: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1956. – 346 с.
5. Багалій Д. І. *Вибрані праці у 6 т., т. 5. Історія колонізації Слобідської України, ч. 1* / Д. І. Багалій. – Харків: Вид-во НУА, 2007. – 576 с.
6. Багалей Д.И. *История города Харькова за 250 лет его существования. Том I* / Д. И. Багалей, Д. П. Миллер. – Харьков: Паровая типография и литография М. Зильберберг и С-вья, 1905. – 569 с.
7. Багалей Д.И. *История города Харькова за 250 лет его существования. Том II* / Д. И. Багалей, Д. П. Миллер. – Харьков: Паровая типография и литография М. Зильберберг и С-вья, 1912. – 986 с.
8. Багалей Д. И. *Стихийные бедствия и борьба с ними в Харьковском крае (XVII – XIX ст.)* / Д. И. Багалей. // Харьковский сборник. Литературно-научное приложение к Харьковскому календарю 1893 г. – Харьков, 1892. – С. 356-386.
9. Бахмайер Т. *Город и река лицом к лицу* / Т. Бахмайер, М. Вольфарт, Д. Гонсалес, Е. Каракулова, Р. Малинович, С. Фадель // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. Т. 7, № 2. – Иркутск, 2017. – С. 84-90.
10. Боярин М. В. *Екологічний стан річки Сапалаївка в умовах урбосистеми м. Луцьк*. / М. В. Боярин, В. У. Волошин, О. О. Цюць // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Екологія», (23), 2020. – С. 21-29. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-02>
11. Гордеев Е. *Харьковское городское самоуправление, нужды его и недостатки, состояние общественного хозяйства и промыслов города Харькова* / Е. Гордеев. – Харьков: Типография Харьковского губернского правления, 1884. – 29 с.
12. Гусев А. Н. *Историко-справочный путеводитель. Харьков, его прошлое и настоящее в рисунках и описаниях. 1902. (репринтное издание)* / А. Н. Гусев. – Харьков: Издательство САГА, 2010. – 274 с.
13. *Додаток до Програми ревіталізації малих річок та інших водойм міста Запоріжжя на 2018-2028 роки. Заходи з виконання Програми ревіталізації малих річок та інших водойм міста Запоріжжя на 2018-2028 роки.* // Режим доступу: [https://zp.gov.ua/upload/content/o\\_1cmia1r5011lrpsq1choranafk5p.pdf](https://zp.gov.ua/upload/content/o_1cmia1r5011lrpsq1choranafk5p.pdf).
14. Дьяченко И. Т. *Улицы и площади Харькова (Из истории города)*. 2-е. изд. / И. Т. Дьяченко. – Х., 1966. – 280 с.
15. *Екологи б'ють на сполох через санітарний стан малих річок у Запоріжжі* / Режим доступу: <https://suspilne.media/65286-ekologi-but-na-spoloh-cerez-sanitarnij-stan-malih-ricok-u-zaporizzi/>
16. *Записка о топографии города Харькова*. – Харьков, 1860. – 6 с.
17. *Інформація про стан виконання робіт щодо очищення русла річки Сапалаївка та Теремнівських ставків* // Режим доступу: <https://www.lutskrada.gov.ua/documents/informaciya-pro-stan-vykonannya-robit-shchodo-ochyshchennya-rusla-richky-sapalayivka-ta/download/11117>
18. Карпец К. М. *Оцінка стану малих річок території Харкова на прикладі р. Харків*. / К. М. Карпец // Режим доступу: <http://sn-geography.cfuv.ru/wp-content/uploads/2016/11/020karpets.pdf>
19. Касьянов О. М. *Реконструкция центра Харькова*. / О. М. Касьянов // Архитектура СССР № 2, 1934. – С. 52-59.
20. Касьянов О. М. *Харьков. Архитектурно-исторический очерк*. / О. М. Касьянов. – Киев, 1955. – 187 с.
21. Клименко В. Г. *Гідрологічний режим річки Уда та використання води за водогосподарськими роками (у межах Харківської області)* / В. Г. Клименко, Д. С. Балаклійський // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Геологія. Географія. Екологія», (46, 2017). – С. 86-91. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2017-46-12>
22. *Концепції розвитку громадського простору в місті Києві*. // Режим доступу: <http://surl.li/kxec>
23. Крамер Д. А. *Европейский опыт ревитализации малых рек* / Д. А. Крамер, М. Неруда, И. О. Тихонова // Научный диалог, Выпуск № 2. – Екатеринбург, 2012. – С. 112-119.
24. Крупей К.С. *Очистка стічних вод заводу АТ «МоторСіч» мікроорганізмами, що іммобілізовані на штучних носіях*. / К. С. Крупей, А. О. Скокова, О. Ф. Рильський, К. О. Домбровський, П. І. Гвоздяк // Питання біоіндикації та екології. – 2014. – Вип. 19, № 2. – С. 224 – 236.
25. Лернер Ж. *Акупунктура міста*. / Ж. Лернер. – Видавництво Старого Лева, 2016. – 160 с.
26. Максименко Н. В. *Оценка состояния водной экосистемы р. Харьков средствами ландшафтного планирования* / Л. В. Зинковская, Н. В. Максименко. // Людина та довкілля. Проблеми неоекології. № 1-2. – Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2014. – С. 35-44.
27. Морозов Ю. *О Харьковском топографическом описании наместничества 1787*. / Ю. О. Морозов. // Харьковская старина, 1878. – С. 1-4.
28. Нестерова О. В. *Проблеми басейнів малих річок України*. / О. В. Нестерова, В. В. Шарков, О. А. Журавльова, Я. С. Нестеров // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, 2019, №5. – С. 257 – 278. <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.221019.68.524>
29. *О наблюдении чистоты в Москве и о наказании за выбрасывание сору и всякого помету на улицы и переулки. 1684* // Полное собрание законов Российской империи. Собрание (1649 – 1825) : Том 3 (1689 – 1699) : Законы (1328 - 1739). – С. 613. – Режим доступу: [http://nlr.ru/e-res/law\\_r/content.html](http://nlr.ru/e-res/law_r/content.html).

30. *Описи Харківського намісництва кінця XVIIIст. / Упоряд. В. О. Пірко, О. І. Гуржій. – Київ : Наукова думка, 1991. – 224 с.*
31. *Памятная книжка Харьковской губернии на 1863 год // Сост. Я. Голяховский. – Харьков : Университетская типография, 1863. – 340 с.*
32. Пат. 116058 Україна, а 2016 09939 Спосіб біологічного очищення поверхневих вод / П. І. Гвоздяк, А. І. Капарник, К. О. Домбровський, О. Ф. Рильський, О. С. Болгова (Україна) ; заявл. 28.09.2016, 25.01.2018, Бюл. № 2.
33. Петиція. Ревіталізація річки Полтва. // Режим доступу: <https://e-dem.in.ua/lviv-or/Petition/View/141>.
34. Про затвердження Загальнодержавної цільової програми розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року : Закон України від 24 травня 2012 року № 4836-VI // Відомості Верховної Ради (ВВР). – 2013, № 17. – С. 146
35. Про затвердження Плану заходів з реалізації Стратегії розвитку міста Запоріжжя до 2028 року на 2018-2020 роки : Рішення міської ради №30 від 30.05.2018 // Режим доступу: <https://zp.gov.ua/uk/documents/item/30699>
36. Про затвердження програми розвитку водного господарства Миколаївської області на 2019 – 2021 рр. : Рішення Миколаївської обласної ради, №35 від 21.12.2018 // Режим доступу: <https://www.mk-oblrada.gov.ua/UserFiles/decree/15474669585c3c78cec1997.pdf>
37. Програма ревіталізації малих річок - розпил коштів з екофондів // Режим доступу: <https://zpfakty.net.ua/politics/programa-revitalizatsii-malih-richok---rozpil-koshtiv-z-ekofondiv>
38. Пузыревский Н. П. Материалы для описания русских рек и истории улучшения их судоходных условий. Выпуск 23 / Н. П. Пузыревский. – Санкт-Петербург, 1910. – 315 с.
39. Рейнгардт Ф. О. Кокошкин Сергей Александрович, Харьковский генерал-губернатор. / Ф. О. Рейнгардт. // Литературно-художественное приложение к «Харьковскому календарю» на 1887 год. Выпуск 1. – Харьков, 1887. – С. 155-161.
40. Рейнгардт Ф. О. Холера в Харькове в 1830 г. / Ф. О. Рейнгардт. // Литературно-художественное приложение к «Харьковскому календарю» на 1887 год. Выпуск 1. – Харьков, 1887. – С. 259-260.
41. Річка-полонянка Полтва мстить львів'янам смородом за байдужість. // Режим доступу: [https://zik.ua/news/2011/09/26/richkapolonyanka\\_poltva\\_mstyt\\_lvivyanam\\_smorodom\\_za\\_bayduzhist\\_310886](https://zik.ua/news/2011/09/26/richkapolonyanka_poltva_mstyt_lvivyanam_smorodom_za_bayduzhist_310886).
42. Современное хозяйство города Харькова (1910 – 1913). Вып.1. Харьковское городское общественное управление. – Харьков: Просвещение, 1914. – 303 с.
43. Современное хозяйство города Харькова. (1910 – 1913). Вып.2. Харьковское городское общественное управление. – Харьков: Просвещение, 1914. – 199 с.
44. Страница из истории благоустройства города Харькова. // Литературно-художественное приложение к «Харьковскому календарю» на 1887 год. Выпуск 1. – Харьков, 1887. – С. 182-198.
45. Стратегія розвитку міста Харкова до 2020 р. / Додаток до рішення 10 сесії Харківської міської ради 7 скликання «Про затвердження Стратегії розвитку міста Харкова до 2020 року» від 21.12.2016 № \_\_\_\_/16 // Режим доступу: <https://www.city.kharkov.ua/assets/files/docs/zakon/strategy2411.pdf>
46. Сумцов Н. Доклад на заседании Харьковской городской думы 19 октября 1906 года / Н. Сумцов. – Харьков, 1906. – 5 с.
47. Устинов И. А. Описание г. Харькова. Репринт. воспр. изд.: Х., Типо-Литография И.В. Попова, 1881. / И. А. Устинов. – Харків: САГА, 2007. – 350 с.
48. Федоровский А. С. Природа и население Слободской Украины. Харьковская губерния : Пособие по родооведению / А.С. Федоровский, Д.К. Педаев, В.Г. Аверин. – Харьков: Издательство «Союз» Харьковского Кредитного Союза Кооперативов, 1918. – 335 с.
49. Фомин В. А. Харьков строится. Социально-экономические и культурно-бытовые застройки города / В. А. Фомин. – Харьков: Прапор, 1967. – 118 с.
50. Холера и меры личной предосторожности. // Харьковский сборник. Литературно-научное приложение к Харьковскому календарю 1892 г. – Харьков, 1892. – С. 1.
51. Что обнаружили на дне реки Харьков и Лопань коммунальщики во время очистки // Режим доступу: <https://mykharkov.info/news/chto-obnaruzhili-na-dne-reki-harkov-i-lopan-kommunalshhiki-vo-vremya-ochistki-93949.html>
52. Шаманський С. Й. Науково-технологічні засади удосконалення екологічно безпечних процесів водовідведення : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня док. техн. наук / С. Й. Шаманський. – Київ, 2019. – 43 с.
53. Шевельов Ю. Я – мене – мені... (і довкруги) : Спогади. 1. В Україні. / Ю. Шевельов. – Харків : Видавець Олександр Савчук, 2017. – 728 с.
54. Шимков А. П. Во что обходится городу Харькову его неблагоустройство. / А. П. Шимков. – Харків : Типография М.Ф. Зильберберга, 1881. – 22 с.
55. Эйгорн А.Л. Социалистический Харьков. / А. Л. Эйгорн // Архитектура СССР № 2, 1934. – С. 38-51.
56. Alokshina T. Rivers revitalization: approaches to decision / T. Alokshina // The International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF 2020), Kryvyi Rih, Ukraine. – Web of Conferences, Volume 166, id.01010 // Режим доступу: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020E3SWC.16601010A/abstract> <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016601010>
57. Castonguay S. Urban Rivers: Remaking Rivers, Cities, and Space in Europe and North America / S. Castonguay, M. Evenden. – Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh Press, 2012. – IX, 302 p.

58. Elmqvist Th. *History of Urbanization and the Missing Ecology*. / Th. Elmqvist, Ch. L. Redman, S. Barthel, R. Costanza // *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities*. – Springer, Dordrecht, 2013. – P. 13-30.
59. *Existing Urban River Rehabilitation Schemes (Work package 2). Final Report* / J. Schanze, A. Olfert, J. T. Tourbier, I. Gersdorf, Th. Schwager. – Leibniz Institute of Ecological and Regional Development, Dresden, Dresden University of Technology. – June 2004. – 124 p.
60. Francis A. R. *Positioning urban rivers within urban ecology*. / A. R. Francis. // *Urban Ecosystems, volume 15*. – Springer, Routledge, 2012. – P. 285–291.
61. Havránková, T. *The potential of river in urban spaces*. / T. Havránková // *European Scientific Journal, ESJ*. – 10(10), 2014. – P. 414-421
62. Martin L. J. *Reclamation and reconciliation: Land-use history, ecosystem services, and the Providence River*. / L. J. Martin // *Urban Ecosystems, volume 13*. – Springer, Routledge, 2010. – P. 243-253.
63. Rybka A. *The river as an element of Urban Composition*. / A. Rybka, R. Mazur // *E3S Web of Conferences 45, 00077 (2018)*. – p. 1-8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184500077>
64. Zhuk V. *Ecological state of the Udy river* / V. Zhuk, S. Artemiev, O. Rybalova, A. Malko, A. Bondarenko, L. Chub, V. Semkiv. // *Norwegian Journal of development of the international study*. № 23. Vol. 1. – Oslo, 2018. – P. 14-18.

Надійшла до редакції 6 серпня 2020 р.

Прийнята 22 квітня 2021 р.

UDC 930.2:351.791(477.54-25)"165/202"

**Victoriia Nesterenko,**

PhD (History), Ukrainian study department, V. N. Karazin Kharkiv National University,  
6 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,

e-mail: [viktoria.nesterenko@karazin.ua](mailto:viktoria.nesterenko@karazin.ua), <https://orcid.org/0000-0001-5773-5014>

## THE RIVERS IN KHARKIV URBAN SPACE: THE HISTORY OF INTERACTION BETWEEN NATURE AND SOCIETY (SECOND HALF OF THE XVIIth - EARLY XXIth CENTURY)

**Formulation of the problem.** This article is devoted to the critical topic of modern Urban studies –the river’s role in urban space. There are many projects of the river’s revitalization in the USA, South Korea, and Europe. These projects improve the condition of climate and ecology in cities and renew rivers have become attractive places for citizens and tourists. In Ukraine, such projects are not so popular, but during the last years, in several cities NGOs, which try to attract attention to this topic, have appeared. Nevertheless, the revitalization project must begin from the deep investigation into the history and natural condition of the river. Therefore, this article’s object is the interaction between the Rivers and the Society in the Kharkiv urban space during the second half of 17th – the early 21st century.

The topic was divided to five periods. The first was the second half of 17 – the middle of 18, when the city was the fortress on The Wild Field’s border. Next – 1764 – 1860, when Kharkiv was the typical administrative center of The Russian Empire. Then 1860 – 1917, when the city’s impetuous development dramatically accelerated anthropogenic pressure on the urban space. The fourth – 1917 – 1991 when the town was under Soviet Urban policy. The last – the modern period of Ukrainian Independence, when the revitalization projects have become the actual.

**Review of previous publications and studies.** Kharkiv blue space’s condition was the important theme for historians, ecologists, architects and politics during the 19th – 21st centuries. The global subjects of the river in urban space were started to discuss in Europe in 19th century because of the influence to the river by the industry leading to ecological problems. During the last ten years, L. J. Martin attracted the attention to the history and revitalization of the Providence river (USA). S. Castonguay, M. Evenden published the profound research about the river in urban space. Jaime Lerner determined the place of river in his research «Acupuntura Urbana» Ukrainian ecologists continue to study the level of pollution in Udy, Kharkiv and Lopan.

**Methods.** Using the original Urban Studies methods we considered the rivers as a part of the symmetry urban network. It means that the river is an active actor of the urban connection and can influence the other elements of the net.

**Results.** During the five periods of our theme, river were played the next roles in urban space – sewage, zoning, economic, recreational, and aesthetic. The meaning and scale of these functions were changed according to the historical period. Unregulated use of water sources leads to the pollution of rivers, the spread of infection, and the floods.

**Scientific novelty and practical significance.** The revitalization process starts from the profound cross-disciplinary research about the place of rivers in Kharkiv Urban space. In this article we identified the periodization of the problem, the primary function of the rivers, and the changing of their roles during the period. The next step must be the project of revitalizing the rivers as the cultural object based of their history.

**Keywords:** revitalization, river, Kharkiv, ecosystem services, anthropogenic pressure, urban space, urban planning concepts, landscaping.

### References

1. *Obschie ustanovki pereplanirovaniya i rekonstruksii Harkova* [The general installations of replanning and reconstruction of Kharkiv]. *Derzhavnyi arhiv Harkivskoyi oblasti, f. 1296, op. 1, spr. 326, 50 ark, 1930 r.* [in Russian]
2. [Podvyh Orenburshkoho kazacheho polka] [The feat of the Orenburg Cossack regiment]. *Yuzhnyi krai, 11 marta 1893 h.* [in Russian]
3. [Razlyv reky] [The river flood]. *Russkoe slovo 31 marta 1908.* [in Russian]
4. Baburov, V. V. (1956). *Planyrovka y zastroika horodov.* [The city planning and development]. Moskva: *Hosudarstvennoe yzdatelstvo lyteratury po stroytelstvu y arkhytekture*, 346. [in Russian]
5. Bahalii, D. I. (2007). *Vybrani pratsi u 6 t., t. 5. Istoriia kolonizatsii Slobidskoi Ukrainy, ch. 1.* [The selected works in 6 Volumes, Vol. 5. History of colonization of Sloboda Ukraine, Vol. 1.]. Kharkiv : *Vyd-vo NUA*, 576. [in Ukrainian].
6. Bahalii, D. I. (1905). *Istoriya horoda Kharkova za 250 let ego sushchestvovaniya. Tom I.* [The history of the city of Kharkov for 250 years of its existence.]. Kharkov: *Parovaia typohrafiya y lytohrafiya M. Zylberberh y S-via*, 569. [in Russian]
7. Bahalii, D. I. (1912). *Istoriya horoda Kharkova za 250 let ego sushchestvovaniya. Tom II.* [The history of the city of Kharkov for 250 years of its existence.]. Kharkov: *Parovaia typohrafiya y lytohrafiya M. Zylberberh y S-via*, 986. [in Russian]
8. Bahalii, D. I. (1892). *Stykhynye bedstvyia i borba s nymy v Kharkovskom krae (XVII – XIX st.).* [Natural disasters and the fight against them in the Kharkiv region (17 – 19 century)]. *Kharkovskiy sbornyk. Lyteraturno-nauchnoe prylozhenye k Kharkovskomu kalendariu, 1893 h.* Kharkov, 356-386. [in Ukrainian]
9. Bakhmaier, T. (2017). *Horod y reka lytsom k lytsu.* [City and River: Face to Face]. *Izvestyia vuzov. Investytsii. Stroytelstvo. Nedvyzhymost.* 7, 2, Irkutsk, 84-90. [in Russian]
10. Boiaryn M. V. (2020). *Ekolohichni stan richky Sapalaivka v umovakh urbosystemy m. Lutsk.* [The ecological condition of the Sapalayivka river in the conditions of Lutsk urbosystem]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V. N. Karazina seriia «Ekolohiia»,* (23), 21-29. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-02> [in Ukrainian]
11. Hordeenko, E. (1884) *Kharkovskoe horodskoe samoupravlenye, nuzhdy ego i nedostatky, sostoianie obshchestvennogo khoziaistva i promyslov horoda Kharkova.* [Kharkiv city self-government, its needs and shortcomings, the state of public economy and crafts of the city of Kharkiv]. Kharkov: *Typohrafiya Kharkovskoho hubernskoho pravleniia*, 29. [in Russian]
12. Husev, A. N. (2010) *Istoriko-spravochnyi putevodytel. Kharkov, ego proshloe i nastoiashchee v rysunkakh i opysaniakh* [Historical and reference guide. Kharkiv, its past and present in drawings and descriptions]. Kharkov: *Izdatelstvo SAHA*, 274. [in Russian]
13. *Dodatok do Prohramy revitalizatsii malykh richok ta inshykh vodoim mista Zaporizhzhia na 2018-2028 roky. Zakhody z vykonannya Prohramy revitalizatsii malykh richok ta inshykh vodoim mista Zaporizhzhia na 2018-2028 roky.* [The appendix to the Program of revitalization of small rivers and other reservoirs of the city of Zaporozhye for 2018-2028. Measures to implement the Program of revitalization of small rivers and other reservoirs of the city of Zaporozhye for 2018-2028]. Available at: <https://zp.gov.ua/upload/content/olcmia1r5011lrpsq1choranafk5p.pdf> [in Ukrainian]
14. Diachenko, Y. T. (1966) *Ulitsy i ploshchadi Kharkova (iz istorii horoda).* [The streets and the squares of Kharkiv (from the history of the city)] Kharkov, 280. [in Russian]
15. *Ekolohy biut na spolokh cherez sanitarniy stan malykh richok u Zaporizhzi* [Environmentalists are sounding the alarm over the sanitation of small rivers in Zaporizhia] Available at: <https://suspilne.media/65286-ekologi-but-na-spoloh-cerez-sanitarnij-stan-malih-ricok-u-zaporizzi/> [in Ukrainian].
16. *Zapiska o topografii horoda Kharkova.* [The note on the topography of the City of Kharkov]. (1860). Kharkov, 6. [in Russian]
17. *Informatsiia pro stan vykonannya robit shchodo ochyshchennia rusla richky Sapalaivka ta Teremnivskykh stavkiv* [The information on the status of works on cleaning the Sapalaivka riverbed and Teremnivsky ponds]. Available at: <https://www.lutskrada.gov.ua/documents/informaciya-pro-stan-vykonannya-robit-shchodo-ochyshchennya-rusla-richky-sapalayivka-ta/download/11117> [in Ukrainian]
18. Karpets K. M. (2008). *Otsinka stanu malykh richok terytorii Kharkova na prykladi r. Kharkiv.* [Estimation of the state of the rivers of territory of Kharkov (there is Kharkov on an example)]. Available at: <http://sn-geography.cfuv.ru/wp-content/uploads/2016/11/020karpets.pdf> [in Ukrainian]
19. Kasianov, O. M. (1934). *Rekonstruksiia tsentra Kharkova* [Reconstruction of the center of Kharkov]. *Arkhytektura SSSR*, 2, 52-59. [in Russian]
20. Kasianov, O. M. (1955). *Kharkov. Arkhitekturno-istorycheskii ocherk.* Kharkiv. [Architectural and historical essay]. Kyev, 187. [in Russian]

21. Klymenko V. H. (2017). Hidrolohichniy rezhym richky Uda ta vykorystannia vody za vodohospodarskymy rokamy (u mezhakh Kharkivskoi oblasti). [Hydrological regime of the Uda River and water use by water management years (within Kharkiv region)]. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 46, 86-91. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2017-46-12> [in Ukrainian]
22. Kontseptsii Rozvytku Hromadskoho Prostoru V Misti Kyievi. [Concepts of public space development in the city of Kyiv]. Available at: <http://surl.li/kxec> [in Ukrainian]
23. Kramer, D. A. (2012). Evropeiskii opyt revitalizatsii malykh rek. [European Experience of small rivers revitalization]. *Nauchnyi dialog, Vypusk, 2. Ekaterinburh*, 112-119. [in Russian]
24. Krupiei K.S. (2014) Ochyстка stichnykh vod zavodu AT «MotorSich» mikroorhanizmany, shcho immobilizovani na sztuchnykh nosiyakh. [Wastewater Treatment of Plant is JSC "Motor Sich" with Microorganisms Immobilized on Artificial Fiber] *Pytannia bioindykatsii ta ekolohii*, 19, 2, 224 – 236. [in Ukrainian]
25. Lerner, Zh. (2016). Akupunktura mista. [Acupuncture urbana]. *Vydavnytstvo Staroho Leva*, 160. [in Ukrainian]
26. Maksymenko, N. V., Zynkovskaia, L. V. (2014). Otsenka sostoianiia vodnoi ekosistemy r. Kharkov sredstvami landshaftnoho planirovaniia. [Evaluation of the Aquatic Ecosystem River Kharkiv Means of Landscape Planning]. *Liudyna ta dokillia. Problemy neokolohii. № 1-2. Kharkivskiy natsionalnyi universytet imeni V. N. Karazina*, 35-44. [in Ukrainian]
27. Morozov, Yu. (1878). O Kharkovskom topograficheskom opysanii namestnichestva 1787. [About the Kharkiv topographic description of the governorship 1787]. *Kharkovskaia staryna*, 1-4. [in Russian]
28. Nesterova O. V., Sharkov V. V., Zhuravlova O. A., Nesterov Ya. S. (2019) Problemy basiniv malykh richok Ukrainy. [Problems of small river basins]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*, 5, 257 – 278. <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.221019.68.524> [in Ukrainian]
29. O nabludenii chistoty v Moskve i o nakazanii za vybrasyvanie soru i vsiakoho pometu na ulitsy i pereulki. 1684 [About the observation of cleanliness in Moscow and about the punishment for throwing garbage and all kinds of garbage on the streets and alleys. 1684]. *Polnoe sobranie zakonov Rossiiskoi imperii. Sobranie (1649 – 1825). Tom 3 (1689 – 1699)*, 613. Dostup [http://nlr.ru/e-res/law\\_r/content.html](http://nlr.ru/e-res/law_r/content.html) [in Russian]
30. Pirko, V. O. (1991). Opysy Kharkivskoho namisnystva kintsia XVIII st. [Descriptions of Kharkiv province late XVIII century]. *Kyiv: Naukova dumka*, 224. [in Ukrainian]
31. Pamiatnaia knizhka Kharkovskoi hubernii na 1863 hod. [Commemorative book of the Kharkov province for 1863] *Kharkov: Universitetskaia tipohrafiia*, 340. [in Russian]
32. Pat. 116058 Ukraina, a 2016 09939 Sposib biolohichnoho ochyshchennia poverkhnevnykh vod (2018) [Patent 116058 Ukraine, a 2016 09939 Method of biological surface water treatment]. P. I. Hvozdiak, A. I. Kaparnyk, K. O. Dombrovskiy, O. F. Rylskiy, O. S. Bolhova (Ukraina) ; zaiavl. 28.09.2016, 25.01.2018, Biul. 2. [in Ukrainian]
33. Petytsiia. Revitalizatsiia richky Poltva. [Petition. Revitalization of the river Poltva]. Available at: <https://e-dem.in.ua/lviv-or/Petition/View/141> [in Ukrainian]
34. Pro zatverdzhennia Zahalnoderzhavnoi tsilovoi prohramy rozvytku vodnoho gospodarstva ta ekolohichnoho ozdorovlennia baseinu richky Dnipro na period do 2021 roku : Zakon Ukrainy vid 24 travnia 2012 roku № 4836-VI. [About the statement of the National target program for the development of water management and ecological rehabilitation of the Dnieper river basin for the period up to 2021: Law of Ukraine of May 24, 2012 № 4836-VI] *Vidomosti Verkhovnoi Rady (VVR)*. 2013, 17, 146. [in Ukrainian]
35. Pro zatverdzhennia Planu zakhodiv z realizatsii Stratehii rozvytku mista Zaporizhzhia do 2028 roku na 2018-2020 roky : Rishennia miskoi rady №30 vid 30.05.2018. [About the statement of the Plan of actions for implementation of Strategy of development of the city of Zaporozhye till 2028 for 2018-2020: Decision of city council №30 from 05/30/2018]. Available at: <https://zp.gov.ua/uk/documents/item/30699> [in Ukrainian]
36. Pro zatverdzhennia prohramy rozvytku vodnoho gospodarstva Mykolaivskoi oblasti na 2019 – 2021 rr. : Rishennia Mykolaivskoi oblasnoi rady, №35 vid 21.12.2018. [About the statement of the program of development of water management of the Nikolaev area for 2019 - 2021: the Decision of the Nikolaev regional council, №35 from 12/21/2018]. Available at: <https://www.mk-oblrada.gov.ua/UserFiles/decree/15474669585c3c78cec1997.pdf> [in Ukrainian]
37. Prohrama revitalizatsii malykh richok - rozpyl koshtiv z ekofondiv. [Small rivers revitalization program - cutting of funds from eco-funds]. Available at: <https://zp-fakty.net.ua/politics/prohrama-revitalizatsii-malih-richok---rozpyl-koshtiv-z-ekofondiv> [in Ukrainian]
38. Puzyrevskii, N. P. (1910) Materialy dlia opisaniia russkikh rek I istorii uluchsheniia ikh sudokhodnykh uslovii. Vypusk 23. [Materials for describing Russian rivers and the history of improving their navigation conditions. Edition 23]. *Sankt-Peterburh*, 315. [in Russian]
39. Reinhardt, F. O. (1887) Kokoshkin Serhei Aleksandrovich, Kharkovskii heneral-hubernator. [Kokoshkin Sergey Alexandrovich, Kharkiv Governor-General]. *Literaturno-khudozhestvennoe prilozhenye k «Kharkovskomu kalendariu» na 1887 hod. Vypusk 1. Kharkov*, 155-161. [in Russian]
40. Reinhardt, F. O. (1887). Kholera v Kharkove v 1830 h. [Cholera in Kharkov in 1830]. *Literaturno-khudozhestvennoe prilozhenye k «Kharkovskomu kalendariu» na 1887 hod. Vypusk 1. Kharkov*, 259-260.
41. Richka-polonianka Poltva mstyt lvivianam smorodom za baiduzhist. [The enslave river Poltva takes revenge on the people of Lviv for their indifference.] // Available at: [https://zik.ua/news/2011/09/26/richkapolonnyanka\\_poltva\\_mstyt\\_lvivyanam\\_smorodom\\_za\\_bayduzhist\\_310886](https://zik.ua/news/2011/09/26/richkapolonnyanka_poltva_mstyt_lvivyanam_smorodom_za_bayduzhist_310886). [in Ukrainian]

42. *Sovremennoe khoziaistvo horoda Kharkova (1910 – 1913) (1914). Vyp.1. [The modern economy of the city of Kharkov (1910 - 1913). Issue 1]. Kharkovskoe horodskoe obshchestvennoe upravlenie. Kharkov: Prosveshchenye, 303. [in Russian]*
43. *Sovremennoe khoziaistvo horoda Kharkova. (1910 – 1913) (1914). Vyp.2. [The modern economy of the city of Kharkov (1910 - 1913). Issue 1]. Kharkovskoe horodskoe obshchestvennoe upravlenie. Kharkov: Prosveshchenye, 199. [in Russian]*
44. *Stranitsa iz istorii blahoustroistva horoda Kharkova (1887). [A page from the history of the improvement of the city of Kharkov]. Literaturno-khudozhestvennoe prilozhenie k «Kharkovskomu kalendariu» na 1887 hod. Vypusk 1. Kharkov, 182-198. [in Russian]*
45. *Stratehiia rozvytku mista Kharkova do 2020 r. [Kharkiv City Development Strategy until 2020]. Dodatok do rishenia 10 sessii Kharkivskoi miskoi rady 7 slykannia «Pro zatverdzhennia Stratehii rozvytku mista Kharkova do 2020 roku» vid 21.12.2016 № \_\_\_\_/16 // Available at: <https://www.city.kharkov.ua/assets/files/docs/zakon/strategy2411.pdf> [in Ukrainian]*
46. *Sumtsov, N. (1906). Doklad na zasedanii Kharkovskoi horodskoi dumy 19 oktiabria 1906 hoda. [The report on the meeting of the Kharkiv horodskoy Duma 19 October 1906 the Year]. Kharkov, 5. [in Russian]*
47. *Ustynov, Y. A. (2007) Opisanie h. Kharkova. [The Description of Kharkiv]. Reprint. vospr. izd.: Kh., Typo-Litohrafiia Y.V.Popova, 1881. Kharkiv: SAHA, 350. [in Russian]*
48. *Fedorovskii, A. S. (1918). Priroda i naselenie Slobodskoi Ukrainy. Kharkovskaia huberniia : Posobie po rodinovedeniiu. [Nature and population of Sloboda Ukraine. Kharkiv province]. Kharkov: Izdatelstvo «Soiuz» Kharkovskoho Kreditnoho Soiuzu Kooperativov, 335. (in Russian)*
49. *Fomin, V. A. (1967) Kharkov stroitsia. Sotsialno-ekonomicheskie i kulturno-bytovye zastroiky horoda. [Kharkiv is under construction. Socio-economic and cultural and household buildings of the city]. Kharkov: Prapor, 118. [in Russian]*
50. *Kholera i mery lichnoi predostorozhnosti (1892). [Cholera and personal precautions]. Kharkovskii sbornik. Literaturno-nauchnoe prilozhenie k Kharkovskomu kalendariu 1892 h. Kharkov, 1. [in Russian]*
51. *Chto obnaruzhyly na dne reky Kharkov i Lopan kommunalshchiki vo vremia ochistki [What did the communal workers find at the bottom of the Kharkiv and Lopan rivers during the cleaning?] Available at: <https://mykharkov.info/news/chto-obnaruzhili-na-dne-reki-harkov-i-lopan-kommunalshhiki-vo-vremya-ochistki-93949.html> [in Russian]*
52. *Shamanskyi S. Y. (2019). Naukovo-tekhnologichni zasady udoskonalennia ekolohichno bezpechnykh protsesiv vodo-vidvedennia : avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia dok. tekhn. nauk. [Scientific and technological foundations of improvement of ecological safety processes of sewerage]. Kyiv. 43. [in Ukrainian]*
53. *Shevelov, Yu. (2017). Ya – mene – meni... (i dovruihu) [I - me - mine... (and around)] : Spohady. 1. V Ukraini. Kharkiv : Vydavets Oleksandr Savchuk, 728. [in Ukrainian]*
54. *Shymkov, A. P. (1881). Vo chto obkhoditsia horodu Kharkovu eho neblahoustroistvo. [What is the cost of the city of Kharkov its non-improvement]. Kharkiv : Typohrafiia M.F. Zylberberha, 22. [in Russian]*
55. *Einhorn, A.L. (1934). Sotsialisticheskii Kharkov. [Socialist Kharkov]. Arkhitektura SSSR, 2, 38-51. [in Russian]*
56. *Alokhina T. Rivers revitalization: approaches to decision / T. Alokhina // The International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF 2020), Kryvyi Rih, Ukraine. – Web of Conferences, Volume 166, id.01010 // Резюме доповіді: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020E3SWC.16601010A/abstract>, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016601010>*
57. *Castonguay, S. (2012). Urban Rivers: Remaking Rivers, Cities, and Space in Europe and North America. Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh Press, 302.*
58. *Elmqvist, Th. (2013). History of Urbanization and the Missing Ecology. Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities. Springer, Dordrecht, 13-30.*
59. *Existing Urban River Rehabilitation Schemes (Work package 2). Final Report (2004). J. Schanze, A. Olfert, J. T. Tourbier, I. Gersdorf, Th. Schwager. Leibniz Institute of Ecological and Regional Development, Dresden, Dresden University of Technology, 124.*
60. *Francis, A. R. (2012). Positioning urban rivers within urban ecology. Urban Ecosystems, volume 15. Springer, Routledge, 285–291.*
61. *Havránková, T. (2014). The potential of river in urban spaces. European Scientific Journal, ESJ. 10(10), 414-421*
62. *Martin, L. J. (2010). Reclamation and reconciliation: Land-use history, ecosystem services, and the Providence River. Urban Ecosystems, volume 13. Springer, Routledge, 243-253.*
63. *Rybka A. (2018) The river as an element of Urban Composition. E3S Web of Conferences 45, 00077, 1-8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184500077>*
64. *Zhuk, V, Artemiev S., Rybalova O., Malko A., Bondarenko A., Chub L., Semkiv V. (2018). Ecological state of the Udy river. Norwegian Journal of development of the international study, 23, 1. Oslo, 14-18.*

UDC 911.3:314.7

**Victor Anatoliyovych Parenyuk,**

PhD student, Department of Economic and Social Geography,  
Taras Shevchenko National University of Kyiv, 64/13 Volodymyrska St., Kyiv, 01601, Ukraine,  
e-mail: [parenvic@i.ua](mailto:parenvic@i.ua), <https://orcid.org/0000-0001-7098-6977>;

**Nataliia Ivanivna Provotar,**

PhD (Geography), Associate Professor of Department of Economic and Social Geography,  
Taras Shevchenko National University of Kyiv,  
e-mail: [provotarnat@ukr.net](mailto:provotarnat@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-2211-6509>;

**Kostyantyn Volodymyrovych Mezentsev,**

DSc (Geography), Head of Department of Economic and Social Geography,  
Taras Shevchenko National University of Kyiv,  
e-mail: [mezentsev@knu.ua](mailto:mezentsev@knu.ua), <https://orcid.org/0000-0003-1974-7860>

## YOUTH MIGRATION IN UKRAINE: REGIONAL DIMENSION

**В. А. Паренюк, Н. І. Провотар, К. В. Мезенцев. МІГРАЦІЇ МОЛОДІ В УКРАЇНІ: РЕГІОНАЛЬНИЙ ВИМІР.** Метою даного дослідження є аналіз регіональної диференціації міграційних потоків молоді та проведення типізації регіонів України за особливостями міграційної поведінки молоді. У роботі використано кореляційний аналіз, кластерний аналіз та побудовано карти самоорганізації Кохонена. Аналіз просторових відмін міграції молоді у міській та сільській місцевості свідчить про різноспрямованість міграційних потоків. Виявлено, що міграції молоді пов'язані з рівнем безробіття та інвестиційною привабливістю регіонів. Підтверджено припущення, що на міграції молоді із сільської місцевості впливають не тільки економічні чинники, але й відсутність перспектив отримання вищої освіти, робочих місць та «культура міграцій». Аналіз зв'язку між доходами населення та масштабами виїзду молоді свідчить, що наявні окремі ознаки оберненої U-подібної залежності. В цілому результати дослідження підтвердили, що на регіональному рівні економічні фактори (безробіття, інвестиції, а також доходи) впливають на міграції молоді в Україні, проте їх вплив необхідно розглядати в більш широкому контексті місцевої специфіки людського капіталу та зміни життєвого етапу молоді. За результатами кластерного аналізу та побудови карт самоорганізації Кохонена виділено п'ять кластерів регіонів за подібністю показників міграції молоді. Аналіз міграції молоді у 2002-2019 роках дозволив ідентифікувати шість моделей динаміки (монотонного скорочення, стрибкоподібної динаміки з тенденцією до скорочення, стрибкоподібної динаміки без змін, стрибкоподібної динаміки з тенденцією до зростання, монотонного зростання, відсутності змін). Виділені кластери регіонів та моделі динаміки стали основою для ідентифікації типів регіонів, які можуть бути орієнтирами при формуванні регіональної міграційної політики в Україні.

**Ключові слова:** молодь, міграції, регіон, фактори міграції, типізація, Україна.

**В. А. Паренюк, Н. И. Провотар, К. В. Мезенцев. МИГРАЦИИ МОЛОДЕЖИ В УКРАИНЕ: РЕГИОНАЛЬНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ.** Целью данного исследования является анализ региональной дифференциации миграционных потоков молодежи и типизация регионов Украины по особенностям миграционного поведения молодежи. В работе использованы корреляционный анализ, кластерный анализ и построены карты самоорганизации Кохонена. Анализ пространственных различий миграции молодежи в городской и сельской местности свидетельствует о разнонаправленности миграционных потоков. Выявлено, что миграции молодежи связаны с уровнем безработицы и инвестиционной привлекательностью регионов. Подтверждено предположение, что на миграции молодежи из сельской местности влияют не только экономические факторы, но и отсутствие перспектив получения третичного образования, рабочих мест и «культура миграций». Анализ связи между доходами населения и масштабам выезда молодежи свидетельствует, что есть отдельные признаки перевернутой U-образной зависимости. В целом результаты исследования подтвердили, что на региональном уровне экономические факторы (безработица, инвестиции, а также доходы) влияют на миграции молодежи в Украине, однако их влияние необходимо рассматривать в более широком контексте местной специфики человеческого капитала и изменения жизненного этапа молодежи. На основе результатов кластерного анализа и построения карт самоорганизации Кохонена выделено пять кластеров регионов по сходству показателей миграции молодежи. Анализ миграции молодежи в 2002-2019 годах позволил идентифицировать шесть моделей динамики (монотонного сокращения, скачкообразной динамики с тенденцией к сокращению, скачкообразной динамика без изменений, скачкообразной динамики с тенденцией к росту, монотонного роста, отсутствия изменений). Выделенные кластеры регионов и модели динамики стали основой для идентификации типов регионов, которые могут быть ориентирами при формировании региональной миграционной политики в Украине.

**Ключевые слова:** молодежь, миграции, регион, факторы миграций, типизация, Украина.

**Research problem introduction.** Modern migration is characterized by multidirectional nature and waviness as a response to various political and socio-economic challenges. Simultaneously, its distinct features are a steady increase in volumes and changing structure, as well as diversity, complicated interrelation, and ambiguity of underlying factors. To some extent, the important part of migration flows is young people, both in terms of the sheer numbers involved and because they often act as

trendsetters in mobility flows [1]. The migration intentions of youth can determine the future development of countries, regions, and individual communities. Young people are more likely to migrate since they have relatively more time for career growth and can therefore benefit more from moving to a new place. Besides, young people have invested significantly less (particularly in the form of taxes) in their country of origin than the older population, which influences their migration decisions [2].



However, attachment to the place of residence or limited financial means may, on the contrary, prevent them from migrating [3, 4, 5].

The migration activity of young people worldwide tends to increase from 2.9% in 1990 to 3.6% in 2019 [6]. In 2019, the youth net migration in Ukraine was positive and amounted to 1.6 people per thousand inhabitants, but with significant differences across regions. Thus, in Kyiv, the net migration was 19.2 per 1,000 inhabitants, while in Kirovohrad region, it was -6.3%. This actualise the study of regional differentiation of youth migration in Ukraine in terms of factors, composition, and directions of migration flows. Moreover, Ukraine is mainly a supplier of educational migrants to other countries due to increased access to education abroad (mainly in EU countries bordering Ukraine), expanded international cooperation with Ukrainian universities, and deepened economic relations with the EU [7].

Youth are most inclined to make radical migration decisions, and at the same time, it is of the highest importance for accelerating the economic development of any country [8]. Young people see migration as a source of new social experience in education, work, and culture. Additionally, it is an opportunity to become an integral part of the economic and socio-cultural environment of the recipient country, invest their human capital successfully, and become a part of a society that is attractive in terms of values and civil rights [9]. Dominated by educated youth, modern migration is a distinct manifestation of globalization problems and differentiation of countries by socio-economic and political criteria [10].

In recent years, there has been a diversification of youth migration, the transformation of patterns, and blurring of the borders between different types of mobility, including in Ukraine [11]. Youth migration has considerable demographic and socio-economic consequences [12, 13, 14, 15]. Even the growth of investment attractiveness and financial capacity of the population does not guarantee a weakening of the migration outflow of young people from Ukraine and especially from some regions [16]. The solution to this problem may lie in the implementation of effective regional strategies by local authorities to address youth unemployment, on the one hand, and reducing the migration outflow, and taking into account the liquid nature of modern youth migration, on the other.

**Identification of the research gap.** A considerable number of studies on various issues of youth migration cover the economic, social, and psychological aspects of the problem. However, the spatial one remains insufficiently discussed, particularly studying youth migration in terms of regional differ-

entiation of migration flows, determining their factors, trends, and regional problems connected with youth migration.

**The purpose.** Given the above, this study aims to analyze the regional differentiation of young people's migration flows and to typify the regions of Ukraine according to the characteristics of the migratory behavior of the youth. Accordingly, the research questions are as follows. First, what is the relationship between economic indicators (income, unemployment, investment) and youth migration at the regional level? Second, how do the regions of Ukraine differ in the scale, structure, and dynamics of youth migration flows? Third, what types of regions can be identified, and can they be considered the ones to determine the young people's intention to migrate?

**Literature review.** Migration is most often motivated by the search for a better life [17]. However, economic factors such as the income can be both a stimulus and a deterrent. Young people are leaving regions and countries to improve living conditions, but lack of financial means may prevent them from migrating, especially to other countries. Although an increase in wealth may augment the migration possibilities, it may simultaneously decrease the migration propensity by raising opportunity costs [5].

The results of empirical studies are ambiguous, with some concluding that people with higher incomes are more likely to migrate [3], while others have found that young people from areas with high income per capita are less likely to migrate [18]. At the macro level, the relation between well-being and migration is characterized by an inverse U-shape. The same dependence can be assumed at the regional level. Thus, the relation between wealth and migration may differ across regions, take different forms in different areas [5].

A number of studies show that the critical factors of youth migration are the situation in the labor market and education, lack of employment, and educational opportunities [3, 19, 20]. Education levels could shape mobility patterns, while youth undertake migration to foster educational attainment [21], more skilled and educated youth are more prone to migration [3, 19, 20], and tertiary level graduates are generally more mobile than the rest of the population [22]. The availability and diversity of tertiary education facilities influenced the out-migration intention [4].

Along with economic factors, local amenities (e.g. public services, security, transport infrastructure, housing, etc.) play an important role in migration decisions [5]. In particular, in the post-Soviet space the marginalization of some rural areas accompanied by rural population decrease and closing

down of many vital social structures (schools, pharmacies, libraries, local pubs) can cause youth escape and thus be perceived as a “loss of a new generation” [23]. As a result, a pronounced migration pattern is formed when youth migrate from rural to urban areas, and from less-developed to more-developed regions [21, 24]. Metropolitan centers in the more developed regions have become the main destination for youth migration internally and more developed countries internationally, particularly for economic and educational reasons [4, 20]. Consequently, it would impact on ‘youth urbanization’ as well as disparity of human capital development between the least and the most developed regions in the country [20].

Therefore, it is suggested that improving local conditions may reduce the impact of the push factor and reduce the outflow of young people. Instead, some studies do not support this assumption. For instance, Drozdowski [4] concludes that an increase in educational facilities would not necessarily increase retention rates. Roth and Hartnett [25] do not find that benefitting from the youth outreach centers in the Central American region significantly impacts youths' intentions to migrate. Thus, the link between youth migration and local conditions needs to be seen in a broader context, considering income levels and employment in the regions. Moreover, the latest research shows that youth migration cannot be explained solely by push-pull factors. Even potentially effective measures aimed at deterring young people from migrating can have minimal impact.

Large numbers of out-migration may generate a “culture of migration” and as a result, migration becomes a normal thing to do, whereas staying at home is perceived as a failure [26]. The out-migration of an older sibling and own previous travel experiences also may increase the propensity for young people to intend to leave [4].

Engbersen [27] talks about the new, liquid nature of migration, when migrants choose individualized migration paths and look for new places to work and live, using open borders and labor markets, and focusing entirely on their own careers. Liquid migration is usually individualized, temporary, multidirectional, legal and unpredictable [27]. The prominent manifestation of liquid migration is student migration.

Thus, migration of young people in a generalized view can be considered as a consequence of economic push factors (income, employment). Scrutinizing migration allows us to see the impact of underinvestment in the regions, and as a consequence, the lack or inadequate quality of local amenities. Moreover, modern trends of individualized youth decisions and liquid migration, which is also characterized by a ‘double transition’ in post-socialist

space, when the post-socialist transition took place in parallel with the transition from youth to adulthood are superimposed on this [28, 29]. Such migration trends can be manifested in many ways in different regions.

Among the main reasons for labor and educational migration of young people from Ukraine are most often called inefficient youth policy, relatively high unemployment among young people, the inability to work in their professional field, the desire to obtain a European diploma, and unstable socio-economic and political situations [30, 31]. The insufficient supply of professional job opportunities in Ukraine can be partly explained by the large number of higher education institutions, low level of awareness about the actual state and dynamics of the labor market and demand for specific professions, as well as the choice of ‘prestigious’ specialties without real employment opportunities after graduation. That is why young people make up a third of the unemployed in Ukraine [32].

Youth migration is primarily caused by uneven regional development in terms of welfare, income, social stability, availability of various amenities, quality of education, provision of information and communication technologies, etc. [9]. In recent decades, there has been a significant regional differentiation of economic factors of unemployment and youth migration due to the concentration of the highest incomes, investments, and business activity in several regions with a high level of socio-economic development. The widening of the financial gap between regions and the strengthening of negative socio-economic processes in regions that receive little investment in fixed assets for the development of innovative sectors of the economy, job creation will keep encouraging young people to seek better living and employment conditions beyond such regions, in metropolises or abroad [16].

**Data and methods.** This study is based on the data from the State Statistics Service of Ukraine. In particular, we used the indicators of youth migration in general, youth migration in urban settlements and rural areas, male and female, external youth migration, as well as economic indicators (average monthly wages, disposable income and expenditure per capita, the employment rate of the entire population and youth employment rate, unemployment rate of the entire population and young people and fixed capital investment per capita) showing individual regions of Ukraine.

Pearson's correlation coefficients were calculated to assess the relationship between youth migration and economic indicators (average monthly wages, disposable income and expenditures per capita, employment and unemployment rates of the total population and young people, and fixed capital

investment per capita). To prevent skewed indicators distribution, the city of Kyiv was excluded from the analysis (because it differs significantly from other regions by selected indicators). We conducted the cluster analysis (using Statistica analytics software package, Ward's method) and constructed Kohonen self-organizing maps (using Deductor Studio analytics software package) to study the regional differentiation of youth migration according to the techniques described in [33]. Based on the analysis of spatial and temporal (2002-2019) trends of youth migration, we developed an empirical typification of Ukrainian regions in terms of youth migration behavior.

**Main findings: results and discussion.**

The spatial differences in the youth migration were analyzed in two sections: in urban settlements and rural areas. A significant share of youth migration flow is interregional and is directed from rural to urban areas. Thus, the balance of youth migration in urban settlements is positive, and it amounted to 4.8 people per thousand inhabitants in 2019. Rural areas are unattractive for young people in Ukraine. They are characterized by a negative migration balance, except for Kyiv region with large-scale housing construction in the suburbs, being mainly focused on meeting the housing needs of young people. The most intensive migration of young people from rural areas is typical for Kirovohrad region (the net migration of young people from rural areas in 2019 was -14.6‰), Sumy (-11.5‰), Mykolaiiv (-11.1‰) and Chernihiv (-10.0‰) regions.

The highest positive values (more than seven people per thousand inhabitants) of youth migration balance are typical for those regions whose centers

are million-plus cities such as city of Kyiv, Kyiv, Kharkiv, and Odesa regions. In 2019, 17 Ukraine's regions are characterized by a negative balance of youth migration.

The interstate youth net migration in Ukraine is positive. In 2019, it amounted to 1.5 people per thousand inhabitants, primarily due to several regions like Kyiv city, Odesa and Kharkiv regions which are the most attractive for migrants. The border regions like Volyn, Rivne, Luhansk, and Kher-son have negative values.

We calculated the correlation coefficients to determine how deeply economic factors influence the migration of the population aged 15-34. The chosen economic indicators were the average monthly salary, disposable income and expenditure per capita, employment rate, youth employment rate, unemployment rate, youth unemployment rate, and fixed capital investment per capita. The impact on youth migration was assessed by the indicators of net migration as a whole, separately in urban and rural areas, male and female, as well as external migration of young people.

According to the results of the analysis (Table 1), the following conclusions can be drawn. Youth migration is most closely linked to the unemployment rates of the population and young people in particular, as well as to the investment attractiveness of the regions, which indirectly demonstrates the prospects for their development. The relationship between youth migration and unemployment is moderately inverse ( $r=-0.66$  and  $r=-0.59$  for the whole population and youth unemployment, respectively). It is moderately direct ( $r=0.63$ ) between migration and fixed capital investment per capita.

Table 1

The correlation coefficients between economic indicators and youth migration

	Average monthly salary	Income per capita	Expenditures per capita	Fixed capital investment per capita	Unemployment rate	Youth unemployment rate
Youth net migration, total	0,40*	0,42	0,61	0,63	-0,66	-0,59
urban	0,21	0,42	0,63	0,53	-0,72	-0,66
rural	0,35	0,18	0,38	0,52	-0,42	-0,3
male	0,38	0,45	0,65	0,56	-0,67	-0,66
female	0,4	0,39	0,57	0,65	-0,64	-0,52
external	0,22	0,46	0,54	0,28	-0,54	-0,6

Source: State Statistics Service of Ukraine: <http://www.ukrstat.gov.ua>

\* Marked correlations are significant at  $p < 0,05$

Youth migration in urban areas of Ukraine is also most closely linked to unemployment. The connection is less vivid in rural areas. This confirms the assumption that migration of young people from rural areas is influenced not only by economic factors, but also by the lack of prospects for tertiary education, jobs, and 'migration culture', when the decision to stay is seen as a failure [26]. The connection between migration and the investment attractiveness of the region does not depend on the type of area.

The link between migration and unemployment is closer for young men and weaker for young women, while the connection with investment attractiveness is more vivid for young women. To some extent, this can be explained by the daily practices typical of the latter. The highest volumes of net out-migration of young men are typical for Ukraine's regions with the high level of unemployment and harsh competition for vacancies.

External migration of young people is most closely linked to the corresponding unemployment rate. The weak link to the investment volume can be explained by the fact that the decision on external migration is made without considering the investment potential and investment activities in the regions.

The links between youth migration and the average monthly salary and income per capita are weak. Their levels in Ukraine's regions are low compared to the countries attractive for migration or some metropolises of Ukraine, primarily Kyiv.

The analysis of the relation between income and the out-migration scale (Fig. 1) shows some signs of an inverse U-shape curve [5]. Thus, in the regions with the lowest income level, the scale of youth migration is relatively low, and some regions with average income are characterized by the largest outflow of youth. However, the city of Kyiv, with the highest level of income, has an average level of

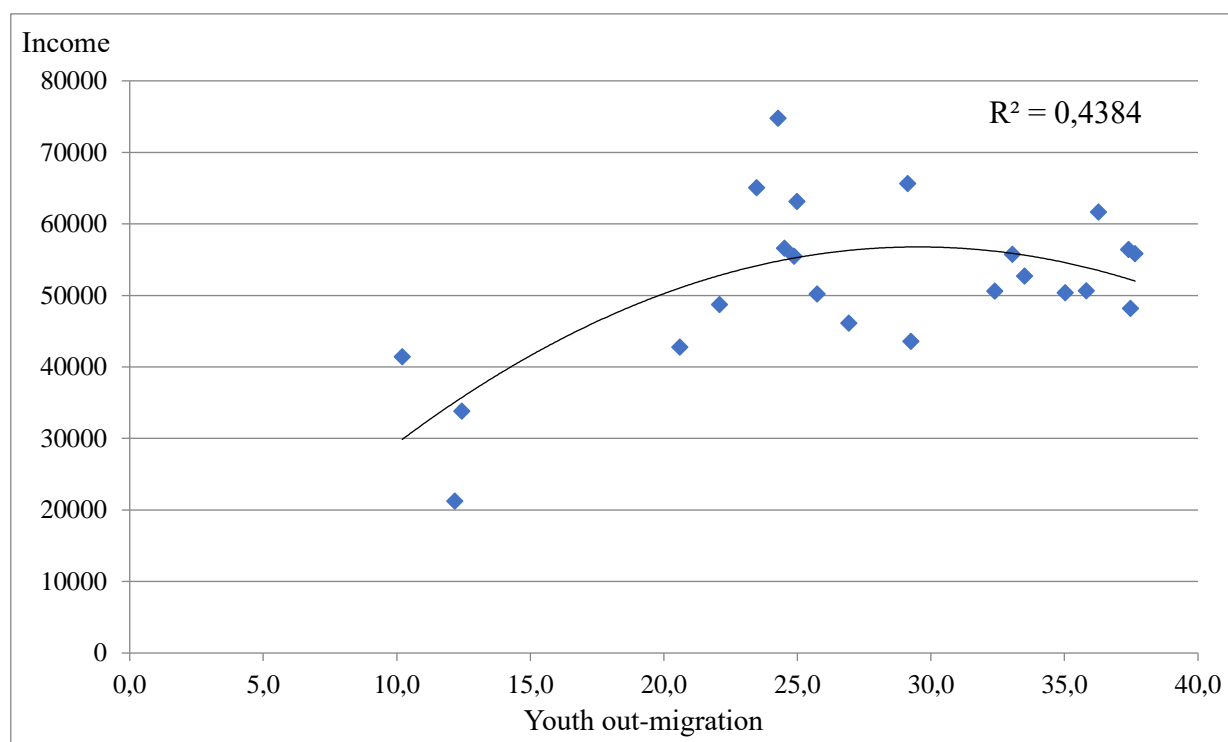


Fig. 1. Relation between youth out-migration (per 1,000 young people) and incomes (per capita) (excluding city of Kyiv). Source: State Statistics Service of Ukraine. <http://www.ukrstat.gov.ua>

migration outflow.

The grouping of regions according to the indicators of youth migration was carried out using cluster analysis (Fig. 2) and construction of Kohonen self-organizing maps (Fig. 3, Table 2).

The analysis of the tree diagram of clustering according to the indicators of youth net migration in general, in urban and rural areas, by sex and external migration of youth gives grounds to identify five clusters of regions of Ukraine. The composition of the clusters is as follows. *Cluster 1*: the city of Kyiv

and Kyiv region; *cluster 2*: Kharkiv and Odesa regions; *cluster 3*: four western regions – Lviv, Chernivtsi, Ivano-Frankivsk and Zakarpattia regions; *cluster 4*: Chernihiv, Luhansk, Donetsk, Cherkasy, Zhytomyr, Kherson, Rivne and Volyn regions; *cluster 5*: Ternopil, Khmelnytsky, Poltava, Zaporizhia, Dnipropetrovsk, Kirovohrad, Sumy, Mykolaiv and Vinnytsia regions.

The composition of the groups of regions by the similarity of youth migration indicators determined on the basis of Kohonen self-organizing maps

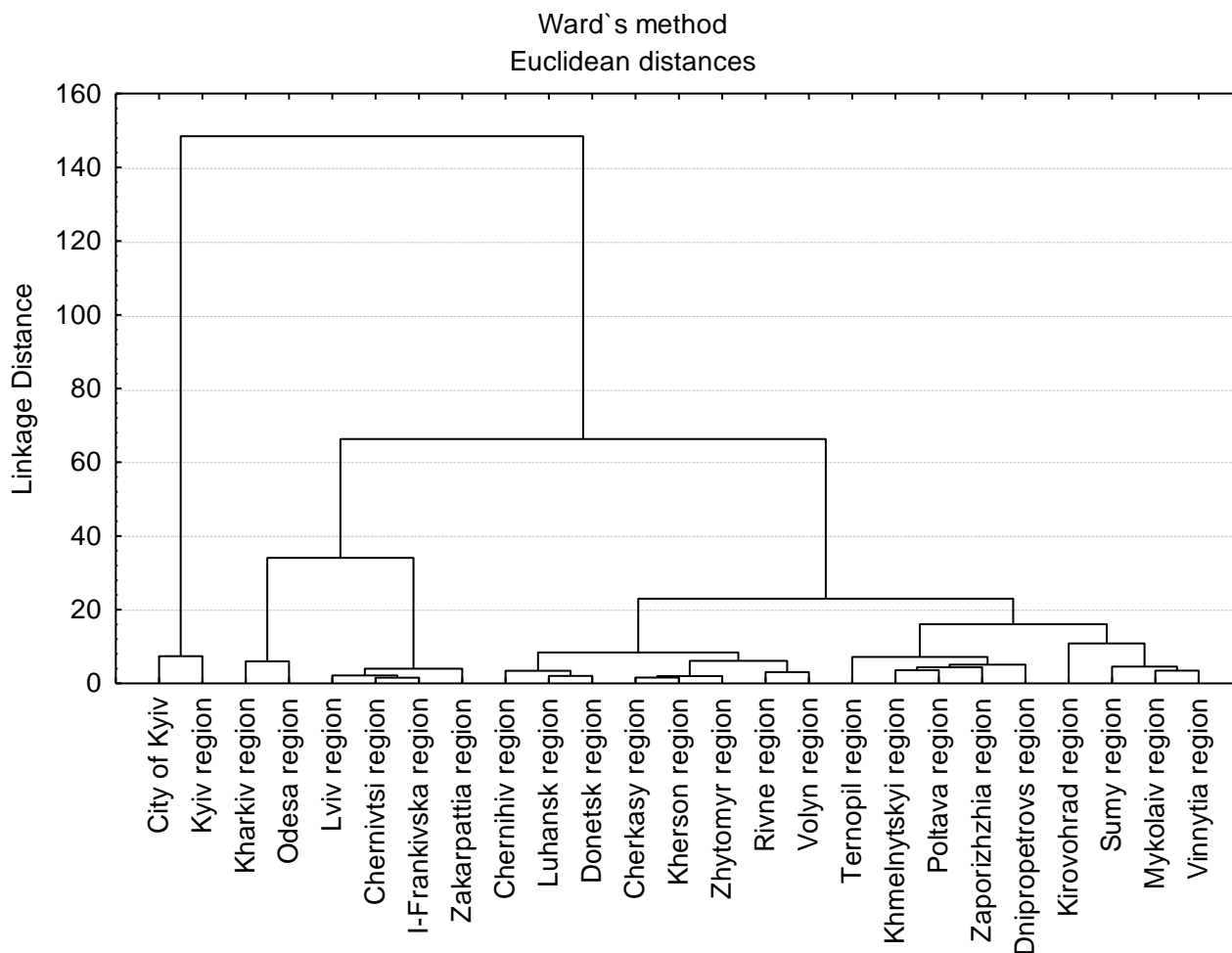


Fig. 2: Clustering of Ukraine's regions by youth migration indicators (Tree diagram)

differs somewhat. *Cluster 1 (1 on the map)*: in addition to the city of Kyiv and Kyiv region, it also includes Kharkiv and Odesa regions, with million-plus cities as regional centers; *cluster 2 (0)*: Ivano-Frankivsk, Lviv, Khmelnytsky and Chernivtsi regions; *cluster 3 (2)*: Zakarpattia and Ternopil regions; *cluster 4 (3)*: Dnipropetrovsk, Zaporizhzhia, Poltava, Mykolaiv, Vinnytsia and Sumy regions; *cluster 5 (4)*: Donetsk, Luhansk, Zhytomyr, Cherkasy, Kherson, Volyn, Rivne, Chernihiv and Kirovohrad regions.

The characteristics of clusters of Ukrainian regions identified on the basis of Kohonen self-organizing maps by similarity of youth migration indicators (Fig. 3, 4) are presented in Table 3.

The regional differentiation of youth migration can be explained by the location, the presence of an attractive metropolis, specialization, and level of economic development, demographic trends, labor market tensions, regional development strategy and their investment attractiveness, the presence of well-known and prestigious higher education institutions that draw young people from other regions, the scale of economy-class housing construction for young people and families, etc.

The analysis of the youth net migration dynamics in the Ukraine's regions in 2002-2019 made it possible to conclude that there were no significant changes in the migration balance in the vast majority of regions. The only exception is Kyiv region, where the migration balance was negative in 2002-2006. However, it has been growing steadily since 2007.

The regional analysis of youth migration in 2002-2019 allowed to identify six models of youth migration dynamics by the indicators of immigration, out-migration, net migration, and external migration balance (Table 4):

- monotonically decreasing
- abrupt dynamics with a tendency to decrease
- abrupt dynamics without changes (in 2019 compared to 2002)
- abrupt dynamics with a tendency to increase
- monotonically increasing
- without changes.

Based on the interpretation of clusters identified upon obtaining the results of cluster analysis (five clusters), constructed Kohonen self-organizing maps (five clusters) and models of youth migration

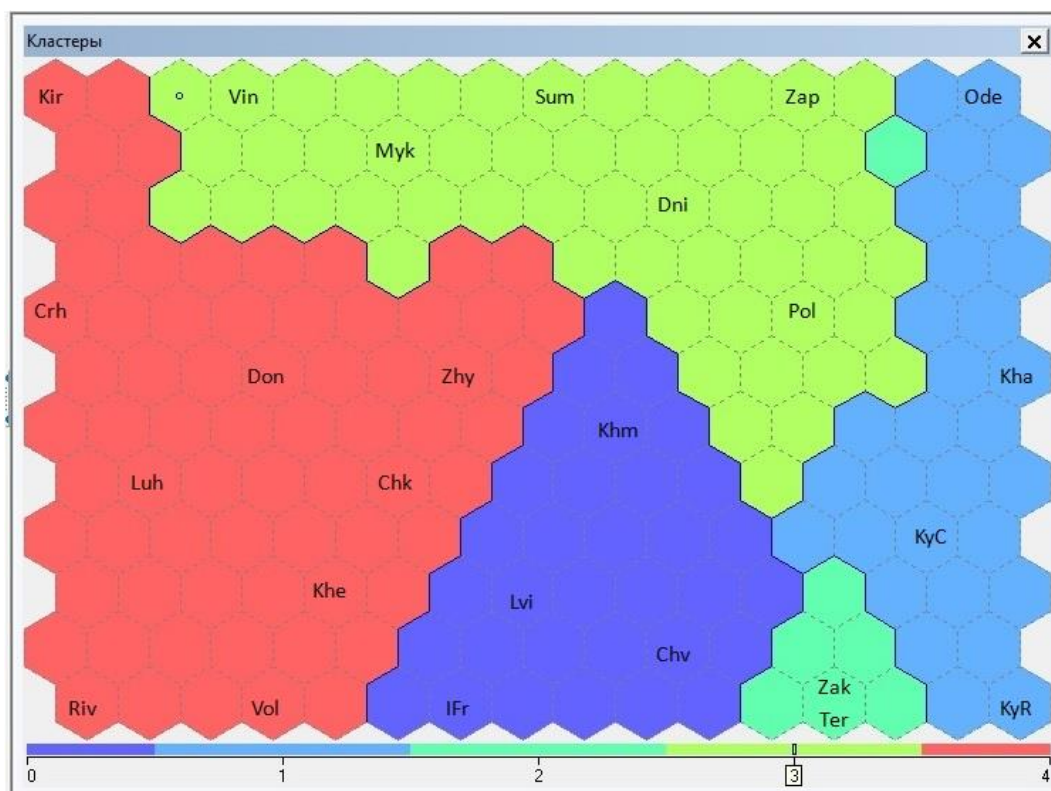


Fig. 3. Grouping of Ukraine's regions by youth migration indicators (Kohonen self-organizing map)

Table 2

Ukraine's regions clustering results (by indicators of youth migration, Kohonen self-organizing maps)

Region	Cluster	Cell	Distance to cluster center
I-Frankivsk	0	182	0,091
Khmeknytskyi	0	105	0,146
Lviv	0	151	0,104
Chernivtsi	0	170	0,058
Kyiv (region)	1	191	0,678
Kyiv (city)	1	142	0,437
Odesa	1	15	0,476
Kharkiv	1	95	0,559
Zakarpattia	2	188	0,077
Ternopil	2	188	0,0766
Vinnytsia	3	3	0,181
Dnipropetrovsk	3	42	0,097
Zaporizhzhia	3	12	0,136
Mykolaiv	3	21	0,080
Poltava	3	76	0,149
Sumy	3	8	0,193
Volyn	4	179	0,167
Donetsk	4	83	0,088
Zhytomyr	4	86	0,145
Kirovohrad	4	0	0,265
Luhansk	4	113	0,131
Rivne	4	176	0,184
Kherson	4	148	0,071
Cherkasy	4	117	0,070
Chernihiv	4	64	0,090

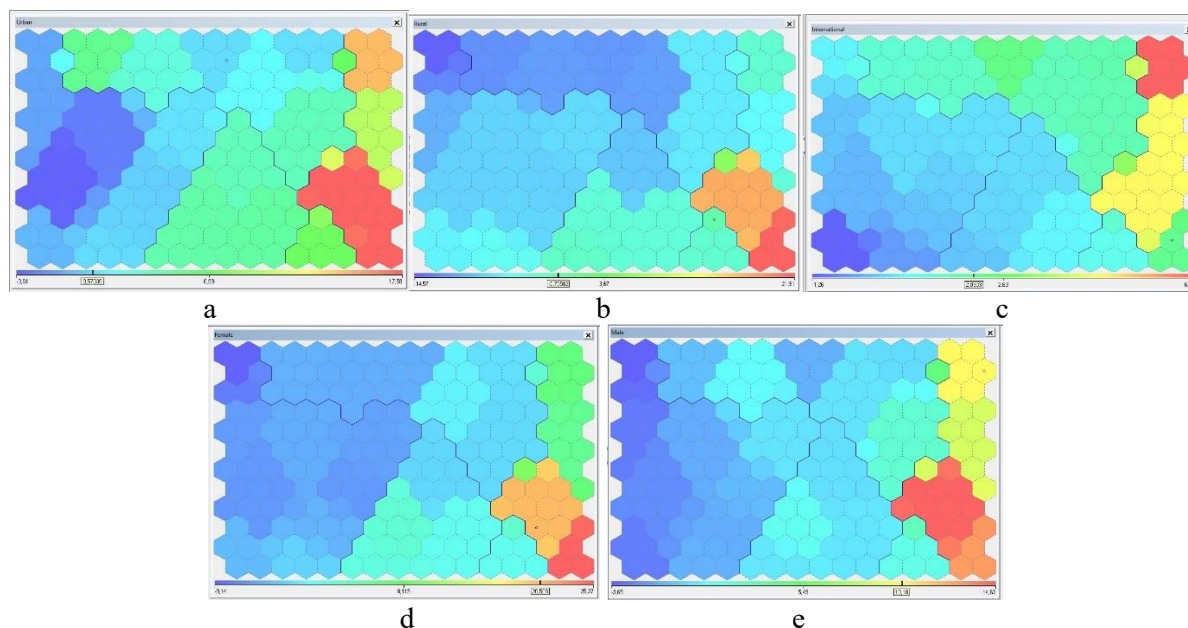


Fig. 4. The distribution correspondence of youth migrations indicators to the identified clusters of Ukrainian regions: a – urban, b – rural, c – external, d – male, e – female

Table 3

Characteristics of clusters by indicators of youth migration in Ukraine’s regions identified on the basis of Kohonen self-organizing maps (people per thousand inhabitants)

Indicators	Clusters				
	1	2	3	4	5
Youth net migration, total	over 7,0	from 1,5 to -1,3	from 0,9 to -0,5	from -0,1 to -3,1	from -2,3 to -6,3
urban	over 10,0	4,8-3,9	8,0-7,4	5,4-0,6	from 0,5 to -3,6
rural	from 21,9 to -5,5	from -2,4 to -8,7	from -2,7 to -7,6	from -6,6 to -11,9	from -4,8 to -14,6
male	over 8,8	1,2-0,0	1,6-0,4	from 1,0 to -1,4	from 0,1 to -3,7
female	over 5,4	from 1,8 to -2,7	from 0,3 to -1,5	from -1,1 to -5,0	from -2,9 to -9,1
external	over 2,0	0,0-0,6	0,9-2,0	1,2-2,2	-1,3-0,6

Source: State Statistics Service of Ukraine. <http://www.ukrstat.gov.ua>

dynamics for the period of 2002-2019 (six models), we developed an empirical typification of Ukrainian regions according to the migration behavior of youth.

Type 1 (Kyiv city, Kyiv, Odesa, and Kharkiv regions): regions with stable highest positive migration balance of young people in Ukraine. It includes internal and external migration in general and in urban settlements in particular, the upward trend of the youth in-migration and net migration, and external

migration balance (except for the city of Kyiv, where the indicator does not changed essentially).

Type 2 (Lviv, Ivano-Frankivsk, Chernivtsi, Zakarpattia, Ternopil and Khmelnytsky regions): regions with average youth migration balance in Ukraine, positive youth net migration in urban settlements and negative in rural areas, relatively stable in-migration and net migration, consistency or reduction in the number of young people left, and increase in the external migration balance of young people.

Models of youth migration dynamics in the regions of Ukraine, 2002-2019

<b>Trends in dynamics</b>	<b>In-migration</b>	<b>Out-migration</b>	<b>Net migration</b>	<b>External migration balance</b>
<i>Monotonically decreasing</i>	Donetsk Mykolaiiv Rivne Kherson Cherkasy Chernivtsi Chernihiv	Zakarpattia Luhansk Mykolaiiv Odesa Kherson Khmelnysk Cherkasy Chernivtsi Chernihiv Zaporizhzhia	Luhansk Zaporizhzhia	Luhansk Rivne
<i>Abrupt dynamics with a tendency to decrease</i>	Vinnytsia Dnipropetrovsk Zhytomyr Luhansk Khmelnysk Zaporizhzhia	Vinnytsia Volyn Dnipropetrovsk Zhytomyr Rivne Ternopil		
<i>Abrupt dynamics without changes</i>	Volyn Kirovohrad Sumy Ternopil	Kyiv (region) Kirovohrad Poltava Sumy	Vinnytsia Poltava Rivne Ternopil Kherson Chernivtsi Chernihiv Kyiv (city) Zaporizhzhia	Kirovohrad Poltava Kherson Kyiv (city)
<i>Abrupt dynamics with a tendency to increase</i>	Kyiv (region) Kharkiv Kyiv (city)	Donetsk Kharkiv Kyiv (city)	Volyn Zhytomyr Kirovohrad Odesa Kharkiv	Dnipropetrovsk Odesa
<i>Monotonically increasing</i>	Odesa		Donetsk Zakarpattia Ivano-Frankivsk Kyiv (region) Lviv Sumy Khmelnysk	Vinnytsia Donetsk Zakarpattia Kyiv (region) Lviv Sumy Ternopil Kharkiv Khmelnysk Chernivtsi Zaporizhzhia
<i>Without changes</i>	Zakarpattia Ivano-Frankivsk Lviv Poltava	Ivano-Frankivsk Lviv	Dnipropetrovsk Mykolaiv Cherkasy	Volyn Zhytomyr Ivano-Frankivsk Mykolaiv Cherkasy Chernihiv



Type 3 (Volyn, Rivne, Vinnytsia, Zhytomyr, Chernihiv, Sumy, Cherkasy, Poltava, Kirovohrad, Kherson, Mykolaiv, Dnipropetrovsk, Zaporizhia, Donetsk, Luhansk regions): regions with a negative balance of youth migration. The indicators of their negative youth migration balance in rural areas and for women aged 15-34 threaten their demographic security. These regions are also characterized by a downward trend in the number of young people arriving and leaving.

The first type is characterized by such migration-related problems as the migration of the most educated and financially capable young people primarily to Kyiv and abroad, the lack of affordable housing for arriving young people in the metropolises, the loss of human capital in the areas with stable out-migration. Some ways to solve these problems can be a targeted information policy (especially preventive), providing counseling services for potential migrants, policies to encourage the return of young people (as a large number of migrants did not manage to gain a foothold abroad for various reasons), as well as expanding opportunities for renting social housing and affordable loans.

For the regions of the second and third types, most problems are alike with the difference that in the regions of the third group the following problems are more vivid: reduction of the reproducible workforce base, deformation of gender and age structure, conversion of temporary migration into permanent (this problem is most pronounced for the regions of the second type), reducing the level of economic development of rural areas, the emergence and expansion of depressed areas, loss of educated and skilled workforce. The ways to solve these problems can include the implementation of state and regional policies to encourage to employ young people through subsidies, giving preference to young professionals in the fields of state and/or local government, promoting legal forms of doing

business (introduction of tax holidays, reduction of tax burdens), soft loans for startups, attracting young people to self-employment, ensuring equal working conditions and doing business, which requires not so much investment, but rather the implementation of appropriate reforms.

**Conclusions and further research.** The article analyzes the regional differentiation of youth migration flows and develops an empirical typification of the Ukrainian regions according to the special features of youth migration behavior.

The study results confirmed that economic indicators (unemployment, investment, and income) affect youth migration in Ukraine at the regional level. Still, their impact should be considered in the broader context of place-specific human capital and life-course transition [4, 22].

Regions of Ukraine differ in scale, structure, and dynamics of youth migration flows. Based on the results of cluster analysis and construction of Kohonen self-organizing maps, we identified five clusters of regions by the similarity of youth migration indicators. The study of youth migrations in 2002-2019 allowed identifying six models of youth migration dynamics. The types of regions were identified based on their combination. They can be considered as those that, to some extent, determine the migration intention of young people. The practical value of the selected types is seen in the fact that they can become the 'guidelines' to create the migration policy in the regions.

This article is based on the results of the youth migration analysis at the regional level. However, migration aspirations strongly depend on individuals' information, perceptions, and values [26], and youth migration, especially educational, is characterized by liquidity and individualization [27]. Therefore, further research should be aimed at analyzing the individual paths and patterns of Ukrainian youth's migration behavior.

### Bibliography

1. Kovacheva S. *Youth Migration and Life Course Transitions: Comparing the Impact of Women's Mobility Across Generations in Bulgaria* / S. Kovacheva, D. Hristozova // *Sociologija*. – 2019. – Vol. LXI(2). – P. 210–226. DOI: <https://doi.org/10.2298/SOC1902210K>
2. Bauer T. *Assessment of possible migration pressure and its labor market impact following EU enlargement to Central and Eastern Europe* / T. Bauer, K.F. Zimmermann. IZA Research Report No. 3. – Bonn, 1999. – 117 p.
3. Elder G.H.Jr. *Attachment to place and migration prospects: A developmental perspectives* / G.H.Jr. Elder, V. King, R.D. Conger // *Journal of Research and Adolescence*. – 1996. – Vol. 6(4). – P. 397–425.
4. Drozdowski D. *'We're moving out': Youth Out-Migration Intentions in Coastal Non-Metropolitan New South Wales* / D. Drozdowski // *Geographical Research*. – 2008. – Vol. 46(2). – P. 153–161. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1745-5871.2008.00506.x>
5. Dustmann, Ch., & Okatenko, A. (2014). *Out-migration, wealth constraints, and the quality of local amenities* / Ch. Dustmann, A. Okatenko // *Journal of Development Economics*. – 2014. – Vol. 110. – P. 52–63. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2014.05.008>
6. *International Migration Stock*. United Nations. Department of Economic and Social Affairs, 2019. Website. Режим доступу: <https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/data/estimates2/estimatesgraphs.asp?3g3>
7. Velychko K. Yu. *The Phenomenon of Student Migration in Ukraine* / K.Yu. Velychko, M.O. Yaremenko M. O. *Бізнесінформ*. – 2020. – №5. – С. 62–70. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2020-5-62-70>

8. Мельничук Д.П. Міграційні наміри студентської молоді та їх вплив на мотиваційну складову людського капіталу України / Д.П. Мельничук // Демографія та соціальна економіка. – 2009. – № 1. – С. 116–124.
9. Фесенко А.М. Освітньо-трудова міграція освіченої молоді як тренд сучасної доби: соціологічний аналіз / А.М. Фесенко, В.О. Чорна, Є.М.Осінова // Габітус. – 2018. – Вип. 6. – С. 130–136.
10. Павліха Н.В.. Становлення освітньої міграції в умовах глобалізації / Н.В. Павліха, Н.А. Степанюк // Глобальні та національні проблеми економіки. – 2017. – Вип. 16. – С. 219–223.
11. Grzymala-Kazłowska A. From drifting to anchoring. Capturing the experience of Ukrainian migrants in Poland / A. Grzymala-Kazłowska, A. Brzozowska // Central and Eastern European Migration Review.- 2017. – Vol.6(2). – P. 103–122. DOI: <https://doi.org/10.17467/ceemr.2017.04>
12. Лібанова Е. М. Зовнішні трудові міграції українців: масштаби, причини, наслідки / Е.М. Лібанова // Демографія та соціальна економіка. – 2018. – № 2(33). – С. 11–26. DOI: <https://doi.org/10.15407/dse2018.02.11>
13. Щерба Г.І. Трудова міграція молоді та її наслідки для дітей в українському суспільстві / Г.І. Щерба // Український соціум. – 2011. – № 3(38). – С. 161–168. DOI: <https://doi.org/10.15407/socium2011.03.161>
14. Niemets L., Lohvynova M., Sehida K., Husieva N., Kravchenko K. Modern challenges of external labor migration in Ukraine. // Vision 2025: Education Excellence and Management of Innovations through Sustainable Economic Competitive Advantage Growth [Ed. by Kh.S. Soliman]. – Madrid, IBIMA, 2019. – P. 516-528.
15. Sehida K., Husieva N., Niemets L., Suptelo O., Kobylin P., Kliuchko L. Migration Challenges of the 21st Century: The Experience of Ukraine // Vision 2020: Sustainable Economic Development and Application of Innovation Management from Regional Expansion to Global Growth [Ed. by Kh.S. Soliman]. – Seville, IBIMA, 2018. – P. 328-337.
16. Мезенцев К. Економічні фактори регіональної диференціації безробіття та міграційних намірів молоді в Україні / К. Мезенцев, Н. Провотар, В. Паренюк // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Географія. – 2020. – № 1-2(76-77). – С. 16–23. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2721.2020.76-77.2>
17. Punch S. Moving for a better life: To stay or to go / S. Punch // Key issues in childhood and youth studies [Ed. by D. Kassem, L. Murphy, E. Taylor]. – New York: Routledge, 2010. – P. 202–216.
18. Pollard K. Selective migration of rural high school seniors in the 1980s / K. Pollard, W.P. O'Hare, R. Berg. – Washington DC: Population Reference Bureau, 1990.
19. Easthope H. Turbulent lives: Exploring the cultural meaning of regional youth migration / H. Easthope, M. Gabriel M. // Geographical Research. – 2008. – Vol. 46(2). – P. 172–182. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1745-5871.2008.00508.x>
20. Malamassam M.A. Youth Migration in Indonesia: Decision to Move and to Choose Destination Areas / M.A. Malamassam // Indonesian Journal of Geography. – 2016. – Vol. 48(1). – P. 61–71. DOI: <https://doi.org/10.22146/ijg.12469>
21. Heckert J. New perspective on youth migration: Motives and family investment patterns/ J. Heckert // Demographic Research. – 2015. Vol.33. – P. 765–800. DOI: <https://doi.org/10.4054/DemRes.2015.33.27>
22. Lulle A. Introduction to the Special Issue: European youth migration: human capital outcomes, skills and competences / A. Lulle, H. Janta, H. Emilsson // Journal of Ethnic and Migration Studies. – 2021. – Vol. 47(8). – P. 1725–1739. DOI: <https://doi.org/10.1080/1369183X.2019.1679407>
23. Nugin R. “I think that they should go. Let them see something”. The context of rural youth’s out-migration in post-socialist Estonia / R. Nugin // Journal of Rural Studies. – 2014. – Vol. 34. – P. 51–64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2014.01.003>
24. McKenzie D.J. A profile of the world’s young developing country international migrants / D.J.McKenzie // Population and Development Review. – 2008. – Vol. 34(1). – P. 115–135. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1728-4457.2008.00208.x>
25. Roth B.J. Creating reasons to stay? Unaccompanied youth migration, communitybased programs, and the power of “push” factors in El Salvador / B.J. Roth, C.S. Hartnett // Children and Youth Services Review. – 2018. – Vol. 92. – P. 48–55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.childyouth.2018.01.026>
26. Van Mol Ch. Migration aspirations and migration cultures: A case study of Ukrainian migration towards the European Union / Ch. Van Mol, E. Snel, K. Hemmereichs, Ch. Timmerman // Population, Space and Place. – 2018. – Vol. 24(5). – P. e2131. DOI: <https://doi.org/10.1002/psp.2131>
27. Engbersen G. Migration transitions in an era of liquid migration / G. Engbersen // European Immigrations. Trends, Structures and Policy Implications [Ed. by M. Okólski] – Amsterdam University Press, 2012. – P. 91–106. DOI: <https://doi.org/10.1515/9789048517275-005>
28. Hörschelmann K. (2009). Routes through the city: youth identities and spatial practices in Leipzig / K. Hörschelmann // Public spheres after socialism [A. Harutyunyan, K. Hörschelmann, M. Miles]. – Bristol: Intellect Ltd., 2009. – P. 92–109.
29. Burrell K. Opportunity and uncertainty: young people’s narratives of ‘double transition’ in post-socialist Poland / K. Burrell // Area. – 2011. – Vol. 43(4). – P. 413–419. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-4762.2011.01024.x>
30. Mezentsev K. (2014). Ukraine: stable outflow and changing nature / K. Mezentsev, G. Pidgrushnyi. // Discovering migration between Visegrad countries and Eastern Partners [Ed. by Á. Eröss & D. Karacsony]. – Budapest: HAS RCAES Geographical Institute, 2014. – P. 191–211.
31. Elizbarashvili N., Niemets L., Meladze G., Sehida K., Lohvynova M., Meladze M., Sidamonidze D. (2020). Forced migrations of Georgia and Ukraine: reasons for the emergence, process features, implications for countries

// *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology". – 2019. – Vol. 52. – P. 139-155. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-52-11>*

32. Мезенцев К.В. Міграційна поведінка студентської молоді: шлях до кар'єри за кордоном чи ситуативна можливість самореалізації? / К.В. Мезенцев, Н.І. Мезенцева // *Регіон-2018: пошук стратегії оптимального розвитку* [За ред. Л.М. Немець]. – Харків: Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна, 2018. – С. 33–37.
33. Мезенцев К.В. Суспільно-географічне прогнозування регіонального розвитку / К.В. Мезенцев. – Київ: ВПЦ «Київський університет», 2005. – 253 с.

Submitted April 24, 2021

Accepted May 08, 2021

**Authors Contribution:** *Authors contributed to this work equally.*

UDC 911.3:314.7

**Victor Parenjuk,**

PhD student, Department of Economic and Social Geography,  
Taras Shevchenko National University of Kyiv, 64/13 Volodymyrska St., Kyiv, 01601, Ukraine,  
e-mail: [parenvic@i.ua](mailto:parenvic@i.ua), <https://orcid.org/0000-0001-7098-6977>;

**Nataliia Provotar,**

PhD (Geography), Associate Professor of Department of Economic and Social Geography,  
Taras Shevchenko National University of Kyiv,  
e-mail: [provotarnat@ukr.net](mailto:provotarnat@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-2211-6509>;

**Kostyantyn Mezentsev,**

DSc (Geography), Head of Department of Economic and Social Geography,  
Taras Shevchenko National University of Kyiv,  
e-mail: [mezentsev@knu.ua](mailto:mezentsev@knu.ua), <https://orcid.org/0000-0003-1974-7860>

## YOUTH MIGRATION IN UKRAINE: REGIONAL DESTINY

**Purpose.** This study aims to analyze the regional differentiation of youth migration flows and typify the regions of Ukraine according to the characteristics of the migratory behavior of the youth. Accordingly, the research questions are as follows: 1) what is the relationship between economic indicators (income, unemployment, investment) and youth migration at the regional level? 2) how do the regions of Ukraine differ in the scale, structure, and dynamics of youth migration flows? 3) what types of regions can be identified, and can they be considered to determine the young people's intention to migrate?

**Research methods.** Pearson's correlation coefficients were calculated to assess the relationship between youth migration and economic indicators at the regional level. To prevent skewed indicators distribution, the city of Kyiv was excluded from the analysis. In order to study the regional differentiation of youth migration, we used cluster analysis and constructed Kohonen self-organizing maps. Based on the analysis of spatial and temporal (from 2002 to 2019) trends, we also developed an empirical typification of the regions according to the migration behavior of young people.

**Main findings.** The analysis of spatial differences in youth migration in urban and rural areas shows the diversity and complicated multidirectionality of migration flows. Youth migration has been found to be linked to unemployment and investment attractiveness at the regional level. The assumption that the migration of young people from rural areas is influenced not only by economic factors but also by the lack of prospects for tertiary education, jobs, and the 'culture of migration' has been confirmed. The analysis of the relationship between income and out-migration scale shows some signs of an inverse U-shape curve. In general, the results of the study confirmed that at the regional level, economic indicators (unemployment, investment, and income) affect youth migration in Ukraine, but their impact needs to be studied in the broader context of place-specific human capital and life-course transition. Based on the results of cluster analysis and construction of Kohonen self-organizing maps, five clusters of Ukraine's regions by the similarity of youth migration were identified. The analysis of youth migrations in 2002-2019 allowed to identify six models of their dynamics (monotonically decreasing, abrupt dynamics with a tendency to decrease, abrupt dynamics without changes, abrupt dynamics with a tendency to increase, monotonically increasing, without changes). According to the combination of selected clusters of regions and models of youth migration dynamics, we empirically typified Ukraine's regions into three groups that can be considered those that, to some extent, determine

the young people's intention to migrate. However, further research should be aimed at analyzing the individualization of migration behavior and liquid migration of Ukrainian youth.

**Scientific novelty and practical value.** The main novelty of the study is its focus on the spatial dimension of youth migration in Ukraine, particularly identifying the features of regional differentiation of migration flows, factors, trends and regional problems associated with youth migration. The practical value of the obtained results lies in the possibility for certain types of regions to become 'guidelines' for the migration policy in the regions of Ukraine.

**Keywords:** youth, migrations, region, migration factors, typification, Ukraine

### References

1. Kovacheva, S., & Hristozova, D. (2019). Youth Migration and Life Course Transitions: Comparing the Impact of Women's Mobility Across Generations in Bulgaria. *Sociologija*, LXI(2), 210–226. DOI: <https://doi.org/10.2298/SOC1902210K>
2. Bauer, T., & Zimmermann, K.F. (1999). Assessment of possible migration pressure and its labor market impact following EU enlargement to Central and Eastern Europe. IZA Research Report No. 3. Bonn, 117 p.
3. Elder, G.H.Jr., King, V., & Conger, R.D. (1996). Attachment to place and migration prospects: A developmental perspectives. *Journal of Research and Adolescence*, 6(4), 397–425.
4. Drozdowski, D.(2008). 'We're moving out': Youth Out-Migration Intentions in Coastal Non-Metropolitan New South Wales. *Geographical Research*, 46(2), 153–161. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1745-5871.2008.00506.x>
5. Dustmann, Ch., & Okatenko, A. (2014). Out-migration, wealth constraints, and the quality of local amenities. *Journal of Development Economics*, 110, 52–63. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2014.05.008>
6. International Migration Stock (2019). United Nations. Department of Economic and Social Affairs. Available at: <https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/data/estimates2/estimatesgraphs.asp?3g3>
7. Velychko K. Yu., Yaremenko M. O. (2020). The Phenomenon of Student Migration in Ukraine, *Biznesinform*, 5, 62–70. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2020-5-62-70>
8. Mihratsiini namiry studentskoi molodi ta ikh vplyv na motyvatsiinu skladovu liudskoho kapitalu Ukrainy [Migration intentions of student youth and their impact on the motivational component of human capital in Ukraine]. *Demography and Social Economy*, 1(11), 116–124. [In Ukrainian]
9. Fesenko, A.M., Chorna, V.O., & Osipova, Y.M. (2018). Osvitnoi-trudova mihratsiia osvichenoii molodi iak trend suchasnoii doby: sociolohichyi analiz [Educational and labour migration of educated youth as the trend of modernity: a sociological analysis]. *Habitus*, 6, 130–136. [In Ukrainian]
10. Pavlika, N.V., Stepaniuk, N.A. (2018). Stanovleniia osvithoi mihratsii v umovakh hlobalizatsii [Educational migration under the conditions of globalization]. *Global and national economic problems*, 16, 219–223. [In Ukrainian]
11. Grzymala-Kazłowska, A., & Brzozowska, A. (2017). From drifting to anchoring. Capturing the experience of Ukrainian migrants in Poland. *Central and Eastern European Migration Review*, 6(2), 103–122. DOI: <https://doi.org/10.17467/ceemr.2017.04>
12. Libanova, E.M. (2018). Zovnishni trudovi mihratsii ukraintziv: masshtaby, prychny, naslidky [External labor migration of Ukrainians: scale, causes, consequences]. *Demography and Social Economy*, 2(33), 11–26. [In Ukrainian] DOI: <https://doi.org/10.15407/dse2018.02.11>
13. Shcherba, G. I. (2011). Trudova mihratsiia molodi ta ii naslidky dlia ditei v ukarinskomu suspilstvi [Labour migration of youth and its consequences for children in Ukrainian society]. *Ukrainian Society*, 3(38), 161–168. [In Ukrainian] DOI: <https://doi.org/10.15407/socium2011.03.161>
14. Niemets, L., Lohvynova, M., Sehida, K., Husieva, N., & Kravchenko, K. (2019). Modern challenges of external labor migration in Ukraine. In: Soliman, Kh.S. (ed.), *Vision 2025: Education Excellence and Management of Innovations through Sustainable Economic Competitive Advantage* (516-528). Madrid, IBIMA.
15. Sehida, K., Husieva, N., Niemets, L., Suptelo, O., Kobylin, P., & Kliuchko, L. (2018). Migration challenges of the 21st century: The experience of Ukraine. In: Soliman, Kh.S. (ed.), *Vision 2020: Sustainable Economic Development and Application of Innovation Management from Regional Expansion to Global Growth* (pp. 328-337). Seville, IBIMA.
16. Mezentshev, K., Provotar, N., & Pareniuk, V. (2020). Ekonomichni faktory rehionalnoi dyferentsiatsii bezrobittia ta mihratsiinykh namiriv molodi v Ukraini [Economic factors of regional differentiation of young people's unemployment and migration]. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geography*, 1-2(76-77), 16–23. [In Ukrainian] DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2721.2020.76-77.2>
17. Punch, S. (2010). Moving for a better life: To stay or to go. In: D. Kassem, L. Murphy, & E. Taylor (eds.), *Key issues in childhood and youth studies* (pp. 202–216). New York: Routledge.
18. Pollard, K., O'Hare, W.P., & Berg, R. (1990). *Selective migration of rural high school seniors in the 1980s*. Washington DC: Population Reference Bureau.
19. Easthope, H., & Gabriel, M. (2008). Turbulent lives: Exploring the cultural meaning of regional youth migration. *Geographical Research*, 46(2), 172–182. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1745-5871.2008.00508.x>
20. Malamassam, M.A. (2016). Youth Migration in Indonesia: Decision to Move and to Choose Destination Areas, *Indonesian Journal of Geography*, 48(1), 61–71. DOI: <https://doi.org/10.22146/ijg.12469>

21. Heckert, J. (2015). *New perspective on youth migration: Motives and family investment patterns*. *Demographic Research*, 33, 765–800. DOI: <https://doi.org/10.4054/DemRes.2015.33.27>
22. Lulle, A., Janta, H., & Emilsson, H. (2021). *Introduction to the Special Issue: European youth migration: human capital outcomes, skills and competences*. *Journal of Ethnic and Migration Studies*, 47(8), 1725–1739. DOI: <https://doi.org/10.1080/1369183X.2019.1679407>
23. Nugin, R. (2014). “I think that they should go. Let them see something”. *The context of rural youth’s out-migration in post-socialist Estonia*. *Journal of Rural Studies*, 34, 51–64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2014.01.003>
24. McKenzie, D.J. (2008). *A profile of the world’s young developing country international migrants*. *Population and Development Review*, 34(1), 115–135. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1728-4457.2008.00208.x>
25. Roth, B.J., & Hartnett, C.S. (2018). *Creating reasons to stay? Unaccompanied youth migration, communitybased programs, and the power of “push” factors in El Salvador*. *Children and Youth Services Review*, 92, 48–55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.childyouth.2018.01.026>
26. Van Mol, Ch., Snel, E., Hemmerchts, K., & Timmerman, Ch. (2018). *Migration aspirations and migration cultures: A case study of Ukrainian migration towards the European Union*. *Population, Space and Place*, 24(5), e2131. DOI: <https://doi.org/10.1002/psp.2131>
27. Engbersen, G. (2012). *Migration transitions in an era of liquid migration*. In: Okólski, M. (ed.), *European Immigrations. Trends, Structures and Policy Implications* (91–106). Amsterdam University Press. DOI: <https://doi.org/10.1515/9789048517275-005>
28. Hörschelmann, K. (2009). *Routes through the city: youth identities and spatial practices in Leipzig*. In: Harutyunyan A., Hörschelmann K., & Miles, M (eds.) *Public spheres after socialism* (pp. 92–109), Bristol: Intellect Ltd.
29. Burrell, K. (2011). *Opportunity and uncertainty: young people’s narratives of ‘double transition’ in post-socialist Poland*. *Area*, 43(4), 413–419. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-4762.2011.01024.x>
30. Mezentsev, K., Pidgrushnyi, G. (2014). *Ukraine: stable outflow and changing nature*. In: Á. Erőss & D. Karacsonyi (eds.), *Discovering migration between Visegrad countries and Eastern Partners* (pp. 191–211). Budapest: HAS RCAES Geographical Institute.
31. Elizbarashvili, N., Niemets, L., Meladze, G., Sehida, K., Lohvynova, M., Meladze, M., & Sidamonidze, D. (2020). *Forced migrations of Georgia and Ukraine: reasons for the emergence, process features, implications for countries*. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 52, 139-155. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-52-11>
32. Mezentsev, K., & Mezentseva, N. *Mihratsiina povedinka studentskoi molodi: shliakh do kariery za kordonom chy sytuatyvna mozhkyvist samorealizatsii? [Migratory behavior of student youth: a path to a career abroad or a situational opportunity for self-realization?]* In: Niemets, L. (ed.), *Rehion-2018: poshuk stratehii optimalnoho rozvytku [Region-2018: Search for optimal development strategy]* (33–37). Kharkiv, V.N. Karazin Kharkiv National University. [In Ukrainian]
33. Mezentsev, K. (2005). *Suspilno-heohrafichne prohnouvaniia rehionalnoho rozvytku [Socio-geographical forecasting of regional development]*. Kyiv, Kyiv University, 253. [In Ukrainian]

UDC 911.9:620.92(262.54)

**Nataliia Valeriyivna Popovych,**

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Physical Geography and Cartography,  
V. N. Karazin Kharkiv National University, 4, Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,  
e-mail: [n.popovych@physgeo.com](mailto:n.popovych@physgeo.com), <http://orcid.org/0000-0003-4968-6296>;

**Vilina Anatoliyivna Peresadko,**

DSc (Geography), Professor, Department of Physical Geography and Cartography,  
V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [vilinaperesadko@gmail.com](mailto:vilinaperesadko@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-2439-2788>;

**Daria Romanivna Dzhym,**

Master (Geography), Department of Physical Geography and Cartography,  
V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [d.dzhim@physgeo.com](mailto:d.dzhim@physgeo.com), <https://orcid.org/0000-0002-3823-1942>

## DEVELOPMENT OF OFFSHORE WIND ENERGY OF UKRAINE IN THE SEA OF AZOV: THE GEOGRAPHICAL ASPECT

**Н. В. Попович, В. А. Пересацько, Д. Р. Джим. РОЗВИТОК ОФШОРНОЇ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ В АЗОВСЬКОМУ МОРІ: ГЕОГРАФІЧНИЙ АСПЕКТ.** Статтю присвячено аналізу географічних аспектів розвитку офшорної вітроенергетики України в Азовському морі. Актуальність цієї теми зумовлена тим, що досвід розвинених країн світу переконливо доводить економічну та екологічну перевагу офшорних ВЕС, однак перспективи розвитку морської вітроенергетики в Чорному та Азовському морях українськими науковцями розглядалися лише фрагментарно. До географічних передумов розвитку галузі в Азовському морі віднесено значні швидкості вітру (над деякими частинами моря сягають понад 9 м/с) та невеликі глибини акваторії (середня глибина Азовського моря – 7,5 м, а максимальна – не перевищує 14 м). Наведено результати аналізу вітроенергетичного потенціалу Азовського моря, виявлено тенденцію його зростання з заходу на схід. Встановлено, що акваторії північно-східного та північного узбережжя моря, де на висоті 200 м швидкість вітру досягає 9,3 м/с, мають максимальний потенціал для розвитку морської вітроенергетики. Приділено увагу методиці геоінформаційного моделювання розташування офшорних ВЕС з урахуванням обмежуючих факторів. Вона включає наступні етапи: створення шарів даних для кожного лімітуючого фактора та проведення операцій просторового аналізу; об'єднання буферів в єдиний шар та накладання його на карти швидкостей вітру для акваторії, що досліджується; виокремлення ділянок різної міри придатності для будівництва морських вітроустановок. Практична реалізація методики включала побудову карт, за якими оцінено придатність ділянок Азовського моря для розташування офшорних ВЕС на різних висотах. Виявлено збільшення площі ділянок, придатних для будівництва морських вітроустановок, з висотою і, відповідно, доцільність встановлення вітротурбін з вежею понад 100 м. Таким чином, існують географічні передумови розвитку офшорної вітроенергетики у прибережній зоні Азовського моря, але необхідні подальші інтердисциплінарні дослідження.

**Ключові слова:** географічний аспект, офшорна вітроенергетика, офшорна вітроелектростанція, вітроенергетичний потенціал, Азовське море, Україна.

**Н. В. Попович, В. А. Пересацько, Д. Р. Джим. РАЗВИТИЕ ОФШОРНОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ УКРАИНЫ В АЗОВСКОМ МОРЕ: ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ АСПЕКТ.** Статья посвящена анализу географических аспектов развития офшорной ветроэнергетики Украины в Азовском море. Актуальность этой темы обусловлена тем, что опыт развитых стран мира убедительно доказывает экономическое и экологическое преимущество офшорных ВЭС, однако перспективы развития морской ветроэнергетики в Черном и Азовском морях украинскими учеными рассматривались лишь фрагментарно. К географическим предпосылкам развития отрасли в Азовском море отнесены значительные скорости ветра (над некоторыми частями моря достигают более 9 м/с) и небольшие глубины акватории (средняя глубина Азовского моря – 7,5 м, а максимальная – не превышает 14 м). Приведены результаты анализа ветроэнергетического потенциала Азовского моря, выявлена тенденция его возрастания с запада на восток. Установлено, что акватории северо-восточного и северного побережья моря, где на высоте 200 м скорость ветра достигает 9,3 м/с, имеют максимальный потенциал для развития морской ветроэнергетики. Уделено внимание методике геоинформационного моделирования расположения офшорных ВЭС с учетом ограничивающих факторов. Она включает следующие этапы: создание слоев данных для каждого лимитирующего фактора и проведение операций пространственного анализа; объединения буферов в единый слой и наложение его на карты скоростей ветра для исследуемой акватории; выделение участков разной степени пригодности для строительства морских ветроустановок. Практическая реализация методики включала построение карт, по которым оценена пригодность участков Азовского моря для размещения офшорных ВЭС на разных высотах. Выведено увеличение площади участков, пригодных для строительства морских ветроустановок, с высотой и, соответственно, целесообразность установки ветротурбин с башней более 100 м. Таким образом, существуют географические предпосылки развития офшорной ветроэнергетики в прибрежной зоне Азовского моря, но необходимы дальнейшие интердисциплинарные исследования.

**Ключевые слова:** географический аспект, офшорная ветроэнергетика, офшорная ветроелектростанция, ветроэнергетический потенциал, Азовское море, Украина.

**Formulation of the problem.** Currently in the world there is a question of natural resource depletion, which is a problem of economic, environmental and political nature. Ukraine's energy sector is currently import-dependent, and one of the sustainable development goals of the country to 2030 is "to

ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all" [19]. The implementation of this goal involves intensification of the use of own alternative energy resources, in particular, wind energy.

The wind potential of the mainland of our cou-

ntury has been studied quite thoroughly, so now the interest lies in less studied water areas, which are promising for the development of offshore wind energy. The emergence of offshore wind farms (OWFs) in Ukraine could reduce the use of fossil fuels, which would improve the environmental situation and contribute to the decarbonisation of domestic energy. In addition, the development of renewable energy sources is one of the levers to increase the level of energy security, as stated in the Energy Strategy of Ukraine until 2035 [6].

The results of the study by the US National Renewable Energy Laboratory show that Ukraine can build OWFs with a total capacity of 146 GW [25]. According to the Institute of Renewable Energy of the National Academy of the Sciences of Ukraine, the main areas for the development of the industry are The Dnieper River system of dams, Dzharihgatskaya Bay, Sivash Bay and the Sea of Azov [5].

The experience of developed countries convincingly proves the economic and environmental benefits of marine wind farms. The amount of initial investment into offshore wind facilities may exceed the same amount for onshore wind farms by 20–50%, but OWFs are more energy efficient than onshore [9]. Given the current energy problems, it is impractical to rule out the possibility of developing offshore wind energy in Ukraine. That is why the study considers the possibility of installing wind farms in the Sea of Azov, which is characterized by constant winds, and its small depth (up to 14 m) is profitable for the installation of windmills. The coastal zones of the Sea of Azov can play a key role in the development of offshore wind energy in Ukraine.

**Analysis of previous research and publications.** Offshore wind energy is an industry that is supported by the governments of many countries. The most detailed studies to assess wind energy potential have been conducted for European countries that have already been developing offshore wind energy (the UK, Denmark, Germany, the Netherlands, Norway, Sweden) in the North and Baltic Seas.

However, this does not mean that other European countries are not studying this type of alternative energy. Currently, the wind power study is actively conducted in the coastal areas of the Atlantic Ocean. In particular, the energy potential of the coasts of Portugal and Galicia was estimated using the mesoscale atmospheric model WRF. Thus, the wind speed data (for the altitudes of 10 and 80 m, the period 2009–2011), confirmed by the measurements of meteorological stations located in the regions, were obtained, and the potential of a single wind turbine was calculated. Based on this, it was

concluded that the location of wind farms in these coastal areas is promising [31].

African countries are also considering the possibility of using water areas to accommodate OWFs. Thus, in the work of O. Adedipe and co-authors the suitability of different parts of Nigeria for the location of land and sea wind farms was assessed. Factors that inhibit the development of wind energy in the country were highlighted, including: inadequate level of research on the development of wind technologies; lack of government motivation to invest in the wind energy; misunderstanding of the benefits of this initiative by local people [21].

The development of alternative energy, reducing the country's economy dependence on the oil production are the strategic goals for Saudi Arabia. In particular, M. Mahdi and others analyzed the wind energy potential of the East Coast of the Red Sea. The authors substantiated and mapped 10 locations for the promising wind farms with a turbine capacity of 3.6 and 5 MW [26].

One of the obstacles to Puerto Rico's economic development is the high cost of electricity, so scientists face the challenge of studying possibilities of using wind energy in the eastern region of the island. The country needs to install over 400 MW of capacity from wind farms, and in 2015 the cost of electricity was calculated for different types of offshore turbines with a capacity of 2300, 3000 and 3600 kW [30].

N.A. Solidor in her work substantiated the project of creating a marine wind farm "Azov" with a capacity of 400 MW, which was proposed to be built on the shelf of the Sea of Azov and would be able to produce more than 2000 MWh of capacity per year. This wind farm could be used to provide the nearest settlements and individual enterprises in the region with electricity [18].

Cartographic and geoinformation aspects of wind energy research were considered in the works of domestic [1,2,4,10] and foreign [15] scientists. In particular, O.O. Volkovaia, O.S. Tretyakov and I.G. Chervaniov proposed the method for indicating areas for wind turbines using geographic information systems (GIS) [4]. The system of cartographic works for the needs of alternative energy, in particular maps of conditions and factors influencing the development of wind energy, was considered by O.L. Agapova [1]. S.A. Velychko assessed, mapped and analyzed the possibility of building certain types of wind farms in the plains of Ukraine [2]. The method of compiling maps of favorable areas for the construction of solar and wind energy facilities was presented by Yu.Yu. Rafikova [15]. The study of A.N. Nekos and Ya.Ye. Molodan was devoted to using GIS for the needs of spatial planning of wind energy [10].

Prospects for the development of offshore wind energy in the Black Sea and the Sea of Azov were considered by Ukrainian scientists unsystematically. Thus, economic aspects of wind energy development in offshore zones of Ukraine, potential benefits and threats of OWFs were covered by V.V. Matveev and O.S. Shevtsova [8].

Unfortunately, the issue of offshore wind energy development in Ukraine currently remains virtually out of sight of geographers, although its resources are geographical, because they are mainly elements of the physical-geographical process [16]. **The purpose of the research** is to geographically analyze the wind energy potential of the Sea of Azov with subsequent assessment of the suitability of areas for the location of OWFs. In accordance with the purpose, the following **tasks** have been set:

1. to consider the geographical preconditions for the development of offshore wind energy in the Sea of Azov;

2. to analyze the energy potential of the Sea of Azov for the development of offshore wind energy in Ukraine;

3. to carry out geoinformation modeling of limiting factors of Ukrainian OWFs location in the Sea of Azov;

4. to substantiate the promising areas for OWFs within the territorial waters of Ukraine in the Sea of Azov.

**Methods and presentation of the study material.** Renewable energy sources (RES) can be the key to solving global environmental problems and preventing the energy crisis. Concerns of the world community about climate change caused by greenhouse gas emissions are rapidly strengthening the position of alternative energy [20].

Today, amazing progress is demonstrated by a specific technology of renewable energy such as wind turbines. Due to improvement of their efficiency and reduction of investment costs, the use of wind energy in many cases is economically viable.

This is why wind energy is currently outpacing other renewable energy sectors, showing significant growth rates every year. A separate sector is offshore wind energy, which uses wind energy at power plants located at a distance of about 10 km to the shore, on shallow shelf and coastal areas.

According to the Global Atlas for Renewable Energy [23], the amount of electricity generated by OWFs has increased over the past 10 years. If in 2010 3,056 GW of capacity was installed, in 2019 it became 28,155 GW, which is 9.2 times more than in 2010. 2019 turned out to be a record year for the industry, as 8 countries (China, the UK, Germany, Denmark, Belgium, Taiwan, Portugal and Japan) announced new marine installations [29]. According to Bloomberg New Energy Finance [24], by 2030

the installed capacity of the world's offshore wind energy will have increased to almost 115 GW and China will become a world leader in the industry.

Offshore wind power most actively develops in countries where there is technological background, investment framework and the need to change wind turbines location due to a lack of area. Currently, the absolute leaders in the development of the industry are European countries. The European Wind Energy Association predicts an increase in the installed capacity of offshore wind energy in Europe to 70 GW by 2030 [33].

Wind energy is and will be the most attractive sector of European energy for investors [7]. In 2020, European countries invested more than 26 billion euros in their own offshore projects, which allowed the construction of new wind turbines with a total capacity of almost 3 GW [33]. Thus, Denmark is the leader in installed offshore wind power per capita and tries to use all suitable for the installation of OWFs areas of the coastal zone [17]. Poland plans to build wind farms with a total capacity of 10 GW in the Baltic Sea. This will help to meet the country's international obligations on the share of RES in gross energy consumption, which by 2030 should have become 21% [28]. In the UK, a tender for the lease of sea areas for OWFs with a total capacity of 8 GW was completed in February 2021 [27].

Today, Ukraine is taking the first steps to offshore wind energy: domestic offshore projects are only under development. That is why it is extremely important to study the preconditions and limiting factors of industry development.

One of the main criteria for selecting OWFs location is the average annual wind speed. The amount of electricity that can be obtained depends on the strength and stability of the wind flow. Modern wind turbines generate electricity at wind speeds from 3 m/s (minimum) to 25 m/s (maximum). Wind turbines are profitable provided that the average annual wind speed for a certain area is not less than 6 m/s, otherwise the location of wind farms is irrational and unprofitable [13]. Wind speeds tend to increase with an altitude, so most wind turbines have tall towers.

Coastal regions of Ukraine throughout the year are characterized by wind speeds over 5 m/s, and over some areas of the Sea of Azov the wind speed reaches 9 m/s, which makes these areas the most promising for the use of wind energy [11]. If we consider only the wind speed, almost the entire water area of the Sea of Azov can be used for building OWFs on platforms.

The depth of the water area and the distance to shore are also important factors for the selection of construction sites for offshore wind turbines. Taking into account economic criteria (cost of energy com-



munications, foundations and installation of under-water wind turbines), wind farms installed at a depth of not more than 35 m and at a distance not exceeding 45 km to shore are considered profitable. For wind turbines located in the coastal waters of Europe, the average depth is 27 m, and the average distance to shore is about 43 km [18].

The average depth of the Sea of Azov is 7.5 m, and the maximum depth does not exceed 14 m. In general, the most promising are shallow territorial sea waters off the coast of mainland Ukraine, but for more thorough conclusions the wind energy potential of the water area has been estimated according to the following algorithm:

1. collection of data on the average long-term

wind speed;

2. creation of wind speed surfaces;

3. linear interpolation;

4. calculation of the potential capacity of a single wind turbine.

1. Data on the average annual wind speed in the Sea of Azov were collected from the Global Atlas for Renewable Energy [23]. It provides information about the wind regime at an altitude of 50, 100, 200 m.

The attribute table included data on wind speed at 344 points within the Sea of Azov and coastal areas (Table 1). As a result, a data grid, which makes it possible to generalize the interpolation model of wind speed, was formed.

Table 1

Wind speed at different altitudes (the fragment)

Point No.	Coordinates of points		Wind speed at different altitudes (m/s)		
	Latitude (N)	Longitude (E)	50 m	100 m	200 m
113	45°00'	36°24'	7.4	7.4	7.5
114	45°12'	36°24'	6.9	7.3	8
115	45°24'	36°24'	5.9	6.6	8
116	45°36'	36°24'	7.8	7.8	8
117	45°48'	36°24'	7.8	7.8	7.8
118	46°00'	36°24'	7.7	7.9	8
119	46°12'	36°24'	7.9	7.9	8
120	46°24'	36°24'	7.9	7.9	8
121	46°36'	36°24'	8	8	8.3
122	46°48'	36°24'	6.1	6.9	8.4
123	47°00'	36°24'	6	6.7	8.2
124	47°12'	36°24'	6.2	7	8.5

2. Modeling of wind speed surfaces was carried out in ArcGIS using the Spline tool. It minimizes the overall curvature of the surface, resulting in a smoothed surface that passes through the specified points. In our opinion, such a model correctly reflects the trend of wind speed distribution over the water area [22].

3. On the basis of a point layer with data, isolines were generated to determine the contours of the areas of the Sea of Azov with the highest wind speeds. For the final formation of wind speed surfaces, it was necessary to create linear 2D objects based on previously saved attribute data. For this purpose 2 tools were used:

– Raster to TIN – to convert a raster model into a TIN model;

– Surface Contour – to obtain the contours of areas with certain wind speeds.

4. The next stage was to calculate the potential capacity of a single wind turbine (P), which can be installed at a certain point in the water area. The cal-

culations were performed according to the formula [14]:

$$P = \xi \cdot \pi \cdot R^2 \cdot 0.5 \cdot V^3 \cdot \rho \cdot \eta_{red} \cdot \eta_{gen},$$

where:

$\xi$  – wind energy utilization factor (for high-speed windmills reaches 0.4–0.5);

R – rotor radius;

V – air flow rate;

$\rho$  – air density;

$\eta_{red}$  – efficiency of the reducer;

$\eta_{gen}$  – efficiency of the generator.

The advantages of the method of estimating wind energy potential, which is based on this formula, are simplicity of calculations, the availability of a set of initial data, as well as a fairly high accuracy of the results.

For our calculations, we used the parameters of the largest turbine installed in the offshore zone which is Vestas 164-9.5 MW (Denmark): rotor radius – 80 m, power – 9.5 MW, hub height – 105/140 m.

Thus, for point 113 with a wind speed of 7.4

m/s at an altitude of 50 m (Table 1), the equation is as follows:

$$P = (0.45 \cdot 3.14 \cdot 80^2 \cdot 0.5 \cdot 7.4^3 \cdot 1.25 \cdot 0.9 \cdot 0.85) = 1.752 \text{ MW}$$

To calculate the potential amount of generated electricity, it was necessary to multiply the calculated capacity by the number of hours per year:

$$1.752 \cdot 24 \cdot 365 / 1000 = 15,35 \text{ GWh/year}$$

Similarly, the potential electricity generation at each point was calculated (Table 2). The obtained data demonstrate the distribution of energy that can potentially be generated in the Sea of Azov, but in accordance with the purpose of our study, it is the territorial waters of Ukraine that are of interest.

Table 2

Potential electricity generation at different altitudes (the fragment)

Point No.	Coordinates of points		Potential electricity generation at different altitudes (GWh/year)		
	Latitude (N)	Longitude (E)	50 m	100 m	200 m
113	45°00'	36°24'	15.35	15.35	15.98
114	45°12'	36°24'	12.44	14.73	19.39
115	45°24'	36°24'	7.78	10.89	19.39
116	45°36'	36°24'	17.97	17.97	19.39
117	45°48'	36°24'	17.97	17.97	17.97
118	46°00'	36°24'	17.29	18.67	19.39
119	46°12'	36°24'	18.67	18.67	19.39
120	46°24'	36°24'	18.67	18.67	19.39
121	46°36'	36°24'	19.39	19.39	21.66
122	46°48'	36°24'	8.60	12.44	22.45
123	47°00'	36°24'	8.18	11.39	20.88
124	47°12'	36°24'	9.03	12.99	23.26

After considering the average annual wind speed at altitudes of 50, 100, 200 m, the analysis of wind energy potential of the coastal zone of the Sea of Azov was carried out. As a result, there were identified and mapped: areas with wind speeds from 3 to 6 m/s – classified as unfavorable for development of offshore wind energy, from 6 to 8 m/s – as partially favorable, and areas with wind speeds more than 8 m/s – as the most favorable.

According to the maps, for installations with a tower height of 50 m, the water zone with maximum wind speeds (8.1–9 m/s) stretches along the northern coast of the Sea of Azov and has an area of 3353 km<sup>2</sup>. As the wind indicators become more stable with an altitude, the sector with the most favorable wind speeds at an altitude of 100 m has a larger area which is 3562 km<sup>2</sup>. At an altitude of 200 m, the promising zone increases almost 2 times – up to 6544 km<sup>2</sup> and is located almost along the entire coastline, occupying the territorial waters of Ukraine (Fig. 1).

The calculated indicators of the potential of the generated electricity at an altitude of 50 m vary from 1.8 to 26.7 GWh/year. At an altitude of 100 m, the minimum value increases to 5.0 GWh/year, but the maximum decreases to 24.9 GWh/year. Finally, at an altitude of 200 m, there is a general trend of growth of the studied indicators, which directly de-

pend on the wind speed, which at this altitude varies from 6.5 to 9.3 m/s. Indicators of potential electricity generated at this altitude range from 9.4 to 30.3 GWh/year (Fig. 2).

These data can be used by designers of wind energy facilities as a basis for determining the optimal power of wind turbines and the type of energy (mechanical or electrical) for a particular area of the sea. However, our analysis would seem incomplete without modeling of the limiting factors of Ukraine's OWFs in the Sea of Azov.

Compared to traditional power plants, offshore wind farms are quite environmentally friendly, but there are some negative impacts of their operation, including: noise pollution, which interferes with the proper functioning of electrical appliances on aircraft and ships, decrease of the recreational area, deterioration of the marine environment. The visual impact of wind turbines should also be considered.

The development of wind energy projects, including offshore ones, involves the analysis of the impact of a potential wind turbine on the environment, the assessment of limiting factors. Such restrictions can be defined both at the legislative level (for example, the Water Code of Ukraine restricts building near water bodies [3]) and at the recommendation level (there are no specific legal restrictions on building wind farms near forests, but it

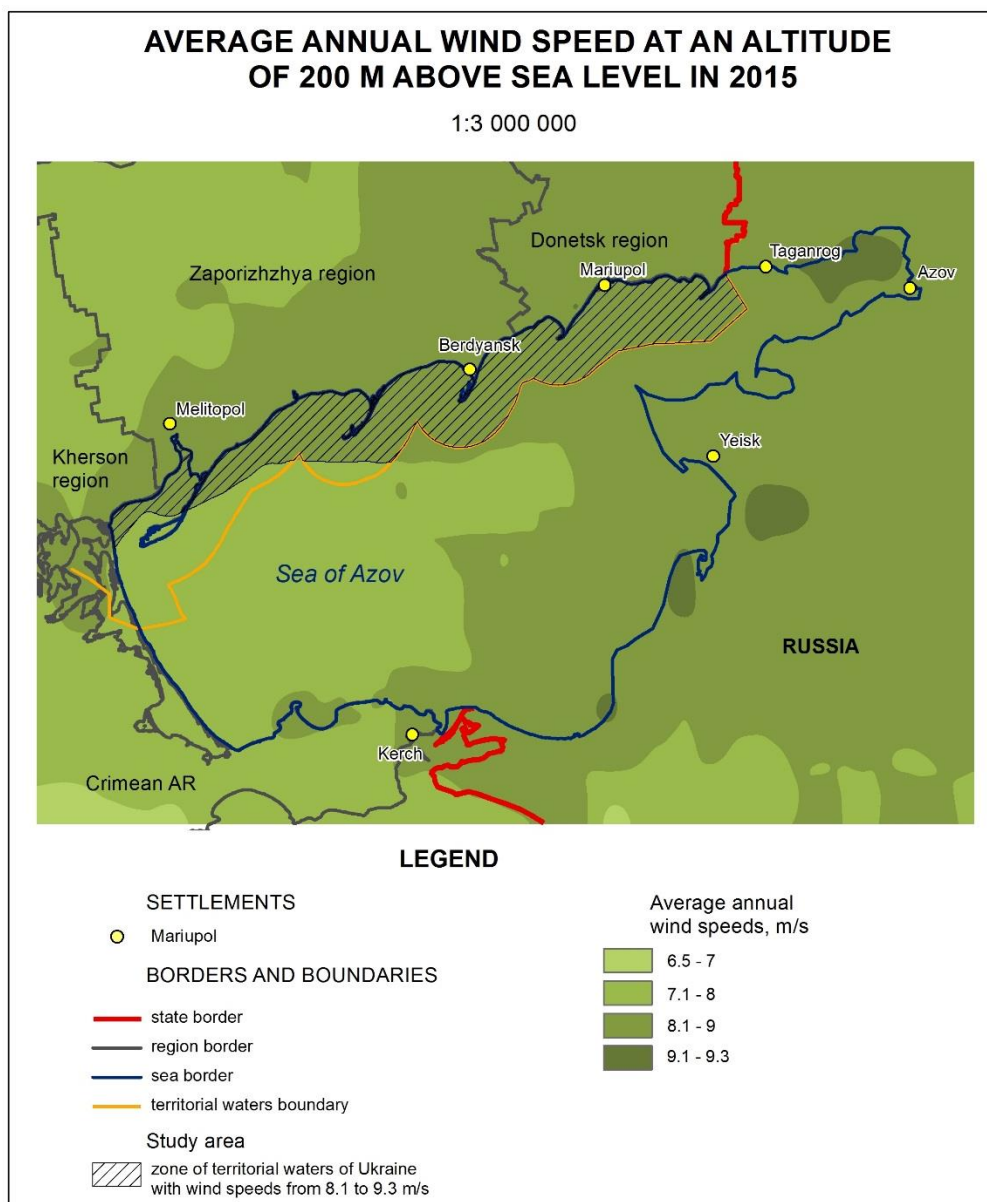


Fig. 1. The average annual wind speed at an altitude of 200 m above sea level [12] (scale changed)

is better to place windmills at a certain distance from them). The experience of developed countries shows that the installation of wind turbines can be prohibited due to a number of facilities, such as settlements and airports, water and engineering objects, forests and protected areas, military facilities.

Substantiation of expediency of offshore wind energy development requires a whole complex of scientific research taking into account economic, social and ecological factors. Cartographic and geoinformation modeling methods are effective for spatial optimization of wind energy facilities [10]. Fig. 3 demonstrates the GIS-based algorithm for selecting optimum location of OWFs, taking into account a set of limiting factors.

Geoinformation modeling has been performed in ArcGIS in three stages. The first stage was the

analysis of the source information, "buffering" of limiting factors and the construction of buffer zones. As wind turbines can only be installed in the country's territorial waters, which are limited to 12 nautical miles (approximately 20 km) to the shore, most of the Sea of Azov was already removed from further analysis. To correctly remove the water areas that, according to the law, do not belong to the territorial waters of Ukraine, parallel to the shoreline of the Sea of Azov a buffer zone of 20 km wide was identified. It was done with the help of the Buffer tool. The algorithm of this tool is well known: from each vertex of the object (in our case it is the turning points of the shoreline) the buffer offset is calculated, and the polygon of 20-kilometer zone is drawn from the extreme points to the shore. In this way, the first limited sea area was identified. The next limit-

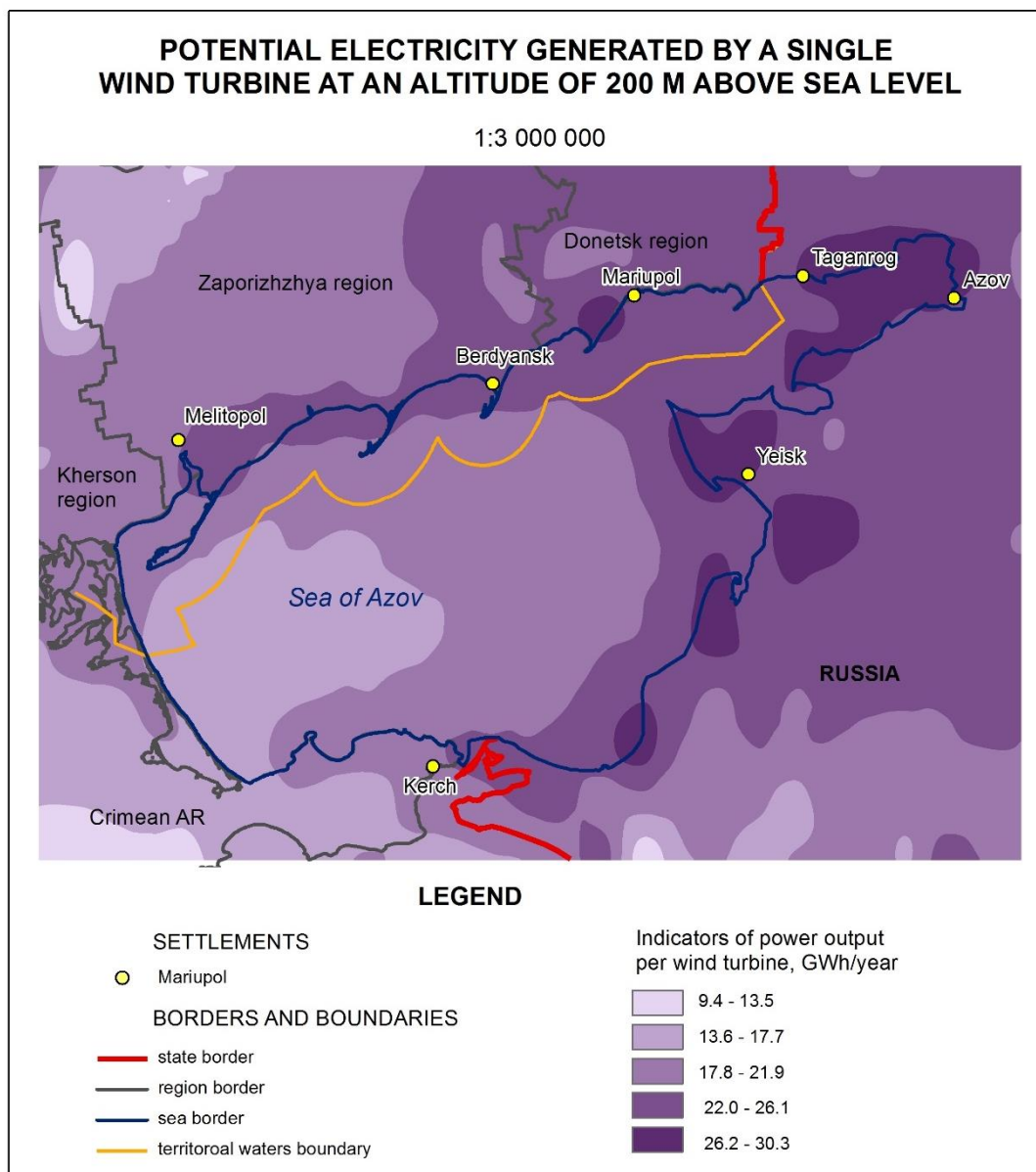


Fig. 2. Potential electricity generated by a single wind turbine at an altitude of 200 m above sea level [12] (scale changed)

ing factors for the installation of wind farms were protected areas, settlements in the coastal zone and existing airports. Spatial analysis operations were also performed for each of these elements.

To correctly determine the buffer zones of nature reserves of local or national importance within the territorial waters of Ukraine there were used maps of the Sea of Azov and OpenStreetMap. After digitization of each object of the Natural Reserve Fund in vector layers, they were given the attributive characteristics of the width of the protective strip: 500 m – for objects of local importance, and 1 km – for those of national importance. The result was the layers with polygonal objects of the Natural Reserve Fund.

The next step of buffering was the establishment of buffer zones of settlements located along

the coastline of the Sea of Azov. Distances from settlements to wind farms were calculated based on generally accepted in Europe parameters: offshore wind turbines should be located at a minimum distance of 4 km to cities with a population of more than 250,000 people, and 750 m – to settlements with a smaller population.

The last limiting factor considered in our study for the coastal zone of the Sea of Azov was the airports in Mariupol and Berdyansk. It is believed that the width of the buffer zone of the airport should be at least 20 km, as wind farms can create obstacles (sometimes catastrophic) for aircraft of different classes. Thus, a layer of protection zone of 20 km was created for each airport.

The second stage was to combine the obtained buffers into one layer and to combine this layer with

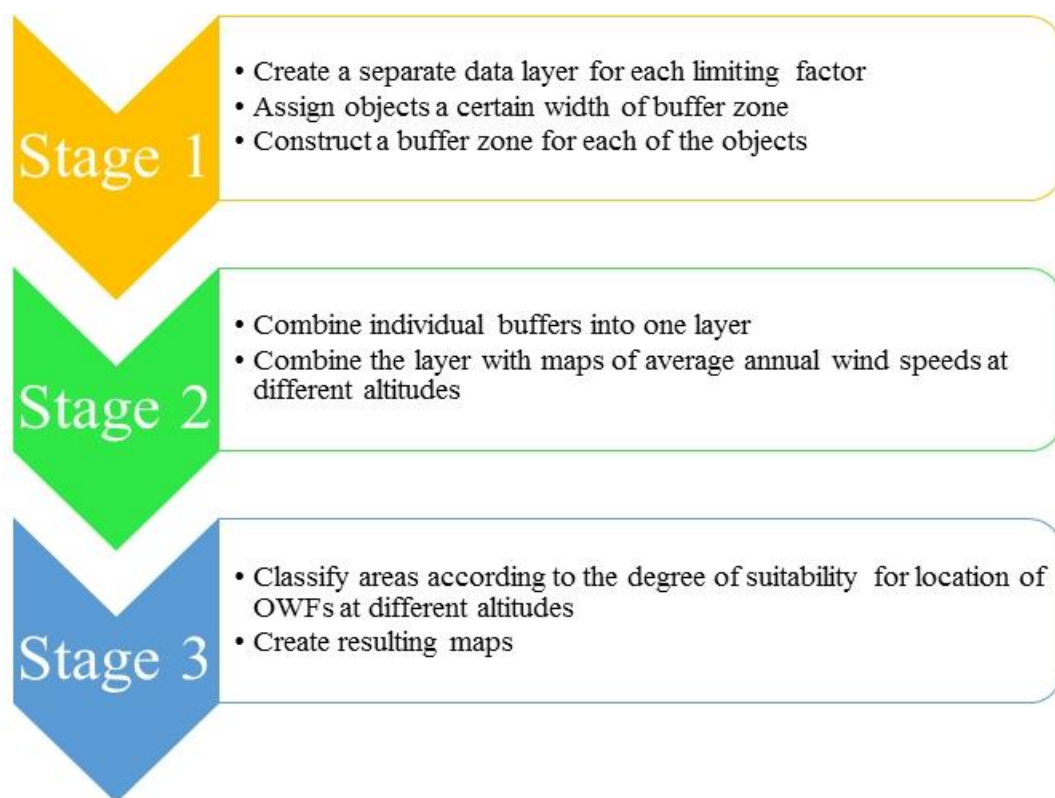


Fig. 3. Modeling of limiting factors of the location of OWFs with the selection of promising areas

maps of average annual wind speeds at different altitudes for our water area. The output surface contains the attributes of the previous layers. The transformation of the buffer into a single polygonal object was carried out using the Merge tool, and then, with the Erase tool, a part of the buffer zone extending beyond the waters of the Sea of Azov to the land was removed. The result was a solid polygon with buffer zones for settlements, airports and objects of the Natural Reserve Fund. In this way, a picture of water areas suitable or unsuitable for offshore wind turbines was obtained.

The third stage was the classification and creation of the resulting maps. At this stage, the assessment of the suitability of certain areas for the location of OWFs on the basis of wind speed criteria and limiting factors was performed.

Within the Sea of Azov the water area can be divided into three types:

- wind speeds over 8 m/s, without limiting factors (high degree of suitability for installation of offshore wind turbines),
- wind speeds from 6.1 to 8 m/s, without limiting factors (medium degree of suitability for installation of offshore wind turbines),
- with limiting factors (not suitable for installation of offshore wind turbines, even at sufficient wind speeds).

Based on this classification and wind speeds at altitudes of 50, 100 and 200 meters, maps of the assessment of the suitability of the Sea of Azov for the

location of OWFs have been created.

The lowest wind speeds are recorded at an altitude of 50 m, because, as is known, the force of air friction increases as we approach the surface. At this level, a sector with wind speeds over 8 m/s stretches along the northern coast of the sea, its area is 3353 km<sup>2</sup>. Taking into account all the restrictions, the resulting area with the highest suitability for the installation of OWFs is 3098 km<sup>2</sup>, that is, decreases by almost 8% or 255 km<sup>2</sup>.

For an altitude of 100 m, the most promising zone for the implementation of offshore wind projects has an area of 3156 km<sup>2</sup> (although areas with wind speeds over 8 m/s are 3562 km<sup>2</sup>). Thus, at this altitude, due to existing restrictions, the area that falls into our field of interest has decreased by almost 11.5% or 406 km<sup>2</sup>.

The most effective area for the installation of OWFs at an altitude of 200 m is 5122 km<sup>2</sup>. That is, zones with a total area of 1422 km<sup>2</sup> or almost 22% of the initial value are not suitable for offshore wind turbines due to limiting factors (Fig. 4).

Thus, 82.6% of the area of territorial waters of Ukraine in the Sea of Azov is generally suitable for the installation of OWFs. Since the limiting factors considered in the study do not have a height reference, the area of the most promising sites for offshore wind turbines increases with an altitude, where wind characteristics are better (3098 km<sup>2</sup> – for 50 m, 3156 km<sup>2</sup> – for 100 m, 5122 km<sup>2</sup> – for 200 m). Hence the logical conclusion that in the Sea of

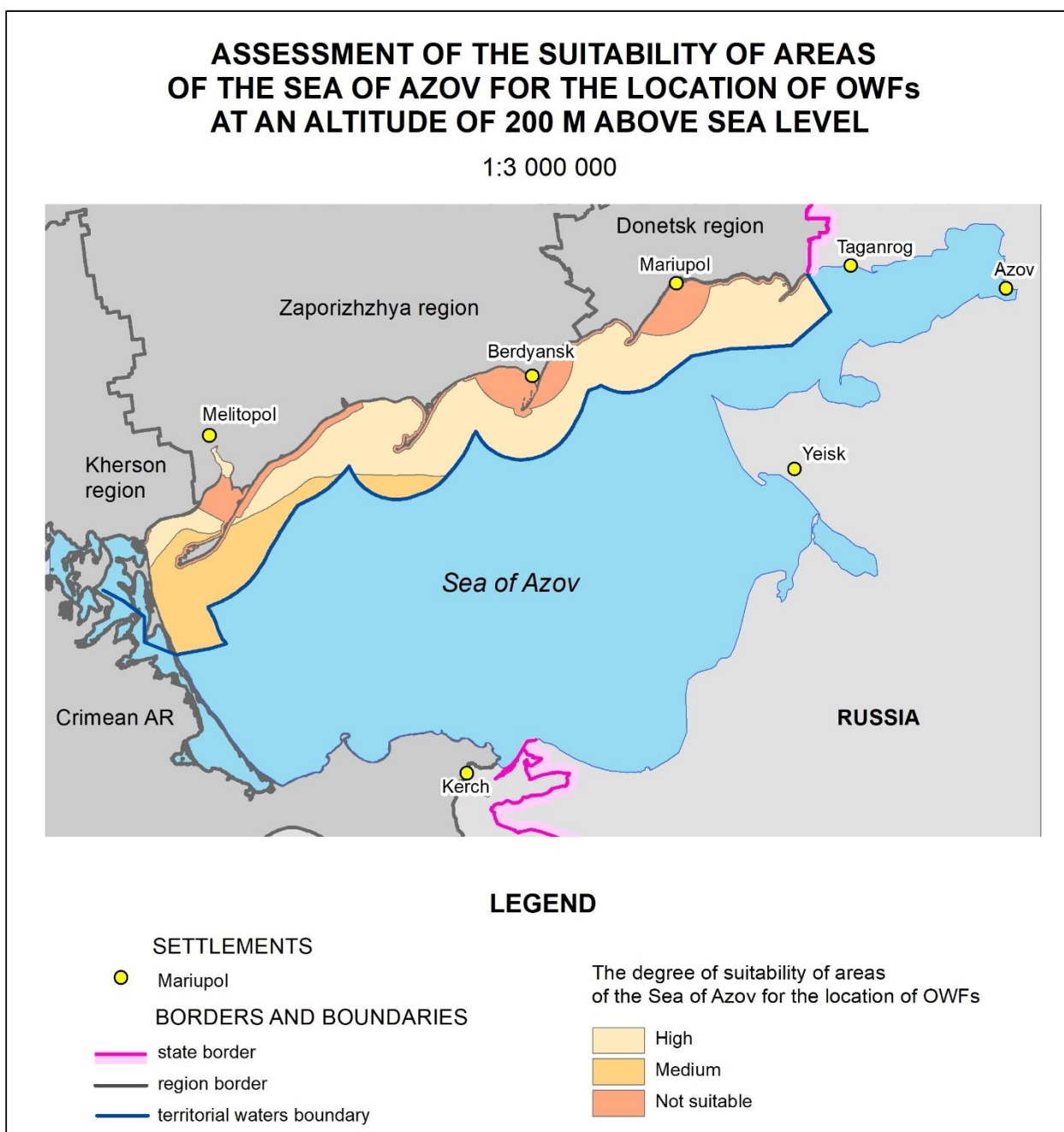


Fig. 4. Assessment of the suitability of areas of the Sea of Azov for the location of OWFs at an altitude of 200 m above sea level (scale changed)

Azov, from an economic point of view, it is more practical and efficient to install wind turbines with a tower height of more than 100 m.

**Conclusions and research perspectives.** Our research has shown that the installation of OWFs is appropriate in the waters of the Sea of Azov, because many areas are characterized by average annual wind speeds over 6 m/s. The most promising areas are the northern and northeastern coasts, where wind speeds at different altitudes range from 8 to 9.3 m/s, in particular in Taganrog Bay.

The development of offshore wind energy in Ukraine has an international aspect, as the delimitation of the Sea of Azov between Ukraine and the

Russian Federation is not completed, which, given the unpredictability of our eastern neighbour, may hinder the development of this sector of alternative energy.

At altitudes of 50, 100 and 200 m, under the action of limiting factors, the most promising for offshore wind energy areas are reduced by 8–22%. As considered in the study limiting factors (territorial waters, protected areas, settlements and airports) have identical influence regardless of an altitude, it is more effective to install wind turbines with a tower height of more than 100 m in the waters of the Sea of Azov.

The final conclusion on the effectiveness of wind turbines in the Sea of Azov requires interdisciplinary research involving ecologists, economists, biologists, sociologists and other experts and landscape-technological assessment of the area at the local level.

### Bibliography

1. Агапова О.Л. Дрібномасштабне картографування з метою планування розвитку альтернативної енергетики в Україні / О.Л. Агапова // *Часопис картографії*. – 2016. – Вип. 14. – С. 6–21.
2. Величко С.А. Природно-ресурсне забезпечення гібридних геліо-вітроенергетичних систем (в межах рівнинної території України): Автореф. дис... канд. геогр. наук: 11.00.11 / С.А. Величко; Харк. нац. ун-т імені В.Н. Каразіна. – Харків, 2006. – 20 с.
3. *Водний кодекс України : станом на 1 вересня 2012 р.* / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – Київ : Парламентське видавництво, 2012. – 246 с.
4. Волковая О.О. Моделирование ветрового потенциала локальной делянки Лисостепу для потреб ветроэнергетики с использованием ГИС-технологий / О.О. Волковая, О.С. Третьяков, И.Г. Черванов // *Український географічний журнал*. – 2015. – № 4. – С. 10–16. <https://doi.org/10.15407/ugz2015.04.010>
5. *Електроенергетичний потенціал відновлюваних джерел енергії України [Електронний ресурс]* // Інститут відновлюваної енергетики НАН України. – Режим доступу : <https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/kudrya2020-1.pdf>
6. *Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»*. – Режим доступу : <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>
7. Кудря С.О. Аналітичний огляд оновлених оцінок щодо перспектив розвитку вітроенергетики / С.О. Кудря, Б.Г. Тучинський, І.В. Іванченко // *Відновлювана енергетика*. – 2019. – №3. – С. 42–47. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.3\(58\).42-47](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.3(58).42-47)
8. Матвеев В.В. Сучасний етап і перспективи розвитку вітрової енергетики в офшорних зонах України / В.В. Матвеев, О.С. Шевцова // *Студентські наукові студії*. – 2013. – Вип. 4 (35). – С. 55–60.
9. Нараєвський С.В. Порівняльна характеристика ефективності роботи вітрової енергетики у провідних країнах світу та Україні / С.В. Нараєвський // *Економіка та держава*. – 2014. – №5. – С. 85–87.
10. Некос А.Н. Застосування геоінформаційних систем при вирішенні завдань просторового планування вітроенергетики / А.Н. Некос, Я.Є. Молодан // *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. – 2014. – Вип. 10 (№1104). – С. 134–141.
11. *Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України : монографія* / С.М. Степаненко, А.М. Польовий, Є.П. Школьнік (та ін.); за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. – Одеса : Екологія, 2011. – С. 195–197.
12. Попович Н. Перспективи розвитку офшорної вітроенергетики у прибережній зоні Азовського моря / Н. Попович, Д. Джим, О. Агапова // *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. – 2019. – Вип. 30. – С. 6–14. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2019-30-01>
13. Потоцький Д.В. Перспективи розвитку вітроенергетики України / Д.В. Потоцький, Л.В. Шилкова, А.М. Масленников // *Вісник НТУ «ХПІ»*. – 2014. – №38 (1081). – С. 138–145.
14. *Расчёт мощности ветрогенератора [Електронний ресурс]*. – Режим доступу : <https://ensat.ru/help/7/13/38.html>
15. Рафикова Ю.Ю. Использование ГИС-технологий в области возобновляемой энергетики: зарубежный и отечественный опыт / Ю.Ю. Рафикова, С.В. Киселева, Л.В. Нефедова // *Альтернативная энергетика и экология*. – 2014. – № 12. – С. 96–106.
16. Руденко Л.Г. Географія: актуалізація на тлі світових трендів / Л.Г. Руденко, Є.О. Маруняк, І.Г. Черванов // *Український географічний журнал*. – 2018. – №2 (102). – С. 17–25. <https://doi.org/10.15407/ugz2018.02.017>
17. *Світовий прорив офшорної вітроенергетики [Електронний ресурс]* // *Українська вітроенергетична асоціація*. – Режим доступу : <http://uwea.com.ua/ua/article/mirovoj-proryv-offshornoj-vetroenergetiki/>
18. Солідор Н.А. Інноваційні підходи до отримання електроенергії нетрадиційними методами / Н.А. Солідор // *Вісник Приазовського державного технічного університету : зб. наук. праць*. – Маріуполь, 2017. – Вип. 34. – С. 89–96.
19. *Цілі сталого розвитку: Україна [Електронний ресурс]* : національна доповідь 2017. – Режим доступу : [http://www.un.org.ua/images/SDGs\\_NationalReportUA](http://www.un.org.ua/images/SDGs_NationalReportUA)
20. *A Global Overview of Renewable Energy Sources (AGORES). Global Warming and Climate Change [Електронний ресурс]*. – Режим доступу : <http://www.agores.org/General/Climatehome.htm>
21. Adedipe O. A Review of Onshore and Offshore Wind Energy Potential in Nigeria / O. Adedipe, M. S. Abolarin, R. O. Maman. – *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2018. – Vol. 413 (1). – P. 12–19. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/413/1/012039>
22. *ArcGIS for Desktop: Spline [Електронний ресурс]*. – Режим доступу : <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/spline.htm>
23. *Global Atlas for Renewable Energy [Електронний ресурс]*. – Режим доступу : <https://irena.masdar.ac.ae>
24. *Global Offshore Wind Market Set to Grow Sixfold by 2030 [Електронний ресурс]* // *BloombergNEF*. – Режим доступу : <https://about.bnef.com/blog/global-offshore-wind-market-set-to-grow-sixfold-by-2030>

25. *Improved Offshore Wind Resource Assessment in Global Climate Stabilization Scenarios* [Електронний ресурс] // NREL. – 2012. – 29 p. – Режим доступу: <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/55049.pdf>  
<https://dx.doi.org/10.2172/1055364>
26. Mahdy M. *Offshore Wind Energy Potential Around the East Coast of the Red Sea, KSA* / M. Mahdy, A. S. Bahaj, A. S. Alghamdi // *ISES Solar World Conference 2017 Proceedings*. – Режим доступу: <http://proceedings.ises.org/paper/swc2017/swc2017-0247-Mahdy.pdf>; <https://doi.org/10.18086/swc.2017.38.02>
27. *Offshore Wind Leasing Round 4 signals major vote of confidence in the UK's green economy* [Електронний ресурс] // *The Crown Estate*. – Режим доступу: <https://www.thecrownestate.co.uk/en-gb/media-and-insights/news/2021-offshore-wind-leasing-round-4-signals-major-vote-of-confidence-in-the-uk-s-green-economy/>
28. *Poland starts talks on 10GW-plus offshore plans* [Електронний ресурс] // *Windpower Monthly*. – Режим доступу: <https://www.windpowermonthly.com/article/1671012/poland-starts-talks-10gw-plus-offshore-plans>
29. *Record 6.1 GW of new offshore wind capacity installed globally in 2019* [Електронний ресурс] // *WindTECH International*. – Режим доступу: <https://www.windtech-international.com/industry-news/record-6-1gw-of-new-offshore-wind-capacity-installed-globally-in-2019>
30. Rodriguez H.M. *Preliminary Cost Assessment for Offshore Wind Energy in Puerto Rico* / H.M. Rodriguez, G. Carbajal, E. Romero. – *Universidad del Turabo*, 2015. – P. 5–10. <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2015.1.1.186>
31. Salvacao N. *Assessing the Offshore Wind Energy Potential Along the Coasts of Portugal and Galicia* / N. Salvacao, M. Bernardino, S. C. Guedes // *Developments in Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources*. – 2014. – P. 995–1002.
32. Tavner P. *Offshore Wind Turbines. Reliability, availability and maintenance* / P. Tavner. – *The Institution of Engineering and Technology*, 2012. – 296 p. <https://doi.org/10.1049/PBRN013E>
33. *Wind energy in Europe 2020. Statistics and the outlook for 2021–2025* [Електронний ресурс] // *Wind Europe*. – Режим доступу: <https://windeurope.org/data-and-analysis/product/wind-energy-in-europe-in-2020-trends-and-statistics/>

Submitted April 04, 2021

Accepted April 28, 2021

**Authors Contribution:** Authors contributed to this work equally.

UDC 911.9:620.92(262.54)

**Nataliia Popovych,**

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Physical Geography and Cartography,  
V. N. Karazin Kharkiv National University, 4, Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,  
e-mail: [n.popovych@physgeo.com](mailto:n.popovych@physgeo.com), <http://orcid.org/0000-0003-4968-6296>;

**Vilina Peresadko,**

DSc (Geography), Professor, Department of Physical Geography and Cartography,  
V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [vilinaperesadko@gmail.com](mailto:vilinaperesadko@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-2439-2788>;

**Daria Dzhym,**

Master (Geography), Department of Physical Geography and Cartography,  
V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [d.dzhim@physgeo.com](mailto:d.dzhim@physgeo.com), <https://orcid.org/0000-0002-3823-1942>

## DEVELOPMENT OF OFFSHORE WIND ENERGY OF UKRAINE IN THE SEA OF AZOV: THE GEOGRAPHICAL ASPECT

**Formulation of the problem.** Ukraine's energy sector is import-dependent, and one of the country's sustainable development goals until 2030 is to ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy sources. The wind potential of the mainland of our country has been thoroughly studied, so the focus of our interest is water areas, which are promising for the development of offshore wind energy. Offshore wind farms in Ukraine could improve the environmental situation and considerably contribute to the decarbonization of domestic energy. That is why the study considers the opportunity of offshore wind farms installation in the Sea of Azov.

**Methods.** The analysis of literary and cartographic sources has been carried out. Mathematical methods have been used to calculate energy indicators. Using geoinformation modeling, taking into account limiting factors, suitable for the installation of offshore wind farms areas have been identified in the Sea of Azov.

**The purpose of the article** is to geographically analyze the wind energy potential of the Sea of Azov with further assessment of the suitability of areas for the offshore wind farms location.



**Results.** Our research has shown that the installation of offshore wind farms is appropriate in the Sea of Azov, because many areas are characterized by average annual wind speed above 6 meters per second. The most promising areas are the northern and northeastern coasts, where wind speed at different altitudes ranges from 8 to 9.3 meters per second.

At altitudes of 50, 100 and 200 m, under the action of limiting factors, the most promising for offshore wind turbines areas are reduced by 8–22%. As considered limiting factors (territorial waters, nature protection objects, settlements and airports) have identical influence regardless of height, it is more effective to install wind turbines with a tower height of more than 100 m in the waters of the Sea of Azov. Interdisciplinary research is needed for the final answer on the effectiveness of offshore wind turbines in the Sea of Azov.

**Scientific novelty and practical significance.** The results of the analysis of the wind energy potential of the Sea of Azov have been given, the tendency of its growth from the west to the east has been revealed. Attention has been paid to the method of geoinformation modeling of the location of offshore wind farms taking into account limiting factors. Maps of wind speed, potential of electricity generated by a single wind turbine and suitability of areas of the Sea of Azov for the location of offshore wind farms at an altitude of 200 m above sea level have been presented. These data can be used by designers of wind energy facilities as a basis for determining the optimal power of wind turbines and the type of energy for a particular area of the Sea of Azov.

**Keywords:** geographical aspect, offshore wind energy, offshore wind power plant, wind energy potential, the Sea of Azov, Ukraine.

### References

1. Agapova, O. L. (2016). *Dribnomasshtabne kartografuvannya z metoyu planuvannya rozvytku al'ternatyvnoyi energetyky v Ukraini* [Small-scale mapping for the planning of alternative energy development in Ukraine]. *Magazine of Cartography*, 14, 6–21 [in Ukrainian].
2. Velychko, S.A. (2006). *Pryrodno-resursne zabezpechennya gibrydnykh gelio-vitroenergetychnykh system (v mezhex rivnynnoyi terytoriyi Ukrainy)* [Natural resources providing for hybrid solar-wind energy systems (in the frontiers of plain territory of Ukraine)]. *The thesis for the degree of candidate of geographical sciences on specialty 11.00.11. V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv*, 20.
3. *Water Code of Ukraine: as of September 1, 2012*. Verkhovna Rada of Ukraine. Kyiv: Parliamentary Publishing House, 246 [in Ukrainian].
4. Volkovaia, O. O., Tretyakov, O. S., Chervaniov, I. H. (2015). *Modelyuvannya vitrovogo potencialu lokal'noyi dilyanky Lisostepu dlya potreb vitroenergetyky z vykorystanniam GIS-texnologij* [Local forest-steppe area wind potential modeling for the wind energy needs with the use of GIS technology]. *Ukrainian Geographical Journal*, 4, 10–16 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/ugz2015.04.010>
5. *Elektroenergetychnyj potencial vidnovlyuvanykh dzherel energiyi Ukrainy* [Electricity potential of renewable energy sources of Ukraine]. Institute of Renewable Energy, NASU. Available at : <https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/kudrya2020-1.pdf> [in Ukrainian]. – 15.03.2021
6. *Energetychna strategiya Ukrainy na period do 2035 roku «Bezpeka, energoefektyvnist', konkurentospromozhnist'»* [Energy strategy of Ukraine to 2035 "Security, energy efficiency, competitiveness"]. Available at : <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358> [in Ukrainian]. – 11.03.2021
7. Kudrya, S. O., Tuchynskiy, B. G., Ivanchenko, I. V. (2019). *Analitichnyj oglyad onovlenykh ocinok shhodo perspektyv rozvytku vitroenergetyky* [Analytical review of the updated estimates of the prospects for the development of wind energy]. *Renewable Energy*, 3, 42–47 [in Ukrainian]. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.3\(58\)](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.3(58))
8. Matvyeyev, V. V., Shevczova, O. S. (2013). *Suchasnyj etap i perspektyvy rozvytku vitrovoyi energetyky v ofshornykh zonax Ukrainy* [Current stage and prospects of wind energy development in offshore zones of Ukraine]. *Student research studios*, 4 (35), 55–60 [in Ukrainian].
9. Naraievs'kyj, S. V. (2014). *Porivnyal'na xarakterystyka efektyvnosti roboty vitrovoyi energetyky u providnykh krayinax svitu ta Ukraini* [Comparative characterization of the efficiency of wind energy in the leading countries of the world and Ukraine]. *Economy and State*, 5, 85–87 [in Ukrainian].
10. Nekos, A. N., Molodan, Ia. E. (2014). *Zastosuvannya geoinformacijnykh system pry vyreshenni zavdan' prostorovogo planuvannya vitroenergetyky* [Geographic information systems application in problem-solving of spatial planning for wind energy]. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, 10 (1104), 134–141 [in Ukrainian].
11. *Ocinka vplyvu klimatychnykh zmin na galuzi ekonomiky Ukrainy: monografiya* [Assessment of climate change impact in the field of Ukrainian economy: monograph]. Edited by S. M. Stepanenko, A. M. Pol'ovyy. Odessa, Ecology, 2011, 195–197 [in Ukrainian].
12. Popovych, N., Dzhyim, D., Agapova, O. (2019). *Perspektyvy rozvytku ofshornoyi vitroenergetyky u pryberezhnii zoni Azov'skogo morya* [Prospects for the development of offshore wind power along the coast of the Sea of Azov]. *Problems of Continuous Geographic Education and Cartography*, 30, 6–14. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2019-30-01>

13. Potocz`kyj, D. V., Shy`lkova, L. V., Maslyennikov, A. M. (2014). *Perspektyvy` rozvy`tku vitroenergety`ky` Ukrainy`* [Prospects of development of the wind power plants of Ukraine]. *Visnyk of National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»*, 38 (1081), 138–145 [in Ukrainian].
14. Raschjot moshhnosti vetrogeneratora [Calculation of wind generator power]. – Available at: <https://ensat.ru/help/7/13/38.html> [in Russian]. – 11.03.2021
15. Rafikova, Y. Y., Kiseleva, S. V., Nefedova, L. V. (2014). *Ispol'zovanie GIS-tehnologij v oblasti vozobnovljaemoj jenergetiki: zarubezhnyj i otechestvennyj opyt* [The use of GIS technology in the field of renewable energy: international and national experience]. *Alternative Energy and Ecology*, 12, 96–106 [in Russian].
16. Rudenko, L. H., Maruniak, Eu. O., Chervaniov, I. H. (2018). *Geografija: aktualizaciya na tili svitovy`x trendiv* [Geography: updating toward world trends]. *Ukrainian Geographical Journal*, 2 (102), 17–25 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/ugz2018.02.017>
17. *Svitovy`j proryv` ofshornoyi vitroenergety`ky`* [Global breakthrough of offshore wind energy]. Ukrainian Wind Energy Association. Available at: <http://uwea.com.ua/ua/article/mirovoj-proryv-offshornoj-vetroenergetiki/> [in Ukrainian]. – 09.03.2021
18. Solidor, N. A. (2017). *Innovacijni pidxody` do otry`mannya elektroenergiyi netrady`cijny`my` metodamy`* [Innovative approaches to power generation by nontraditional methods]. *Bulletin of Priazovskiy State Technical University*, 34, 89–96 [in Ukrainian].
19. *Cili stalogo rozvy`tku: Ukrayina : nacional`na dopovid` 2017* [Sustainable Development Goals: Ukraine: National Report 2017]. Available at: [http://www.un.org.ua/images/SDGs\\_NationalReportUA](http://www.un.org.ua/images/SDGs_NationalReportUA) [in Ukrainian]. – 15.03.2021
20. *A Global Overview of Renewable Energy Sources (AGORES)*. Global Warming and Climate Change. Available at: <http://www.agores.org/General/Climatehome.htm> – 11.03.2021
21. Adedipe, O., Abolarin, M. S., Mamman. R. O. (2018). *A Review of Onshore and Offshore Wind Energy Potential in Nigeria*. *IOP Conf. Series : Materials Science and Engineering*, 413 (1), 12–19. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/413/1/012039>
22. *ArcGIS for Desktop: Spline*. Available at: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/spline.htm>. – 01.03.2021
23. *Global Atlas for Renewable Energy*. Available at: <https://irena.masdar.ac.ae>. – 03.03.2021
24. *Global Offshore Wind Market Set to Grow Sixfold by 2030*. BloombergNEF. Available at: <https://about.bnef.com/blog/global-offshore-wind-market-set-to-grow-sixfold-by-2030>. – 05.03.2021
25. *Improved Offshore Wind Resource Assessment in Global Climate Stabilization Scenarios*. (2012). NREL, 29. Available at: <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/55049.pdf>. – 11.03.2021. <https://dx.doi.org/10.2172/1055364>
26. Mahdy, M., Bahaj, A. S., Alghamdi, A. S. (2017). *Offshore Wind Energy Potential Around the East Coast of the Red Sea, KSA*. *ISES Solar World Conference 2017 Proceedings*. Available at: <http://proceedings.ises.org/paper/swc2017/swc2017-0247-Mahdy.pdf>. – 03.03.2021. <https://doi.org/10.18086/swc.2017.38.02>
27. *Offshore Wind Leasing Round 4 signals major vote of confidence in the UK's green economy*. The Crown Estate. Available at: <https://www.thecrownestate.co.uk/en-gb/media-and-insights/news/2021-offshore-wind-leasing-round-4-signals-major-vote-of-confidence-in-the-uk-s-green-economy/>. – 01.03.2021
28. *Poland starts talks on 10GW-plus offshore plans*. Windpower Monthly. Available at: <https://www.windpowermonthly.com/article/1671012/poland-starts-talks-10gw-plus-offshore-plans>. – 05.03.2021
29. *Record 6.1 GW of new offshore wind capacity installed globally in 2019*. WindTECH International. Available at: <https://www.windtech-international.com/industry-news/record-6-1gw-of-new-offshore-wind-capacity-installed-globally-in-2019>. – 05.03.2021
30. Rodriguez, H. M., Carbajal, G., Romero, E. (2015). *Preliminary Cost Assessment for Offshore Wind Energy in Puerto Rico*. *Universidad del Turabo*, 5–10. <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2015.1.1.186>
31. Salvacao, N., Bernardino, M., Guedes, S. C. (2014). *Assessing the Offshore Wind Energy Potential Along the Coasts of Portugal and Galicia*. *Developments in Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources*, 995–1002.
32. Tavner, P. (2012). *Offshore Wind Turbines. Reliability, availability and maintenance* The Institution of Engineering and Technology, 296. <https://doi.org/10.1049/PBRN013E>
33. *Wind energy in Europe 2020. Statistics and the outlook for 2021–2025*. Wind Europe. Available at: <https://windeurope.org/data-and-analysis/product/wind-energy-in-europe-in-2020-trends-and-statistics/>. – 03.03.2021

# ЕКОЛОГІЯ

УДК 911.9:502.132(477.44-25)

**Григорій Іванович Денисик,**

д. геогр. н., професор, завідувач кафедри географії  
Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського,  
вул. Острозького, 32, м. Вінниця, 21100, Україна,  
e-mail: [grygden@ukr.net](mailto:grygden@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-0941-9217>;

**Юрій Васильович Яценюк,**

д. геогр. н., доцент, професор кафедри географії  
Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського,  
e-mail: [yatsentyuk@gmail.com](mailto:yatsentyuk@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2906-4828>;

**Володимир Петрович Воровка,**

д. геогр. н., доцент, завідувач кафедри екологічної безпеки та раціонального природокористування  
Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького,  
вул. Гетьманська, 20, м. Мелітополь, Запорізька область, 72312, Україна,  
e-mail: [geofak\\_mgpu@ukr.net](mailto:geofak_mgpu@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0001-7658-5939>;

**Володимир Миколайович Воловик,**

д. геогр. н., доцент, професор кафедри географії  
Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського,  
e-mail: [wolowyk@gmail.com](mailto:wolowyk@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8663-0342>

## БІОЦЕНТРИ ЕКОЛОГІЧНОЇ МЕРЕЖІ МІСТА ВІННИЦІ

Стаття присвячена актуальній проблемі – збереженню ландшафтних комплексів та їх біотичного компоненту в умовах трансформованого під впливом господарської діяльності людини міського середовища Вінниці. Для вирішення цієї проблеми використано концепцію біоцентрично-мережевої конфігурації ландшафтних комплексів, що втілена у розробці місцевої схеми екологічної мережі міста. Ключовими територіями міської екомережі є локальні біоцентри. З метою виділення біоцентрів екологічної мережі міста Вінниці проведено дослідження компонентів природи і ландшафтних комплексів, виявлено середовища існування рідкісних видів флори і фауни, рідкісні рослинні асоціації та формації, проаналізовано особливості цінних для збереження біорізноманіття квазіприродних ділянок. У результаті у структурі міської екологічної мережі виділено 25 локальних біоцентрів. Вони охоплюють усе різноманіття ландшафтних комплексів Вінниці: типові лісостепові й мішаних лісів; лісостепових полів, прохідних долин і нагірних дібров; умовно-натуральні та антропогенні. Оскільки характерні особливості ключових територій екологічної мережі міста Вінниці визначаються розташуванням у межах певних типів ландшафтних місцевостей, виділено заплаву, надзаплавно-терасову, схилу, вододільну та комплексну групи біоцентрів. Виявлено, що за площею значно переважають (70,7 %) комплексні біоцентри. У їх межах поєднуються, головним чином, схилова і вододільна місцевості. Їх доповнюють руслова, заплавна і надзаплавно-терасова місцевості. Істотні площі у структурі екологічної мережі Вінниці (22,8 %) займають надзаплавно-терасові біоцентри. Найменші поширеними є заплавні (3,3 %), схилі (1,9 %) та вододільні (1,3 %) біоцентри. У межах біоцентрів зустрічаються види рослин і тварин обласного і Європейського Червоних списків, Червоної книги України, тварини додатку 2 Бернської конвенції, угруповання Зеленої книги України. Виділені біоцентри екологічної мережі будуть виконувати функції збереження біотичного і ландшафтного різноманіття Вінниці, підтримання екологічної рівноваги дестабілізованого міського середовища.

**Ключові слова:** біоцентр, ландшафт, тип місцевостей, рослини, рослинні угруповання, тварини, біорізноманіття, екологічна мережа.

**Г. И. Денисик, Ю. В. Яценюк, В. П. Воровка, В. Н. Воловик. БИОЦЕНТРЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ ГОРОДА ВИННИЦЫ.** Статья посвящена актуальной проблеме – сохранению ландшафтных комплексов и их биотического компонента в условиях трансформированной под влиянием хозяйственной деятельности человека городской среды Винницы. Для решения этой проблемы использована концепция биоцентрическо-сетевой конфигурации ландшафтных комплексов, которая воплощена в разработке местной схемы экологической сети города. Ключевыми территориями городской экосети являются локальные биоцентры. С целью выделения биоцентров экологической сети города Винницы проведены исследования компонентов природы и ландшафтных комплексов, обнаружены среды обитания редких видов флоры и фауны, редкие растительные ассоциации и формации, проанализированы особенности ценных для сохранения биоразнообразия квазиприродных участков. В результате в структуре городской экологической сети выделены 25 локальных биоцентров. Они охватывают всё многообразие ландшафтных комплексов Винницы: типичные лесостепные и смешанные леса; лесостепные полевья, проходные долины и нагорные дубравы; условно-натуральные и антропогенные. Поскольку характерные особенности ключевых территорий экологической сети города Винницы определяются расположением в пределах определенных типов ландшафтных местностей, выделены пойменная, надпойменно-террасовая, склоновая, водораздельная и комплексная группы биоцентров. Выведено, что по площади значительно преобладают (70,7%) комплексные биоцентры. В их пределах сочетаются, главным образом, склоновая и водораздельная местности. Их дополняют русловая, пойменная и надпойменно-террасовая местности. Существенные площади в структуре экологической сети Винницы (22,8%) занимают

надпойменно-террасовые биоцентры. Наименее распространены пойменные (3,3 %), склоновые (1,9%) и водораздельные (1,3%) биоцентры. В биоцентрах встречаются виды растений и животных областного и Европейского Красных списков, Красной книги Украины, животные приложения 2 Бернской конвенции, группировки Зеленой книги Украины. Выделенные биоцентры экологической сети будут выполнять функции сохранения биотического и ландшафтного разнообразия Винницы, поддержания экологического равновесия дестабилизированной городской среды.

**Ключевые слова:** биоцентр, ландшафт, тип местностей, растения, растительные группировки, животные, биоразнообразия, экологическая сеть.

**Постановка проблеми.** Урбанізовані ландшафти з-поміж навколишніх територій виділяються докорінним перетворенням усіх компонентів під впливом антропогенного чинника. Чи не найбільших змін у містах зазнають рослинний і тваринний світ, що є одними з найважливіших чинників підтримання екологічної рівноваги міських ландшафтів. Тому актуальною проблемою є збереження біоти у містах. Вирішення цієї проблеми передбачає охорону наявних та відновлення деградованих середовищ існування флори і фауни міст; створення необхідних для обміну генетичною інформацією міграційних умов. Ці практичні завдання найкраще вирішуються посередництвом розробки екологічних мереж в урболандшафтах. Ключовими територіями міських екомереж є локальні біоцентри. Виділення останніх, аналіз їх біотичного компоненту є досить важливими для поліпшення стану міського середовища.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Дослідження біоцентрів у структурі екологічних мереж міських територій займає істотне місце серед наукових пошуків. Вагомий внесок у вивчення міських біоцентрів за кордоном зробили Abdul Rahim Hamid, Puay Yok Tan [1], Shuming Zhao, Yifei Ma, Jinling Wang, Xueyi You [2], Christopher A. Lepczyk, Myla F. J. Aronson, Karl L. Evans, Mark A. Goddard, Susannah B. Lerman, J. Scott MacIvor [3]. В Україні дослідження біоцентрів у містах проводили: Л. П. Царик, П. Л. Царик [4], І. А. Байдіков [5], Ю. В. Яцентюк, Є. І. Ворона [6], А. В. Гудзевич [7].

Відомо лише кілька публікацій, присвячених вивченню біоцентрів екологічної мережі міста Вінниці. Їх авторами є А. В. Гудзевич [8], Є. М. Крижановський та А. В. Нагорна [9]. Однак, вони зроблені до 2015 року і не охоплюють території, які включені до складу міста у результаті змін його меж. Рослинний і тваринний світ біоцентрів проаналізований поверхнево, без детальної характеристики рідкісних видів. Ландшафтні комплекси, як основа біоцентрів, взагалі не були розглянуті. Є. М. Крижановський та А. В. Нагорна представили механістичний підхід до виділення ключових територій: 8 природних ядер відповідають лише заповідним об'єктам; більша частина цінних, хоча й не заповідних те-

риторій міста, біоцентрами не представлена; в якості природних ядер виділені окремі дерева – пам'ятки природи. Важко уявити, що окремі сосна чи дуб є центрами біотичного і ландшафтного різноманіття. Як природне ядро вищевказані автори також виділили Алею горіха Зібольда. Вона, хоч і є заповідною, однак представлена відокремленими екземплярами лише одного виду дерев. Про біотичне різноманіття такого природного ядра вести мову не можна. Виходячи з вищезазначеного, постала необхідність виділення та детального аналізу біоцентрів міста Вінниці.

**Формулювання мети статті.** Метою статті є виявлення особливостей рослинного і тваринного світу, ландшафтних комплексів біоцентрів екологічної мережі міста Вінниці. Для досягнення мети проведено дослідження рослинного і тваринного світу, ландшафтних комплексів міської території; виявлено середовища існування рідкісних видів флори і фауни, ділянки поширення угруповань Зеленої книги України. Дослідження проводились з використанням таких **методів:** польових досліджень (натурних ділянок, площадні та маршрутні), аналітико-картографічного аналізу, збору та обробки статистичної інформації, літературно-картографічний, теоретичного узагальнення та систематизації фактів, аналізу, абстракції, аналогії, синтезу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** На території міста Вінниці виділено 25 біоцентрів [10]. Оскільки їх характерні особливості визначаються розташуванням у межах певних типів ландшафтних місцевостей, виділено заплаву, надзаплавно-терасову, схилу, вододільну та комплексну групи біоцентрів. У межах комплексних біоцентрів поєднуються, головним чином, схилова і вододільна місцевості (табл. 1). Їх доповнюють руслова, заплава і надзаплавно-терасова місцевості.

*Північний біоцентр* охоплює великий лісовий масив – «урочище Кабачок» (рис. 1), видовжений із заходу на схід на 2,24 км, із півночі на південь – на 1,5 км, має периметр 7417 м і площу 255,09 га. Він сформувався на основі ботанічних пам'яток природи місцевого значення «Бук європейський» (0,3 га), «Михайлівська бучина» (0,1 га) та «Кабачок» (4 га). Ландшафтні комплекси біоцентру представлені слабо хвилястими рівнинними поверхнями, що зайняті грабовою дібровою на сірих лісових ґрунтах, сформованих

## Біоцентри екологічної мережі міста Вінниця

Група біоцентрів	Назва біоцентрів
надзаплавно-терасова	Північний, Південно-Західний, Південно-Вишенський, Подільський, Коцюбинський, Київський, Замостянський, Промисловий, Стрілецький, Парковий, Східний
заплавна	Острівний, Бригантина, Західний
схилова	Кумбари, Нагірний, Привокзальний, Скалецький
вододільна	Свято-Вознесенський, Слов'янський, Підлісний
комплексна	Північно-Західний, Центральний, П'ятничанський, Південний

на лесоподібних суглинках. Деревостани представлені умовно корінними угрупованнями липової діброви віком до 100 років за участю 6 екземплярів дуба звичайного віком близько 200 ро-

ків та ялини європейської [11, с. 12].

На території біоцентру виявлено види рослин Червоної книги України, Червоного списку Вінниччини (табл. 2), зустрічаються регіональ-

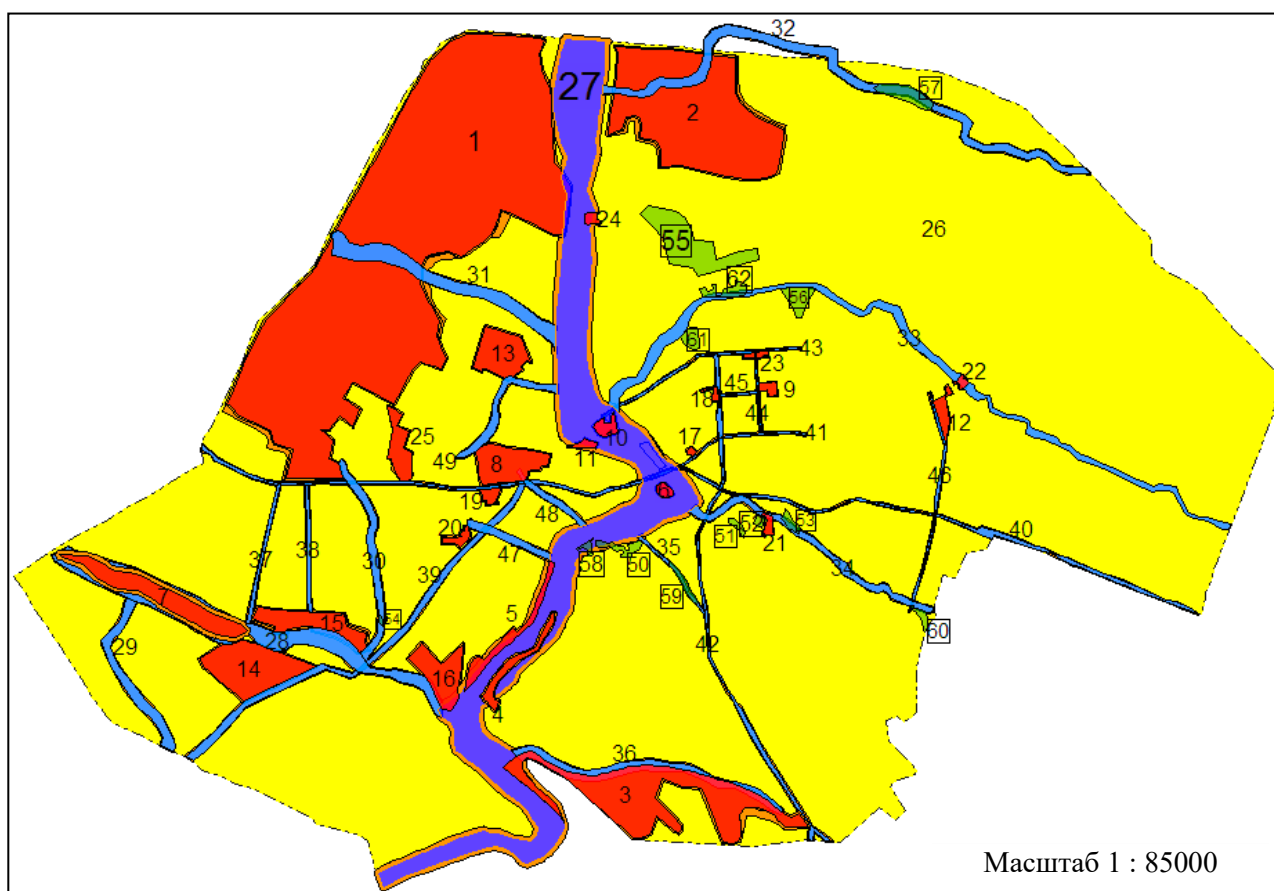


Рис. 1. Екомережа міста Вінниці.

*Біоцентри:* 1 - Північно-Західний, 2 - Північний, 3 - Південний, 4 - Нагірний, 5 - Скалецький, 6 - Острівний, 7 - Західний, 8 - Центральний, 9 - Промисловий, 10 - Бригантина, 11 - Кумбари, 12 - Парковий, 13 - П'ятничанський, 14 - Південно-Західний, 15 - Південно-Вишенський, 16 - Подільський, 17 - Коцюбинський, 18 - Замостянський, 19 - Свято-Вознесенський, 20 - Слов'янський, 21 - Привокзальний, 22 - Східний, 23 - Стрілецький, 24 - Київський, 25 - Підлісний.

*Національні екокоридори:* 26 - Галицько-Слобожанський, 27 - Південнобузький.

*Локальні екокоридори:* 28 - Вишенський, 29 - Пироговський, 30 - Дьогтянецький, 31 - П'ятничанський, 32 - Північний, 33 - Тяжлівський, 34 - Вінничківський, 35 - Паліївський, 36 - Лісовий, 37 - Проспекту Юності, 38 - Проспекту Космонавтів, 39 - Слов'янський, 40 - Хмельницько-Немирівський, 41 - Коцюбинський, 42 - Замостянсько-Нечаївський, 43 - Стрілецький, 44 - Некрасовський, 45 - Стеценківський, 46 - Чеховський, 47 - Маліновський, 48 - Калічанський, 49 - Лермонтовський. *Відновлювальні території:* 50 - Успенська, 51 - Дубовецька, 52 - Привокзальна, 53 - Вінничківська, 54 - Дьогтянецька, 55 - Озерна, 56 - Батозька, 57 - Об'їзна, 58 - Миколаївська, 59 - Паліївська, 60 - Південно-Східна, 61 - Заводська, 62 - Гонтівська

## Рідкісна рослинність біоцентрів екологічної мережі міста Вінниці

Біо-центр	Види рослин Червоної книги України	Види рослин Червоного списку Вінниччини
Північно-Західний	коручки чемерниковидна і темно-червона, цибуля ведмежа, підсніжник білосніжний, скополія карніолійська	конвалія і черемха звичайні, барвінок малий, фіалка запашна, оман високий, проліска дволиста
Північний	любка дволиста, коручки чемерниковидна і темно-червона, підсніжник білосніжний	фіалка запашна, конвалія звичайна, проліска дволиста
П'ятничанський	підсніжник білосніжний, скополія карніолійська, зозулині сльози яйцевидні, коручки чемерниковидна і темно-червона, цибуля ведмежа, модрина польська	конвалія звичайна, берека, черемха звичайна, шипшина Шмальгаузена, проліска дволиста, барвінок малий, фіалка запашна, конюшина паннонська
Центральний	підсніжник білосніжний та клокичка периста	берека, черемха звичайна, барвінок малий, фіалка запашна
Південно-Західний та Південно-Вишеньський	цибуля ведмежа, анемона розлога, беладона звичайна, брандушка різнокольорова, шафрани вузьколистий, Гейфеля, сітчастий та весняний, ясець білий, змієголовник австрійський, підсніжник білосніжний, чемерник чорний, лілія лісова, півонія тонколиста, сосна кедрова європейська, сон великий, родіола рожева, скополія карніолійська, ковила волосиста, клокичка периста, тис ягідний, тюльпан дібровний, фіалка біла	конвалія звичайна, черемха звичайна, барвінок малий, фіалка запашна, конюшина паннонська
Південний	цибуля ведмежа, вовчі ягоди Софії, підсніжник білосніжний, лілія лісова, коручка чемерниковидна	конвалія звичайна, барвінок малий, фіалка запашна, черемха звичайна, проліска дволиста
Подільський	коручка чемерниковидна	конвалія та черемха звичайні, оман високий, барвінок малий, фіалка запашна

но-рідкісні види рослин, що не внесені до Червоного списку Вінницької області: первоцвіт весняний, зубниця бульбиста, барвінок трав'янистий, вороняче око чотирилисте. Виявлено рослинні угруповання Зеленої книги України: група асоціацій дубових лісів ліщинових (типові старі ліси); асоціації грабово-дубового лісу волосистоосокового та яглицевого (старі типові насадження).

*Південно-Західний біоцентр* за формою нагадує ромб, що витягнутий із заходу на схід на 1497 м, з півночі на південь – на 790 м, має периметр 3472 м та площу 62,76 га. Він сформований на основі парків-пам'яток садово-паркового мистецтва загальнодержавного значення «Ботанічний сад "Поділля"» та місцевого значення «Музей-садиба М.І. Пирогова». Біоцентр поєднує функції збереження природи та історико-культурної спадщини. Тут охороняються ланд-

шафтні комплекси рівних, відлогих і пологих поверхонь нерозчленованих I і II надзаплавних терас річки Вишня з сірими лісовими ґрунтами на лесоподібних суглинках. Частина біоцентру охоплює ландшафти давньої прохідної долини із флювіогляціальними відкладами.

На території біоцентру ростуть рослини Європейського Червоного списку: астрагал шерстистоквітковий, вовчі ягоди Софії, зіновать Блоцького, зіновать подільська, липа пухнастостовпчикова, смілка бузька, шиверекія подільська [12, с. 114]. До Червоної книги України занесені пізньоцвіт осінній, шафран гарний, рябчик гірський, білоцвіт весняний, сон чорніючий (табл. 2).

У Південно-Західному біоцентрі мешкають вовчок ліщиновий, слимак виноградний, вусач великий дубовий західний, синявець аргірогномон, аріон, сінниця Геро, білозір Європейського Червоного списку. Тут виявлено тварин Червоної

книги України: бражник мертва голова, райдужниця велика, вусач мускусний, джмелі моховий та глинистий, ведмедиця Гера, подалірій, стрічкарка тополева, махаон, сколія-гігант, ксилокопа звичайна, борсук звичайний. Зустрічаються тварини додатку 2 Бернської конвенції (табл. 3).

*Південно-Вишенський біоцентр* витягнутий з північного заходу на південний схід на 1563 м, з півночі на південь – на 368 м, його периметр – 3742 м, площа – 35,19 га. Він займає ландшафти рівних, відлогих і пологих поверхонь нерозчленованих I – II надзаплавних терас р. Вишня з сірими лісовими ґрунтами, що є частиною давньої прохідної долини.

У межах цієї території ростуть рослини Червоної книги України: астрагал шерстистоквітковий, зіноваті Блоцького та подільська, шиверекія подільська (табл. 2). Тут мешкають

тварини Європейського Червоного списку: вовчок ліщиновий, слимак виноградний, сінниця Геро, вусач великий дубовий західний, синявець аргірогномон, аріон. До Червоної книги України занесені бражник мертва голова, райдужниця велика, вусач мускусний, джмелі моховий та глинистий, ведмедиця Гера, подалірій, стрічкарка тополева, махаон, сколія-гігант, ксилокопа звичайна, борсук звичайний [13, с.100]. На цій території зустрічаються види тварин додатку 2 Бернської конвенції (табл. 3).

*Подільський біоцентр* витягнутий з півночі на південь на 860 м, із заходу на схід – на 606 м, його периметр – 2825 м, площа – 31,08 га. Він сформувався на основі парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва місцевого значення “Парк ім. О. І. Ющенка”. Тут охороняються ландшафти рівних, відлогих і пологих поверхонь розмитого

Таблиця 3

Тварини додатку 2 Бернської конвенції у біоцентрах екомережі м. Вінниці

Назва біоцентру	Види тварин
Південно-Західний та Південно-Вишенський	лелека білий, шуліка чорний, канюк звичайний, яструби малий та великий, зимняк, підсоколик великий, сови вухата і сіра, одуд, дятли звичайний та сірійський, крутиголовка, плиска біла, омелюх, волове око, соловейко східний, синьошийка, горихвістка чорна, берестянка звичайна, кропив'янки садова, сіра і чорноголова, вівчарик-ковалики весняний і жовтобровий, мухоловки сіра і білошия, синиці довгохвоста, велика, блакитна і чорна, гаїчка болотяна, вівсянка звичайна, повзик, підкоришник звичайний, щиглик, зеленяк, коноплянка, чечітка звичайна, костогриз, чиж, зяблик, шишкар ялиновий, в'юрок звичайний, ящірка прудка, кумка червоночерева, часничниця звичайна, квакша.
Південний	яструби малий і великий, сова вухата, дятли звичайний, сірійський та середній, сорокопуд терновий, волове око, вільшанка, соловейко східний, горихвістка звичайна, кропив'янки садова і сіра, вівчарик-ковалик, золотомушка жовточуба, мухоловка сіра, синиці довгохвоста і блакитна, вівсянка звичайна, щиглик, чечітка звичайна, чиж, зяблик, ящірка прудка, кумка червоночерева, часничниця звичайна, квакша
Подільський	яструби малий і великий, канюк звичайний, зимняк, сови вухата і сіра, дятел сірійський, сич хатній, крутиголовка, плиска біла, ластівки сільська та міська, омелюх, горихвістка чорна, вільшанка, кропив'янка чорноголова, вівчарик-ковалик, вівчарик жовтобровий, золотомушка жовточуба, мухоловка сіра, повзик, підкоришник звичайний, гаїчка болотяна, вівсянка звичайна, щиглик, зеленяк, коноплянка, костогриз, чиж, шишкар ялиновий, ящірка прудка, часничниця звичайна, квакша, ропуха зелена
Острівний	яструб малий, канюк звичайний, сова вухата, дятли звичайний та середній, плиска біла, сорокопуд терновий, крутиголовка, вільшанка, соловейко східний, горихвістка звичайна, кропив'янка садова, вівчарик-ковалик, золотомушка жовточуба, мухоловка сіра, синиці блакитна і чорна, вівсянка звичайна, повзик, підкоришник звичайний, щиглик, костогриз, чиж, зяблик
Промисловий	сова вухата, синиця блакитна, дятли звичайний та середній, горихвістка чорна, плиска біла, сорокопуд терновий, соловейко східний, кропив'янка чорноголова, мухоловка строката, зяблик
Слов'янський, Привокзальний	сови вухата і сіра, дятел звичайний, соловейко східний, горихвістки звичайна і чорна, плиска біла, сорокопуд терновий, кропив'янка садова, золотомушка жовточуба, мухоловка сіра, синиці довгохвоста, велика і блакитна, чиж, зяблик

цокою і останців III надзаплавної тераси р. Вишня з сірими лісовими ґрунтами на лесоподібних суглинках, під грабовою дібровою у минулому.

У межах цієї території поширені рослини Червоної книги України та Червоного списку Вінницької області (табл. 2), регіонально-рідкісна зубниця бульбиста, що не внесена до Червоного списку Вінниччини. У біоцентрі мешкають слимак виноградний Європейського Червоного списку, подалірій, стрічкара тополева та ксилокопа звичайна Червоної книги України, зустрічаються тварини додатку 2 Бернської конвенції (табл. 3).

*Коцюбинський біоцентр* представлений шестикутником, видовжений з південного заходу на північний схід на 97 м, має периметр 319 м, площу – 0,63 га. Він охоплює ландшафтні комплекси рівних поверхонь нерозчленованих II і III надзаплавних терас Південного Бугу із дерново-середньопідзолистими ґрунтами, під мішаними лісами у минулому.

Біоцентр сформувався на основі комплексної пам'ятки природи місцевого значення "Музей-садиба М. Коцюбинського". Цю садибу було закладено у 20-х роках XIX ст. Тут зростають висаджені Коцюбинським липи віком понад 200 років, а також рідкісний тамарикс галузистий, магонія падуболиста, туя західна, оцтове дерево, горіх грецький, ясен звичайний, явір, гірकोкаштан звичайний, верба біла, гледичія колюча, горобина скандинавська, ялина звичайна, шовковиця, жасмин, глід, шипшина, бузина чорна, калина та бузок звичайні, таволга верболиста, самшит вічнозелений, золотий дощ звичайний, вейгела. Є садок з яблунями, грушами, черешнею, вишнею, аличею. У садку збереглися дві груші часів Коцюбинських. Цей біоцентр є одночасно природним та історико-культурним [14, с. 85].

*Київський біоцентр* сформувався на основі скверу Меморіалу Визволення та старого цвинтаря біля церкви Святого великомученика Георгія. Він представлений шестикутником, що має периметр 647 м і площу 2,39 га. Біоцентр охоплює ландшафти нерозчленованих II і III надзаплавних терас Південного Бугу з сірими лісовими ґрунтами. Тут ростуть береза бородавчата, акація біла, граб звичайний, липа серцелиста, горобина звичайна, тополя, гірकोкаштан звичайний, дуб звичайний, клен звичайний, черешня, ялівець, туя західна. Цей біоцентр сформувався на основі пам'ятки історії та одночасно є осередком біотичного різноманіття в умовах урболандшафтів.

*Замостянський біоцентр* сформувався на основі скверу стадіону «Локомотив», охоплює ландшафти плоских поверхонь нерозчленованих

II і III надзаплавних терас Південного Бугу із дерново-середньопідзолистими ґрунтами під мішаними лісами у минулому. Він має звивисту форму, периметр 844 м, площу – 1,7 га. Тут ростуть липа серцелиста, тополя пірамідальна, береза бородавчата, гірकोкаштан звичайний, гледичія колюча, верба біла, клени польовий та явір, ясен та горобина звичайні, горіх грецький, бузок звичайний.

*Промисловий біоцентр* має периметр 812 м, площу – 3,15 га. Він охоплює надзаплавнотерасові ландшафти і є осередком біорізноманіття у межах північного промислового району міста Вінниці. Дендрофлора сформована дубом північним, ясенем звичайним, кленом польовим, явором, липою серцелистою, гледичією колючою, гірकोкаштаном та горобиною звичайними. У межах цієї ключової території зустрічаються птахи додатку 2 Бернської конвенції (табл. 3).

*Стрілецький біоцентр* має прямокутну форму, витягнутий із заходу на схід на 317 м, з півдня на північ – на 77 метрів, його периметр 764 м, площа – 2,26 га. Біоцентр сформувався на основі частини бульвару вулиці Стрілецька, скверів школи № 30 та Свято-Косьмо-Даміановського храму. У деревостанах поширені липа серцелиста, дуб звичайний, бук європейський, сосна звичайна, клени несправжньо-платановий та явір, горіх грецький, верба біла, гірकोкаштан звичайний, ясен звичайний, берека, гледичія колюча, клен польовий, поширені плодові слива, вишня, черешня та груша. Серед кущів зустрічаються бузок звичайний, шипшина собача, самшит вічнозелений.

*Парковий біоцентр* сформувався на основі парку «Інтеграл Б», має форму багатокутника із відгалуженням на півночі, витягнутий з півночі на південь на 751 м, має ширину до 272 м, периметр 1774 м, площу – 7,53 га.

У біоцентрі представлені ландшафтні комплекси нерозчленованих II – III надзаплавних терас Південного Бугу із чорноземами опідзоленими та реградованими на лесоподібних суглинках. Тут чергуються лучні ділянки з масивами дерев і чагарників. Поширені липа серцелиста, верба біла, клен звичайний, ялина колюча, тополя пірамідальна, гледичія колюча, гірकोкаштан звичайний, явір, яблуня домашня, бузок звичайний, лох сріблястий.

*Східний біоцентр* охоплює сквер церкви Святого Пантелеймона та зелені насадження вздовж р. Тяжилів, має периметр 625 м, площу – 1,76 га. Біоцентр займає ландшафтні комплекси нерозчленованих II – III надзаплавних терас Південного Бугу з чорноземами опідзоленими і реградованими на лесоподібних суглинках. Тут ростуть дуб звичайний, липа серцелиста, граб



звичайний, ясен звичайний, верба біла, ялина колюча, тополя біла, явір, береза бородавчаста, горіх грецький, яблуня і слива домашні, черешня, туя західна, бузок звичайний, дикий виноград. Із трав поширені деревій звичайний, полин гіркий, чистотіл звичайний, жовтозілля звичайне, кульбаба лікарська, кропива дводомна, конюшина лучна, роман собачий, осоки, мати-й-мачуха, лобода біла.

*Острівний біоцентр* охоплює острів «Кемпа» на річці Південний Буг, має наближену до овальної форму, видовжений з північного заходу на південний схід на 232 м, його периметр 630 м, площа – 2,87 га. Основу біоцентру становлять ландшафти заплави Південного Бугу з вербняками і луками на лучно-чорноземних ґрунтах. Тут ростуть верба біла, тополі пірамідальна і біла, липа серцелиста, клен польовий та явір, ясен звичайний, береза бородавчаста, гірकोкаштан звичайний та гледичія колюча. Біоцентр є середовищем існування великої кількості птахів додатку 2 Бернської конвенції (табл. 3).

*Біоцентр Бригантіна* має складну форму, периметр 1157 м і площу 5,2 га. У його межах важливе значення мають ландшафтні комплекси заплави Південного Бугу із лучною рослинністю на лучних супіщаних ґрунтах, що сформувались на сучасному алювії. Частина біоцентру розташована у пригірловій частині долини р. Тяжлів. Тут частково збереглися ландшафти типових мішаних лісів – унікальних лісостепових полісів. Зарості очерету звичайного та рогозу широколистоного у їх межах є середовищем існування водоплавних птахів. Достатні площі території біоцентру займає деревна рослинність. Серед дерев поширені береза бородавчаста, тополі пірамідальна і біла, горобина звичайна, явір, верба біла, гледичія колюча.

*Західний біоцентр* сформувався на основі ставу «Поділля», що на річці Вишня. Він витягнутий із північного заходу на південний схід на 2580 м, має ширину до 220 м, периметр – 5380 м, площу – 49,4 га. У західній частині біоцентру сформувались суцільні зарості глечиків жовтих. У прибережній частині ставу поширені земноводні ландшафтні комплекси із рогозом широколистим, очеретом звичайним і різними видами осок. Поєднання водних плес із високими (3-4 метри) заростями очерету створює сприятливі умови (харчі, сховища, місця гніздування) для проживання тут великої кількості водоплавних птахів [15, с.15 - 20].

*Біоцентр Кумбари* має периметр 871 м та площу – 2,41 га, охоплює залишки поширених тут у минулому схилових ландшафтів нагірних дібров. Дендрофлора представлена такими видами: граб звичайний, липа серцелиста, ясен

звичайний, береза бородавчаста, клен польовий, явір, гірकोкаштан звичайний, тополя біла, бузина чорна, бузок. Численними є виходи гранітогнейсів із наскельною рослинністю (мохи, лишайники). На березі Південного Бугу є залишки порогів. Крім охорони природи, біоцентр виконує культурну та історичну функції. Тут знаходиться пам'ятник на честь перемоги козацьких військ під командуванням Івана Богуна над польсько-шляхетськими військами у 1651 р.

*Нагірний біоцентр* видовжений з північного сходу на південний захід на 1430 м, має периметр 3398 м, площу – 11,7 га, ширину – від 39 м до 152 м. Переважаючими є ландшафтні комплекси нагірних дібров, що сформувались на схилловому типі місцевостей долини Південного Бугу. Тут ростуть граб звичайний, липа серцелиста, клен звичайний, верба біла, туя західна, береза бородавчаста, ялина колюча, тополя пірамідальна, гледичія колюча, явір, черешня, бузина чорна, глід колючий, ліщина звичайна, шовковиця чорна, ожина, бузок звичайний.

*Привокзальний біоцентр* витягнутий з півночі на південь на 250 м, має ширину 86 м, периметр – 822 м, площу – 2,56 га. У ньому ростуть клен польовий, липа серцелиста, ясен звичайний, тополя пірамідальна, горіх грецький, гледичія колюча, гірकोкаштан звичайний, верба біла, явір, дуб звичайний, дуб червоний, туя західна, ялівець звичайний, горобина звичайна, туя західна, бузина чорна, бузок звичайний. Ця територія є середовищем існування тварин додатку 2 Бернської конвенції (табл. 3).

*Скалецький біоцентр* простягається з північного сходу на південний захід на 1984 м, має ширину від 50 м до 193 м, периметр – 4372 м, площу – 17,75 га. Особливу цінність у біоцентрі мають схиллові ландшафти крутизною від 30<sup>0</sup> до 90<sup>0</sup> у долині Південного Бугу із нагірними дібровами. Їх залишки потребують посиленої охорони. Тут ростуть граб звичайний, липа серцелиста, клен звичайний, верба біла, туя західна, береза бородавчаста, ялина колюча, тополя пірамідальна, платан західний, гледичія колюча, явір, груша звичайна, черешня, бузина чорна, глід колючий, ліщина звичайна, шовковиця чорна, ожина, бузок звичайний. Своєрідною є наскельна рослинність із мохів і лишайників на крутих гранітогнейсових відслоненнях. Значний природоохоронний інтерес представляють водоспади в місцях виходу джерел у долині Південного Бугу.

*Свято-Вознесенський біоцентр* сформувався на основі скверу церкви Воскресіння Христового, має периметр 900 м, площу – 3,85 га. Він займає рівні поверхні плакорних місцевостей з сірими лісовими ґрунтами під грабовими дібровами у минулому. Тут ростуть дуб звичайний,

береза бородавчата, граб звичайний, тополя пірамідальна, тополя біла, ясен звичайний, платан західний, туя західна, липа серцелиста, сосна звичайна, клен польовий, горобина звичайна, гледичія колюча, горіх грецький, ялина звичайна, гірकोкаштан звичайний, яблуня домашня, груша звичайна, слива розлога, бузок і калина звичайні, таволга, бузина чорна, шовковиця чорна. Біоцентр є не лише центром біотичного різноманіття в умовах значно перетворених людиною урболандшафтів, але й «пам'ятним вузлом» міста Вінниці.

*Слов'янський біоцентр* сформувався на основі скверу Вінницького національного медичного університету імені Богомольця, витягнутий з південного заходу на північний схід на 400 метрів, має периметр 1109 м і площу 3,76 га. Він охоплює вододільні ландшафти з сірими лісовими ґрунтами на лесоподібних суглинках. У межах цієї ділянки ростуть береза бородавчата, гірकोкаштан звичайний, липа серцелиста, тополя пірамідальна, горіх грецький, ялини звичайна і колюча, клен польовий та явір, ясен звичайний, верба біла, туя західна, горобина звичайна, гледичія колюча, яблуня домашня, самшит вічнозелений, бузок звичайний. Тут зустрічаються птахи додатку 2 Бернської конвенції (табл. 3).

*Підлісний біоцентр* витягнутий з півдня на північ на 854 метри, має периметр 2206 м і площу – 14,97 га. Це частина колишнього, типового для Поділля, дубово-грабового лісу. Тут поширені дуб і граб звичайні, клен гостролистий, береза бородавчата, гледичія колюча, модрина європейська, клен звичайний, явір, гірकोкаштан звичайний, сосна звичайна, ялина колюча, туя західна, верба біла, тополя біла, самшит вічнозелений, бузок звичайний, дикий виноград, калина звичайна, ожина чорна, шипшина собача.

*Північно-Західний біоцентр* охоплює частину П'ятничанського лісу та лісопарк, видовжений з північного сходу на південний захід на 6,52 км, має периметр 18898 м, площу 1043,4 га. Біоцентр сформувався на основі ботанічних пам'яток природи місцевого значення «Круглиця» (3,6 га), «Горіх чорний» (0,9 га), «Еталонна діброва» (1,3 га), «Одинокий дуб» (0,01 га), «Горіх манчжурський» (0,5 га), «Горіх грецький» (0,1 га), парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва «Дендрарій лісово-дослідної станції» (5,8 га).

Ландшафтні комплекси Північно-Західного біоцентру представлені хвилястою, розчленованою ярами і балками, лісовою височиною з дубово-грабовими лісами на світло-сірих лісових ґрунтах [16]. На території біоцентру поширені рослини Червоної книги України та Червоного списку Вінниччини (табл. 2). Виявлено рослинні угруповання Зеленої книги України: група асоці-

ацій дубових лісів ліщинових (типові старі ліси); асоціації грабово-дубового лісу волосистоосокового та яглицевого (старі типові насадження); асоціації грабово-дубового лісу плющевого та маренково-плющевого [17, с. 77].

*Центральний біоцентр* має периметр 2454 м, площу – 31,8 га. Він сформований на основі парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва загальнодержавного значення «Центральний парк культури і відпочинку ім. М. Горького», що був закладений на основі природного лісового масиву. У біоцентрі поєднуються вододільні та схилі ландшафти, розчленовані балкою р. Каліча. Унікальність території пов'язана зі збереженням у її межах 300-річних дубів (червоний і каштанolistий), бархату амурського, сосни Веймутової [18, с. 109].

У межах Центрального біоцентру зустрічаються 46 видів тварин, занесених до додатку 2 Бернської конвенції. Серед них осілими видами є сова вухата, сич хатний, дятли звичайний та сірійський, синиці велика та блакитна, гаїчка болотяна, повзик, щиглик, зеленяк, коноплянка. Гніздовими є ластівки сільська та міська, плиска біла, волове око, сорокопуд терновий, вільшанка, кам'янка звичайна, горихвістка чорна, кропив'янка чорноголова, мухоловки білошия, сіра та строката, зяблик та щедрик. Відмічені трофічні залети яструбів малого та великого, сови сірої. Ймовірно гніздуються жовні зелена та сива, берестянка звичайна, кропив'янки садова та сіра, підкоришник звичайний, костогриз. Взимку зустрічаються омелюх, золотомушка жовточуба, синиця чорна, чечітка звичайна, чиж та шишкар ялиновий.

*П'ятничанський біоцентр* має форму багатокутника, периметр – 2232 м, площу – 32,02 га. Він сформувався на основі парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва місцевого значення «П'ятничанський парк» і представлений ландшафтним парком, що закладений у 1831 р. у землеволодінні графа Мартина Грохольського. Біоцентр має не лише природоохоронне, але й історико-культурне значення. Він охоплює вододільні та схилі місцевості на світло-сірих лісових ґрунтах під грабовою дібровою у минулому (табл. 1).

У межах цієї території поширені рослини Червоної книги України та обласного Червоного списку (табл. 2). Тут зустрічаються регіонально-рідкісні види рослин, що не внесені до Червоного списку Вінниччини: ялівець звичайний, кизил справжній, зубниця бульбиста, вороняче око чотирилисте, плющ звичайний. Збереглися такі рослини-релікти: берека, плаун булавовидний, рутвиця, брусниця, бруслина карликова та плющ звичайний [19].

Південний біоцентр достатньо розгалужений, що забезпечує позитивний вплив на стан міського середовища. Він витягнутий із заходу на схід на 3990 м, з півночі на південь – на 949 м, має периметр 12676 м та площу 143,4 га. Біоцентр сформувався на основі Сабарівського лісу. Тут у квазіприродному вигляді збереглися ландшафтні комплекси хвилястої лесової височини, розчленованої врізаними до кристалічних порід ярами і балками, з грабово-дубовими лісами на світло-сірих лісових ґрунтах. У західній частині біоцентру є місцевості слабо нахилених, нерозчленованих I і II надзаплавних терас Південного Бугу з сосновим бором на супіщаних ґрунтах [20].

На цій території зустрічаються рослини Червоної книги України і Червоного списку Вінницької області, поширені регіонально-рідкісні вороняче око чотирилисте та арум Бессерів, що не внесені до Червоного списку Вінниччини (табл. 2). Тут виявлено тварин додатку 2 Бернської конвенції (табл. 3).

**Висновки.** В екологічній мережі сучасної

території Вінниці доцільно виділяти 25 біоцентрів. Вони охоплюють усе різноманіття ландшафтних комплексів міста: типові лісостепові й мішаних лісів; руслові, заплавні, надзаплавно-терасові, схилів та вододільні; лісостепових полісь, прохідних долин і нагірних дібров; умовно-натуральні та антропогенні.

Виявлено, що за площами значно переважають (1250,62 га або 70,7 %) комплексні біоцентри, які охоплюють кілька типів ландшафтних місцевостей. Істотні площі (403,54 га або 22,8 %) займають надзаплавно-терасові біоцентри. Найменш поширеними є заплавні (57,47 га або 3,3 %), схилів (34,42 га або 1,9 %) та вододільні (22,6 га або 1,3 %) біоцентри.

У межах біоцентрів збереглися квазіприродні ділянки, у яких часто зустрічаються рідкісні види рослин і тварин, угруповання Зеленої книги України. Виділені біоцентри екологічної мережі виконують функції збереження біотичного і ландшафтного різноманіття Вінниці, підтримання екологічної рівноваги дестабілізованого міського середовища.

#### Література

1. Hamid A. R. A. *Urban Ecological Networks for Biodiversity Conservation in Cities [Text]* / A. R. A. Hamid, P. Y. Tan // *Greening Cities. Forms and Functions.* – Singapore: Springer Ltd, 2017. – Pp. 251-277. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-4113-6\\_12](https://doi.org/10.1007/978-981-10-4113-6_12)
2. Zhao Sh. *Landscape pattern analysis and ecological network planning of Tianjin City [Text]* / Sh. Zhao, Y. Ma, J. Wang, X. You // *Urban Forestry & Urban Greening.* – 2019. – Vol. 46. – Pp. 136-161. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126479>
3. *Biodiversity in the city : fundamental questions for understanding the ecology of urban green spaces for biodiversity conservation [Text]* / C. A. Lepczyk, M. F. J. Aronson, K. L. Evans [та ін.] // *BioScience.* – 2017. – Vol. 67 (9). – pp. 799–807. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix079>
4. *Обґрунтування схеми локальної екомережі м. Тернополя [Електронний ресурс] : Анотований звіт за результатами науково-дослідної роботи / Л. П. Царик, П. Л. Царик.* – Тернопіль, 2011. – 121 с. – Режим доступу : <https://ternopilcity.gov.ua/gromadvanam/ekologichna-storinka-mista-ternopolya/>.
5. Байдіков І. А. *Міські екомережі : структурно-функціональні особливості та проблеми обґрунтування (на прикладі найбільших міст Запорізької області) [Текст]* / І. А. Байдіков // *Український географічний журнал.* – 2011. – № 2. – С. 53-58.
6. *Розробка проекту локальних елементів екомережі міста Бар : Звіт про науково-дослідну роботу [Текст]* / Ю. В. Яценюк, Є. І. Ворона. – Вінниця, 2005. – 67 с.
7. *Виготовлення проекту екомережі м. Ямпіль : Звіт про науково-дослідну роботу [Текст]* / А. В. Гудзевич. – Вінниця, 2018. – 74 с.
8. Гудзевич А. В. *Просторово-часова організація сучасних ландшафтів : теорія і практика : монографія [Текст]* / А. В. Гудзевич. – Вінниця: ВІНДРУК, 2012. – 434 с.
9. Крижановський С. М. *Розробка біоцентрично-мережевої структури екологічної мережі міста Вінниця з використанням геоінформаційних технологій [Текст]* / С. М. Крижановський, А. В. Нагорна // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий.* – 2014. – 6/10 (72). – С. 8-12. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.29275>
10. *Послуги у сфері охорони довкілля (Розробка локальної схеми екомережі міста Вінниці) : Звіт про науково-дослідну роботу [Текст]* / Ю. В. Яценюк. – Вінниця, 2018. – 415 с.
11. *Реєстр природно-заповідного фонду Вінницької області [Текст]* / за ред. О. Г. Яворської; [уклали : Є. І. Ворона, І. М. Кононова, О. В. Коник] – Вінниця, 2005. – 52 с.
12. *Перлини східного Поділля / за ред. Г. І. Денисика.* – Вінниця: ПП «Видавництво «Тезис», 2008. – 168 с.
13. Яценюк Ю. В. *Природа міста Вінниці [Текст]* / Ю. В. Яценюк. – Вінниця : Едельвейс і К, 2008. – 128 с.
14. Денисик Г. І. *Вінниця та її околиці [Текст]* / Г. І. Денисик, Ю. В. Яценюк. – Вінниця : ПП «Видавництво «Тезис», 2008. – 128 с.
15. *Кадастр водоростей водойм міста Вінниці / П. М. Царенко, П. Д. Клоченко, О. П. Царенко, Є. І. Ворона.* – Вінниця: О.Власюк, 2006. – 81 с.

16. Яценцюк Ю.В. Долинно-балково-яружний антропогенний парагенетичний ландшафтний комплекс [Текст] / Ю.В. Яценцюк // Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету ім. М. Коцюбинського. Серія: Географія. – 2002. – Вип.4. – С. 41-48.
17. Яценцюк Ю. В. Екомережа Вінницької області [Текст] / Ю. В. Яценцюк. – Вінниця : ПП «ТД «Едельвейс і К», 2011. – 128 с.
18. Яценцюк Ю. В. Міські ландшафтно-технічні системи (на прикладі міста Вінниці) [Текст] / Ю. В. Яценцюк. – Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. – 200 с.
19. Яценцюк Ю. В. Заповідні об'єкти міста Вінниці // Подільський регіон : виклики XXI століття (географічні аспекти) : Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Тернопіль, 25 квітня 2017 р.) [Текст] / Ю. В. Яценцюк, Ю. М. Григоренко – Тернопіль : Крок, 2017. – С. 150-156.
20. Яценцюк Ю. В. Характеристика типів міських селитебних ландшафтів України [Текст] / Ю. В. Яценцюк // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия. География. - 2001. – Т. 14 (53). – №1. – С. 150-154.

Надійшла до редакції 9 квітня 2020 р.

Прийнята 31 липня 2020 р.

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

UDC 911.9:502.132(477.44-25)

**Grygoriy Denysyk,**

DSc (Geography), Professor, Head of Department of Geography,  
Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University,  
32 Ostroshsky St., Vinnytsia, 21100, Ukraine,  
e-mail: [grygden@ukr.net](mailto:grygden@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-0941-9217>;

**Yuriy Yatsentyuk,**

DSc (Geography), Professor, Department of Geography,  
Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University,  
e-mail: [yatsentyuk@gmail.com](mailto:yatsentyuk@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2906-4828>;

**Volodymyr Vorovka,**

DSc (Geography), Associate Professor,  
Head of the Department of Ecological Safety and Rational Environmental Management,  
Bogdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University,  
20 Hetmanska str., Melitopol, Zaporizhzhia region, 72312, Ukraine,  
e-mail: [geofak\\_mgpu@ukr.net](mailto:geofak_mgpu@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0001-7658-5939>;

**Volodymyr Volovyk**

DSc (Geography), Professor, Department of Geography,  
Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University,  
e-mail: [wolovyk@gmail.com](mailto:wolovyk@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8663-0342>

## THE BIOCENTRES OF THE ECOLOGICAL NETWORK OF VINNYTSIA CITY

**Formulation of the problem.** Urban landscapes are distinguished from the surrounding territories by the radical transformation of all components under the influence of anthropogenic factor. Flora and fauna which are one of the most important factors in maintaining the ecological balance of urban landscapes are undergoing the largest changes in cities. Therefore, an urgent problem is the conservation of biota in cities. The solution of this problem involves protection of existing and restoration of degraded habitats of flora and fauna in cities; creation of the necessary migration conditions for the exchange of genetic information.

**Purpose.** The purpose of the article is to identify the peculiarities of flora and fauna, landscape complexes of biocentres of Vinnytsia ecological network.

**Methods.** In order to achieve this purpose, a study of flora and fauna and landscape complexes of the urban territory was conducted; the habitats of rare species of flora and fauna, the areas of occurrence of the associations of the Green Book of Ukraine were revealed; features of quasi-natural areas valuable for the conservation of biodiversity were analyzed. The studies were conducted using the following methods: field research (key, area and route), analytical-cartographic analysis, collecting and processing of statistical information, literary-cartographic, theoretical generalization and systematization of facts, analysis, abstraction, analogy, synthesis.

**Results.** 25 biocentres are singled out in the structure of Vinnytsia local ecological network. They represent all the landscapes of the city: typical forest-steppe and mixed forests; river-beds, floodplains, above-

floodplain terraces, slopes and watersheds; forest-steppe woodlands, passage valleys and upland oakery; conditionally natural and anthropogenic.

The characteristic features of urban ecological network biocentres are determined by their location within certain types of landscape terrain. Therefore, the floodplain, above-floodplain-terrace, slope, watershed and complex groups of biocentres of Vinnytsia are distinguished. Complex biocentres dominate in areas (70.7%). They cover several types of landscape terrains. But slope and watershed types prevail among them. Large areas (22.8%) are covered by biocentres of the above-floodplain-terrace group. Slope (1.9%) and watershed (1.3%) biocentres are the least common. Biocentres are represented by quasi-natural areas where rare species of living organisms and plant associations are frequently seen.

**Scientific novelty.** For the first time since 2015, after increasing the area of Vinnytsia, local biocentres of the city's ecological network have been singled out. The peculiarities of landscape complexes, flora and fauna of biocentres have been revealed, in particular the list of rare species of flora and fauna has been defined.

**Practical importance.** Distinguished biocentres of Vinnytsia local ecological network will help preserve the biotic and landscape diversity of the city, maintain ecological balance of the city territory.

**Keywords:** biocentre, landscape, type of terrain, plants, plant associations, animals, biodiversity, ecological network.

### References

1. Hamid, A.R.A., & Tan, P.Y. (2017). *Urban Ecological Networks for Biodiversity Conservation in Cities. Greening Cities. Forms and Functions*. Singapore: Springer Ltd., 251-277 [https://doi.org/10.1007/978-981-10-4113-6\\_12](https://doi.org/10.1007/978-981-10-4113-6_12)
2. Zhao, Sh., Ma, Y., Wang, J., & You X. (2019). *Landscape pattern analysis and ecological network planning of Tianjin City. Urban Forestry & Urban Greening*, 46, 136-161. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126479>
3. Lepczyk, C.A., Aronson, M.F.J., Evans, K.L., Goddard, M.A., Lerman, S.B.J., & MacIvor, S. (2017). *Biodiversity in the city: fundamental questions for understanding the ecology of urban green spaces for biodiversity conservation. BioScience*, 67(9), 799–807. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix079>
4. *Justification of the scheme of the local econetwork in Ternopil. (2011). Annotated report on the results of the research work. [in Ukrainian].* <https://ternopilcity.gov.ua/gromadyanam/ekologichna-storinka-mista-ternopolya/>
5. Baydikov, I. A. (2011). *Urban econetworks: structural and functional features and problems of their justification (on the example of the biggest cities of Zaporizhzhya region). Ukrainian Geographical Journal*, 2, 53-58. [in Ukrainian].
6. Yatsentyuk, Yu.V., & Vorona, Ye. I. (2005). *Development of the project of local elements of the econetwork of Bar. Report on research work. Vinnytsia, [in Ukrainian].*
7. Hudzevych, A.V. (2018). *Development of the project of the econetwork in Yampil. Report on research work. Vinnytsia, [in Ukrainian].*
8. Hudzevych, A.V. (2012). *Spacial-temporal organization of modern landscapes: theory and practice. Vinnytsia: Vindruk. [in Ukrainian].*
9. Kryzhanovskiy, Ye.M., & Nahorna, A.V. (2014). *Development of the biocentric-network structure of Vinnytsia ecological network using geoinformation technologies. Eastern European Journal of Advanced Technology*, 6/10 (72), 8-12. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.29275>
10. Yatsentyuk, Yu.V. (2018). *Services in the field of environmental protection (Development of the local scheme of the econetwork of Vinnytsia). Report on research work. Vinnytsia, [in Ukrainian].*
11. Vorona, Ye.I., Kononova, I.M., Konyk, O.V., & Yavorska, O.H. (Ed). (2005). *Register of the nature reserve fund of Vinnytsia region. Vinnytsia, [in Ukrainian].*
12. Denysyk, H. I. (2008). *Pearls of eastern Podillya. Vinnytsia: PP «Vydavnytstvo «Tezys», [in Ukrainian].*
13. Yatsentyuk, Yu.V. (2008). *The nature of the city of Vinnytsia. Vinnytsia: Edelweiss and K, [in Ukrainian].*
14. Denysyk, H.I. & Yatsentyuk, Yu.V. (2008). *Vinnytsia and its surroundings. Vinnytsia: PP «Vydavnytstvo «Tezys», [in Ukrainian].*
15. Tsarenko, P.M., Klochenko, P.D., Tsarenko, O.P., Vorona, Ye.I. (2006). *Cadastre of algae reservoirs of Vinnytsia. Vinnytsia: O. Vlasiuk, [in Ukrainian].*
16. Yatsentyuk, Yu. V. (2002). *Valley-beam-ravine anthropogenic paragenetic landscape complex. Scientific notes of Vinnytsya State Pedagogical University named after Michailo Kotzubynsky. Series: Geography*, 4, 41-48 [in Ukrainian].
17. Yatsentyuk, Yu. V. (2011). *The econetwork of Vinnytsia region. Vinnytsia: Edelweiss and K, [in Ukrainian].*
18. Yatsentyuk, Yu. V. (2015). *The urban landscape-technical systems (on the example of the city of Vinnytsia). Vinnytsia: TOV «Nilan-LTD», [in Ukrainian].*
19. Yatsentyuk, Yu. V. & Hryhorenko, Yu. M. (2015, April). *Protected sites of Vinnytsia. Podilskiy region: challenges of the 21st century (geographical aspects). Ternopil: Krok*, 150-156 [in Ukrainian].
20. Yatsentyuk, Yu. V. (2001). *Characteristics of types of urban residential landscapes of Ukraine. Scientific notes of the Taurida National University named after V.I. Vernadsky. Series. Geography*, 14(53)1, 150-154. [in Ukrainian].

УДК 550.42:546.4./7:631.4(477)

**Едуард Якович Жовинський,**

д. геол.-мін. н., проф., чл.-кор. НАН України, головний науковий співробітник  
Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України,  
пр. Акад. Палладіна, 34, м. Київ, 03142, Україна,  
e-mail: [zhovinsky@ukr.net](mailto:zhovinsky@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-1601-5998>;

**Наталія Олегівна Крюченко,**

д. геол. н., проф., зав. відділу пошукової та екологічної геохімії  
Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України,  
e-mail: [nataliya.kryuchenko@gmail.com](mailto:nataliya.kryuchenko@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8774-9089>;

**Петро Степанович Папарига,**

к. геол. н., зав. лабораторії екологічного моніторингу Карпатського біосферного заповідника  
Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України,  
вул. Красне Плесо, 77, м. Рахів, 90600, Україна,  
e-mail: [paparyga.ps@ukr.net](mailto:paparyga.ps@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-2434-9109>

## ОЦІНКА МІКРОКОМПОНЕНТНОГО ЗАБРУДНЕННЯ СНІГОВОГО ПОКРИВУ ГІРСЬКИХ ВЕРШИН УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ

Сьогодні територію України можна розділити на урбанізовані райони та умовно чисті, віддалені від великих джерел промислових забруднень, такі, як Карпатський біосферний заповідник (КБЗ). Необхідно наголосити, що в такому випадку, аналіз ведеться лише на основі фонових підходів. Зважаючи на те, що постійних спостережень щодо мікрокомпонентного складу забруднення снігового покриву не ведеться, метою роботи є оцінка і аналіз рівня забруднення снігу у 2019 році та виявлення можливих джерел забруднення. Об'єктами дослідження обрано сніговий покрив гірських вершин заповідних масивів КБЗ – гора Вежа (Угольсько-Ширококолужанський масив), гори Стіг, Драгобрат, Малий Менчул (Свидовецький масив), гори Петрос Чорногірський, Гропа, Говерла (Чорногірський масив), гори Менчул Рахівський, Темпа (Рахів-Кузійський масив), гора Петрос Мармароський (Мармароський масив). Для еколого-геохімічної оцінки снігового покриву були застосовані коефіцієнти концентрації (Кс) хімічних елементів (Be, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Cd, Cs, Ba, Tl, Pb, Bi) відносно фонового вмісту. Рівень забруднення снігового покриву класифікувався категоріями – розсіяні (Кс < 1), близькі до середніх концентрацій (Кс 1–3,9), такі, що накопичуються (Кс > 4 – 10) і сильно накопичуються (Кс > 10). В результаті проведених досліджень отримано асоціацію елементів-забруднювачів снігового покриву (талих вод): Pb, V, Ni, Co (гора Вежа); Ni, Ba, Co (гора Стіг); V, Co, Ni, Ba, Cu (гора Драгобрат); Zn, Cr (гора Малий Менчул); Sr (гора Гропа). У сніговому покриві гірських вершин Темпа, Менчул, Петрос Чорногірський, Петрос Мармароський – забруднення не виявлено (відносно фонового вмісту). В результаті аналізу викидів (мікроелементний склад) стаціонарних джерел (промислових підприємств) обґрунтовано можливий їхній внесок у забруднення снігового покриву. Отримані результати є основою для розробок природоохоронних рекомендацій відносно заповідних територій регіону та зменшення викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел.

**Ключові слова:** сніговий покрив, гірські вершини, мікроелементний склад, рівень забруднення, стаціонарні джерела, Карпатський біосферний заповідник.

**Э. Я. Жовинский, Н. О. Крюченко, П. С. Папарига** ОЦЕНКА МИКРОКОМПОНЕНТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ГОРНЫХ ВЕРШИН УКРАИНСКИХ КАРПАТ. Сегодня территорию Украины можно разделить на урбанизированные районы и условно чистые, удаленные от крупных источников промышленных загрязнений, такие как Карпатский биосферный заповедник (КБЗ). Необходимо отметить, что в таком случае, анализ ведется на основе фонового подхода. Несмотря на то, что постоянных наблюдений по микрокомпонентному составу загрязнения снежного покрова не ведется, целью работы является оценка и анализ уровня загрязнения снега в 2019 году и выявления возможных источников загрязнения. Объектам исследования выбран снежный покров горных вершин заповедных массивов КБЗ – гора Вежа (Угольско-Ширококолужанский), горы Стиг, Драгобрат, Малий Менчул (Свидовецкий), горы Петрос Черногорский, Гропа, Говерла (Черногорский), горы Менчул Раховский, Темпа (Кузийский), гора Петрос Мармарошский (Мармарошский). Для эколого-геохимической оценки были применены коэффициенты концентрации (Кс) химических элементов (Be, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Cd, Cs, Ba, Tl, Pb, Bi) относительно фонового содержания. Уровень загрязнения снежного покрова микрокомпонентами классифицировался категориями – рассеянные (Кс < 1), близкие к средним концентрациям (Кс 1–3,9), такие, которые накапливаются (Кс > 4–10) и сильно накапливаются (Кс > 10). В результате проведенных исследований получены ассоциации элементов-загрязнителей снежного покрова (талых вод): Pb, V, Ni, Co (гора Вежа); Ni, Ba, Co (гора Стиг); V, Co, Ni, Ba, Cu (гора Драгобрат); Zn, Cr (гора Малий Менчул); Sr (гора Гропа). В снежном покрове горных вершин Темпа, Менчул, Петрос Черногорский, Петрос Мармарошский – загрязнения не обнаружено (относительно фонового содержания). В результате анализа выбросов (микроэлементный состав) стационарных источников (промышленных предприятий) обоснован возможный их вклад в загрязнение снежного покрова. Полученные результаты являются основой для разработки природоохранных рекомендаций, относительно заповедных территорий региона, и уменьшения выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников.

**Ключевые слова:** снежный покров, горные вершины, микроэлементный состав, уровень загрязнения, стационарные источники, Карпатский биосферный заповедник.

**Постановка проблеми.** Заповідні природні території займають близько 15% суші Землі. Ці території за визначенням мають бути без забруднення; вони, тим не менше, страждають від нас-

лідків перенесених повітряними течіями забруднюючих речовин антропогенного походження. Сьогодні територію України можна розділити на техногенно забруднені райони та умовно чисті,

віддалені від великих джерел промислових забруднень. Територія Карпатського біосферного заповідника знаходиться переважно у важкодоступних високогірних ділянках Українських Карпат, є віддаленою від промислових джерел забруднення і вважається екологічно чистою. Говорячи про чистоту того чи іншого району, перш за все мають на увазі ступінь забрудненості атмосфери. Атмосферне повітря містить аерозолі – найдрібніші частинки, тверді або рідкі, які знаходяться в повітрі в підвішеному стані. Джерелами техногенного навантаження є аеральні викиди підприємств. При формуванні атмосферних опадів та при безпосередньому проходженні атмосферних опадів через шлейф газоподібних викидів вони насичуються елементами-домішками і випадають на поверхню ґрунту, що згубно впливає на стан навколишнього середовища. Інформацію про стан і ступінь забруднення атмосфери можна отримати не тільки при дослідженні атмосферного повітря безпосередньо, але і при дослідженні хімічного складу атмосферних опадів. Для оцінки стану атмосфери в зимовий період найбільш зручний об'єкт для дослідження – сніговий покрив, який є надійним індикатором інтегральної оцінки забруднення атмосфери і отримання інформації про міграцію речовин з атмосфери на поверхню, а також подальшого забруднення ґрунту і поверхневих вод [1]. Крім того, в разі накопичення снігом хімічних речовин, з приходом весни вони потрапляють у ґрунт і водні об'єкти та включаються в трофічний ланцюг. Висока сорбційна здатність снігового покриву дозволяє відстежити акумуляцію забруднюючих речовин, які осідають на земну поверхню разом із снігом та між снігопадами [2]. Хімічний склад снігу формується і в результаті взаємодії снігового покриву з землею поверхнею і ґрунтово-рослинним покривом, особливо у період відлиг та початку весняного сніготанення. У зв'язку з цим він є зручним індикатором забруднення не тільки атмосферних опадів і повітря, а й подальшого забруднення ґрунтів і природних вод. Тому, оцінку якості території, можна проводити за показниками хімічного забруднення атмосферних опадів, що найбільш повно характеризують екологічну ситуацію, що дозволяє прогнозувати її зміни, а також пропонувати комплекс заходів щодо її поліпшення. Саме такі території, як Карпатський біосферний заповідник (КБЗ) з мінімальним техногенним навантаженням і є умовно чистими, і результати вмісту хімічних елементів в об'єктах довкілля (снігу, ґрунтах, природних водах) є фоновими, на основі чого проводять еколого-геохімічні розрахунки для визначення ступеню забруднення територій регіону. Цей напрям досліджень є пріоритетним, згі-

дно Закону України "Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року" [3].

**Обґрунтування необхідності і актуальності досліджень.** Охоронний режим КБЗ передбачає збереження не тільки біологічного різноманіття, а й природних геохімічних параметрів, що в умовах регіонального розсіювання забруднювачів стає особливо важливим. При мікрокомпонентному забрудненні снігового покриву хімічні елементи накопичуються в ґрунті і потім переходять у рослини. У лісових ґрунтах Карпат небезпека забруднення важкими металами зростає, так як ґрунти мають кислу реакцію і при таких умовах метали, які накопичуються у сніговому покриві мігрують в лісову підстилку. Крім того, за асоціацією хімічних елементів в сніговому покриві можна встановити джерело забруднення атмосферного повітря, в тому числі напрямок трансрегіонального перенесення забруднювачів.

В умовах заповідних територій КБЗ геохімічна складова є фоновим параметром для регіональної еколого-геохімічної оцінки територій. Тому, оцінка мікрокомпонентного складу снігового покриву є важливим індикатором забрудненості атмосферних опадів і основою моніторингових досліджень, що і становить актуальність досліджень.

**Метою дослідження** є оцінка і аналіз рівня забруднення (мікроелементний склад) снігового покриву гірських вершин Українських Карпат в межах заповідних масивів КБЗ — Мармароського, Чорногірського, Свидовецького, Кузійського та Угольсько-Широколужанського та встановлення можливих джерел забруднення.

**Об'єкт дослідження** – сніговий покрив гірських вершин Мармароського, Чорногірського, Свидовецького, Кузійського та Угольсько-Широколужанського заповідних масивів Карпатського біосферного заповідника

**Предмет дослідження** – вміст хімічних елементів у сніговому покриві гірських вершин Карпатського біосферного заповідника.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Переважна кількість публікацій щодо забруднення снігового покриву стосується урбанізованих територій. Досліджень заповідних територій вкрай мало. Зокрема, за останні роки можна відзначити роботи щодо визначення мікрокомпонентного складу у льодовиковому снігу на Цингай-Тибетському плато Китаю внаслідок людської діяльності [4], заповіднику Бастак (Російська Федерація) [5], біля Південного полюса (Антарктида) [6]. Відмічено, що аеральні потоки важких металів призводять до трансформації основних біогеохімічних параметрів гірських екосистем – лісової підстилки, ґрунтів, рослин. Процеси за-

бруднення снігового покриву сприяють збільшенню в лісовій підстилці рухомих сполук важких металів, що відбивається на підвищенні біологічної активності деяких технофільних елементів (свинцю, кадмію, хрому, ванадію) і призводить до зниження у хвойних дерев інтенсивності поглинання життєво важливих біогенних елементів (марганцю, барію і деяких інших).

Склад снігового покриву відображає всі процеси в атмосферному середовищі. Однією з перших робіт, стосовно транскордонного переносу забруднення були дослідження вмісту важких металів у р.Тиса (Ніколайчук В.І., 2007). Доведено, що часті викиди ціанідів внаслідок аварій на гірничодобувному підприємстві у м. Бая-Борша (Румунія) та прориви в дамбі важкі метали потрапляють у р. Цісла, з водами якої виносяться у р. Вішеул, потім у р.Тису. Після прориву у 2001 році забрудненість перевищувала допустимі норми (рази): Cu – 200, Zn – 10, Pb – 14, Mg – 60, Fe – 620. Виявлено, що важкі метали забруднили не лише воду, а й осіли у ґрунтах.

За даними вивчення розподілу важких металів у різних видах рослин і дерев в межах КБЗ (ожина, бук, смерека європейська, ялиця біла, сосна гірська, тирлич ваточниковидний) виявлено пряму залежність нагромадження важких металів рослинами від ступеня забруднення території [8].

Необхідно зазначити, що у КБЗ упродовж останніх двадцять років функціонує хімічна лабораторія, яка забезпечує гідрохімічний моніторинг води у водних об'єктах та моніторинг динаміки макрокомпонентного складу атмосферних опадів (дошових та снігових вод) [7], але визначення мікрокомпонентного складу, за яким можливо визначити саме джерело забруднення не входить до задач лабораторії. Починаючи з 2010 року нами було започатковано дослідження мікрокомпонентного складу снігових опадів на території КБЗ, результати яких відображено в наукових статтях та монографіях. За останні десять років результати з визначення мікрокомпонентного складу снігового покриву КБЗ представлено у статтях та монографіях за нашим авторством – "Геохімія об'єктів довкілля Карпатського біосферного заповідника"[8] та "Рудні та техногенні геохімічні аномалії заповідних територій Українських Карпат (на прикладі Карпатського біосферного заповідника)" [9].

Аналіз мікроелементного складу снігового покриву використано як для розрахунку вкладу транскордонного атмосферного перенесення речовин і вологи в досліджуваній район, так і для екологічної оцінки території дослідження. На відміну від атмосферних опадів стійкий сніговий покрив може характеризувати інтегральне сезон-

не (за зимовий період) надходження забруднюючих речовин, що сприяє виявленню джерел забруднення.

**Опис об'єктів і методів досліджень.** Об'єктом досліджень слугував сніговий покрив гірських вершин КБЗ. Згідно з методичними підходами оцінка хімічного складу снігу проводиться в період максимального стійкого снігового покриву - на початку весняного сніготанення. Як правило, це перша-друга декада березня - у низькогірному поясі та друга-третья декада квітня, а інколи і перша декада травня у субальпійському і альпійському. Таким чином, сніговий покрив фактично характеризує надходження забруднень за весь зимовий період, який в середньому становить 4–5 місяців. При сніготаненні частина талих вод надходить в ґрунтову товщу, частина розподіляється на поверхневий стік.

Пробовідбір снігу виконано у період березня-квітня 2019 року. За температури  $-5$ – $+5^{\circ}\text{C}$  методом конверта у межах Мармароського, Чорногірського, Свидовецького, Кузійського та Угольсько-Широколужанського заповідних масивів КБЗ. Усього відібрано 60 зразків снігу з 10 місць розташування. Проби відібрано у чисті поліетиленові пакети, танення снігу здійснено за температури  $20^{\circ}\text{C}$  у пакетах, потім проби переливали (у заздалегідь підготовлений хімічно інертний посуд) в бутлі ємністю 2 дм<sup>3</sup>. Проби снігу після розтоплення при кімнатній температурі були профільтровані [10], на фільтрі не виявилось пилових надходжень, тому проведено визначення хімічної складової талої води.

Дослідження макрокомпонентного хімічного складу та рН у талій воді проводилися в лабораторії екологічного моніторингу КБЗ, мікроелементний склад - за допомогою методу мас-спектрометрії з індуктивно-зв'язаною плазмою (ICP-MS), межі становили 0,01–1000 мкг/дм<sup>3</sup>. Аналізування виконано в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України. Математичну обробку результатів здійснено з використанням програми *Statistica Base*.

Одним із головних показників для оцінювання еколого-геохімічного стану території є коефіцієнт концентрації хімічних елементів ( $K_c$ ), який розраховано за формулою  $C_i/C_f$ , де  $C_i$  – концентрація  $i$ -го елемента в пробі снігу, а  $C_f$  – фонові концентрації цього елемента [11].

**Характеристика ділянок досліджень.** Проби відібрані з 10 гірських вершин заповідних масивів КБЗ: гора Вежа (Угольсько-Широколужанський), гори Стіг, Драгобрат, Малий Менчул (Свидовецький), гори Петрос Чорногірський, Гропа, Говерла (Чорногірський), гори Менчул Рахівський, Темпа (Кузійський), гора Петрос



Мармароський (Мармароський) (табл. 1, рис.1).

Геологічна будова вивчаємих масивів має свої особливості [12]: Мармароський масив складений твердими кристалічними породами –

гнейсами, слюдяними і кварцовими сланцями, мармуроподібними вапняками юрського періоду, що обумовлює специфічні риси рельєфу, ґрунтового покриву, флори.

Таблиця 1

Характеристика ділянок відбору проб снігу з гірських вершин Карпатського біосферного заповідника

Номер згідно рис. 1	Назва масиву КБЗ	Назва гори, висота н р.м., м	Висота відбору проб, м	Висотний пояс
1	Угольсько-Широколужанський	Вежа, 937	937	Низькогірний
2	Свидовецький	Стіг, 1707	1707	Альпійський
3		Драгобрат-Близиці	1763	
4		Малий Менчул, 1379	1379	Середньогірний
5	Чорногірський	Петрос Чорногірський, 2020	2020	Альпійський
6		Гропа, 1763	1420	Середньогірний
7		Говерла, 2061	2061	Альпійський
8	Кузійський	Менчул Рахівський, 1305	1305	Середньогірний
9		Темпа, 1634	1634	Субальпійський
10	Мармароський	Петрос Мармароський, 1780	1780	Альпійський

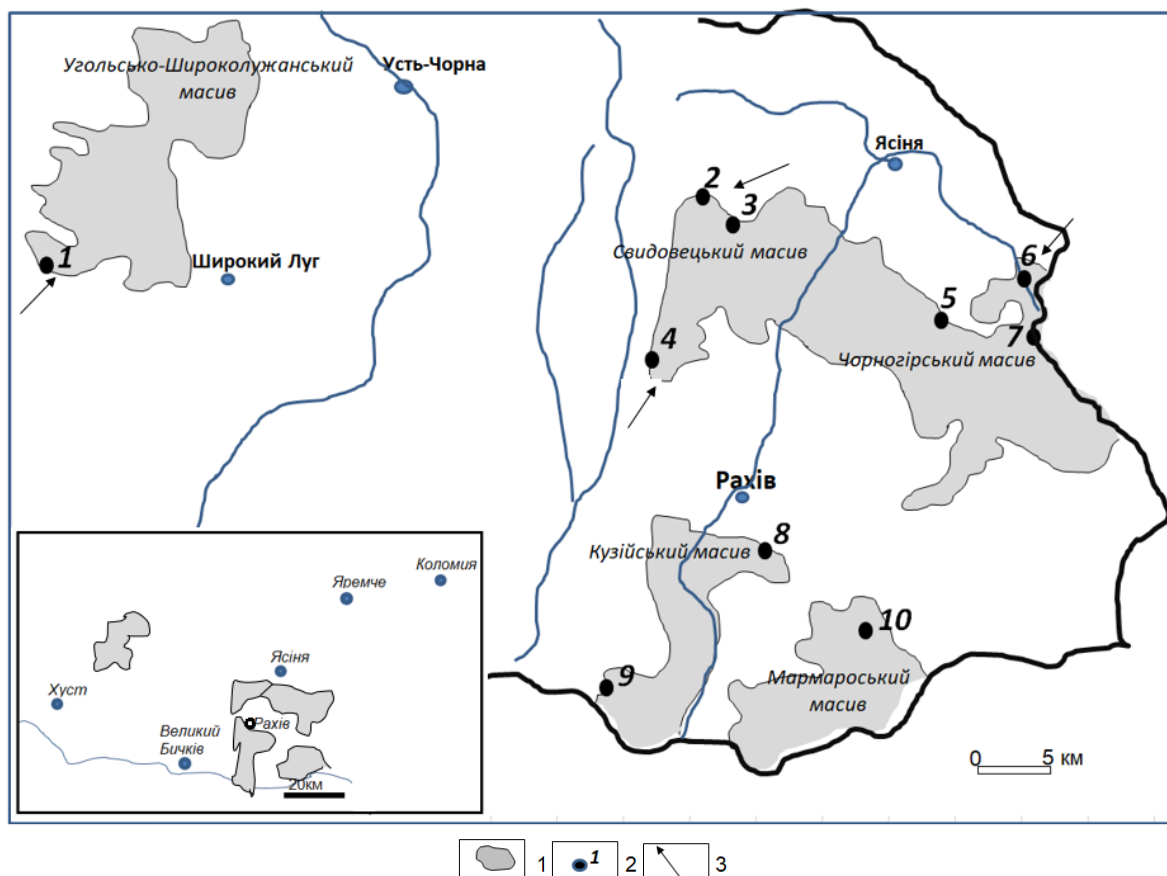


Рис. 1. Схема розташування пунктів відбору снігу. 1 – межі заповідних масивів КБЗ, 2 – точки відбору проб та їх номери (1 – Вежа, 2 – Стіг, 3 – Драгобрат, 4 – Малий Менчул, 5 – Петрос Чорногірський, 6 – Гропа, 7 – Говерла, 8 – Менчул Рахівський, 9 – Темпа, 10 – Петрос Мармароський), 3 – напрям вітру

Кузійський масив належить до Мармароського кристалічного масиву (у південній частині масиву розташована смуга юрських мармуроподібних вапняків). Гірська споруда Свидовця і Чорногори має флішову будову – ритмічне чергування літологічних різновидів шарів, гранулометричний склад яких характеризується зменшенням зернистості знизу доверху (від піску до алевіту та пеліту). Геологічний фундамент Угольсько-Широколужанського масиву утворений потужними пластами флішу, у південній його частині характерна наявність великих блоків вапняку з добре розвиненими карстовими утвореннями.

Ділянки досліджень розташовані у різних висотних поясах (рис. 2): низькогірному поясі – г. Вежа (букові, дубово-букові ліси, бурі гірсько-лісові ґрунти); середньогірний пояс – гори Менчул Рахівський, Малий Менчул, Гропа (смерекові, буково-смерекові та ялицево-смерекові ліси, світло-бурі ґрунти); субальпійський пояс – г. Темпа (чагарникові угруповання, щучники та злакові трави, гірсько-лучні ґрунти); альпійський пояс – гори Стіг, Драгобрат-Близиці, Петрос Мармароський, Петрос Чорногірський, Говерла (трав'янисті і чагарникові угруповання, гірсько-лучні ґрунти)[7].

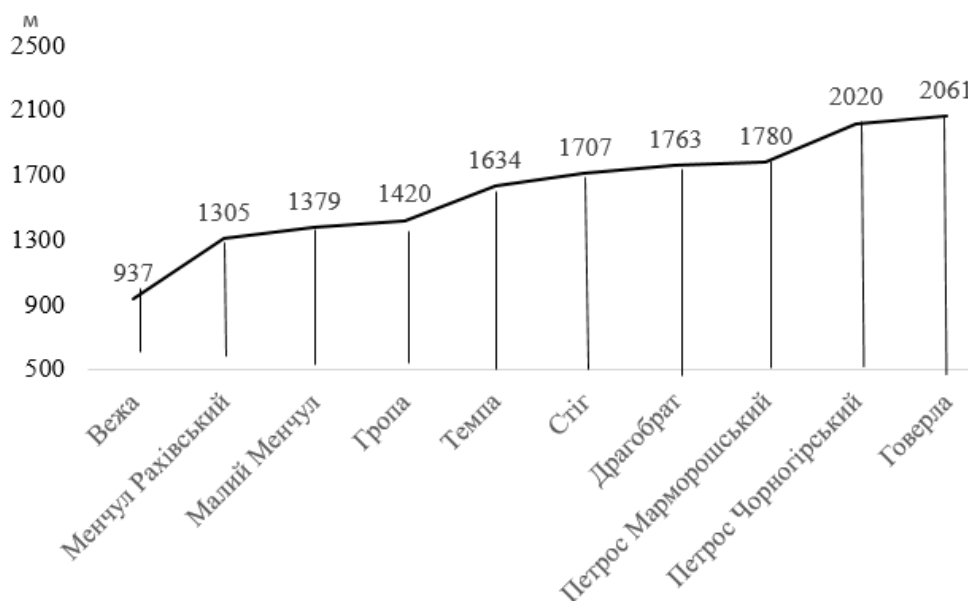


Рис. 2. Висотний профіль проб снігу, відібраних у 2019 році

#### Виклад основного матеріалу дослідження.

Для оцінки і аналізу рівня забруднення використано результати власних досліджень. За результатами хімічного аналізу мікрокомпонентного складу інтегральних проб снігу із найвищих гірських вершин КБЗ визначено рН розтоплених снігових вод – від 5 (г. Стіг) до 5,8 (г. Говерла). Зважаючи на близькі значення рН, міграція і концентрація елементів у сніговому покриві різних вершин подібна. Щодо макрокомпонентного складу[13], то талі води гідрокарбонатно-кальцієві та гідрокарбонатно-натрієві. Вміст головних іонів, мг/дм<sup>3</sup>: Ca<sup>2+</sup> 1–9; Mg<sup>2+</sup> 0,1–0,7; HCO<sup>3-</sup> 5–38; Cl<sup>-</sup> 0,9–4,9; SO<sup>4</sup><sup>2-</sup> 0,9–4,9; Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup> 3,2–4,7. Загальна мінералізація талих вод – від 14,6 мг/дм<sup>3</sup> (г. Стіг) до 56 мг/дм<sup>3</sup> (г. Говерла). Тобто тала вода є ультрапрісною.

З метою визначення фонових вмісту та можливого забруднення проаналізовано мікрокомпонентний склад (ICP-MS) талих вод Be, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Cd, Cs, Ba, Tl, Pb, Bi та порівняно їх з значеннями гранично допустимих концентрацій (ГДК) питних вод та антарктичним снігом (табл. 2).

ГДК хімічних елементів в сніговому покриві в даний час не розроблені. При порівнянні з ГДК питних вод – вміст мікроелементів у сніговому покриві КБЗ у десятки (Be, Tl, Ba, Cd), сотні (Zn, Pb, Rb, Ni) та тисячі (V, Cr, Co, Cu, As, Sr, Bi) разів нижче. При порівнянні кількісного вмісту мікроелементів у взірцях антарктичного снігу (рентгенрадіометричний та нейтронноактиваційний аналіз)[14] та снігу гірських вершин КБЗ визначено підвищений вміст: Cr, Co, Pb – до 10 разів; Cu, Zn, Ba – до 30 разів.

Тобто, порівнювати з цими значеннями не має сенсу. Саме тому оцінка хімічного складу снігового покриву виконана з використанням фонових підходу [10]. Розрахувавши коефіцієнти концентрації (Кс), як відношення концентрації елементу в конкретній точці випробування до його концентрації в фоновій точці, вміст мікроелементів умовно розділено на розсіяні (Кс <1); близькі до середніх концентрацій (Кс 1–3,9); такі, що накопичуються (Кс >4–10) і сильно накопичуються (Кс > 10). Отримані розрахункові значення коефіцієнтів Кс стали основою для побудови рядів накопичення мікроелементів (табл. 3).

Таблиця 2

Фоновий вміст мікроелементів у сніговому покриві (талій воді)  
гірських вершин КБЗ (Сф), антарктичному снігу та питних водах, ррб

Хімічний елемент	Сф	Антарктичний сніг [14]	ГДК питних вод [15]
Be	0,014	–	0,2
V	0,071	–	100
Cr	0,411	0,2	500
Co	0,05	0,008	100
Ni	0,242	–	100
Cu	0,956	0,03	1000
Zn	7,437	0,3	5000
As	0,038	–	50
Rb	0,337	–	100
Sr	3,539	–	7000
Cd	0,027	–	1
Cs	0,013	–	-
Ba	4,85	0,2	100
Tl	0,014	–	0,1
Pb	0,143	0,2	30
Bi	0,007	–	100

Примітка. "–" немає даних

Таблиця 3

Значення коефіцієнта концентрації ( $K_c$ ) мікроелементів у сніговому покриві (талій воді)  
гірських вершин КБЗ

Назва гірських вершин	$K_c < 0,9$	$K_c 1-3,9$	$K_c > 4-10$	$K_c > 10$
Вежа	Cs	Be, Cr, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Cd, Ba, Tl, Bi	V, Ni, Co	Pb
Стіг	Cr, Cs	Be, V, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Cd, Bi, Tl, Pb	Co, Ni, Ba	–
Драгобрат	Zn, Cd, Tl, Bi	Be, Cr, Ga, As, Sr, Cs, Rb, Pb	Co, Ni, Ba, Cu	V
Темпа	Be, V, Co, Ni, Cu, As, Rb, Cd, Cs, Tl, Bi	Cr, Zn, Sr, Ba, Pb	–	–
Менчул	Be, V, Cr, Fe, Co, Zn, Sr, Cs, Ba, Tl, Pb, Bi	Ni, Cu, As, Rb, Cd	–	–
Петрос Чорногірський	Cr, Co, Ni, Cu, As, Rb, Sr, Cd, Cs, Ba, Pb, Bi	Be, V, Zn	–	–
Петрос Мармароський	Be, V, Cr, Co, Zn, Ni, Sr, Cs, As, Cd, Ba, Tl, Pb, Bi	Cu, Rb	–	–
Малий Менчіл	V, Cu, As, Rb, Cs, Bi	Be, Co, Ni, Cd, Sr, Tl, Pb	Cr, Zn	
Гропа	Be, V, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Cs, Tl, Pb, Zn	Cr, Co, Rb, Ba	–	Sr
Говерла	Be, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Cs, Ba, Tl, Pb, Bi	V, As, Cd	–	–

Примітка. "–" концентрація мікроелементів не відноситься до заданих меж

Порівняльний аналіз середніх показників вмісту мікроелементів в талій воді снігового покриву з фоновими значеннями дозволяє описати зональні техногенні аномалії (в дужках вказано значення  $K_c$ ):

– Угольсько-Широколужанський масив - г. Вежа Pb (17), V (8), Ni, Co (4);  
– Свидовецький масив - г. Стіг Ni(7), Ba, Co (4); г. Драгобрат V(17), Co (9), Ni (5), Ba, Cu (4); г. Малий Менчул Zn (8), Cr (4);

– Чорногірський масив - г. Гропа Sr (28).

У сніговому покриві(талій воді) гір Темпа, Менчул, Петрос Чорногірський, Петрос Мармароський – забруднення не виявлено.

Для виявлення можливого джерела забруднення снігу проведено аналіз розташування та

промислової діяльності підприємств [16], які з більшою вірогідністю забруднюють атмосферу. Для цього побудовано восьмипроменева роза вітрів з ділянок відбору снігу, де було зафіксовано забруднення та визначено переважаючий напряму вітру (рис. 3).

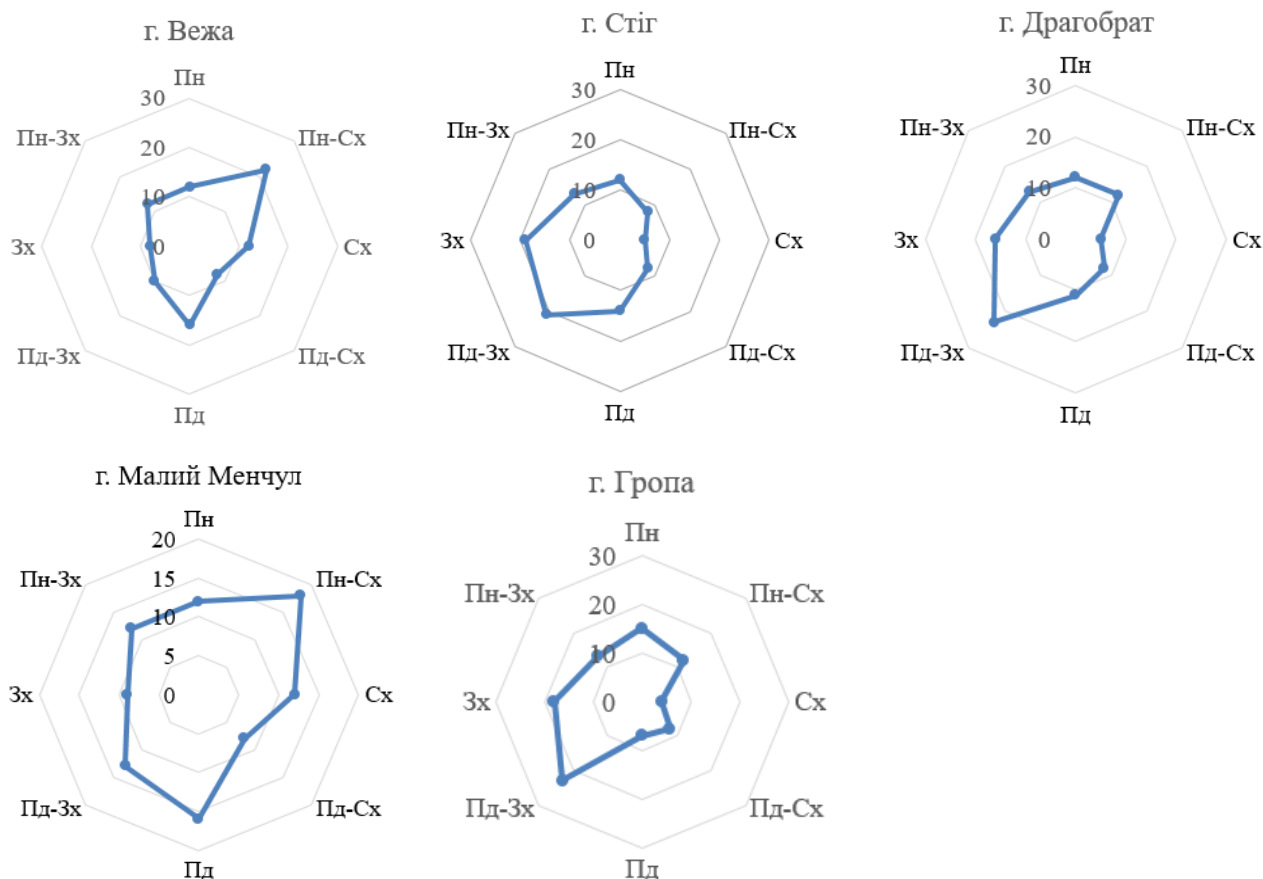


Рис. 3. Схема рози вітрів ділянок досліджень – гори Вежа, Стіг, Драгобрат, Малий Менчул, Гропа

Виявлення джерел забруднення найбільш інформативно за асоціацією мікроелементів, які накопичуються у сніговому покриві [17]. Провідними галузями промисловості району є деревообробна, целюлозно-паперова, лісохімічна, будівельних матеріалів, легка та харчова,

Зважаючи на те, що основними елементами-забруднювачами снігового покриву у 2019 році були Pb, V, Ni, Co, Ba, Cu, Zn, Sr надамо короткий опис застосування цих елементів у промисловості з метою визначити можливе джерело забруднення [18, 19]. В переважній більшості, ванадій використовується в сплавах для нержавіючих і інструментальних сталей, нікель використовують при створенні нікелевого покриття з метою запобігання від корозії, що проводиться гальванічним способом з використанням електролітів, що містять сульфат нікелю (II), хлорид натрію, гідроксид бору, поверхнево-активні речовини, і розчинні нікелеві аноди [20]. Барій застосовують в якості газобирачів в високовакуу-

мних електронних приладах, а так само додається спільно з цирконієм в рідкометалеві теплоносії (сплави натрію, калію, заліза, літію, цезію) для зменшення агресивності до трубопроводів, і в металургії. Кобальт використовують для легування сталі, що підвищує її жароміцність, покращує механічні властивості, з сплавів із застосуванням кобальту створюють інструмент: свердла, різці, також кобальт застосовується як каталізатор хімічних реакцій.

Гора Вежа (Угольсько-Щироколужанський масив) переважаючий напрям вітру – з південного заходу на північний схід (асоціація елементів –Pb, V, Ni, Co), тобто є вірогідність забруднення промисловими підприємствами м. Хуст (відстань від г. Вежа до м.Хуст приблизно 20-25 км.): сполуки свинцю (сульфат, хромат) використовують для забарвлення тканин ТОВ "Хуст-Фільц" (фетрові головні убори), а асоціація Pb, V, Ni, Co може бути притаманна викидам ПАТ "Техномаш" (гальванічне обладнання) та ТОВ "Закарпатсь-

кий металургійний завод" (с. Вишково, біля м. Хуст).

Гори Стіг та Драгобрат (Свидовецький масив) знаходяться на відстані 3-5 км одна від одної. Для снігового покриву гір характерно забруднення Ni, Ba, Co, а на г. Драгобрат виявлено сильне накопичення ванадію (Kc 17). З великою вірогідністю на забруднення снігового покриву г. Стіг та г. Драгобрат мають вплив підприємства м. Коломия (переважаючий напрям вітру з північного сходу на південний захід), що знаходиться на відстані 42 км. Це ПП "Прикарпаткабель" (кабельно-провідникова продукція), ВАТ "Коломийський завод розподільних комплексних пристроїв", ВАТ "Коломиясельмаш" (виготовлення навантажувачів; міні екскаваторів, рам лісопильних, розбризкувачів добрив, гідроциліндрів), ПП "Оборудование+" (обладнання для виготовлення: шлакоблоків, піноізолу, пресованої цегли, тротуарної плитки).

Ми з'ясували, що в сніговому покриві г. Гропа (Чорногірський масив) відбувається накопичення стронцію (Kc 29), але джерело не визначили (напрямок вітру з північного сходу на південний захід). Основні області застосування стронцію і його хімічних сполук – це радіоелектронна промисловість, піротехніка, металургія, харчова промисловість. У піротехніці застосовуються карбонат, нітрат, перхлорат стронцію для фарбування полум'я в цегляно-червоний колір. Сплав магній-стронцій застосовується в піротехніці для запалювальних і сигнальних складів. Виходячи з переважаючого напрямку вітру це можуть бути підприємства м. Коломия.

У сніговому покриві г. Малий Менчул (Свидовецький масив) виявлено асоціацію Zn, Cr (переважаючий напрям вітру з південного заходу на північний схід). Хром важливий компонент у багатьох легованих сталях (зокрема, нержавіючих), використовується в якості зносостійких і гальванічних покриттів (хромування). Цинк використовують для захисту сталі від корозії, при та виготовленні промислових приборів. Ця асоціація притаманна викидам підприємствам, які розташовані на території Румунії (видобуток поліметалічних, особливо свинцево-цинкових руд та розробка золоторудних родовищ). У 1998 році під час паводку у річку Тиса в районі між прикордонними населеними пунктами с. Ділове та с. Бичків, із території Румунії р. Вішеу (яка є лівою притокою р. Тиса) під час прориву хвостосховища золотопереробного підприємства було привнесено велику кількість забруднювачів (ціаністких сполук та інше). Це забруднило річку Тиса вниз по течії – на території України, Румунії, Угорщини і аж до впадіння у ріку Дунай. Було відмічено масовий мор іхтіофауни та інших вод-

них організмів.

У районі гори Малий Менчул між м. Рахів та населеними пунктами Косівська Поляна та Кобилецька поляна розташована ціла низка розвіданих поліметалічних (свинцево-цинкових) родовищ, але до кінця ХХ століття розроблялося лише одне – Косівськополянське, на сировині якого працював арматурний завод у с. Кобилецька Поляна. Наразі у цьому регіоні працює тільки ТзОВ "ВГСМ" (деревообробне та меблеве виробництво) – (біля с. Великий Бичків).

Щодо підприємств смт Ясіня – ВАТ "Хутро" виробляє штучне хутро для взуття та верхнього одягу), то за асоціацією елементів, виявлених у снігу їх роль у забрудненні не визначена. Наразі у районі м. Рахів працюють низка лісопереробних підприємств та ТзОВ "Біотес", яка переробляє деревні відходи на щепу і спалюючи її забезпечує теплом місто Рахів.

**Висновки.** У роботі виконано оцінку мікрокомпонентного забруднення снігового покриву гірських вершин Українських Карпат в межах заповідних масивів Карпатського біосферного заповідника (КБЗ) – Угольсько-Широколужанського, Свидовецького, Чорногірського, Кузійського, Мармароського. 1. Визначено вміст мікрокомпонентів у сніговому покриві гірських вершин КБЗ та встановлено фонові концентрації 16 хімічних елементів – Be, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Cd, Cs, Ba, Tl, Pb, Bi. 2. Порівняльний аналіз вмісту мікрокомпонентів у сніговому покриві КБЗ з гранично допустимою концентрацією у питній воді показав, що вміст мікроелементів у сніговому покриві у десятки (Be, Tl, Ba, Cd), сотні (Zn, Pb, Rb, Ni) та тисячі (V, Cr, Co, Cu, As, Sr, Bi) разів нижче, ніж у воді, що дозволяє віднести регіон до умовно чистого. 3. Аналіз результатів досліджень снігового покриву дозволив встановити, що провідними елементами накопичення (відносно фонового вмісту) є Pb, V, Ni, Co (гора Вежа); Ni, Ba, Co (гора Стіг); V, Co, Ni, Ba, Cu (гора Драгобрат); Zn, Cr (гора Малий Менчул); Sr (гора Гропа). У сніговому покриві гір Темпа, Менчул, Петрос Чорногірський, Петрос Мармароський – забруднення не виявлено. 4. Встановлено, що ідентифікація джерел атмосферного забруднення КБЗ за сніговим покривом достовірно здійснюється за асоціаціями хімічних елементів, у яких важливу роль відіграють специфічні елементи, що не мають широкого розповсюдження, а привносяться в результаті викидів підприємств хімічної та машинобудівної промисловості – Pb, V, Ni, Co, Ba, Cu, Zn, Cr. 5. Виявлено асоціацію хімічних елементів у сніговому покриві на гірській вершині Малий Менчул – Cr, Zn, що притаманно викидам підприємств території Румунії (видобуток поліметалічних, особ-

ливо свинцево-цинкових руд та розробка золоторудних родовищ). Зважаючи на переважаючий напрям вітру зроблено припущення про трансрегіональне забруднення.

Отримані результати є основою для розробок

природоохоронних рекомендацій відносно подальших моніторингових досліджень та виявлення стаціонарних джерел мікроелементного забруднення снігового покриву Карпатського біосферного заповідника,

#### Література

1. Седунов Ю.С. Атмосфера. Справочник. (справочные данные, модели) [Текст] / Ю.С. Седунов, С.И. Авдюшин, Е.П. Борисенков. – Л.: Гидрометеиздат, 1991 – 510 с.
2. Дмитриев М.Т. Санитарно-химический анализ загрязняющих веществ в окружающей среде: справочник [Текст] / М.Т. Дмитриев, Н.И. Казнина, И.О. Пинигина. – М.: Химия, 1989. – 368с.
3. Закон України про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19> (дата звернення: 18.02.2021).
4. Li Y. Signals of pollution revealed by trace elements in recent snow from mountain glaciers at the Qinghai-Tibetan plateau [Текст] / Y. Li, Z. Li., G. Cozzi, C.Turetta, C.Barbante // *Chemosphere*. – 2018. – P. 523–531. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.039>
5. Kholodov A. Air Pollution of Nature Reserves near Cities in Russia [Текст] / A. Kholodov, K. Golokhvast // *Scientifica*. – V. 2020. – 2020. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/9148416>
6. Casey K. A. The spectral and chemical measurement of pollutants on snow near South Pole, Antarctica [Електронний ресурс] / К.А. Casey, S.D. Kaspari, S.M. Skiles, K. Kreutz, M. J. Handley // *JGR Atmospheres*. – 2017. – V. 122(12). – P. 6592-6610. DOI: <https://doi.org/10.1002/2016JD026418>
7. Карпатський біосферний заповідник [Електронний ресурс]. URL: <http://cbr.nature.org.ua/ukrainian.htm> (дата звернення: 10.02.2021).
8. Жовинський Е.Я. Геохімія об'єктів довкілля Карпатського біосферного заповідника [Текст] / Е.Я. Жовинський, Н.О. Крюченко, П.С. Папарига. – К.: ТОВ "НВП "Інтерсервіс", 2012. – 100с.
9. Крюченко Н.О. Рудні та техногенні геохімічні аномалії заповідних територій Українських Карпат (на прикладі Карпатського біосферного заповідника) [Текст] / Н.О. Крюченко, Е.Я. Жовинський, П.С. Папарига. – К.: ТОВ "НВП "Інтерсервіс", 2018. – 148с.
10. Ковкин В.В. Руководство по методам полевых и лабораторных исследований снежного покрова для изучения закономерностей длительного загрязнения местности в зоне действия антропогенных источников: Методическое пособие [Текст] / В.В. Ковкин, О.В. Шуваева, С.В. Морозов, В.Ф. Ранута. – Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 2012. – 85 с.
11. Саєт Ю.И. Геохимия окружающей среды [Текст] / Ю.И. Саєт, Б.А. Ревич, Е.П. Янин. – М.: Наука, 1990. – 335 с.
12. Суцук Ю.Я. Геохимия зоны гипергенеза Украинских Карпат [Текст] / Ю.Я. Суцук. – К.: Наукова думка, 1978. – 210 с.
13. Піпаш Л.І. Моніторинг гідрохімічного складу атмосферних опадів у Карпатському біосферному заповіднику [Текст] / Л.І. Піпаш, П.С. Папарига // *Природа Карпат*. – 2016. – № 1. – С. 95–100.
14. Миклишанский А.З. Нейтронно-активационное и рентгенорадиометрическое определение содержания микроэлементов в снежном покрове Антарктиды [Текст] / А.З. Миклишанский, Ю.В. Яковлев, В.Я. Выропаев. – М.: Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований. – 1976. – 9с.
15. Предельно допустимые концентрации содержания основных неорганических веществ в питьевой воде [Електронний ресурс]. URL: <https://www.water.ru/bz/param/neorg.php> (дата звернення: 12.02.2021).
16. Каталог промышленных предприятий Украины (Укрпром). 2018. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.ukr-prom.com> (дата звернення: 10.02.2021).
17. Крюченко Н.О. Техногенне забруднення (мікроелементний склад) снігового покриву гірських вершин Карпатського біосферного заповідника [Текст] / Н.О. Крюченко, Е.Я. Жовинський, П.С. Папарига // *Геохімія та рудоутворення*. – 2019. – В. 40. – С.6–14. DOI: <https://doi.org/10.15407/gof.2019.40.006>.
18. Периодическая система элементов. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.himsnab-spb.ru/article/ps/> (дата звернення: 7.02.2021).
19. Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова [Текст] / В.Н. Василенко, И.М. Назаров, Ш.Д. Фридман. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 180 с.
20. Алемасова А.С. Экологическая аналитическая химия [Текст] / А.С. Алемасова, К.С. Луговой. – Донецк: Дон-НУ, 2010. – С.271.

Надійшла до редакції 21 лютого 2021 р.

Прийнята 28 квітня 2021 р.

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

UDC 550.42:546.4./7:631.4(477)

**Edward Zhovinsky,**

DSc (Geology and Mineralogy), Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Chief Researcher, M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine, 34 Acad. Palladina Sq., Kiev, 03142, Ukraine,  
e-mail: [zhovinsky@ukr.net](mailto:zhovinsky@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-1601-5998>;

**Nataliya Kryuchenko,**

DSc (Geology), Professor, Head of the Department of exploratory and environmental geochemistry, M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine,  
e-mail: [nataliya.kryuchenko@gmail.com](mailto:nataliya.kryuchenko@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8774-9089>;

**Petro Paparyga,**

PhD (Geology), Head of the Laboratory for Environmental Monitoring, Carpathian Biosphere Reserve of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine,  
77 Krasne Pleso, Rakhiv, 90600, Ukraine,  
e-mail: [paparyga.ps@ukr.net](mailto:paparyga.ps@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-2434-9109>

## ASSESSMENT OF MICROCOMPONENT POLLUTION OF SNOW COVERAGE OF MOUNTAIN TOPS OF THE UKRAINIAN CARPATHIANS

**Introduction.** Today, the territory of Ukraine can be divided into urban areas and relatively clean, remote from major sources of industrial pollution, such as the Carpathian Biosphere Reserve (KBR). It should be emphasized that in this case, the analysis is conducted only on the basis of a background approach. Given that there are no ongoing observations on the microcomponent composition of snow pollution, the aim of the work is to assess and analyze the level of snow pollution in 2019 and identify possible sources of pollution. The snow covers of the mountain tops of the KBR protected massifs – Vezha mountain (Uholsko-Shirokoluzhansky), Stig, Dragobrat, Maly Menchul (Svydovetsky) mountains, Petros Chornohirsky mountains, Gropa, Hoverla (Chornohirsky) mountains, Menchul Rakhivsky mountains (Kuziysky), Petros Marmarosky mountain (Marmarosky).

**Review of previous publications.** Since 2010, we have been conducting research on the microcomponent composition of snowfall on the territory of KBR, the results of which are reflected in scientific articles and monographs. Over the past ten years, the results of determining the microcomponent composition of the snow cover KBR presented in articles and monographs by us – "Geochemistry of environmental objects of the Carpathian Biosphere Reserve" and "Ore and man-made geochemical anomalies of protected areas of the Ukrainian Carpathians (for example reserve)".

**Purpose.** The aim of the study is to assess and analyze the level of pollution (microelement composition) of snow cover of mountain peaks of protected areas KBR - Marmarohs, Chornohirsky, Svydovetsky, Kuziysky and Uholsko-Shirokoluzhansky and identify possible sources of pollution.

**Research methods.** The study of the macrocomponent chemical composition and pH in the water waist is carried out in the laboratories of ecological monitoring of KBR, microelement composition – using the method of mass spectrometry with inductively coupled plasma (ICP–MS) M.P at the Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the National Academy of Sciences of Ukraine,

**Results.** The coefficients of concentration ( $K_c$ ) of chemical elements (Be, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Cd, Cs, Ba, Tl, Pb, Bi) relative to the background content were used for evaluation. The level of snow cover pollution was classified into categories – scattered ( $K_c < 1$ ), close to average concentrations ( $K_c 1-3.9$ ), accumulating ( $K_c > 4-10$ ) and strongly accumulating ( $K_c > 10$ ). As a result of the conducted researches the association of elements-pollutants of a snow cover (melting waters) is received: Pb, V, Ni, Co (mountain Vezha); Ni, Ba, Co (mountain Stig); V, Co, Ni, Ba, Cu (mountain Dragobrat); Zn, Cr (mountain Mali Menchul); Sr (mountain Gropa). In the snow cover of the mountain peaks Tempa, Menchul, Petros Chornohirsky, Petros Marmarosky – no pollution was detected (relative to the background content). As a result of the analysis of emissions (microelement composition) of stationary sources (industrial enterprises) their possible contribution to the pollution of snow cover is substantiated.

**Conclusions.** As a result of detection of elements-pollutants of snow cover of mountain tops and analysis of emissions (associations of microelements) of stationary sources (industrial enterprises) their possible contribution to pollution (microelement composition) of the KBR atmosphere is substantiated, which leads to snow cover pollution.

**Keywords:** snow cover, mountain peaks, microelement composition, level of pollution, stationary sources, Carpathian Biosphere Reserve.

### References

1. Sedunov Yu.S., Avdyushin S.I., Borisenkov E.P. (1991). *Atmosphere. Directory. (reference data, models)*. Leningrad.: Gidrometeoizdat, 510.
2. Dmitriev M.T., Kaznina N.I., Pinigin I.O. (1989). *Sanitary-chemical analysis of pollutants in the environment: reference book*. M., Chemistry, 368.
3. *Law of Ukraine on the Basic Principles (Strategy) of the State Environmental Policy of Ukraine for the period up to 2030*. Electronic resource. Available at: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19>
4. Li Y., Li Z., Cozzi G., Turetta C., Barbante C. (2018). Signals of pollution revealed by trace elements in recent snow from mountain glaciers at the Qinghai-Tibetan plateau. *Chemosphere*, 523–531. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.039>
5. Kholodov A., Golokhvast K. (2020). Air Pollution of Nature Reserves near Cities in Russia. *Scientifica*. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/9148416>
6. Casey K. A., Kaspari S.D., Skiles S.M., Kreuz K., Handley M. J. (2017). The spectral and chemical measurement of pollutants on snow near South Pole, Antarctica. *JGR Atmospheres*, 6592-6610. DOI: <https://doi.org/10.1002/2016JD026418>
7. Carpathian Biosphere Reserve. Electronic resource. Available at: <http://cbr.nature.org.ua/ukrainian.htm>
8. Zhovinsky E.Ya., Kryuchenko N.O., Paparyga P.S. (2012). *Geochemistry of environmental objects of the Carpathian Biosphere Reserve*. Kiev: TOV "NVP Interservice", 100.
9. Kryuchenko N.O., Zhovinsky E.Ya., Paparyga P.S. (2018). *Ore and technogenic geochemical anomalies of protected areas of the Ukrainian Carpathians (on the example of the Carpathian Biosphere Reserve)*. Kiev: TOV "NVP Interservice", 148.
10. Kovkin V.V., Shuvaeva O. V., Morozov S.V., Ranuta V.F. (2012). *Guidelines for methods of field and laboratory studies of snow cover for studying the patterns of long-term pollution of the area in the zone of anthropogenic sources: Methodological manual*. Novosibirsk: Novosib. State Un-t, 85.
11. Saet Yu.I. (1990). *Environmental Geochemistry*. Moscow, Nauka, 335.
12. Sushchik Yu.Ya. (1978). *Geochemistry of the hypergenesis zone of the Ukrainian Carpathians*. Kiev, Naukova dumka, 210.
13. Pipash L.I., Paparyga P.S. *Monitoring of hydrochemical composition of atmospheric precipitation in the Carpathian Biosphere Reserve (2016)*. *Nature of the Carpathians*, 1, 95–100.
14. Miklishansky A.Z., Yakovlev Yu.V., Vyropaev V. Ya. (1976). *Neutron activation and X-ray radiometric determination of the content of trace elements in the snow cover of Antarctica*. Moscow, Publishing Department of the Joint Institute for Nuclear Research, 9.
15. *Maximum permissible concentration of the content of basic inorganic substances in drinking water*. Electronic resource. Available at: <https://www.water.ru/bz/param/neorg.php>
16. *Catalog of industrial enterprises of Ukraine (Ukrprom)*. 2018. Available at: URL: <http://www.ukr-prom.com>.
17. Kryuchenko N.O., Zhovinsky E.Ya., Paparyga P.S. (2019). Technogenic pollution (microelement composition) of snow cover of mountain peaks of the Carpathian Biosphere Reserve. *Geochemistry and ore formation*, 40, 6–14. DOI: <https://doi.org/10.15407/gof.2019.40.006>.
18. *Periodic table of elements*. Available at: URL: <http://www.himsnab-spb.ru/article/ps/>
19. Vasilenko V.N., Nazarov I.M., Fridman Sh.D. (1985). *Monitoring of snow cover pollution*. Leningrad, Gidrometeoizdat, 180.
20. Alemasova A.S. (2010). *Environmental analytical chemistry*. Donetsk, DonNU, 271.



**Наталія Миколаївна Кізілова,**

д. фіз.-мат. н, проф., професор кафедри прикладної математики,  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,  
майдан Свободи, 4, Харків, 61022, Україна,  
e-mail: [n.kizilova@gmail.com](mailto:n.kizilova@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-9981-7616>;

**Наталія Львівна Ричак,**

к. геогр. н., доцент, кафедра екології та неоекології,  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,  
e-mail: [rychak@ukr.net](mailto:rychak@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-1620-3059>;

**Дмитро Сергійович Чебукін,**

магістр екології, кафедра екології та неоекології,  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,  
e-mail: [impressio1989@gmail.com](mailto:impressio1989@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0633-3661>;

**Маргарита Володимирівна Лукієнко,**

магістр екології, кафедра екології та неоекології,  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,  
e-mail: [lukienko.m.v@gmail.com](mailto:lukienko.m.v@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-5527-950X>

## ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД У БЕЗДОЩОВИЙ ПЕРІОД В УМОВАХ МІСЬКОГО ВОДОЗБОРУ

*Актуальність дослідження:* Процеси зміни клімату вносять потужні корективи показників річкового стоку та водного балансу водного об'єкту. Одним із основних чинників формування стоку води річок є кліматичні умови. І на першому місці - величина суми атмосферних опадів, що складає норму річного кліматичного стоку. Для України суттєво збільшились періоди без дощів, а зимовий період став традиційно без снігового покриву. Причому, слід відмітити, що в Україні два десятиліття спостерігається тенденція зниження кількості опадів у срудні-січні. Це призводить до зміни базатних гідрологічних показників і до звичних, в умовах помірного клімату, гідрологічних режимів. При збільшенні тривалості бездощового періоду відбувається збільшення тривалості меженого періоду, як зимового так і літнього. Це викликає зріст підземного живлення річки. В результаті відбувається надходження у води річок концентрацій хлорид- і сульфат- іонів і підвищується загальна мінералізація. Зростаюча частка у живленні річок підземними водами сприяє виносу легкокорозивних солей. В умовах міського водозбору ситуація ускладнюється потраплянням забруднюючих речовин у водний об'єкт, насамперед, завислих речовин, не тільки в результаті змиття їх дощовим та талими водами, але й перенесенням силою вітру. Наслідки таких дій прогнозовані - ризики екологічного стану водного об'єкту. Тому визначення екологічної оцінки стану водних об'єктів в умовах міського водозбору у бездощовий період є питанням малодослідженим і актуальним. Методи дослідження – польовий відбір проб води та донних відкладів для надання екологічної оцінки водного об'єкту; порівняння отриманих результатів з аналогічними, які були отримані за дощові періоди та при впливі на стан водойму талих вод, у різні гідрологічні режими; системний аналіз, який дає змогу відслідковувати зв'язки, що утворилися між об'єктами; хімічний метод, методи порівняння і узагальнення. У водах р. Лопань у бездощовий період спостерігається перевищення ГДК амоній-іони, БСК-5, розчинений кисень, нітрити, сульфати, фосфати, цинк, клас якості води – добрий; у водах р. Уди – встановлено перевищення зазальної жорсткості, вміст нітратів і хлоридів. Клас якості води (I класу води, ІЗВ) - «дуже чиста». В донних відкладах було виявлено перевищення за цинком, плюмбумом та кадмієм.

**Ключові слова:** поверхневі води, урболандшафтна геосистема, якість води, екологічний моніторинг, бездощовий період.

**Н. Н. Кизилова, Н. Л. Рычак, Д. С. Чебукин, М. В. Лукиенко. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В БЕЗДОЖДЕВОЙ ПЕРИОД В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОГО ВОДОСБОРА.** Актуальность исследования: Процессы изменения климата вносят достаточно мощные коррективы показателей речного стока и водного баланса водного объекта. Одним из основных факторов формирования стока воды рек являются климатические условия. И на первом месте - величина суммы атмосферных осадков, что составляет норму годового климатического стока. Для Украины существенно увеличились периоды без дождей, а в зимнее время - традиционно без снежного покрова. Причем, следует отметить, что в Украине два десятилетия наблюдается тенденция снижения количества осадков в декабре-январе. Это приводит к изменению многих гидрологических показателей и к привычным, в условиях умеренного климата, гидрологических режимов. При увеличении продолжительности бездождевого периода происходит увеличение продолжительности межениого периода, как зимнего, так и летнего. Это вызывает рост подземного питания реки. В результате происходит поступление в воды рек концентраций хлорид- и сульфат- ионов и повышается общая минерализация. Растущая доля в питании рек подземными водами способствует выносу легкорастворимых солей. В условиях городского водосбора ситуация осложняется попаданием загрязняющих веществ в водный объект, прежде всего, взвешенных веществ, не только в результате смыва их дождевыми и тальными водами, но и переносом с ветром. Последствия таких действий прогнозируемые – это риски экологического состояния водного объекта. Поэтому определение экологической оценки состояния водных объектов в условиях городского водосбора в бездождевой период является вопросом малоисследованным и актуальным. Методы исследования – полевой отбор проб воды и донных отложений для предоставления экологической оценки водного объекта; сравнение полученных результатов с аналогичными, полученными за дождевые периоды и периоды таяния снега в разные гидрологические режими; системный анализ, который позволяет отслеживать связи, образовавшиеся между объектами; химический метод, методы сравнения и обобщения. В водах р. Лопань в бездождевой период наблюдается превышение ПДК аммоний-ионы, БСК-5, растворенный кислород, нитриты, сульфаты, фосфаты, цинк, класс качества воды - хороший;

в водах р. Уды - установлено превышение общей жесткости, содержание нитратов и хлоридов. Класс качества воды (I класса воды, ИОП) - «очень чистая». В донных отложениях было обнаружено превышение по цинку, свинцу и кадмию.

**Ключевые слова:** поверхностные воды, урболандшафтная геосистема, качество воды, экологический мониторинг, бездождевой период.

**Постановка проблеми.** Аналіз якості поверхневих вод (ПВ) річок України вказує на повторюваність екологічних проблем та ситуацій: відбувається кризове зниження самовідновлювальних властивостей річок, їх потенціалу, виявлена тенденція забруднення водних об'єктів шляхом потрапляння поверхневих вод атмосферного походження від населених пунктів [14, 29-31, 36, 37]. Зміна клімату вносить свої корективи. За останні десятиліття температура повітря зросла, кількість опадів і їх інтенсивність змінилися, бездошові періоди розширили свої часові і просторові рамки. За даними різних прогнозів зміни клімату передбачають у більшості районів підвищення температури на 1,5-3,5° С та зменшення опадів на 10-20% до 2050 р. [6]. Вже в 2030-х рр. міська територія, на яку вплинуть зміни клімату, складе ~5–20% загальної міської площі [5].

Перенесення забруднень в бездошовий період здійснюються за рахунок сильного вітру, ерозії ґрунтів, специфічних міських забруднень. Отже, проблема дослідження зумовлена тим, що забруднення відбувається не лише за рахунок поверхневого стоку водами атмосферного походження, але й за рахунок інших факторів у бездошовий період. Актуальність полягає в тому, щоб дослідити зміну якості поверхневих вод в бездошовий період в умовах міського водозбору.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Потреба у питній воді залежить від кількості жителів, метеорологічних та кліматологічних умов, наявності та ціни на питну воду, екологічної політики, яка спрямована на помірне вживання питної води. Потреби у технічній воді залежать від присутності у регіоні промислових виробництв, сільськогосподарських площин і зелених насаджень міста, які потребують зрошування, а також потреби безпосередньо інфраструктури міста і населення. Таким чином, їх можна розділити на промислові, сільськогосподарські і господарсько-питні

Згідно з даними<sup>1</sup> Всесвітнього Інституту Ресурсів (World Resources Institute), за останні 50 років використання води на планеті зросло на 600%. Сільське господарство та промисловість вилучають більшість прісних вод у світі (70% та 19% відповідно), але й попит домогосподарств стрімко зростає, так що в багатьох країнах і регіонах попит у воді значно перевищує локальні можливості. Для оцінки стану водопостачання використовують показники водного ризику, такі

як базовий водний стрес (БВС, Basic Water Stress), ризик посухи (РП, Drought Risk) і ризик прибережної повені (РПП, Riverine Flood Risk) [11].

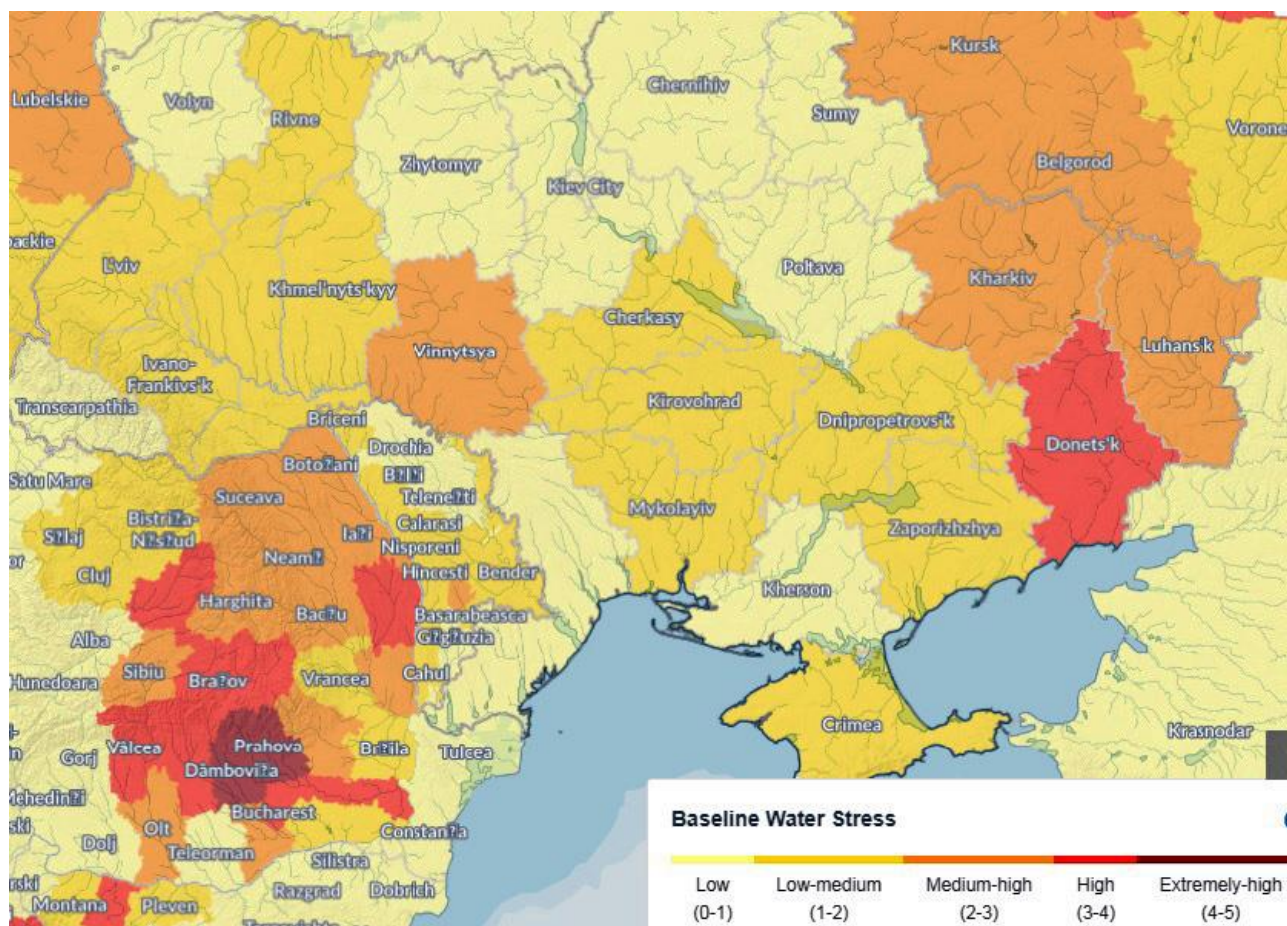
БВС – це відношення загального водозбору до наявних джерел поновлюваної води. Забір води включає побутове, промислове, зрошувальне, споживче та неспоживче використання. Доступні поновлювані джерела води включають запаси ПВ і ґрунтових вод (ГВ) та враховують вплив великих дамб і споживачів води, які споживаються вище за течією. Вищі значення БВС вказують на більшу нестачу води та проблеми з водопостачанням. РП – це складний показник, який обчислюється з урахуванням ймовірності посухи, чисельності населення, запасів води, а також вразливості населення та водних ресурсів до несприятливих наслідків посухи. РПП дорівнює відсотку населення, який, як очікується, постраждає від повені прибережних територій в середньому за рік, враховуючи існуючі стандарти захисту від паводків.

Згідно з даними за 2013 р., на території України є регіони з досить високими коефіцієнтами БВС (рис. 1а), РП (рис.1б) і РПП (рис. 1в). Видно, що Харківська область має досить високий показник БСВ=3-4 за 5-бальною шкалою, що говорить про проблеми з запасами води, очищенням та водопостачанням у порівнянні з іншими областями, крім Донецької, Луганської і Вінницької. Індекс РП має найбільші значення (РП=0.8-1) для всіх областей України, крім Дніпропетровської, Київської та західних областей України (рис. 1б), де рівень опадів залишається достатньо високим навіть в останні роки, коли наслідки потеплення клімату вже впливають на велику кількість країн світу. Індекс РПП для Харківської області має помірні значення РПП=2-3 за 5-бальною шкалою на відміну від областей, які розташовані на території водозбору р. Дніпро та низки інших (рис. 1в). Індeksi БСВ за різними статтями водопостачання на території України згідно з доступними даними відкритого ресурсу<sup>2</sup> за 2013 р. наведені на рис. 2.

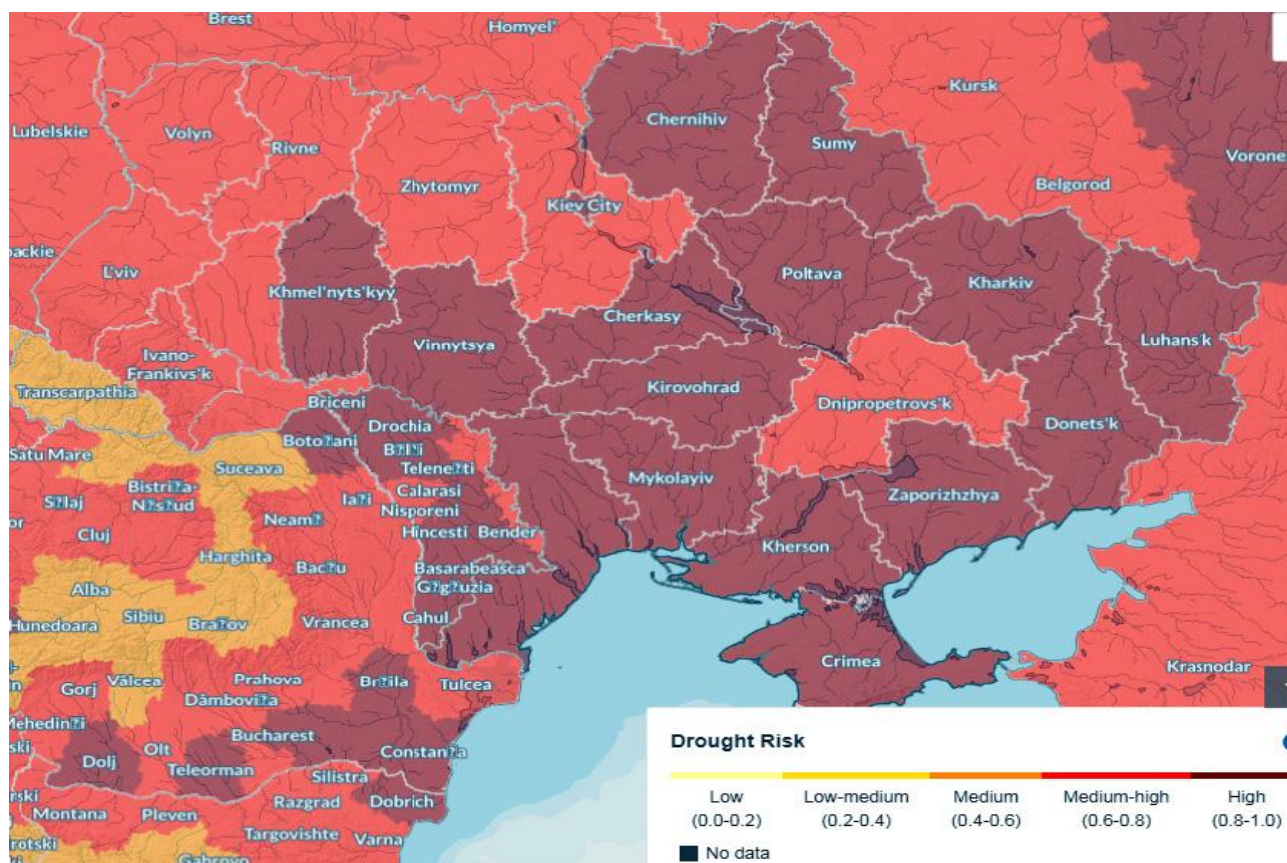
Таким чином, Харківська область є третя в Україні за індексом водного стресу, причому найвищі значення пов'язані з потребами води для потреб населення і міських служб (3.42), а проблеми промисловості та сільського господарства мають близькі значення БВС (2.79 і 2.79 відповідно). У порівнянні з іншими країнами Європи (Італія, Іспанія, Греція, Туреччина) Укра-

<sup>1</sup> <https://www.wri.org/>

<sup>2</sup> [www.wri.org](http://www.wri.org)



a



б

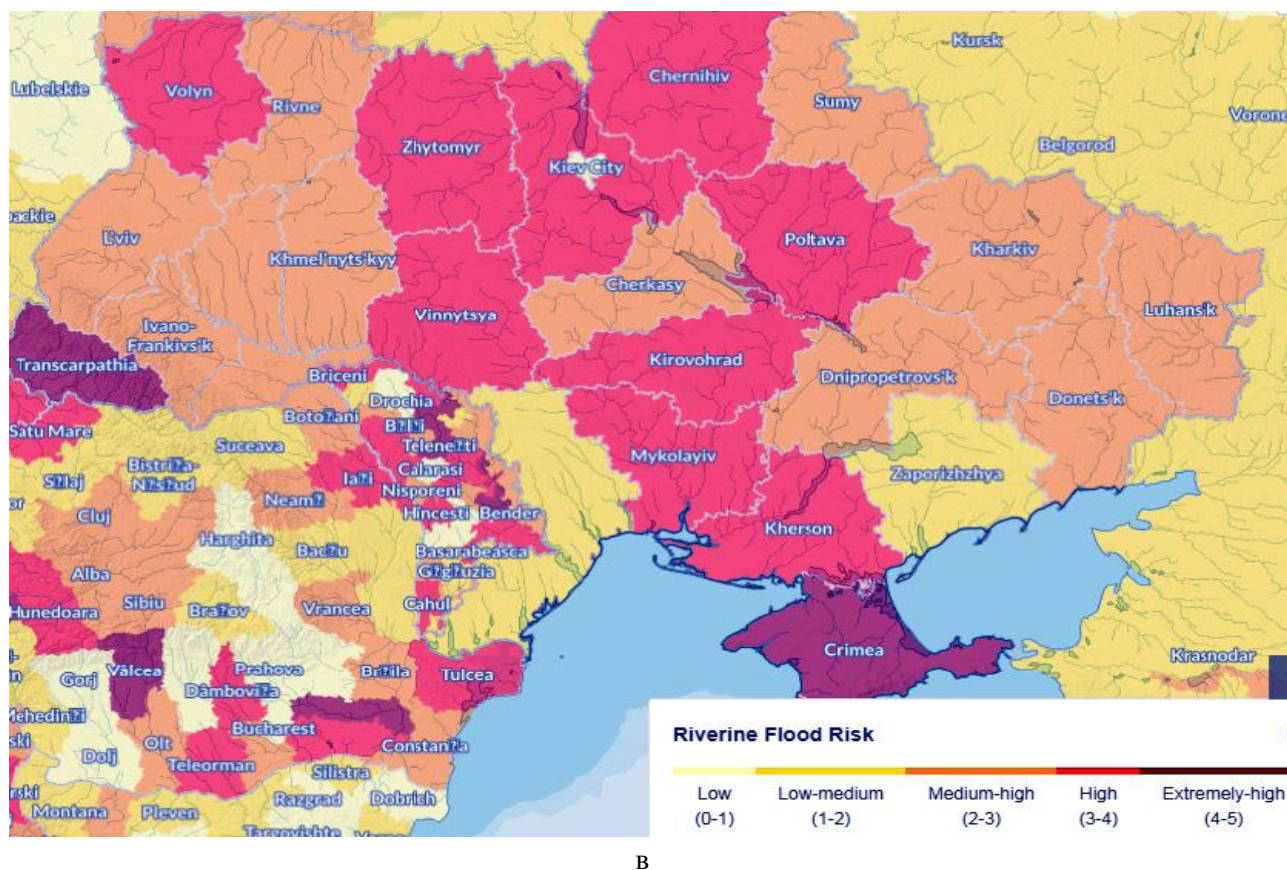


Рис.1. Схема розподілення коефіцієнтів БВС (а), РП (б) і РПП (в) між областями України з даними за 2013 р.<sup>3</sup>

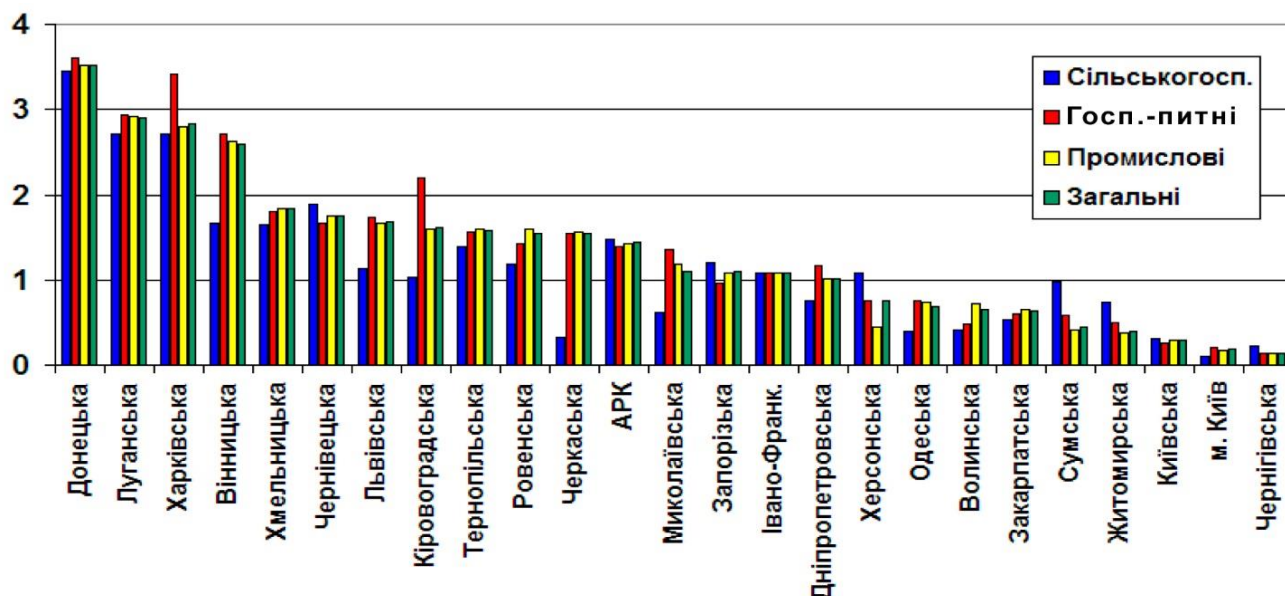


Рис.2. Індеси БВС по областям України і видам водокористання станом на 2013 р. (діаграму побудовано з використанням відкритого софту<sup>3</sup>)

<sup>3</sup> <https://www.wri.org/applications/aqueduct/country-rankings/?country=UKR>

їна має помірні значення БВС і РПП, але набагато вищі значення РП. Це означає, що саме Харківська та деякі інші області (рис.16) є найбільш уразливими під час подальших змін клімату стосовно підвищення середньорічних температур та сухості повітря, зменшення кількості опадів, висихання рослин на степових територіях, забруднення ПВ, ГВ і ґрунтів.

Безпечне водопостачання має життєво важливе значення для здоров'я населення та економіки. Як посухи, так і повені негативно впливають на кількість і якість стан ПВ і ГВ у регіоні. Забруднюючі речовини, що накопичуються на поверхні міської території, частково утворюються частинками пилу, сміттям, яке є природним або штучно створеним людиною, викидами транспортних засобів, а також поверхневих вод атмосферного походження.

Забруднюючі речовини, які потрапляють у воду, можуть бути розчинні у воді або прикріплені до осадів, що негативно позначається на якості ПВ. Протягом посушливих періодів між дощами навантаження та накопичення забруднюючих речовин на поверхні міського водозбору теж відбуваються, а накопичена частина забруднювачів поступово деградує. Осадження забруднень є неоднорідним, залежить від клімату, ландшафту місцевості, землекористування та людської діяльності. Механізми змиви залежать від місця розташування, інтенсивності опадів, нахилу, швидкості потоку, інтенсивності руху транспортних засобів тощо.

Поверхневі води атмосферного походження переносять у місцеві води сміття, паливо та інші токсичні хімічні речовини від транспортних засобів, добрива, бактерії, відходи від домашніх господарств, змиви забруднень з дахів, фарби на основі солей важких металів, анодованих та водовідштовхуючих поверхонь і т.п. Це забруднення загрожує чистій питній воді, здоров'ю населення і завдає шкоду довкіллю. У міських ландшафтах закриті поверхні, такі як тротуар, автодороги, тощо, збільшують зливові потоки, оскільки менше дощової води всмоктується в землю. Для оптимізації каналізаційних мереж використовуються методи математичного моделювання на детальних оцифрованих топографічних картах [1, 14].

**Міждисциплінарні дослідження задач переносу забруднень і підвищення якості води.** З вищезгаданого, постає теза, що проблеми постачання води та прийняття своєчасних заходів щодо поповнення її запасів, є складними і вирішуються в сучасній світовій науці шляхом спільної праці уряду з екологами, гідрологами, економістами, біо- і геофізиками, а також вимагають використання статистичних методів обробки і

аналізу численних даних вимірювань і розробки відповідних математичних моделей. Історично перші математичні моделі якості річкових вод користувалися методами лінійного [10,17] і динамічного програмування [15]. Сучасна потужна комп'ютерна техніка дозволяє розв'язувати складні задачі переносу багатокомпонентного потоку у відкритих руслах та пористих ґрунтах [3, 7-9, 18, 29-32, 36]. Особлива увага приділяється розробці багатосарових геоінформаційних систем, які містять базу «великих даних» геофізичної, кліматичної, екологічної, економічної і т.д. інформації, засоби її статистичної обробки і аналізу, математичні моделі для розрахунків параметрів переносу і накопичення забруднень і якості води, перевірки гіпотез і прийняття рішень, засоби 4D-візуалізації інформації (в просторі і за часом) та ін. [30-32]. Останнім часом для розв'язання задач переносу забруднень, підвищення чистоти води, ґрунту і повітря також використовуються теорія ігор [2], теорія графів [13], генетичні алгоритми, стохастичне програмування [4] та штучний інтелект [12].

Загальної формули для прогнозування попиту на питну воду не існує. Конкретні постачальники питної води, як правило, роблять прогнози на основі власного досвіду та ретроспективної інформації про попит на воду у своєму регіоні. Моделювання завантаження та скидання забруднюючих речовин у стічні води досі є дуже складною задачею. Вимірювання розповсюдження і накопичення забруднюючих речовин були покладені в основу емпіричних рівнянь, що представляють процеси завантаження та зливу забруднених вод, але на практиці рівень доступної інформації та складність процесів, що розглядаються, часто роблять ці моделі неробочими [11].

Найчастіше приймається проста гіпотеза накопичення забруднюючої речовини  $P$  з постійною масовою швидкістю  $m_p = \text{const}$  (кг/га/доба). Припускається, що ця величина може бути функцією координат  $m_p(x, y, z)$  і змінюватися залежно від типу ґрунту, землекористування, і т.п., хоч насправді  $m_p$  в кожній точці поверхні буде також функцією часу в залежності від насиченості ґрунту, наявності деградації тощо. Зі статистичної точки зору, часовий ряд навантажень може бути створений з одного або декількох розподілів ймовірностей спостережуваних навантажень, коли, наприклад, завантаження відрізняються у вихідні і робочі, в залежності від погодних умов та ін. Оскільки маси забруднюючих речовин накопичуються протягом сухого періоду, це також може впливати на значення  $m_p$ , приймають гіпотезу деградації накопиченої маси  $M_p$  речовини  $P$  з постійною швидкістю, так що

$$dM_p/dt = m_p - k \cdot M_p, \quad (1)$$

що відповідає експоненціальному зменшенню накопиченої маси забруднюючої речовини за рахунок деградації у вигляді

$$M_p(t) = M_p(0) \cdot e^{-kt} + (1 - e^{-kt}) \cdot m_p/k, \quad (2)$$

де  $M_p(0)$  – значення  $M_p$  на поверхні водозбору на початку сухого періоду ( $t=0$ ).

Таким чином, згідно з (2), у посушливий період з часом ( $t \rightarrow \infty$ ) маємо граничне накопичення  $M_p(\infty) = m_p/k$ , а якщо розпаду немає, то  $M_p(t) = M_p(0) + m_p t$  і граничне накопичення нескінченне.

Поверхневі води атмосферного походження важливі не тільки самі по собі, але й тому, що деякі інші забруднювачі можуть прикріплятися до них. Осадові відкладення, зазвичай, визначаються величиною середнього діаметру  $\langle d \rangle$  і моделюється як мінімум дві фракції осаду: одна груба речовина з високою щільністю (пісок) і одна дрібнодисперсна (органічні забруднення). Прийнято вважати, що у кожній з фракцій кожного класу розміру є встановлена  $n$  - кількість частинок забруднювача з масою частки які можуть до нього приєднатися. Тоді відношення загальної маси забруднювача  $M_p$  до маси осаду (кг/кг) є коефіцієнт потенції забруднювача в осаді.

Швидкість змиву забруднюючих речовин залежить від коефіцієнта ерозії  $\alpha_p$  і кількості  $M_p$  забруднювача  $P$ . Значення  $\alpha_p$  залежать від типу забруднювача, виду покриву та рельєфу конкретної частини басейну або осушуваної території. Вони можуть бути визначені на основі вимірних поверхневих навантажень маси забруднюючих речовин, що містяться в атмосферних опадах та стоках осадів у водозбірних басейнах, що нас цікавить. Оскільки отримати такі дані важко або, принаймні, достатньо вартісно, їх використання для чисельних розрахунків засновано на експериментах у лабораторіях.

Протягом дощового періоду забруднювачі видаляються із території водозбору, кількість існуючих забруднюючих речовин зменшується, отже, швидкість скидання забруднюючих речовин зменшується, навіть, при тому ж стоці. Коли відбувається стік, у ньому може міститися частка присутнього навантаження, яка буде залежати від ступеня стоку. Якщо частина поверхневого навантаження забруднювача прикріплена до осадів, його стік буде залежати від кількості стоку осаду, що, в свою чергу, залежить від кількості та швидкості поверхневого стоку води, так що часткова доля  $f_p(t)$  забруднювача  $P$  у стоці з інтенсивністю  $U(t)$  буде:

$$f_p(t) = \alpha_p \cdot U(t) / (1 + \alpha_p \cdot U(t)). \quad (3)$$

Масовий баланс навантажень забруднювачів визначає загальну накопичену кількість  $M_p$ , так що замість (2) можна записати з урахуванням (3)

$$M_p(t+1) = m_p + (1 - f_p(t)) \cdot e^{-k} \cdot M_p(t), \quad (4)$$

де крок  $t$  відповідає дискретній шкалі часу (1 день).

Загальна маса забруднювача  $P$  у стоці також повинна включати відповідні прикріплені фракції (коефіцієнти потенції), якщо такі є, для кожного модельованого класу розміру осаду. По мірі проходження осадів по системі, осади з різних джерел змішуються між собою і тому концентрації зв'язаних забруднювачів протягом моделювання змінюються за часом. Результати розрахунків за (1)-(3) можуть бути представлені як розподілення за часом і координатами масових концентрацій осаду, розчинених забруднюючих речовин та забруднювачів, які зв'язані з кожною фракцією осаду.

Математичні моделі дозволяють виявляти джерела забруднюючих речовин шляхом аналізу результатів лабораторних визначень інгредієнтів в пробах річкової води вздовж русла і розрахунків на математичній моделі [34], а також розв'язувати задачі багатокритеріальної оптимізації транспорту забруднень в річкових системах на заданому ландшафті [16].

**Моніторинг забруднення річкових вод на території України.** За проведеними раніше дослідженнями (2013-2020 рр.) стан стічних вод атмосферного походження, що формується на території міського водозбору р. Лопань характеризується як: прозорість 26/7 (у см, чисельник – це є максимальне значення, а знаменник – мінімальне), присутні плаваючі домішки, рН в інтервалі 8.2/4.3, завислі речовини 210/100 мг/дм<sup>3</sup>, сухий залишок 706/340 мг/дм<sup>3</sup>, фосфати 0.2/0.1 мг/дм<sup>3</sup>, нітриту 0.12/0.02 мг/дм<sup>3</sup>, хлориди 11.2/8 мг/дм<sup>3</sup>, азотовмісні речовини 1.5/0.35 мг/дм<sup>3</sup>, нафтопродукти 0.45/0.1 мг/дм<sup>3</sup>, [19, 33, 35].

В динаміці (2013-2020 рр.) досліджувався вміст важких металів [20, 21, 25]. Аналіз результатів показав, що у поверхневих водах атмосферного походження, які формуються на території урболандшафтною басейнової геосистеми р. Лопань, спостерігається суттєве збільшення вмісту феруму, плюмбуму та купруму. Потрапляння їх у поверхневі води р. Лопань призводить до погіршення якості води: збільшується вміст цинку, ніколу (нікелю), кадмію, мангану, феруму а перевищують ГДК р.г. вміст купруму у 2.5 – 3 рази, плюмбуму та феруму – у 1.5 рази. Сумарне забруднення важкими металами вод р. Лопань у відношенні без впливу поверхневого стоку з міського водозбору та з впливом – як 1:3.

Звичайно, таке забруднення впливає і на якість донних відкладів. Встановлено, що: найбільший вміст важких металів спостерігається у мулистих відкладах, максимальні концентрації характерні для феруму та мангану, а незначні –

для кадмію; вміст інших металів майже на однаковому рівні. При збільшенні органічної речовини вміст важких металів також збільшується. Важкі метали за виключенням феруму у донних відкладах знаходяться у вигляді нерозчинних сполук [21]. Були розраховані коефіцієнти донної акумуляції важких металів. Результати вказують на забруднення екосистеми та накопичення основної маси ΣMr забруднюючих речовин. Особливої уваги і моніторингу у поверхневих водах і донних відкладах вимагає ферум загальний, Zn<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup> [20].

Згідно даним вимірювань останніх років, такий стан поверхневих вод атмосферного походження сформувався в умовах урболандшафтної геосистеми басейну р. Лопань.

**Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми.** Таким чином, Харківська область має дуже великий індекс ризику посухи при середніх (але недостатньо низьких!) значеннях коефіцієнтів ризику повені та базового водного стресу. Вимірювання 2013-2020 рр. якості річкових вод басейну р. Лопань показали достатньо великий вміст важких металів та низки інших забруднень. Це означає, що за умовами поступового потепління клімату і зниженню кількості опадів накопичення забруднень буде зростати, що приведе до ще вищих показників БВС, РП і РПП. Аналіз сучасної літератури показує, що процеси переносу і накопичення забруднень в річкових водах, ПВ, ГВ, стічних водах у взаємозв'язку з кліматичними, погодними, економічними умовами та ін. факторами може бути проаналізований за допомогою математичних методів. Математичні моделі різних рівнів складності широко використовуються на прикладах різних ландшафтів, у тому числі в умовах великого міста, в той час як для урболандшафтних геосистем України вони використовуються рідко у зв'язку з відсутністю даних. В попередніх працях автори розробили інформаційну систему моніторингу стану якості води [31, 32]. В даній роботі проводиться вимірювання і аналіз даних для подальшого використання в рамках нових математичних моделей, розроблених саме для урболандшафтної геосистеми басейну р. Лопань-Харків-Уди.

**Формулювання мети статті.** Мета дослідження: надати екологічну оцінку стану поверхневих вод в умовах міського водозбору у бездошовий період на прикладі басейну р. Уди для подальшого використання в математичній моделі для оптимізації стану якості води у водотоці та покращення виконання її екологічних функцій.

**Методика і методи дослідження.** У бездошовий період були відібрані проби води у р. Лопань та р. Уди: у період межені та повені (2018 – 2019 рр.) та проби донних відкладів (2019 р.)

Для цілісності експерименту проби води відбирали у місцях попереднього відбору в роках 2003-2017. Визначено клас якості води та надана екологічна оцінка якості поверхневих вод [27]. Для донних відкладів було здійснено розрахунок сумарного показника забруднення за методикою Шарова А. Ю [38]. Коефіцієнт донної акумуляції було розраховано а методикою Хокасана А. Ю., 1980 р. [25].

Відбір проб води здійснювався згідно вимог ДСТУ ISO 5667-6:2009 [28]. Лабораторно-аналітичні дослідження проводилися у навчально-дослідницькій лабораторії аналітичних екологічних досліджень навчально-наукового інституту екології Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Каламутність, азотовмісні сполуки визначалися колориметричним методом згідно ДСТУ [22]. За допомогою електротричного методу визначалися рН та електропровідність [23]. Для визначення хлоридів, загальної лужності та окиснюваності було використано метод титрування [22, 23].

Атомно-абсорбційним методом з електротермічною атомізацією з використанням атомно-абсорбційного спектрометра модифікації МГА-915МД були отримані дані по специфічних показниках токсичної дії (Fe, Cu, Zn, Pb, Cd, Mn, Cr, Ni, Co) за ISO 8288. «Визначення кобальту, нікелю, міді, цинку, кадмію і свинцю». Градувальну характеристику встановлювали з використанням градувальних розчинів, які були отримані шляхом розведення стандартних зразків складу водних розчинів елементів [39].

Лабораторні дослідження проведено у відповідності з нормами для рибогосподарських водоймів (далі – ГДК р.г.) та санітарними нормами охорони поверхневих вод господарчопитного і культурно-побутового водокористування від забруднення [39]. Екологічну оцінку якості води здійснювали згідно з «Методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями»,

**Результати вимірювань. Аналіз якості поверхневих вод та донних відкладів р. Лопань.** Аналіз води за хімічними показниками було проведено з вересня по грудень 2019 року. Точки відбору проб показані на рис. 3, а безрозмірні значення, нормовані на величину нормативного значення – на рис. 4.

За показниками важких металів спостерігається перевищення ГДК р.г. цинку у воді. Показник рН не перевищує норматив у 6.5-8.5. Показники прозорості та мутності також знаходяться у межах допустимих значень. Мінералізація води р. Лопань у нормі, перевищення вмісту солей не спостерігається. За показником жорсткості вода відповідає класу – жорстка.

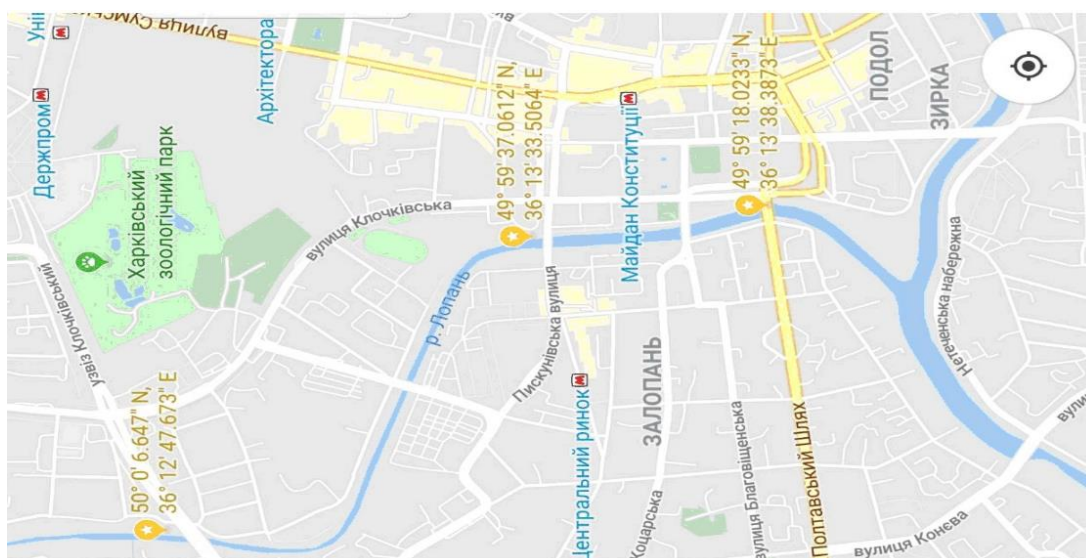


Рис. 3. Місця розташування точок відбору проб

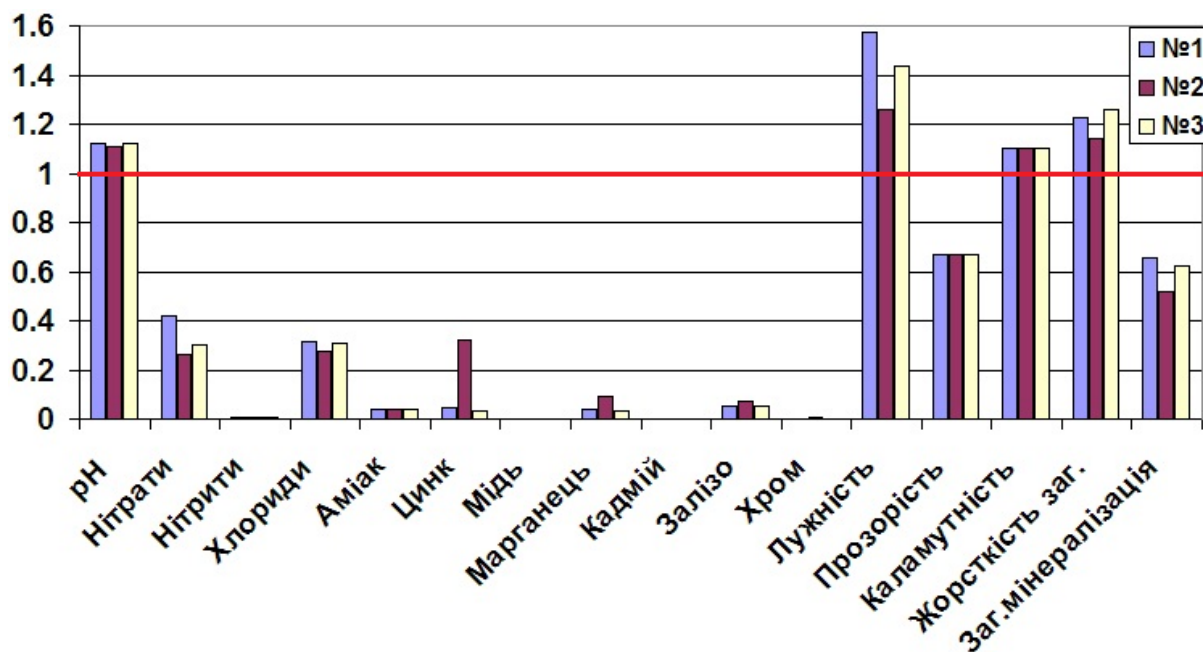


Рис. 4. Безрозмірні значення вимірних параметрів проб №1-3; червона лінія позначає ГДК

Формування якості води у водних об'єктах в значній мірі залежить від співвідношення процесів продукції і деструкції органічної речовини, які постійно відбуваються у водних екосистемах. Саме ці внутрішньоводоймні процеси є тими ключовими чинниками, які визначають якість природних вод, зокрема за трофо-сапробіологічними (еколого-санітарними) показниками: фосфор, розчинений кисень, завислі речовини та інші. Дані за усіма показниками з вересня по грудень 2019 наведені на рис. 5а. За отриманими даними спостерігається перевищення ГДК у кожному місяці за такими речовинами: амоній-іони, БСК-5, нітрити, розчинений кисень, сульфати, фосфати. На діаграмі можна простежити сезонні коливання концентрацій забруднень, пов'язані з кліматичними факторами. Статисти-

чний аналіз даних показав наявність кореляцій між вмістом завислих речовин та деякими з вимірюваних параметрів (рис. 5б). Коефіцієнт детермінації  $R^2 > 0.8$  відповідає статистично значущим кореляціям, а  $0.8 > R^2 > 0.5$  – вірогідним. Незначущі кореляції на рис.5б не наведені.

Для розрахунків загального екологічного індексу виміряні результати були доповнені даними щодо забруднення р. Лопань в межах міських ландшафтів м. Харків, отриманими Регіональним офісом водних ресурсів у Харківській області [26].

Оцінки індексу ГДК(ОБУВ) дають значення 1.86 і 2.9 відповідно. Таким чином, у досліджуваній період значної кількості забруднювачів з поверхневим стоком до р. Лопань не потрапляло і клас якості води можна оцінити як добрий.



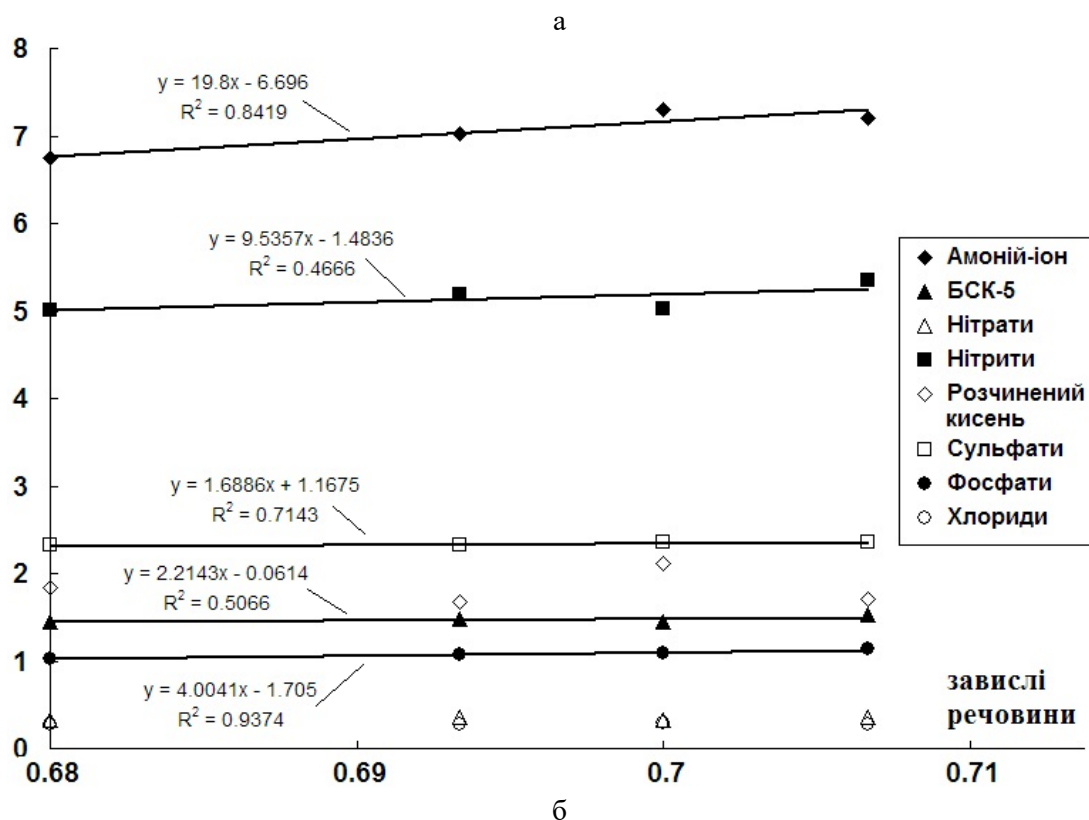
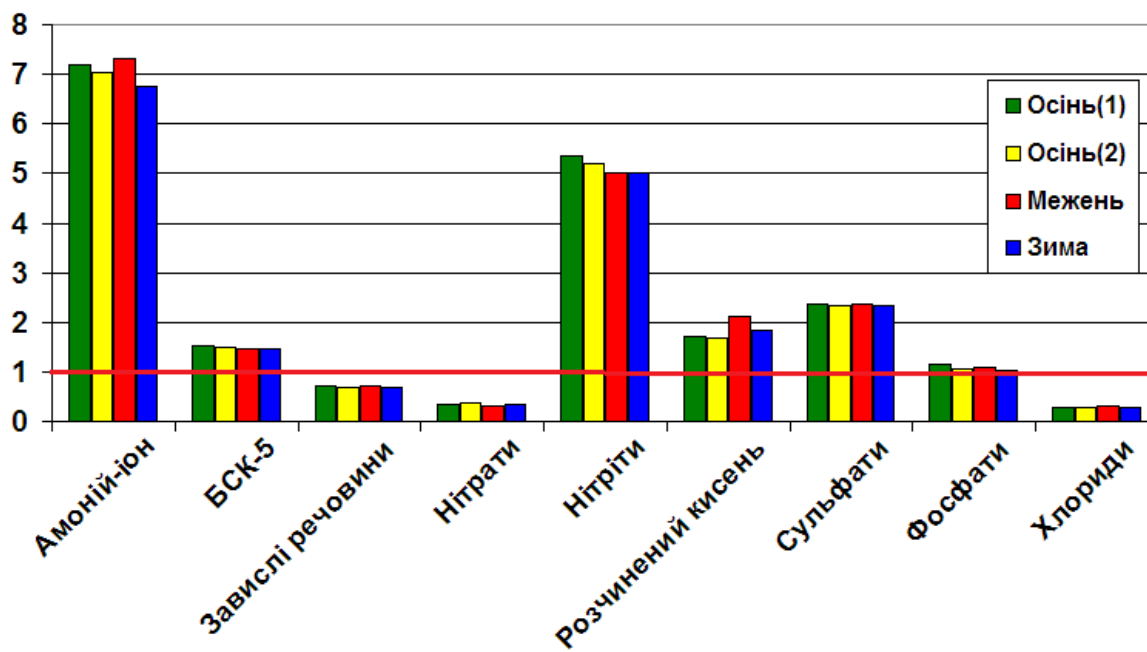


Рис. 5. Вміст деяких речовин в пробах води з р. Лопань в різні сезони ((а), червона лінія позначає рівень ГДК р.г.); значущі кореляції з місткістю завислих речовин (б)

**Результати вимірювань. Аналіз якості поверхневих вод та донних відкладів р. Уди.** Перший відбір проб був здійснений у період повені 15.03.2019 р. та проводився у локаціях №1-5 (рис. 6). Другий відбір води був проведений в період осінньої межени в 16.09.2019 р. Третій відбір проб води і проб донних відкладів проводився в період осінньої межени 13.11.19 р. Результати вимірювань, які були отримані в ході лабораторних досліджень, наведені в табл. 3, 4, 5,

6 відповідно.

Таким чином, всі показники не перевищують значень ГДЗ, індекс забруднення води в пробах №1-5 в період повені, склав 0.01-0.12, так що вода в р. Уди в період повені відповідала I класу якості. В пробах №3-5 виявлено перевищення ГДЗ в пробі 3 по нітратам. Всі інші досліджувані елементи та сполуки варіюють в рамках допустимих значень. Появлення нітратів можна пояснити тим, що при використанні нітритів в якості

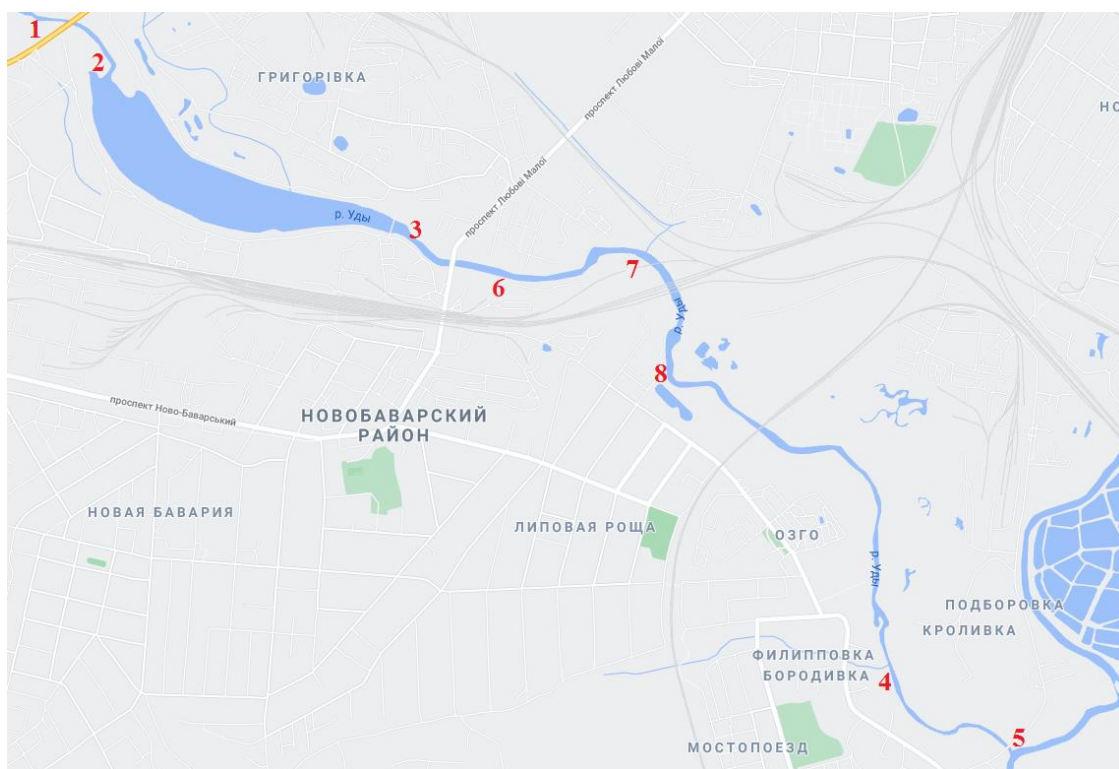


Рис. 6. Місця відбору проб води по р. Уди

інгібіторів корозії у водопідготовці технологічної води, вони потрапляють зі скидами стічних ПВ. Зазвичай нітрати знаходяться у ПВ в розчинній формі. Надмірний вміст можна пояснити процесом розкладу органічних речовин за умов повільнішого окиснення, а також тим, що період осінньої межени мав підвищену температуру, що і викликало активацію хімічних процесів і підвищення концентрації нітритів у водному об'єкті. Індекс забруднення води в пробах №3-5 період склав 0.17-0.28, тобто вода відповідала I класу якості.

Для подальшого дослідження було обрано чотири точки, які за попередніми дослідженнями є одними з найбільш забруднених, так як поблизу розташовані промислові та господарські площадки, а також недалеко проходить залізниця (рис. 6).

Встановлено, що всі проби води мають перевищення жорсткості загальної ( $> 7.0$ ). В пробах №6,8 – перевищення вмісту хлоридів; в пробах №3,7 вміст хлоридів близько до ГДЗ. Виявлення надмірного вмісту хлоридів являється показником того, що забруднення води відбувається промисловими стічними водами біля локації точок відбору проб. Індекс забруднення води склав 0.15-0.26. Це вказує, що навіть на найбільш забруднених ділянках вода в річці Уди відноситься до I класу якості.

Для порівняння безрозмірні значення рН, хімічних елементів і сполук проб річкової води, представлені графічно на рис. 7а-в.

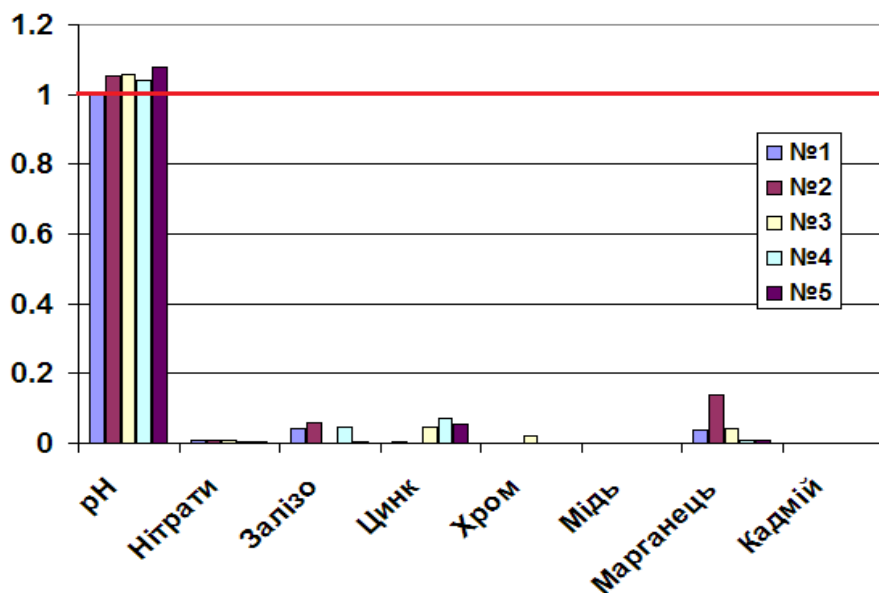
Крім того, на ділянці №3 в період осінньої межени 13.11.2019 р. також були відібрані і досліджені донні відклади. Перевищення вмісту у пробі донних відкладів були виявлені за елементами: цинк, плумбум та кадмій. Наслідком надмірного вмісту показників є поверхневі стічні води. Донні відклади є своєрідним «підводним ґрунтом», який впливає на хімічний склад води, так як є вторинним джерелом забруднення. Зміна хімічного складу води напряму залежить від складу донних відкладів.

Сумарний показник забруднення проби  $Z_c$ , розрахований за [38], склав  $Z_c=15$ . Таким чином, рівень забруднення є середнім. Був також розрахований коефіцієнт донної акумуляції, який використовується в якості індикатора забруднення водного об'єкту. Результати розрахунків свідчать, що р. Уди має невисокий рівень КДВ ( $102 < \text{КДА} < 103$ ), тобто концентрація важких металів є значною, а сорбуючі властивості донних відкладів – низькими.

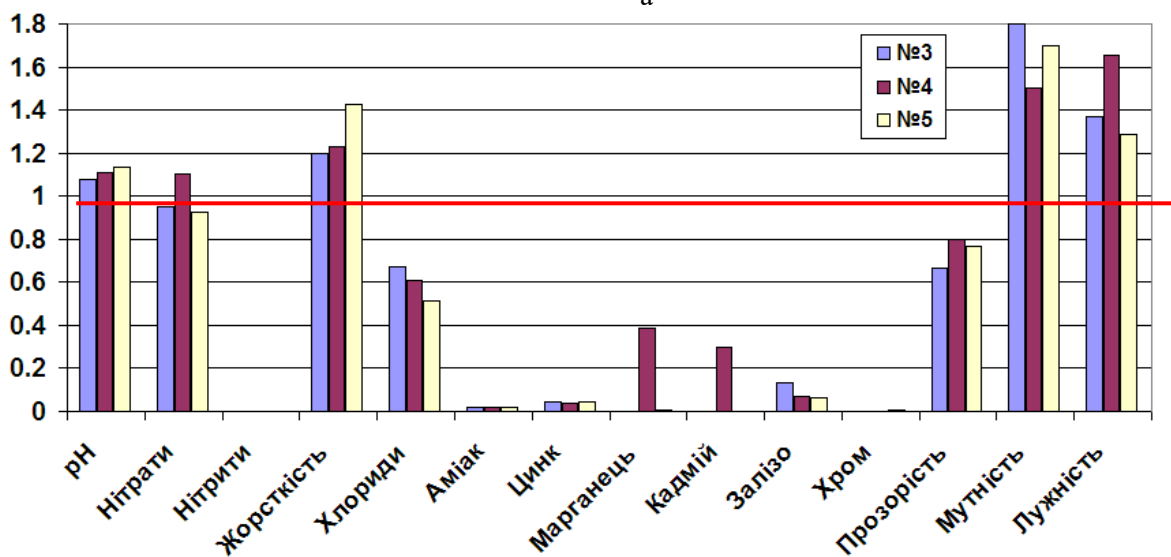
**Математичне моделювання переносу забруднень і оцінка якості води за умовами змін клімату.**

Результати вимірювань забрудненості води і коефіцієнту донної акумуляції, а також результати статистичних досліджень кореляцій між виміряними показниками дають можливість проводити розрахунки за рівнянням (4).

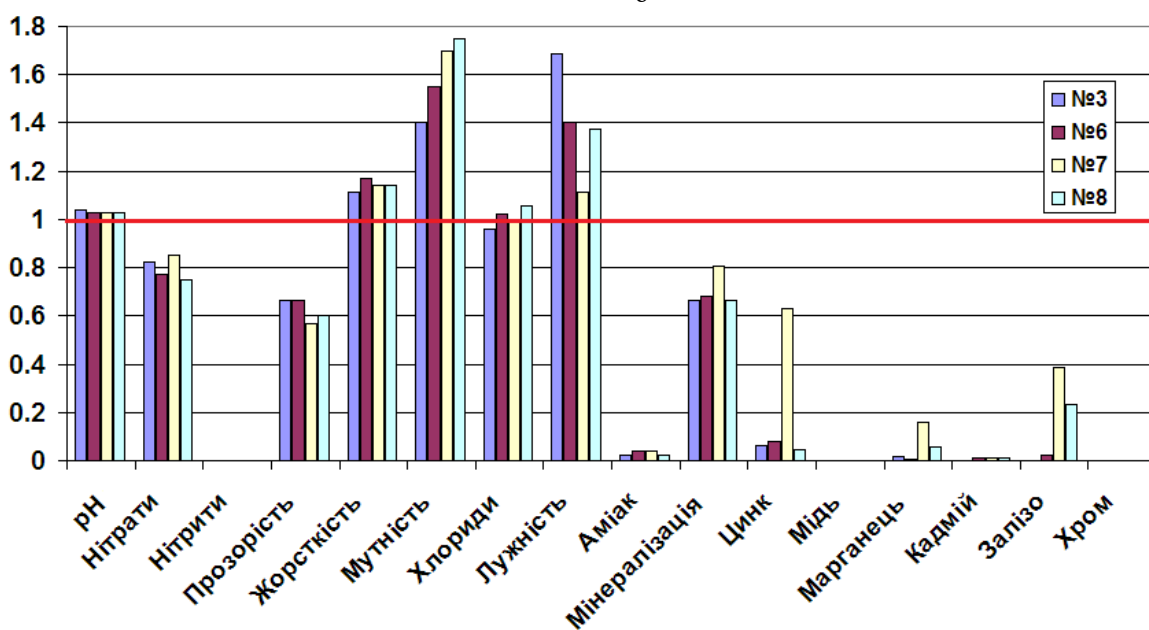
Шляхом ітерацій (4) з кроком  $t=1$  міс. Проводилися обчислення сумарної маси забруднень



а



б



с

Рис. 7. Безрозмірні хімічні характеристики проб води з табл. 3 (а), 4 (б), 5 (в); червона лінія відповідає ГДК

$$M_{\Sigma}(t) = \sum_{p=1}^N M_p(t) \text{ для всіх компонент із табл. 2-5.}$$

Коефіцієнти для компонент наведені в [18], а необхідні економіко-географічні дані – в [28, 41]. В якості можливих сценаріїв змін клімату приймалися поступові підвищення середньорічної температури  $T_{cp}$  повітря до 2030 р. на  $0.5^{\circ}\text{C}$  (сценарій 1),  $1^{\circ}\text{C}$  (сценарій 2),  $1.5^{\circ}\text{C}$  (сценарій 3) і  $2^{\circ}\text{C}$

(сценарій 4). Відповідні формули для обчислень кількості опадів, вологості повітря, значень випаровування і транспірації води як компонентів водого обміну [32], а також коефіцієнтів в (4) в залежності від значень  $T_{cp}$  наведені в [18]. Результати розрахунків прогнозованих на 10 років кривих представлені на рис. 8 для безрозмірних значень  $M = M_{\Sigma} / M_{\Sigma 0}$ , де  $M_{\Sigma 0}$  відповідає даним вимірювань 2019 р.

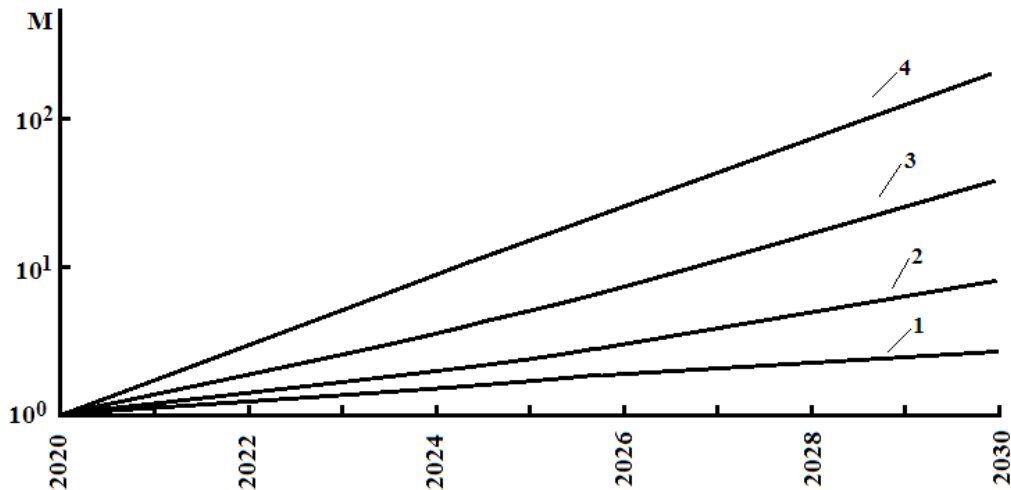


Рис. 8. Динаміка сумарних забруднень води в системі річок Лопань-Харків-Уди при різних сценаріях поступового потепління

Таким чином, навіть «найм'якший» сценарій з підвищенням  $T_{cp}$  на  $0.5^{\circ}\text{C}$  протягом 10 років приведе до майже двократного підвищення вмісту забруднень. Сценарії 1,2 є загрозливими, а сценарії 3,4 – критичним для розвитку Харківського регіону, який вже на сьогодні має значний попит на питну і технічну воду для різних цілей (рис. 2), а також дуже високий індекс ризику посухи (рис. 1б) і високі значення індексів водного стресу (рис. 1а) і ризику прибережної повені (рис. 1в). Механізмами підвищення вмісту забруднень і погіршення якості води є низький рівень опадів, поступове накопичення забруднень в ґрунтах, поверхневих і ґрунтових водах, підвищення ерозії ґрунтів, піщані бурі, загибель придонних і прибережних рослин, що разом приводить до порушень внутрішніх зв'язків і процесів в річковій системі, яка не може самовідновлюватися.

**Висновки.** Аналіз даних світових моніторингових систем по областях України у порівнянні з аналогічними даними по майже всім країнам світу, які знаходяться у відкритих джерелах, показує, що за даними 2013 р. Харківська область входить у трійку лідерів (Рис.2) з потреб у питній і технічній воді для різних цілей. При цьому область має максимальний індекс ризику посухи (0.8-1) і високі значення індексів водного стресу (2-3) і ризику прибережної повені (2-3).

Аналіз літератури показує, що в останні роки значна увага приділяється прогнозуванню

екологічної ситуації в регіоні/країні на основі даних моніторингу різних геофізичних, кліматичних, метеорологічних, екологічних та ін. параметрів. Значна кількість такої інформації знаходиться в базах даних у відкритому доступі для можливості проведення наукових досліджень, прогнозування, перевірки гіпотез та прийняття рішень на рівні уряду(ів). Найпростіша математична модель, яка наведена в роботі, дозволяє розраховувати накопичення забруднень з часом з урахуванням їх деградації та накопичення в ґрунтах і воді, а також при різних сценаріях змін у навколишньому середовищі, але для застосування цієї моделі на рівні урболандшафтної геосистеми річок Лопань-Харків-Уди необхідні початкові дані, а також наявні статистичні залежності між показниками, які визначені саме в локальній геосистемі.

Аналіз проб води, відібраних з різних частин р. Лопань і р. Уди у різні сезони показали, що деякі з показників перевищують відповідні значення ГДК, особливо у бездощові періоди, але в цілому індекси якості води відповідають 1-2 класу якості (в залежності від сезону) для р. Лопань і 1-му класу якості – для р. Уди. Чисельні розрахунки за запропонованою математичною моделлю з використанням лабораторних визначень показників показали, що потепління клімату на  $0.5-1^{\circ}\text{C}$  до 2030 р. приведе до помітного погіршення якості води та напруженості з досту-

пністю необхідної для регіону кількості питної і технічної води. Сценарій потепління на 1.5-2°C може привести до створення напружено-

катастрофічних умов проживання населення, що потребує невідкладних дій з менеджменту водними ресурсами [18, 29-32].

#### Література

1. Afshar A. Waste load reallocation in river–reservoir systems: simulation–optimization approach / A. Afshar, F. Masoumi. *Environmental Earth Sciences*. 2016. – Vol. 75, Article number: 53., <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4812-x>
2. Andik B. Waste load allocation under uncertainty using game theory approach and simulation-optimization process / B. Andik, M.H. Niksokhan. *Journal of Hydroinformatics*, 2020. – 22(4). – P. 815–841, <https://doi.org/10.2166/hydro.2020.18>
3. Carmichael J.J. A multiple-organic-pollutant simulation/optimization model of industrial and municipal wastewater loading to a riverine environment / J.J. Carmichael., K.M. Strzepek. *Water Resources Res.* 2000. – Vol. 36(5). –P. 1325–1332, <https://doi.org/10.1029/2000WR900010>
4. Inexact two-stage stochastic partial programming: Application to water resources management under uncertainty. [Fan, Y.R.; Huang, G.H.; Guo, P.; Yang, A.L.]. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.* 2012. – 26 – P. 281–293, <https://doi.org/10.1007/s00477-011-0504-6>
5. Land-use and carbon cycle responses to moderate climate change: implications for land-based mitigation. [Humpenoder F., Popp A., Stevanovic M., et al.]. – Humpenoder F. – *Environ. Sci. Technol.* – 2015. – V. 49. – P. 6731–6739, <https://doi.org/10.1021/es506201r>
6. From climate change impacts to the development of adaptation strategies: challenges for agriculture in Europe [Iglesias A., Quiroga S., Moneo M., Garrote L.]. *Clim. Chang.* – 2011. – V. 112 – P.143–168. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0344-x>
7. The IWAS-ToolBox: Software coupling for an integrated water resources management [Kalbacher T., Delfs J.-O., Shao H., et al.] Kalbacher T. – *Environ Earth Sciences*. –2012. – V. 65. – P. 1367–1380. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1270-y>
8. Integrated water Resources management under different hydrological, climatic and socio-economic conditions [Kalbus E., Kalbacher T., Kolditz O., et al] – Kalbus E. – *Environmental Earth Sciences*. – 2012. – V. 65(5) – P. 1363-1366. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1330-3>
9. Capacity development as a key factor for integrated water resources management (IWRM): improving water management in the Western Bug River Basin, Ukraine [Leidel M., Niemann S., Hagemann N., et al.]. – *Environ Earth Sci.* – 2012. – V. 65(5). – P. 1415–1426. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1223-5>
10. Loucks D.P. Linear programming models for water pollution control/ D.P. Loucks, C.S. ReVelle, and W.R. Lynn. – *Manage Sci.* – 1967. – Vol. 16. – P. 166-181. <https://www.jstor.org/stable/2628682>
11. Loucks D.P. Water resources systems planning and management. An Introduction to Methods, Models and Applications / D.P. Loucks., van Beek E. Springer. – 2017. – 630 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-44234-1>
12. Meng Ch. An Optimization Model for Waste Load Allocation under Water Carrying Capacity Improvement Management, A Case Study of the Yitong River, Northeast China / Ch. Meng., X. Wang, and Yu Li. – *Water* 2017. – 9. – 573 p. <https://doi.org/10.3390/w9080573>
13. Saberi L. Optimal waste load allocation using graph model for conflict resolution / L.Saberi, M.H. Niksokhan. – *Water Sci. Technol.* –2017. – 75 (6). – P. 1512–1522. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.429>
14. Schilling J. Estimation of Wastewater Discharges by Means of OpenStreetMap Data / J.Schilling, J. Tranckner. – *Water* 2020. – 12. – 628 p. <https://doi.org/10.3390/w12030628>
15. Shih C.S. System ptimization for river basin water quality management, / C.S. Shih. – *J. Water Pollut. Control Fed.* – 1970. – 42(10). –P. 1792-1804. <https://www.jstor.org/stable/25036799>
16. Skulovich O. Industry Effluent Disposal into Rivers: Coupled Multiobjective-Analytical Optimization Model / O. Skulovich, A. Ostfeld. – *Journal of Water Resources Planning and Management*. – 2018. – Vol. 144(2), [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000861](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000861)
17. Thomann R.V. Estuarine water quality management and forecasting / R.V. Thomann, M.J. Sobel. – *J. Sanit. Eng. Div. N.Y. Am. Soc. Civ. Eng.* – 1964. – 90. –P. 9-36.
18. Thermo-Hydro-Mechanical-Chemical Processes in Porous Media: Benchmarks and Examples. [Ed. By O. Kolditz, U.-J. Goerke, H. Shao, W. Wang]. – Springer Science Business Media. –2012. – 399p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-27177-9>
19. Godecke-Tobias Blecken. Содержание взвешенных веществ и сухого остатка в поверхностных водах атмосферного происхождения на урбанизированной территории / Godecke-Tobias Blecken, Н.Л. Рычак, В.В. Остапенко: материалы II Междунар. науч. конф. студ., магистр., аспирант. и молодых ученых «Экология, неоекология, охрана окружающей среды и сбалансированное природопользование». – Харьков, 30 октября – 2 ноября 2013 г. – X.: Изд-во ХНУ имени В.Н. Каразіна, 2013 г. – С. 119-121.
20. Гура Н.П. Донні відклади та їх вплив на якість води у р. Лопань / Н.П. Гура, Н. Л. Ричак: матер. IV Міжнар. наук. – практ. конф. молодих вчених «Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування», Харків, 3-4 грудня 2015 р. – Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2015. – С. 167-168.

21. Гура Н. Вплив поверхневого стоку з урбанізованої території на вміст важких металів в системі «поверхневі води – донні відклади» / Н. Гура, Н. Ричак: Матеріали I Міжнар. наук. – практ. конф. “Водопостачання та водовідведення: проектування, будова, експлуатація, моніторинг”, Львів, 4–6 листопада 2015 р. – Львів: Національний університет “Львівська політехніка”, ЗУКЦ, 2015. – С.80-83.
22. ДСТУ 4077-2001 ISO 10523:1994, MOD. Якість води. Визначення рН. [Чинний від 2003-07-01]. – Київ: Держстандарт України, 2003. – 16 с. – (Національний стандарт України).
23. ДСТУ 7244:2011. Якість ґрунту. Спеціальні сировинні зони. Загальні вимоги. [Чинний від 2012-01-01]. Київ: Держстандарт України, 2012. – (Національний стандарт України).
24. ДСТУ 7525:014. Якість води. Вимоги і методи контролю якості. [Чинний від 2015-10-23]. Київ: Держстандарт України, 2015. – 12 с. – (Національний стандарт України).
25. Даувальтер В. А., Яцишин С. И. Халькофильные элементы в воде и донных отложениях озера Умборо / В. А. Даувальтер, С. И. Яцишин // Вестник МГТУ. – 2008. – № 3. – Т. 11. – С. 417-427.
26. Добренко О. О. Водогосподарські проблеми. Забруднення і евтрофікація: монографія / О. О. Добренко, А. В. Мирющенко. – Житомир: Меркурій, 2015. – 98 с.
27. Жемеров О. О. Оцінка якості поверхневих вод суші: [метод. посіб.] / О. О. Жемеров, В. Г. Доц. – Харків: АССА, 2011. – 35 с.
28. Карпець К. М. Оцінка стану малих річок території Харкова (на прикладі р. Харків): [навч. посіб.] / К.М. Карпець. – Харків: АССА, 2012. – 93 с.
29. Кизилова Н.Н. Математическое моделирование и прогнозирование динамики речного русла реки Харьков на территории г. Харькова / Н.Н.Кизилова, Н.Л. Рычак: сб. статей Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки, Гомель:, 2019. – Вып.12. – С. 94-99.
30. Кизилова Н.Н. Математическое моделирование и прогнозирование динамики участка речного русла реки Северский Донец /Н.Н Кизилова, Н.Л Рычак, А.А. Халин / Bulletin of V. Karazin Kharkiv National University, Series «Mathematical Modelling. Information Technology. Automated Control Systems». – 2019. – N43. – P. 30–37, <https://doi.org/10.26565/2304-6201-2019-43-04>
31. Кізілова Н.М. Підхід системної динаміки до контролю за якістю води на урбанізованих територіях / Н.М. Кізілова, Н.Л. Ричак, Ю.І. Руднев // 36. наук. праць: Системи обробки інформації. –2019. – N4(159). – С. 87-92, <https://doi.org/10.30748/soi.2019.159.10>
32. Кізілова Н.М. Інформаційне супроводження системи менеджменту водними ресурсами на урбанізованих територіях / Н.М. Кізілова, Н.Л. Ричак// Системи обробки інформації. – 2020. – №4(163) – С. 37-47, <https://doi.org/10.30748/soi.2020.163.04>
33. Лукієнко М.В. Оптимізація стану водного об'єкту при навантаженні у бездоцовий період (на прикладі р. Уди) / М.В. Лукієнко, Н.Л. Ричак: матеріали VII Міжнар. наук. конф. молодих вчених «Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування». – Харків, 28–29 листопада 2019 р. – Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2019. – С. 16-18.
34. Інформаційна технологія пошуку можливих джерел підвищеного забруднення річки з використанням моделі ПРОФЕТ / [В.Б.Мокін, О.В. Слободянюк, О.М. Давидюк, Д.О. Шмундяк] // Вісник Вінницького політехнічного інституту. –2020. – №4. – С. 15-24. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-151-4-15-24>
35. Остапенко В.В. Вміст нафтопродуктів у зливово-талому стоці транспортної підсистеми міста / В.В. Остапенко, Н.Л. Ричак: матеріали XXII міжнар. наук.-техн. конф. «Екологічна і техногенна безпека. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів», Харків, 24-25 квітня 2014р. – Харків: Харківський національний університет будівництва та архітектури, 2014. – С. 86.
36. Раціональне використання та відновлення водних ресурсів: монографія / за заг. ред. Феценка В.П. – Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2016. – 250 с.
37. Ричак Н. Л. Розрахунок економічного збитку від поверхневих вод атмосферного походження (на прикладі житлової підсистеми) / Н. Л. Ричак, В.М. Московкін, В.В. Кузнєцова // Вісник Харківського університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія». – 2016. – Вып. № 44. – С. 177-183. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2016-44-25>
38. Саєт Ю. Е. Геохимия окружающей среды: [науч. пособ] / Ю.Е. Саєт. –Москва : Недра, 1990. –335 с.
39. Чебукін Д.С. Аналіз вкладу поверхневого стоку у загальний рівень забруднення вод р. Лопань / Д.С. Чебукін, Н.Л. Ричак: матеріали VII Міжнар. наук. конф. молодих вчених «Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування», Харків, 28 – 29 листопада 2019р. / Харків: Вид-во Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, 2019. – С. 105-107.
40. Голиков А. П. Харьковская область: региональное развитие: состояние и перспективы : монография / А. П. Голиков, Н. А. Казакова, М. В. Шуба / под ред. чл.-кор. НАН Украины, проф. В. С. Бакирова. – Х.: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2011. – 328 с. <https://core.ac.uk/download/pdf/46593993.pdf>

Надійшла до редакції 25 грудня 2020 р.

Прийнята 21 лютого 2021 р.

**Внесок авторів:** Кізілова Н. М. – математичне моделювання, Ричак Н. Л. – обробка і аналіз проб, узагальнення результатів, Чебукін Д. С. – експериментальні дані, аналіз результатів, Лукієнко М. В. – експериментальні дані, аналіз результатів.

UDC 556.5: 556.167.6

***Natalia Kizilova,***

DSc (Physics and Mathematics), Professor, Department of Applied Mathematics,  
V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,  
e-mail: [n.kizilova@gmail.com](mailto:n.kizilova@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-9981-7616>;

***Natalia Rychak,***

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Ecology and Neoeology,  
V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [rychak@ukr.net](mailto:rychak@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-1620-3059>;

***Dmitry Chebukin,***

Master (Ecology), Department of Ecology and Neoeology,  
V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [impressio1989@gmail.com](mailto:impressio1989@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0633-3661>;

***Margarita Lukienko,***

Master (Ecology), Department of Ecology and Neoeology,  
V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [lukienko.m.v@gmail.com](mailto:lukienko.m.v@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-5527-950X>

## ECOLOGICAL ASSESSMENT OF SURFACE WATER QUALITY IN A RAINLESS PERIOD UNDER THE CONDITIONS OF URBAN WATER COLLECTION

**Problem formulation.** The global climate warming influences the balance of water reservoirs by lower precipitation, higher evaporation, erosion of soils and other changes. On the territory of Ukraine, the periods without rains, low snow level, warm winters and dry summers, strong winds and dust storms became frequent during the last decades. This led to a change in many hydrological parameters in comparison with the hydrological regimes usual in temperate climates. Therefore, the determination of the ecological assessment of the state of water reservoirs in the conditions of the urban drainage basin in the rainless period is an insufficiently studied and urgent issue.

**The aim of the article** is estimation of quality of the river water in the system of rivers Lopan-Kharkov-Udy on the urban landscape of Karkov region.

**Materials and methods.** Field sampling of water and bottom sediments to provide an environmental assessment of the water reservoir; comparison of the results obtained with similar ones obtained for rainy periods and periods of snow melting in different hydrological regimes, and statistical analysis of the measured data.

**Results.** Analysis of the open source data revealed that Kharkov region is among the top three in terms of drinking and technical water needs for various purposes. The region has a maximum possible drought risk index (0.8-1) and high values of water stress indices (2-3) and coastal flood risk (2-3).

Water samples taken from different sections of the Lopan and Udy rivers in different seasons showed that some of the parameters exceed the corresponding control values, especially in rainless periods, but in general water quality indices correspond to 1-2 quality classes (depending on the season) for the river Lopan and the 1st class of quality - for the river Udy. Numerical calculations on a mathematical model using the measurement data showed that global warming at 0.5-1° C by 2030 will lead to a significant deterioration in water quality and its availability as the required amount of drinking and industrial water for the region.

**Scientific novelty.** Novel mathematical model is proposed for simple estimations of the water pollution over time at different growth rate of the average temperature accounting for known number of pollutants.

**Practical significance.** The obtained results are useful for further development of the system of water management on urban territories, testing different hypothesis and scenarios.

**Keywords:** surface water, urban landscape geosystem, water quality, environmental monitoring, rainless period.

### References

1. Afshar A. & Masoumi F. (2016). *Environmental Earth Sciences*. vol.75, Article number, 53. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4812-x>
2. Andik B. & Niksokhan M.H. (2020). *Waste load allocation under uncertainty using game theory approach and simulation-optimization process*. *Journal of Hydroinformatics*, 22(4), 815–841, <https://doi.org/10.2166/hydro.2020.18>

3. Carmichael J.J. & Strzepek K.M. (2000). A multiple-organic-pollutant simulation/optimization model of industrial and municipal wastewater loading to a riverine environment. *Water Resources Res.*, 36(5), 1325–1332, <https://doi.org/10.1029/2000WR900010>
4. Fan Y.R., Huang G.H., Guo P., Yang A.L. (2012). Inexact two-stage stochastic partial programming: Application to water resources management under uncertainty. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.*, 26, 281–293, <https://doi.org/10.1007/s00477-011-0504-6>
5. Humpenoder F., Popp A., Stevanovic M., et al. (2015). Land-use and carbon cycle responses to moderate climate change: implications for land-based mitigation. *Humpenoder F.- Environ. Sci. Technol*, 49, 6731–6739, <https://doi.org/10.1021/es506201r>
6. Iglesias A., Quiroga S., Moneo M., Garrote L.(2011). From climate change impacts to the development of adaptation strategies: challenges for agriculture in Europe. *Clim. Chang*, 112, 143–168, <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0344-x>
7. Kalbacher T., Delfs J.-O., Shao H., et al. (2012). The IWAS-ToolBox: Software coupling for an integrated water resources management. *Environ Earth Sciences*, 65, 1367–1380, <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1270-y>
8. Kalbus E., Kalbacher T., Kolditz O., et al (2012). Integrated water Resources management under different hydrological, climatic and socio-economic conditions. *Environmental Earth Sciences*, 65(5), 1363-1366, <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1330-3>
9. Leidel M., Niemann S., Hagemann N., et al (2012). Capacity development as a key factor for integrated water resources management (IWRM): improving water management in the Western Bug River Basin, Ukraine. *Environ Earth Sci*, 65(5), 1415–1426, <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1223-5>
10. Loucks D.P., ReVelle C.S. & Lynn W.R. (1967). Linear programming models for water pollution control. *Manage Sci*, 16, 166-181, <https://www.jstor.org/stable/2628682>
11. Loucks D.P. & van Beek E (2017). Water resources systems planning and management. *An Introduction to Methods, Models and Applications*. Springer, 630, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-44234-1>
12. Meng Ch., Wang X., & Yu Li. (2017). An Optimization Model for Waste Load Allocation under Water Carrying Capacity Improvement Management, A Case Study of the Yitong River, Northeast China. *Water*, 9, 573, <https://doi.org/10.3390/w9080573>
13. Saberi L. & Niksokhan M.H. (2017). Optimal waste load allocation using graph model for conflict resolution. *Water Sci. Technol*, 75 (6), 1512–1522, <https://doi.org/10.2166/wst.2016.429>
14. Schilling J. & Tranckner J. (2020). Estimation of Wastewater Discharges by Means of OpenStreetMap Data. *Water*, 12, 628, <https://doi.org/10.3390/w12030628>
15. Shih C.S. (1970). System ptimization for river basin water quality management. *J. Water Pollut. Control Fed.*, 42(10), 1792-1804, <https://www.jstor.org/stable/25036799>
16. Skulovich O. & Ostfeld A. (2018). Industry Effluent Disposal into Rivers: Coupled Multiobjective-Analytical Optimization Model. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 144(2), [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000861](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000861)
17. Thomann R.V. & Sobel M.J. (1964). Estuarine water quality management and forecasting. *J. Sanit. Eng. Div. N.Y. Am. Soc. Civ. Eng.*, 90, 9-36.
18. Kolditz O., Goerke U.-J., Shao H., Wang W. (2012). *Thermo-Hydro-Mechanical-Chemical Processes in Porous Media: Benchmarks and Examples*. Ed. By O. Kolditz, Springer Science Business Media, 399. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-27177-9>
19. Godecke-Tobias Blecken, Rychak N.L. & Ostapenko V.V. (2013). The content of suspended solids and dry residue in surface waters of atmospheric origin in an urbanized area. "Ecology, neoecology, environmental protection and balanced use of natural resources", October 30-November 2, 2013. Kharkov, Ukraine. 119-121. [in Russian].
20. Gura N.P., Rychak N.L. (2015). Bottom sediments and their impact on water quality in the Lopan River "Ecology, neo-ecology, environmental protection and balanced nature management". December 3-4, 2015. Kharkiv, Ukraine. 167-168. [in Ukrainian]
21. Gura N., Rychak N. (2015). The influence of surface runoff from urban areas on the content of heavy metals in the system "surface water - bottom sediments". "Water supply and sewerage: design, construction, operation, monitoring". November 4–6, 2015. Lviv, Ukraine. 80-83. [in Ukrainian].
22. DSTU 4077-2001 ISO 10523: 1994, MOD. (2003). Water quality. Determination of pH. [Effective from 2003-07-01]. Kyiv, 16. (National standard of Ukraine). [in Ukrainian].
23. DSTU 7244; 2011. (2012). Soil quality. Special raw material zones. General requirements. [Effective from 2012-01-01]. Kyiv. (National standard of Ukraine). [in Ukrainian].
24. DSTU 7525: 014. (2015). Water quality. Requirements and methods of quality control. [Effective from 2015-10-23]. Kyiv. 12. (National Standard of Ukraine). [in Ukrainian].
25. Dauwalter V.A, Yashchishin S.I. (2008). Chalcophilic elements in the water and bottom sediments of Lake Umboro. *Moscow. Bulletin of the Moscow State Technical University*. 3(11), 417-427. [in Russian].
26. Dobrenko O.O, Myryushchenko A.V. (2015). Water management problems. Pollution and eutrophication: a monograph. Zhytomyr, Mercury. [in Ukrainian].
27. Zhemerov O.O, Doz V.G. (2011). Estimation of land surface water quality: method. way. Kharkiv, ACCA. [in Ukrainian].



28. Karpets K.M. (2012). *Assessment of small rivers in Kharkiv (on the example of Kharkiv): textbook*. way. Kharkiv, ACCA. [in Ukrainian].
29. Kizilova N.N., Rychak N.L. (2019). *Mathematical modeling and forecasting of the dynamics of the river bed of the Kharkiv River on the territory of Kharkiv. Mechanics. Scientific research and educational and methodical developments*, 12. Gomel, Belarus. 94-99. [in Russian].
30. Kizilova N.N., Rychak N.L., Khalin A.A. (2019). *Mathematical modeling and forecasting of the dynamics of the Seversky Donets riverbed. Bulletin of V. Karazin Kharkiv National University, Series «Mathematical Modeling. Information Technology. Automated Control Systems»*. (43). 30-37, <https://doi.org/10.26565/2304-6201-2019-43-04> [in Ukrainian].
31. Kizilova N.M., Rychak N.L., Rudnev Y.I. (2019). *The approach of system dynamics to water quality control in urban areas. Information processing systems*, 4(159), 87-92, <https://doi.org/10.30748/soi.2019.159.10> [in Ukrainian].
32. Kizilova N.M., Rychak N.L. (2020) *Information support of the water resources management system in urban areas. Information processing systems*, 4(163), 37-48. <https://doi.org/10.30748/soi.2020.163.04> [in Ukrainian].
33. Lukienko M.V., Rychak N.L. (2019) *Optimization of the state of the water body during the load in the rainless period (for example, the river Uda). Ecology, neo-ecology, environmental protection and sustainable use of nature*. November 28 - 29, 2019. Kharkiv, Ukraine, 16-18. [in Ukrainian].
34. Mokin V.B., Slobodyanyuk O.V., Davydyuk O.M., Shmundyak D.O. (2020) *Shmundyak Information technology for searching for possible sources of increased river pollution using the PROPHET model. Bulletin of Vinnytsia Polytechnic Institute*, 4, 15-24, <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-151-4-15-24> [in Ukrainian].
35. Ostapenko V.V., Rychak N.L. (2014). *The content of petroleum products in the stormwater runoff of the transport subsystem of the city. Environmental and man-made safety. Protection of water and air pools. Waste disposal*. April 24-25, 2014. Kharkiv, Ukraine, 86. [in Ukrainian]
36. Feshchenko V.P. (edited). (2016). *Rational use and restoration of water resources*. Zhytomyr: ZhSU Publishing House I. Franko. [in Ukrainian]
37. Rychak N.L., Moskovkin V.M., Kuznetsova V.V. (2016) *Calculation of economic damage from surface waters of atmospheric origin (on the example of the housing subsystem). Bulletin of VN Karazin Kharkiv University. Series "Geology. Geography. Ecology"*, 44, 177-183. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2016-44-25> [in Ukrainian]
38. Saet Yu. E. *Geochemistry of the environment*. (1990). Moscow: Nedra. [in Russian].
39. Chebukin D.S., Rychak N.L. (2019) *Analysis of the contribution of surface runoff to the overall level of water pollution in the Lopan River. Ecology, neo-ecology, environmental protection and sustainable use of nature*. November 28 - 29, 2019. Kharkiv, Ukraine, 105-107. [in Ukrainian]
40. Bakirov V.S., Golikov A.P., Kazakova N.A., Shuba M.A. (2011). *Kharkiv region: regional development: state and prospects*. Bakirov V.S. (editor) Kharkiv: KhNU named after V.N. Karazin, 2011, <https://core.ac.uk/download/pdf/46593993.pdf> [in Russian].

УДК 628.171

**Михайло Михайлович Мельнічук,**

к. геогр. н., доцент кафедри фізичної географії  
Волинського національного університету імені Лесі Українки,  
вул. Потапова, 9, м. Луцьк, 43025, Україна,  
e-mail: [melniichuk.mm@gmail.com](mailto:melniichuk.mm@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-7258-2869>;

**Вікторія Віталіївна Горбач,**

студентка 4 курсу кафедри економічної та соціальної географії  
Волинського національного університету імені Лесі Українки,  
e-mail: [vicahorbach@gmail.com](mailto:vicahorbach@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-9532-1610>;

**Горбач Людмила Миколаївна,**

к. економ. н., доцент, директор Волинського інституту імені В'ячеслава Липинського  
ПрАТ «ВНЗ «МАУП», вул. Коперника, 8, м. Луцьк, 43025, Україна,  
e-mail: [ludmilahorbach@gmail.com](mailto:ludmilahorbach@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-5977-6474>

## ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ВОЛИНСЬКОЇ ОБЛАСТІ ТА ЇХ ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН У СУЧАСНИХ УМОВАХ

*Стаття присвячена дослідженню водних ресурсів Волинської області, особливостей їх використання населенням та господарством краю. Охарактеризовано поверхневі водні об'єкти та підземні водоносні горизонти, особливості їхнього поширення територією регіону. Вивчено гідрографічну мережу області, її природні та штучні водні об'єкти.*

*У статті відображено результати дослідження структури водокористування за видами економічної діяльності та у розрізі адміністративних районів. Виявлено основних водоспоживачів, якими є сільськогосподарські підприємства та житлово-комунальні господарства. Водні ресурси у сільському господарстві використовуються переважно для зрошення сільськогосподарських угідь, розведення ставкової риби тощо, проте, значними є непродуктивні витрати води. Житлово-комунальні господарства використовують водні ресурси з метою забезпечення населення міст та селищ міського типу централізованим водопостачанням, однак, переважна більшість сільських мешканців експлуатують власні системи водо-забезпечення. Незначна частка свіжої води використовується для потреб виробництва, основними споживачами є харчова та цукрова промисловість. Досліджено, що найбільше водних ресурсів споживається населенням та господарством Луцького, Горохівського, Іваничівського та Володимир-Волинського районів, а найменше – Шацького, Любешівського та Локачинського районів. Проаналізовано динаміку використання свіжої води у часовому зрізі, досліджено основні зміни в споживанні поверхневих та підземних вод. Так, встановлено, що протягом 2000-2019 рр. зменшилися обсяги забору свіжої води, а у структурі водоспоживання стали домінувати підземні води.*

*Висвітлено вплив господарської діяльності людини на якість водних ресурсів регіону. Виявлено, що найбільш вразливими до антропогенного впливу є поверхневі води, основними забруднювачами яких є неочищені та недостатньо очищені стічні води промислових виробництв і комунальних підприємств, а також, стік дощових вод із урбанізованих територій та сільськогосподарських угідь. Унаслідок комплексу антропогенних чинників у річках Волині спостерігається підвищена концентрація низки шкідливих речовин.*

**Ключові слова:** поверхневі води, підземні води, гідрографічна мережа, водоносний горизонт, водокористування, забір води, водоспоживання, зворотні води, забруднюючі речовини, гранично допустима концентрація.

**М. М. Мельнічук, В. В. Горбач, Л. Н. Горбач. ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ВО-  
ЛЫНСКОЙ ОБЛАСТИ И ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ.** Статья посвящена исследованию водных ресурсов Волынской области, особенностей их использования населением и хозяйством края. Охарактеризованы поверхностные водные объекты и подземные воды, особенности их распространения по территории региона. Изучено гидрографическую сеть области, ее природные и искусственные водные объекты.

*В статье отражены результаты исследования структуры водопользования региона по видам экономической деятельности и в разрезе административных районов. Выведены основных водопотребителей, которыми являются сельскохозяйственные предприятия и жилищно-коммунальные хозяйства. Водные ресурсы в сельском хозяйстве используются преимущественно для орошения сельскохозяйственных угодий, разведения рыбы у прудах и т.д., однако, значительны непроизводственные расходы воды. Жилищно-коммунальные хозяйства используют водные ресурсы с целью обеспечения населения городов и поселков городского типа централизованным водоснабжением, но подавляющее большинство сельских жителей эксплуатируют собственные системы водоснабжения. Незначительная доля водных ресурсов используется для нужд производства, крупнейшими потребителями являются пищевая и сахарная промышленность. Доказано, что больше всего водных ресурсов потребляется населением и хозяйством Луцкого, Гороховского, Иваничевского и Владимир-Волынского районов, а меньше всего – Шацкого, Любешовского и Локачинского районов. Проанализирована динамика использования свежей воды во временном срезе, исследованы основные изменения в потреблении поверхностных и подземных вод. Так, установлено, что в течение 2000-2019 гг. уменьшились объемы забора свежей воды, а в структуре водопотребления стали доминировать подземные воды.*

*Освещено влияние хозяйственной деятельности человека на качество водных ресурсов региона. Выведено, что наиболее уязвимыми к антропогенному воздействию являются поверхностные воды, основными загрязнителями которых есть неочищенные и недостаточно очищенные сточные воды промышленных производств и коммунальных предприятий, а также сток дождевых вод с урбанизированных территорий и сельскохозяйственных угодий. В результате комплекса антропогенных факторов в реках Волины наблюдается повышенная концентрация ряда вредных веществ.*

**Ключевые слова:** поверхностные воды, подземные воды, гидрографическая сеть, водоносный горизонт, водопользование, забор воды, водопотребление, сточные воды, загрязняющие вещества, предельно допустимая концентрация.

**Постановка проблеми.** Жодна галузь господарства не може обійтися без водних ресурсів, а життя людини неможливе без щоденного споживання свіжої води. Проблема водозабезпечення прісною водою – одна з найбільших глобальних екологічних проблем світу. На сьогодні понад 41 % населення світу проживає у регіонах із хронічною нестачею водних ресурсів [20, с. 110]. Як і всі вичерпні відновні ресурси на Землі, водні ресурси регенерують дуже повільно. Зокрема, підземні водоносні горизонти відновлюють свої запаси у середньому на 0,1-0,3 % на рік [21, с. 98]. Тому, дослідження водних ресурсів та їх використання є нагальною потребою сьогодення.

Територія Волинської області належить до регіонів бездефіцитного забезпечення водними ресурсами, проте нераціональне їх використання може призвести до швидкого виснаження поверхневих та підземних джерел свіжої води. Окрім того, екологічний стан водних ресурсів в умовах зростання антропогенного навантаження дедалі погіршується, особливо це простежується у поверхневих водних об'єктах. Відповідно, дослідження використання водних ресурсів на території Волинської області та їхнього екологічного стану необхідне для оптимізації водокористування та розроблення заходів збереження та відновлення водних ресурсів регіону.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вивченням водних ресурсів, їхнього екологічного стану займалася низка українських та закордонних вчених. Більшість робіт присвячено дослідженню природних особливостей поверхневих та підземних вод області. Зокрема, дане питання досліджували: К. І. Геренчук [13], Т. С. Павловська [11], які описали поверхневі та підземні води Волинської області. У своїх працях Я. О. Мольчак та Р. В. Мігас [10] охарактеризували водоходи Волинської області, М. Р. Забокрицька та В. К. Хільчевський [6] висвітлили особливості водних об'єктів і їхній екологічний стан у межах найбільш урбанізованої території регіону – м. Луцьк, О. В. Ільїна [8] досліджувала болотні комплекси Волині.

З точки зору природних ресурсів поверхневі та підземні води Волині вивчав Ф. В. Зузук [7], який дослідив їхні обсяги, особливості розміщення тощо. Я. О. Мольчак, З. В. Герасимчук, І. Я. Мисковець [9] розглядали вплив техногенезу на річки області та їхні басейни, В. О. Фесюк і С. В. Полянський [18] досліджували екологічні проблеми поверхневих та підземних вод, які виникли внаслідок господарського освоєння території, і, зокрема, проведення осушувальної меліорації земель.

Серед зарубіжних науковців дослідження водних ресурсів, їх основних проблем та раціо-

нального використання проводили: Д. Дайнелопол, Х. Гріблер, А. Гунатілака, Дж. Нотенбон [20], які у своїй праці висвітлили стан екосистем підземних вод, їхні сучасні проблеми та перспективи розвитку. Д. Піментел, Дж. Хаусер, Е. Преїс та інші в роботі «Водні ресурси: сільське господарство, навколишнє середовище та суспільство» [21] досліджували розподіл водних ресурсів у світі, їхнє використання різними галузями економіки та населенням, наслідки нераціонального використання водних ресурсів та шляхи вирішення проблеми нестачі прісної води. Окрім того, вивченням питання управління водними ресурсами займався А. Бісвас [19], а дослідженням впливу забруднення навколишнього середовища на життя і здоров'я людини – А. Прюс-Устюн та Ч. Корвалан [22].

Зауважимо, що систематичний моніторинг річкових, ґрунтових та міжшарових вод досліджуваного регіону здійснює Регіональний офіс водних ресурсів у Волинській області Державного агентства водних ресурсів України, Державна екологічна інспекція у Волинській області та державна установа «Волинський обласний лабораторний центр МОЗ України».

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Питання сучасного водокористування на території Волинської області у науковій літературі висвітленні недостатньо, а основна увага дослідників Волині зосереджується на вивченні водозабезпечення та водовідведення окремих населених пунктів, промислових або сільськогосподарських підприємств. Тому, особливості використання водних ресурсів регіону потребують подальших досліджень у зв'язку з необхідністю їх раціонального використання, збереження та відновлення.

**Формулювання мети статті.** Основною метою роботи є дослідження особливостей водокористування на території Волинської області, визначення основних причин погіршення екологічного стану водних ресурсів. Відповідно до поставленої мети необхідно реалізовувати наступні завдання:

- проаналізувати особливості водних ресурсів Волинської області, їхні запаси та розміщення;
- з'ясувати структуру водокористування за видами економічної діяльності та у розрізі адміністративних районів в умовах сьогодення;
- розкрити динаміку водокористування у часовому зрізі;
- виявити основні джерела забруднення та відобразити їхній вплив на сучасний екологічний стан водних ресурсів області.

**Методика дослідження.** Під час дослідження водних ресурсів Волинської області, їх

використання та екологічного стану застосовувалася низка методик. Зокрема, методологічною основою наукової роботи слугують теоретичні основи вчення про природокористування. Окрім того, для визначення обсягів скидів недостатньо очищених і неочищених вод у загальній структурі зворотних вод використано методику розрахунку коефіцієнта скиду забруднюючих стічних вод у водні об'єкти [9, с. 208]:

$$KЗС = V_{забр} \div V_{заг},$$

де  $V_{забр}$  – об'єм скинутих забруднених вод, а  $V_{заг}$  – об'єм усіх скинутих зворотних вод.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження.**

Водні ресурси Волинської області представлені поверхневими водними об'єктами та різновіковими горизонтами підземних вод. До поверхневих водних об'єктів належать водотоки та замкнуті водойми. Надмірне зволоження, рівнинний рельєф та залягання піддатливих до ерозії гірських порід зумовило формування на території області густої гідрографічної мережі.

Загалом, областю протікає 137 річок, довжиною понад 10 км. На досліджуваній території прокладають своє русло дві великі річки: р. Прип'ять та р. Західний Буг, які й формують гідрографічну мережу краю. Річкова сітка в басейні р. Прип'ять густіша і в середньому становить 0,25-0,47 км/км<sup>2</sup>, водночас густина річкової сітки Західного Бугу не перевищує 0,22-0,35 км/км<sup>2</sup> [13, с. 59]. Зауважимо, що переважна більшість території області належить до басейну Прип'яті, що протікає субширотно на півночі області. Разом із основними притоками: р. Стир, р. Стохід, р. Турія та р. Виживка, річка збирає свої води із 3/4 краю, а площа її водозбору складає 114,3 тис. км<sup>2</sup> [10, с. 59]. Басейн Західного Бугу розміщений на заході області, а сама річка прокладає русло кордоном Волинської області та Республіки Польща.

Окрім того, в області нараховується 235 озер [7, с. 31], що мають карстове, льодовикове або заплавне походження. До найбільших озер належить група Шацьких озер: Світязь, Люцемир, Пулемцьке, Луки, а також оз. Люб'язь, оз. Біле, оз. Волянське та оз. Оріхове. Більшість великих озер розміщені на півночі області у долині р. Прип'ять та на межиріччі Прип'яті та Західного Бугу. Великими резервуарами прісної води є болота, яких у Волинській області налічується 1 523, та заболочені території, загальна площа яких 114 593,3 га, окрім того, вони виконують водоохоронну та водорегулюючу функцію [8, с. 236, 238]. Серед штучних водних об'єктів створено 9 водосховищ [11, с. 60], 555 ставків [5, с. 14], а також численні меліоративні рови та канали.

Волинська область володіє значними запасами

підземних вод, адже розміщена на території Волино-Подільського артезіанського басейну. Підземні води представлені різновіковими водоносними горизонтами, їхні запаси оцінюються в 900 млн. м<sup>3</sup> [18, с. 51], а експлуатаційні ресурси становлять 2 586 тис. м<sup>3</sup>/добу [7, с. 33]. Ґрунтові води формують перший від поверхні водоносний горизонт та залягають у середньому на глибині 3-5 м у межах Поліської низовини та понад 10 м – на Волинській височині [1, с. 8]. Однак, основним водоносним горизонтом досліджуваного регіону є міжпластові води сенон-туронського ярусу крейдового віку, що з'єднані гідравлічними зв'язками між собою та поповнюють свої запаси шляхом інфільтрації атмосферних опадів та підпливу вод із тектонічних порушень [3, с. 139]. Верхньокрейдкові горизонти підземних вод залягають повсюдно та використовуються для забезпечення водою населення та господарства краю. Також, важливе значення для водопостачання мають води силуру, девону, кам'яно-вугільного віку.

Водні ресурси Волинської області широко використовуються для задоволення найрізноманітніших потреб населення та окремих галузей господарства. Ресурси поверхневих та підземних вод здебільшого використовуються у сільському господарстві, промисловості та житлово-комунальному господарстві (рис. 1).

Найбільша частка водних ресурсів Волинської області використовується, в основному, для потреб місцевого населення та сільськогосподарських підприємств. Так, протягом 2019 р. сільське господарство стало основними водоспоживачем на території області, на нього припадає 53,1 % використаної свіжої води. Галузь споживає водні ресурси здебільшого для утримання тваринницьких комплексів, зрошення, зберігання та переробки сільськогосподарської продукції.

Зауважимо, що на потреби зрошення у межах Волинської області споживається незначна частка водних ресурсів, зокрема у 2019 р. спожито 4,5 млн. м<sup>3</sup>, що пояснюється розміщенням регіону у зоні надмірного зволоження. Проте, значними є непродуктивні витрати зрошувальної води, у зв'язку з чим необхідно застосовувати комплекс заходів щодо економії зрошувальної води, наприклад, перехід до прогресивних та економних методів зрошення земель з урахуванням особливостей сільськогосподарських культур, стану ґрунту та посівів, температури й вологості повітря, агротехніки тощо [2, с. 170].

Окрім того, водні ресурси використовуються у рибному господарстві, як середовище існування риб. Із цією метою на території області створено велику кількість замкнутих штучних водойм – ставків. Зауважимо, що створення таких



Рис. 1. Структура використання води за видами економічної діяльності протягом 2019 р., млн. м<sup>3</sup>  
(Складено авторами на основі даних [5, с. 15])

штучних водойм порушує цілісність природних екосистем поверхневих водних об'єктів, зумовлюючи їх трансформацію, що в свою чергу, призводить до порушення гідрологічного режиму поверхневих водних об'єктів та виникнення низки екологічних проблем.

Промислове виробництво використовує незначну частку свіжої води у загальній структурі галузей водоспоживання. На вторинний сектор економіки припадає лише 2,9 млн. м<sup>3</sup>, що складає 5,5 % від усієї спожитої свіжої води. Основними водокористувачами є харчова та цукрова промисловість області [5, с. 13]. На жаль, така мала частка промисловості у структурі водоспоживання зумовлена не раціональним використанням ресурсу вторинним сектором економіки, а його слабким розвитком. До прикладу, у розвинутих країнах, таких як Франція, в умовах раціонального використання ресурсів поверхневих та підземних вод, основний обсяг спожитої води припадає не на сільське господарство, а на електроенергетику [19, с. 6].

Окрім того, значна частка забраних вод використовується житлово-комунальними підприємствами для питних та санітарно-гігієнічних потреб населення. Міста, селища міського типу та деякі села у Волинській області мають централізоване водопостачання та водовідведення. Зокрема, для забезпечення м. Луцька водними ресурсами експлуатуються 56 артезіанських свердловин, у м. Камінь-Каширський використовуються 7 свердловин, у м. Володимир-Волинський – 6.

Однак, більшість жителів населених пунктів сільського типу для задоволення власних санітарно-гігієнічних та питних потреб використовують автономні системи водопостачання (власні колодязі та свердловини). Оскільки такі водокористувачі відповідно до статті 225 Податкового

кодексу України не є платниками рентної плати за спеціальне використання води [12], то облік використання ресурсів води в такий спосіб не проводиться.

Окрім водоспоживання, водні ресурси Волинської області використовуються без вилучення із природного середовища. Зокрема, поверхневі водні об'єкти протягом теплого періоду року активно використовуються для реалізації рекреаційних потреб місцевого населення, а також, туристів з інших областей. Зокрема, оз. Світязь, р. Прип'ять, оз. Люб'язь є осередками рекреаційного туризму регіону. В умовах дотримання природоохоронних обмежень використання водних ресурсів у такий спосіб не має негативних наслідків для поверхневих водних об'єктів.

Об'єми водокористування будь-якої території залежать від потреб місцевого населення промисловості та сільськогосподарського виробництва. Так, використання водних ресурсів у межах Волинської області значно різниться у розрізі адміністративних районів (рис. 2), що пов'язано з неоднаковим соціально-економічним розвитком території.

Унаслідок великої концентрації населення, наявності промислових виробництв адміністративний центр Волинської області – м. Луцьк є найбільшим споживачем свіжої води. Так, протягом 2019 р. у його межах використано 13,3 млн. м<sup>3</sup> свіжої води, що становить 62,1 м<sup>3</sup>/особу [17, с. 210].

У розрізі адміністративних областей найбільше свіжої води споживається у Луцькому (3,6 млн м<sup>3</sup>), Горохівському (3,5 млн м<sup>3</sup>), Іваничівському (3,4 млн м<sup>3</sup>) та Володимир-Волинському (3,1 млн м<sup>3</sup>) районах. У перерахунку на душу населення лідерами водоспоживання також є Володимир-Волинський (125,2 м<sup>3</sup>/особу), Іваничівський (109 м<sup>3</sup>/особу) та Горохівський (69,6 м<sup>3</sup>/особу)

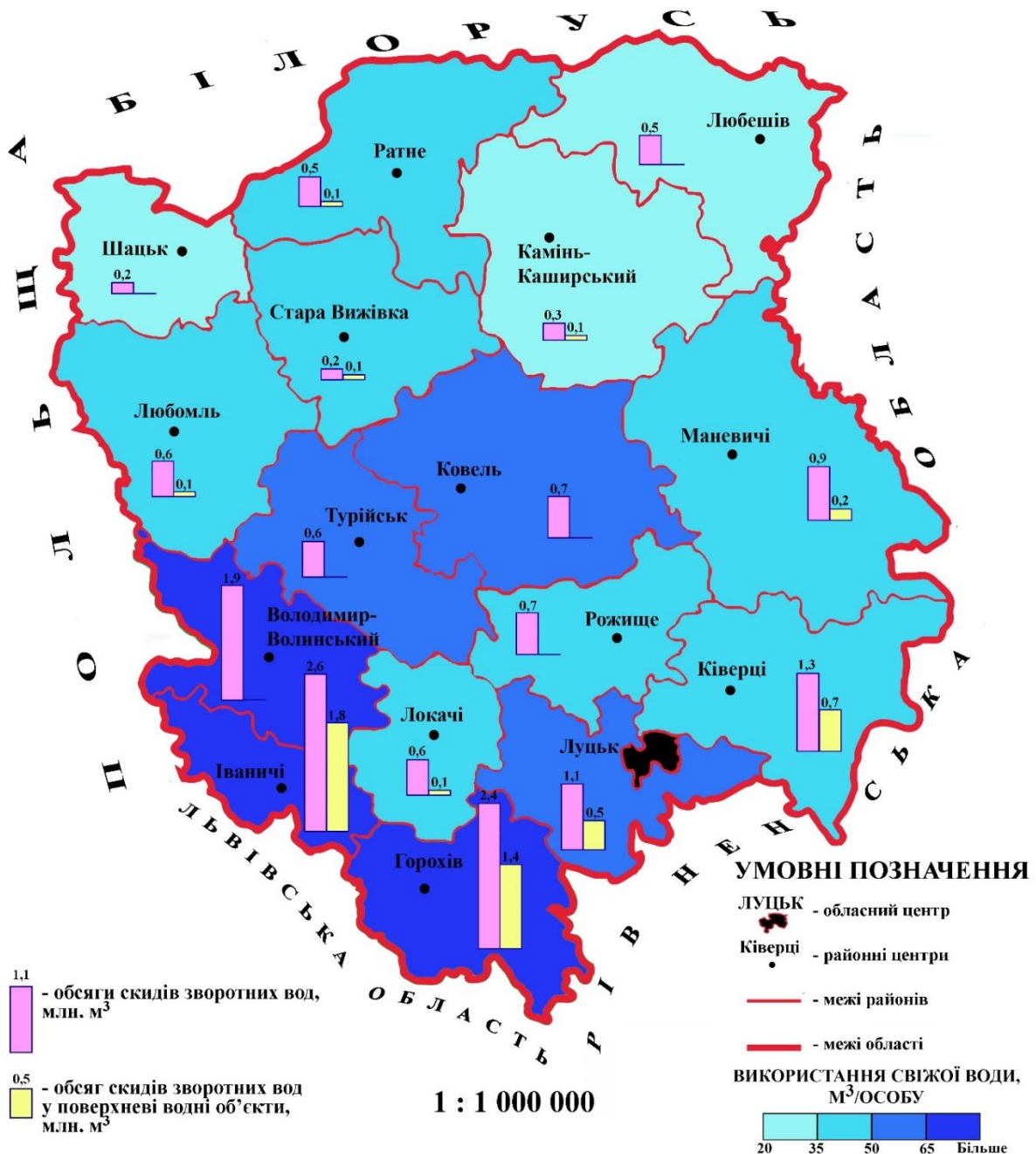


Рис. 2. Карта обсягів використання свіжої води та скидів зворотних вод у розрізі адміністративних районів Волинської області у 2019 р (Складено авторами на основі даних [17, с. 210-211])

райони. Явище обумовлено концентрацією водоспоживачів у цих районах. Наприклад, на території Горохівського та Луцького районів, у зв'язку з сприятливими агрокліматичними умовами, добре розвинене сільське господарство, яке станом на 2019 р є основним водоспоживачем області. Окрім того, в межах розглянутих районів сформувалася густа поселенська мережа, що забезпечена централізованим водопостачанням. На території Іваничівського та Володимир-Волинського районів основний обсяг водозабору припадає на водомісткі гірничо-видобувні та цукрові підприємства, тваринні комплекси. Також, значні об'єми використання свіжої води

припадають на Ківерцівський, Ковельський та Маневицький райони, що зумовлено розвитком у Маневицькому та Ківерцівському районах торфопереробної та лісопереробної галузей промисловості, а також залізничного транспорту в Ковельському районі.

Найменше свіжої води споживає Шацький, Любешівський та Локачинський райони, на них припадає 0,4; 1,0 та 1,0 млн. м<sup>3</sup> використаної води відповідно. У розрахунку на душу населення найменше водокористування характерне для Шацького, (24,1 млн м<sup>3</sup>), Любешівського (28,2 млн м<sup>3</sup>) та Камінь-Каширського (29,6 млн м<sup>3</sup>) районів. Такі показники пояснюються відсутніс-

тю на території районів водомістких галузей промисловості, слабким розвитком сільського господарства у зв'язку з поширенням малородючих дерново-підзолистих ґрунтів (зокрема, Шацький та Любешівський район), розселенням населення у невеликих селах з автономними системами водопостачання тощо.

Проте, у Шацькому районі сформувалися найбільш сприятливі природні умови для культивування лохини. Саме сільськогосподарські підприємства, що спеціалізуються на вирощуванні цих ягід, є одними з найбільших водоспоживачів регіону. Зокрема, ТОВ «Волинська ягідка», ТОВ «Бугагро», ТОВ «Веллагро», ТОВ «Агрозаліс» та ПП «Флора» для поливу споживають води р. Прип'ять. Зауважимо, що використання водних ресурсів у такий спосіб часто проводиться без дозволів на спеціальне водокористування та є однією з ймовірних причини зниження рівня води в озерах.

Слід зазначити, що на території Волинської області забір води для потреб населення та господарства краю відбувається як із поверхневих водних об'єктів, так і з підземних горизонтів міжпластових вод. Зауважимо, що протягом 2000-2019 рр. споживання поверхневих вод суттєво зменшилося, як у кількісних показниках, так і відносно об'єму споживання підземних вод (рис. 3). Зокрема, у 2000 р об'єм води, забраної із по-

верхневих водних об'єктів, становив 64,2 млн. м<sup>3</sup> та майже наполовину задовольняв потреби населення та господарства краю у свіжій воді. Протягом 2019 р. із поверхневих водних об'єктів забрано лише 21,1 % усіх спожитих вод. Такий перерозподіл пов'язаний із кращими властивостями підземних вод, відсутністю загрози їх забруднення скидами недостатньо очищених та неочищених зворотних вод, відносною стабільністю їхнього рівня, достатнім дебітом свердловин, що експлуатуються.

Окрім того, загальні об'єми забору свіжої води із поверхневих та підземних джерел протягом 2000-2019 рр. суттєво зменшилися. Зокрема, у 2000 р. забрано 131,7 млн. м<sup>3</sup> прісної води, у 2019 р. цей показник знизився до 67,69 млн. м<sup>3</sup>. Явище зумовлене кардинальним перерозподілом використання водних ресурсів за видами економічної діяльності. Зокрема, протягом 2014 р. основним водокористувачем була промисловість області, яка споживала 21,4 млн м<sup>3</sup> води на рік [4, с. 14]. Проте, скорочення виробництва, закриття деяких шахт Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну та окремих підприємств переробної промисловості зумовило зменшення об'ємів використання води вторинним сектором економіки, а основними водоспоживачами стало сільське господарство та населення регіону.

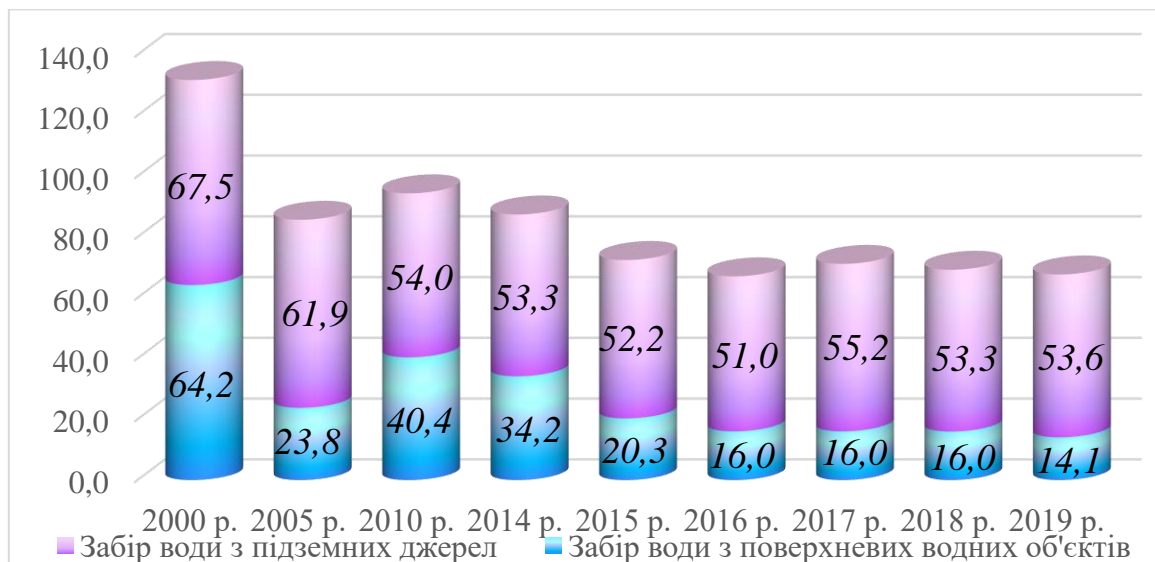


Рис. 3. Динаміка водозабору з поверхневих та підземних джерел протягом 2000-2019 рр., млн м<sup>3</sup> (Складено авторами на основі даних [17, с. 209; 3, с. 16; 4, с. 14])

Під час водокористування відбувається забруднення поверхневих водних об'єктів та підземних водоносних горизонтів за рахунок скиду зворотних недостатньо очищених та неочищених вод. Саме стічні води промислових підприємств та комунальних господарств є найбільшим джерелом забруднення поверхневих водних об'єктів. Такі скиди є небезпечними не лише для навко-

лишнього середовища, а й для життя і здоров'я населення. Так, понад 85 різновидів хвороб організму людини викликані забрудненням довкілля, в тому числі і забрудненими водними ресурсами [22, с. 3].

Тому, водокористування у Волинській області супроводжується природоохоронною діяльністю. Так, зворотні води перед потраплянням до

поверхневих водних об'єктів проходять низку очисних споруд. Наприклад, виробничі потужності очисних споруд підприємства «Луцькводоканал» оцінюються в 120 тис. м<sup>3</sup> зворотних вод за добу, а середній об'єм скиду становить 42 тис. м<sup>3</sup>/добу [6, с. 72].

Найбільші обсяги зворотних вод скидають підприємства та організації Іваничівського (2,6 млн. м<sup>3</sup>) та Горохівського (2,4 млн. м<sup>3</sup>) районів, із них у поверхневі водні об'єкти потрапило 1,8 та 1,4 млн. м<sup>3</sup> зворотних вод відповідно (рис. 2). Явище пов'язано із великими обсягами водокористування у розглянутих районах. Однак, основними джерелами скидів, у тому числі і забруднених вод є найбільші міста Волинської області: Луцьк, Нововолинськ, Ковель, Володимир-Волинський. Зокрема, лише у м. Луцьку протягом 2019 р скинуто 15,8 млн. м<sup>3</sup> використаних вод, із яких 89 % належить до нормативно очищених, а 2,5 % – до забруднених [17, с. 211].

На сьогодні, головною причиною скиду недостатнього очищення стічних вод у поверхневі водні об'єкти є застарілість очисних споруд, неспроможність технічного обладнання очистити сучасні об'єми зворотних вод. Зокрема, коефіцієнт скиду забруднюючих стічних вод у Волинській області становить:

$$KЗС = \frac{0,472 \text{ млн. м}^3}{29,10 \text{ млн. м}^3}; KЗС = 0,02.$$

Слід зазначити, що розглянутий коефіцієнт у межах регіону доволі низький, що свідчить про незначну концентрацію забруднюючих речовин у зворотних водах. Такі показники є сприятливими, адже локальний скид зворотних вод із високою концентрацією забруднюючих речовин може призвести до загибелі окремих видів тваринного світу та вищої рослинності водних об'єктів.

Протягом 2014-2019 рр. основними водокористувачами-забруднювачами були: КП «Дубищенське ЖКГ», Старовижівське ВУЖКГ, ПП «Європацукор», КП «Луцькводоканал», Ратнівське ВУЖКГ та Горохівське ВУЖКГ [4, с. 14-15; 5, с. 16]. Разом із зворотними водами підприємств, до поверхневих вод потрапляють залізо, нітриту, амоній сольовий, марганець тощо. Окрім того, погіршення якості поверхневих вод відбувається за рахунок стоку забруднюючих речовин разом із дощовими водами із урбанізованих територій та сільськогосподарських угідь.

В результаті, концентрація низки речовин у річках Волині не відповідає нормам. Зокрема, протягом 2019 р у р. Західний Буг та р. Стир спостерігалось перевищення гранично допустимої норми амонію сольового, заліза, марганцю, нітриту, а також, нормам не відповідало біологічне споживання кисню. У річці Турія спостері-

галася підвищена концентрація сульфатів, кальцію, заліза, марганцю та амонію сольового [14].

Забруднення підземних вод Волинської області відбувається шляхом інфільтрації забруднюючих речовин крізь водопроникні шари гірських порід. Основними забруднюючими речовинами підземних вод є нітрати, нітриту та нафтопродукти [16, с. 21]. Особливої уваги потребує моніторинг якості ґрунтових вод, адже разом з атмосферними опадами та талими сніговими водами до горизонту можуть потрапляти стічні води з сільськогосподарських полів, урбанізованих територій тощо.

Слід зазначити, що міжпластові підземні води є менш вразливими до забруднення, адже захищені водотривкими породами гірських порід, тому, їх якість значно краща ніж ґрунтових та поверхневих вод. Однак, експлуатація водозаборів також зумовлює погіршення якості міжпластових вод. Так, у техногенній зоні аерації під час коливання рівнів води в процесі водозабору, відновлювальне середовище чергується з окислювальним, що погіршує якість водних ресурсів, а інколи – навіть унеможливує їх використання [15, с. 125].

**Висновки.** Отже, Волинська область має великі запаси водних ресурсів, які сконцентровані як у підземних водоносних горизонтах, так і у поверхневих водних об'єктах. Їхні обсяги достатні для забезпечення потреб місцевого населення та різних галузей господарства краю, зокрема, експлуатаційні ресурси лише підземних вод оцінюються у 2 586 тис. м<sup>3</sup>/добу.

Основними споживачами водних ресурсів області є сільськогосподарські підприємства та населення регіону. Найбільшим водоспоживачами є південні райони області: Горохівський, Луцький, Іваничівський, Володимир-Волинський, а також, м. Луцьк, що пов'язано з соціально-економічними особливостями розвитку території.

Протягом 2000-2019 рр. забір свіжої води суттєво зменшився, що зумовлено скороченням промислового виробництва регіону. Окрім того, в структурі водозабору протягом останніх років суттєво збільшилася частка підземних вод, які станом на 2019 р забезпечували 79 % потреб регіону у водних ресурсах.

Водокористування та інша господарська діяльність на території Волинської області призвела до погіршення якості водних ресурсів регіону. Основною причиною забруднення поверхневих вод є скиди недостатньо очищених та неочищених зворотних вод промислових підприємств та житлово-комунальних господарств. Найбільші обсяги зворотних вод потрапляють у водні об'єкти Іваничівського та Горохівського районів,



а також, міст Луцьк, Нововолинськ, Ковель, Володимир-Волинський.

Зростання антропогенного навантаження на водні ресурси Волинської області призводить до погіршення їхньої якості. Тому, подальші дослідження

необхідно спрямувати на розроблення нових та вдосконалення існуючих заходів збереження та покращення водних ресурсів, їхнього раціонального використання.

#### Література

1. Атлас Волинської області [Текст] / за ред. Ф. В. Зузук. – М.: Комітет геодезії і картографії СРСР, 1991. – 42 с.
2. Водні ресурси на рубежі XXI ст.: проблеми раціонального використання, охорони та відтворення [Текст] / за ред. М. А. Хвесика. – К.: РВПС України НАН України, 2005. – 564.
3. Горбач В. В. Підземні води Волинської області та їх використання у господарській діяльності людини [Текст] / В. В. Горбач, М. М. Мельничук // Регіон – 2019: стратегія оптимального розвитку. – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2019. – С. 137-140.
4. Екологічний паспорт Волинської області. – Луцьк, 2017. – 132 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://menr.gov.ua/news/32628.html>
5. Екологічний паспорт Волинської області. – Луцьк, 2020. – 154 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-volinskoyi-oblasti-za-2019-rik/>
6. Забокрицька М. Р. Водні об'єкти Луцька: гідрографія, локальний моніторинг, водопостачання та водовідведення [Текст] / М. Р. Забокрицька, В. К. Хільчевський // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2016. – Т. 3. (42). – С. 64-76.
7. Зузук Ф. В. Природні ресурси Волинської області [Текст] / Ф. В. Зузук, С. С. Кутовий, Л. В. Льїн, Л. К. Колошко, І. М. Нетробчук, О. В. Міщенко, М. Химин // Вісник Львівського університету. Серія: Географія. – 2009. – Вип. 37. – С. 29-42.
8. Льїна О. Болотні геоконспекти Волині як резерв для розширення природно-заповідного фонду [Текст] / О. Льїна // Вісник Львівського університету. Серія географічна. – 2009. – Вип. 37. – С. 234-241. <http://dx.doi.org/10.30970/vgg.2009.37.2425>
9. Мольчак Я. О. Річки та їх басейни в умовах техногенезу [Текст] / Я. О. Мольчак, З. В. Герасимчук, І. Я. Мисковець. – Луцьк: РВВ ЛДТУ, 2004. – 336 с.
10. Мольчак Я. О. Річки Волині [Текст] / Я. О. Мольчак, Р. В. Мігас. – Луцьк: Надстир'я, 1999. – 176 с.
11. Павловська Т. С. Географія Волинської області [Текст]: навчальний посібник / Т. С. Павловська. – Луцьк: Вежа-Друк, 2019. – 212 с.
12. Податковий кодекс України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17#Text>
13. Природа Волинської області [Текст] / за ред. К. І. Геренчука. – К.: Вища школа, 1975. – 147 с.
14. Регіональний офіс водних ресурсів у Волинській області. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://vodres.gov.ua/monitoring/results/2019>
15. Саніна І. В. Комплексна оцінка еолого-гідрогеологічних умов Українського Полісся [Текст] / І. В. Саніна, Г. Г. Лютий, Л. І. Шевчук // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2017. – № 1-2. – С. 120-130.
16. Стан підземних вод України, щорічник [Текст] / за ред. В. С. Лабузні, В. Ф. Величка – К.: Державна служба геології та надр України, Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України», 2019. – 131 с.
17. Статистичний щорічник Волинь 2019 [Текст] / за ред. В. Науменка. – Луцьк: Головне управління статистики у Волинській області, 2020. – 453 с.
18. Фесюк В. О. Водні ресурси Волинської області, їх екологічний стан [Текст] // В. О. Фесюк, С. В. Полянський // Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету. Серія: Географія. – 2009. – Вип. 19. – С. 49-53.
19. Biswas A. Integrated Water Resources Management: Reassessment [Text] / A. Biswas // Water International. – 2004. – Vol. 29, № 2. – Pp. 248–256.
20. Danielopol D. Present state and future prospects for groundwater ecosystems [Text] / D. Danielopol, C. Griebler, A. Gunatilaka, J. Notenboom // Environmental Conservation. – 2003. – No 30 (2). – Pp. 104-130. <http://dx.doi.org/10.1017/S0376892903000109>
21. Pimentel D. Water resources: agriculture, the environment, and society / D. Pimentel, J. Houser, E. Preiss, O. While, H. Fang, L. Mesnick, T. Barsky and other [Text] // BioScience. – 1997. – Vol. 47 (2). – Pp. 97-106.
22. Prüss-Üstün A. Preventing disease through healthy environments. Towards an estimate of the environmental burden of disease [Text] / A. Prüss-Üstün A, C. Corvalán. – WHO Library Cataloguing-in-Publication Data. – 2006. – 104 p.

Надійшла до редакції 19 липня 2020 р.

Прийнята 19 березня 2021 р.

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

UDC 628.171

**Mykhailo Melniichuk,**

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Physical Geography,  
Lesya Ukrainka Volyn National University, 9 Potapova St., Lutsk, 43021, Ukraine,  
e-mail: [melniichuk.mm@gmail.com](mailto:melniichuk.mm@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-7258-2869>;

**Victoriia Horbach,**

Student, Department of Economic and Social Geography,  
Lesya Ukrainka Volyn National University,  
e-mail: [vicahorbach@gmail.com](mailto:vicahorbach@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-9532-1610>;

**Liudmyla Horbach,**

PhD (Economics), Associate Professor, Director of the Vyacheslav Lipinski Institute of Volyn, JSC «MAUP»,  
8 Copernicus St., Lutsk, 43025, Ukraine,  
e-mail: [ludmilahorbach@gmail.com](mailto:ludmilahorbach@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-5977-6474>

## THE PECULIARITIES OF USING WATER RESOURCES AT THE VOLYN REGION AND THEIR ECOLOGICAL STATE IN THE MODERN CONDITIONS

**Formulation of the problem.** Water is one of the most important resources in the world. The Volyn region has significant reserves of surface and underground water, but irrational use of water resources leads to their depletion. Furthermore, today the anthropogenic loading on natural ecosystems is increasing, this factor leads to the deterioration of the ecological state of water resources. So that, research the peculiarities of the water using and ecological state of water bodies and underground aquifers is necessary for conservation and restoration water resources of the region.

**Review of previous publications and studies.** The problem of water use in the Volyn region was being studied by many scientists. The information base of this article includes number scientific works, published by K. I. Herenchuk, F. V. Zuzuk, L. V. Ilin, Ya. O. Molchak, R. V. Migas, M. R. Zabokrytska, V. K. Khilchevskyi, V. O. Fesiuk, S. V. Polianskyi, T. S. Pavlovska, O. V. Ilina, M. A. Khvesyk, I. V. Sanina, H. H. Liutyi, L. I. Shevchuk and others. Moreover, statistical information about water use and state of water resources was given in the ecological passports, yearbooks of the Volyn region and Ukraine. Also, systematic observations of aquatic ecosystems are carried out by Regional water resources office in the Volyn region.

**Methods.** The methodological base of the study is theoretical foundations of the doctrine of nature management. The authors applied mathematical-statistical, graphic and cartographic methods. Besides, methods of induction, deduction, comparative analysis and synthesis were used during the research.

**Results.** The article is devoted to the study of water resources in the Volyn region, peculiarities of their use by the population and economy. The authors pay attention to the all sources of water in the Volyn region and characterize their distribution. It is mentioned that the most important source of water is aquifers.

The authors give information about the structure of water use by type of economic activity. It is clarified that the largest consumers of water are agricultural enterprises and communal services. Agriculture consumes water resources for irrigation and other purposes, however, much water in this branch of economy is used irrationally. Also, large amount of extracted water is exploited for water supply of settlements in the Volyn region. But, only 5,5 % of the used water is consumed by industry, in particular, by food and sugar branch. Besides, the peculiarities of water usage in the administrative districts of the Volyn region are analyzed. The authors investigated that the biggest consumers of water are population and economy of Lutsk, Gorokhiv, Ivanychi and Volodymyr-Volynskiy districts, the least water usage is inherent for Shatsk, Lyubeshiv and Lokachinsky districts. Moreover, it is mentioned, that the features of water usage in the Volyn region change in time. For example, the amount of water consumption during 2000–2014 was decreasing as a result of social-economic causes.

The article considers the problem of the influence of different sources of pollution on the water resources in the Volyn region. It is noted, that the most vulnerable to the anthropogenic loading are surface water bodies, they are polluted generally by untreated sewage. For example, river waters consist many pollutants, concentration of which exceeds the maximum permissible concentration.

**Scientific novelty and practical significance.** The structure and dynamics of water consumption in the Volyn region is characterized for the first time. Particular attention is paid to the research of modern ecological state of surface and underground water resources in connection with water use and other economic activities. The results of this exploring will help to optimize water use and to conserve water resources.

**Keywords:** surface waters, groundwater, hydrographic network, aquifer, water usage, water abstraction, water consumption, return waters, pollutants, maximum permissible concentration.

### References

1. Zuzuk, F. V. (Ed.). (1991). Atlas Volynskoi oblasti [Atlas of the Volyn region]. Moscow: Komitet heodeziyi i kartohrafiyi [in Russian].
2. Khvesyk, M. A. (Ed.). (2005). Vodni resursy na rubezhi XXI st.: problemy ratsionalnoho vykorystannia, okhorony ta vidtvorennia [Water resources on the boundary of XXI century: problems of the rational utilization, preservation and renewal]. Kyiv: RVPS Ukrainy NAN Ukrainy [in Ukrainian].
3. Horbach, V. V. & Melniichuk, M. M. (2019). Pidzemni vody Volynskoi oblasti ta yikh vykorystannia u hospodarskii diialnosti liudyny [Groundwater of the Volyn region and theirs use in human`s economic activities]. Proceedings of the Conference: Rehion – 2019: stratehiia optymalnoho rozvytku (137-140). Kharkiv [in Ukrainian].
4. Volynska oblasna derzhavna administratsiia. (2017). Ekolohichniy pasport Volynskoi oblasti [Ecological passport of the Volyn region]. Lutsk. Available at: <https://menr.gov.ua/news/32628.html> [in Ukrainian].
5. Volynska oblasna derzhavna administratsiia. (2020). Ekolohichniy pasport Volynskoi oblasti [Ecological passport of the Volyn region]. Lutsk. Available at: <https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-volynskoyi-oblasti-za-2019-rik/> [in Ukrainian].
6. Zabokrytska, M. R. & Khilchevskiy, V. K. (2016). Vodni obiekty Lutska: hidrohrafiia, lokalnyi monitorynh, vodopostachannia ta vodovidvedennia [Water bodies of Lutsk: hydrography, local monitoring, water supply and water disposal]. Hidrolohiia, hidrokimiia i hidroekolohiia. (42), 64-76 [in Ukrainian].
7. Zuzuk, F. V., Kutovyi, S. S., Ilin, L. V., Koloshko, L. K., Netrobchuk, I. M., Mishchenko, O. V. et al. (2009). Pryrodni resursy Volynskoi oblasti [Natural resources of Volyn region]. Visnyk Lvivskoho universytetu. Serii: Heohrafiia, (37), 29-42. [in Ukrainian].
8. Iliina, O. (2009). Bolotni heokompleksy Volyni yak rezerv dlia rozshyrennia pryrodno-zapovidnoho fondu [Marsh geocomplexes of Volyn as a reserve for expanding the nature preserve fund]. Visnyk Lvivskoho universytetu. Serii: heohrafichna, (37), 234-241 [in Ukrainian]. <http://dx.doi.org/10.30970/vgg.2009.37.2425>
9. Molchak, Ya. O., Herasymchuk, Z. V. & Myskovets, I. Ya. (2004) Richky ta yikh baseiny v umovakh tekhnogenezu [Rivers and their basins in terms of technogenesis]. Lutsk: RVV LDTU. [in Ukrainian].
10. Molchak, Ya. O. & Mihas, R. V. (1999). Richky Volyni [Rivers of Volyn]. Lutsk: Nadstyria [in Ukrainian].
11. Pavlovska, T. S. (2019). Heohrafiia Volynskoi oblasti [Geography of the Volyn region]. Lutsk: Vezha-Druk [in Ukrainian].
12. Podatkovyi kodeks Ukrainy. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17#Text> [in Ukrainian].
13. Gerenchuk, K. I. (Ed.). (1975). Pryroda Volynskoi oblasti [Nature of the Volyn region]. Kyiv: Vyscha shkola [in Ukrainian].
14. Rehionalnyi ofis vodnykh resursiv u Volynskii oblasti. Available at: <http://vodres.gov.ua/monitoring/results/2019> [in Ukrainian].
15. Sanina, I. V., Liutyi, H. H. & Shevchuk, L. I. (2017). Kompleksna otsinka eoloho-hidroheolohichnykh umov Ukrainskoho Polissia [Comprehensive evaluation of ecological and hydrogeological conditions of Ukrainian Polissya]. Zbirnyk naukovykh prats UkrDHRI, 1-2, 120-130 [in Ukrainian].
16. Labuzna, V. S. & Velychko, V. F. (Eds.). (2019). Stan pidzemnykh vod Ukrainy, shchorichnyk [State of groundwater in Ukraine, yearbook]. Kyiv: Derzhavna sluzhba heolohii ta nadr Ukrainy, Derzhavne nauково-vyrobnyche pidpryiemstvo «Derzhavnyi informatsiyni heolohichniy fond Ukrainy». [in Ukrainian].
17. Naumenko, V. (Ed.). (2020). Statystychniy shchorichnyk Volyn 2019 [Statistical yearbook of Volyn 2019]. Lutsk: Holovne upravlinnia statystyky u Volynskii oblasti [in Ukrainian].
18. Fesiuk, V. O. & Polianskyi, S. V. (2009). Vodni resursy Volynskoi oblasti, yikh ekolohichniy stan [The Water resources of the Volynska region, their ecological state]. Naukovi zapysky Vinnytskoho derzhavnogo pedahohichnoho universytetu. Serii: Heohrafiia, (19), 49-53 [in Ukrainian].
19. Biswas A. (2004). Integrated Water Resources Management: Reassessment. Water International, (29), 248-256. [in English].
20. Danielopol, D., Griebler, C., Gunatilaka, A., Notenboom, J. (2003). Present state and future prospects for groundwater ecosystems. Environmental Conservation. 30, 104-130 [in English]. <http://dx.doi.org/10.1017/S0376892903000109>
21. Pimentel, D., Houser, J., Preiss, E., While, O., Fang, H., Mesnick, L. et al. (1997). Water resources: agriculture, the environment, and society. BioScience, (47), 97-106 [in English].
22. Prüss-Üstün A. & Corvalán C. (2006). Preventing disease through healthy environments. Towards an estimate of the environmental burden of disease. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data [in English].

UDC 556.51:502.51(477)

*Alla Naumivna Nekos,*

DSc (Geography), Prof., Head of the Department of Ecological Safety and Ecological Education  
Karazin Institute of environmental sciences, V. N. Karazin Kharkiv National University  
4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,  
e-mail: [alnekos999@gmail.com](mailto:alnekos999@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0003-1852-0234>;

*Mariia Volodymyrivna Boiaryn,*

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Ecology and Environmental Protection,  
Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli Ave., Lutsk, 43025, Ukraine,  
e-mail: [mariasun140314@gmail.com](mailto:mariasun140314@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0001-9822-5897>;

*Maria Lugowska,*

Dr. Eng., Assistant Professor at the Institute of Agriculture and Horticulture,  
University of Natural Sciences and Humanities, Prusa str., 14, 08-110 Siedlce, Poland,  
e-mail: [maria.lugowska@uph.edu.pl](mailto:maria.lugowska@uph.edu.pl), <http://orcid.org/0000-0001-5284-7965>;

*Oksana Oleksandrivna Tsos,*

Lecturer, Department of Ecology and Environmental Protection,  
Lesya Ukrainka Volyn National University,  
e-mail: [oksana.tsos1972@gmail.com](mailto:oksana.tsos1972@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-9679-9413>;

*Iryna Markivna Netrobchuk,*

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Geography,  
Lesya Ukrainka Volyn National University,  
mail: [iryna.nim@gmail.com](mailto:iryna.nim@gmail.com) <https://orcid.org/0000-0002-8633-7426>

## ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL CONDITION OF THE WESTERN BUG RIVER BASIN ACCORDING TO THE MACROPHYTE INDEX FOR RIVERS (MIR)

*А. Н. Некос, М. В. Боярин, М. Луговська, О. О. Цось, І. М. Нетробчук. ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ РІЧОК БАСЕЙНУ ЗАХІДНОГО БУГУ ЗА ІНДЕКСОМ МАКРОФІТІВ (MIR). Для відновлення та збереження оптимального екологічного стану басейну Західного Бугу необхідним є дотримання стратегічних принципів раціонального природокористування у межах водозборів малих річок. На території Волинської області найбільшому антропогенному впливу піддаються річки-притоки Луга та Студянка. Дано екологічну оцінку якості води за станом макрофітів, оскільки макрофіти дозволяють визначити ступінь деградації поверхневих вод, перш за все, з погляду їх трюфності. Для визначення екологічного стану річок басейну Західного Бугу та для проведення досліджень було закладено три тестові ділянки довжиною не менше 100 м. кожна, на двох притоках першого порядку - річках Луга та Студянка. Для визначення MIR (Макрофітового індексу річок) на тестових ділянках русла було відібрано 42 індикаторних видів макрофітів серед яких по 1 виду належить до відділу Polipodiophyta та Equisetophyta, 40 видів до відділу Magnoliophyta з них 15 належать до класу Magnoliopsida, та 25 належать до класу Liliopsida. Під час проведення досліджень у межах тестової ділянки русла річки № 1, було виявлено 23 види макрофітів, серед них переважають прибережні рослини та рослини з плаваючим листям; на тестовій ділянці № 2 виявлено 35 видів макрофітів, що відносно рівномірно представляють усі екологічні групи рослин. На тестовій ділянці № 3, під час дослідження екологічного стану води річки Студянка, було виявлено 19 видів макрофітів, серед яких переважають прибережні рослини. Згідно класифікації показника MIR, ці річки належить до водотоків низинних, за типом макрофітів – М-VIII (річки органічні). В результаті розрахованого (MIR) встановлено, що якість води у річці Луга на тестовій ділянці 1 (с. Завидів) має добрий екологічний стан MIR становить 39,0; а на тестовій ділянці 2 (с.мт. Володимир Волинський) має задовільний або помірний екологічний стан MIR становить 31,56; у річці Студянка, на тестовій ділянці 3 (с.мт. Устигуг) має задовільний або помірний екологічний стан MIR становить 28,31.*

**Ключові слова:** річка, біоіндикація, макрофіти, екологічний стан річок, індекс макрофітів, класи якості води, екологічна оцінка якості води.

*А. Н. Некос, М. В. Боярин, М. Луговская, О. А. Цёсь, И. М. Нетробчук. ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕК БАСЕЙНА ЗАПАДНОГО БУГА ПО ИНДЕКСУ МАКРОФИТОВ (MIR). Для восстановления и сохранения оптимального экологического состояния бассейна Западного Буга необходимо придерживаться стратегических принципов рационального природопользования в пределах бассейнов малых рек. На территории Волинской области самое большое антропогенное влияние оказывает на реки Луга и Студянка. Представлено экологическую оценку качества воды за состоянием макрофитов, поскольку макрофиты позволяют определить степень деградации поверхностных вод, прежде всего, с точки зрения их трюфности. Для определения экологического состояния рек бассейна Западного Буга и для проведения исследований было заложено 3 тестовых участка длиной не менее 100 м каждый, на двух притоках первого порядка – реках Луга и Студянка. Для определения MIR на тестовых участках русла было отобрано 42 индикаторных вида макрофитов, среди которых по 1 принадлежит отделу Polipodiophyta и Equisetophyta, 40 видов принадлежит отделу Magnoliophyta из них 15 принадлежит к классу Magnoliopsida, и 25 принадлежит к классу Liliopsida. Во время проведения исследований на тестовом участке русла реки № 1, было выявлено 23 вида макрофитов, среди которых преобладают прибрежные растения и растения с плавающими листьями; на тестовом участке №2 выявлено 35 видов макрофитов, которые относительно равномерно представляют все экологические группы растений. На тестовом участке №3, во время исследования экологического состояния воды реки Студянка, определено 19 видов макрофитов, среди которых преобладают прибрежные растения. Согласно классификации показателя MIR эти реки принадлежат к водотокам низинным, за типом макрофитов М-VIII (реки органические). В результате вычисленного индекса (MIR) установлено, что качество воды в*

© Nekos A. N., Boiaryn M. V., Lugowska M., Tsos O. O., Netrobchuk I. M., 2021

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-54-24>

реке Луга на тестовом участке 1 (д. Завидов) имеет хорошее экологическое состояние и составляет 39,0; на тестовом участке 2 (пгт. Владимир-Волынский) имеет удовлетворительное экологическое состояние MIR составляет 31,56; в реке Студянка на тестовом участке 3 (пгт. Устилуг) имеет удовлетворительное состояние, а индекс MIR составляет 28,31.

**Ключевые слова:** река, биоиндикация, макрофиты, экологическое состояние рек, индекс макрофитов, класс качества воды, экологическая оценка качества воды.

**Introduction.** The river basin, as well as small rivers located within its catchment area, is an integrated ecological, hydrological, and economic unit with clear boundaries and a set of natural conditions. Increasing the resilience of the river basin geosystem is impossible without constant monitoring of the dynamics of natural resources and the factors of negative impact. A significant part of the water management complex of the Volyn region is the Western Bug river basin, which has a significant degree of development. Also, the state border between Ukraine and Poland runs along the watercourse, the river is a cross-border, and the tributary basins are located on the territory of both states. Therefore, to restore and preserve the optimal ecological condition of the Western Bug river basin, it is necessary to adhere to the strategic principles of rational nature management, within the small rivers catchment areas.

Today, most rivers in Ukraine in general and in the Volyn region, in particular, are polluted by ordinary human negligence. They play a very important role in the life of communities, satisfying household, industrial and technical needs, recreation, etc. Therefore, the basin of any river due to its economic use is subject to certain anthropogenic pressures. Due to this, small rivers are the most vulnerable to anthropogenic impact. The basins of small rivers have undergone significant plowing of catchments, the excessive density of their row crops, reclamation, low forest cover, which intensified the erosion processes, increased their siltation and overgrowing, changed the water and physical properties of soils, thermal and water balance disturbed groundwater, as well as the conditions of runoff formation [10, 12]. The situation is further more complicated by the fact that over the past 25 years there has been a tendency to actively build up the banks and floodplains of rivers, as well as contrary to the law, agricultural use of water lands. In this regard, the rivers Luha and Studyanka, the right tributary of the Western Bug, flowing through the three southern districts and the city of Volodymyr-Volynskyi lead to deterioration of the ecological condition of both the waterway of the Western Bug and these tributaries, which is rapid overgrowth. riverbeds, shallowing, and waterlogging. The main sources of anthropogenic impact on rivers are sewage treatment plants built in the 70's last century in need of reconstruction, landfills on floodplain terraces, filtration fields, etc. We should also underline that in the last twenty years no reclamation work has been carried out to clear the silted

sources of rivers, which leads to their shallowing [9, 11, 14]. The problem is exacerbated by the fact that in recent years there has been strong low water - rivers are filled only 70% of normal. Thus, there is no doubt that the assessment of the ecological condition of small rivers, which include Luha and Studyanka, is important because the water quality of the Western Bug river itself depends on them, so the topic is important and relevant.

Several scientific studies are devoted to the assessment of river water quality in the Western Bug river basin from various aspects. Ecological assessment of water quality of rivers of Volyn region and their cartographic analysis were performed by V. D. Romanenko, A. V. Yatsyk, I. V. Hopchak [7, 15, 16]. Analysis of the geoecological situation and the results of the ecological assessment of the current state of the Luha river basin is presented in the scientific works of I. M. Netrobchuk, O. R. Perkhach, F. M. Kiptach, A. V. Yatsyk, I. V. Hopchak, T. O. Basyuk, M. I. Syrotyuk [9, 11, 14, 16, 18]. The impact of the water management complex of Volodymyr-Volynskyi on the ecological condition of the Luha River was analyzed by V. O. Fesyuk [14].

The analysis of scientific publications on ecological assessment of river water quality, which were performed by different authors, testifies to their carrying out mainly on hydrochemical indicators. In this regard, there is a need for environmental assessment of water quality in some river basins of Western Polissya, in particular the rivers of the Western Bug river basin, conducted in the framework of research work of the Department of Ecology and Environmental Protection of the Lesya Ukrainka Eastern European National University, by the state of macrophytes. Because macrophytes allow determining the degree of degradation of surface waters, primarily in terms of their trophic. The nutrients content in river waters varies in space and time, which is influenced by many factors: the river's ability to self-clean, meteorological indicators and seasons, anthropogenic impact. Chemical and physical methods (mainly instrumental) of surface water quality assessment allow determining pollution during sampling at the same time. While biological research methods allow determining the impact of pollutants in the long run.

Macrophytes are a mandatory component of the ecosystems of most reservoirs and watercourses, they influence hydrochemical and hydrobiological processes, playing an important and multifaceted role in the life of the reservoir. First of all, they are

an important component of the power supply chain of the hydroecosystem and perform the function of a mechanical filter, clarifying the water, protecting the shores of reservoirs from erosion [1, 3, 8, 25, 30]. Also, macrophytes in their tissues can accumulate significant concentrations of various contaminants - heavy metal ions, radionuclides, pesticides, etc. However, in addition to the positive, aquatic vegetation can play a negative role in the reservoir: secondary pollution of the reservoir due to the death of phytomass, or the accumulation of organic matter due to the ingress of nutrients into watercourses.

Aquatic organisms are exposed to the aquatic environment, are sensitive to the content of pollutants in water [8, 25, 26, 29]. The method of determining the macrophytes index (MIR) is based on studies conducted in European countries. In the United Kingdom, the Mean Trophic Rank (MTR) system is widespread, in which 128 species of macrophytes are represented, among which the higher plants are decisive, and mosses and algae are represented in smaller numbers. Each species is assigned the rank of the value of the indicator. This technique is also used in other countries (Poland, Spain, the Czech Republic, Russia, Kazakhstan, etc.). The technique (MTR) has been used in research for many years. Since 2008, the River Nutrient Macrophyte Index system has also been used to monitor macrophytes in the United Kingdom [2, 5, 6, 17, 27, 28, 29, 30].

In Germany, a methodology has been developed and tested that allows us to assess the degree of overall river degradation and is not limited to the aspect of eutrophication. The System Reference Index (RI) (Schaumburg I in 2004) was developed in 2004. This method is widely used in the river monitoring system in Germany to assess the ecological status of surface waters following the Water Framework Directive. Studies in France are conducted according to the IBMR methodology (Haury I in 2006), which combines two calculated bioindication indicators. One indicator shows the level of the trophic environment, the another one determines the degree of ecological tolerance of the species (steno- and eurybiont). To assess the ecological condition of the rivers of the Scandinavian countries, an original method developed by Danish scientists (Baattrup-Pedersen I in 2001) is used. It is based on Shannon-Weaver biodiversity indices. The Polish method of assessing the ecological status of rivers (Makrofitowa Metoda Oceny Rzek (MMOR)) is based on the English method Mean Trophic Rank (MTR) and the French method Indice Biologique Macrophytique Riviere (IBMR), which have long been used for research [23, 24, 25]. It was first described in 2006, and in 2010 it was published in the form of a textbook. The method is based on the determina-

tion of quantitative and qualitative indicators of assessment of aquatic and coastal macrophytes presented on the studied segment of the water body. Based on the results of the study of the species composition of macrophytes, determine the indicator Makrofitowy Indeks Rzeczny (MIR), which allows for assessing the ecological status following the EU Water Framework Directive [25, 29, 31].

In Belarus, the assessment of the ecological status of rivers is based on the determination of the biological index of macrophytes according to the IBMR method [13]. A variant of the classification scheme of small rivers was created taking into account the phytocoenotic diversity of vegetation and assessment of their ecological condition.

In Ukraine, research in this area is conducted at the Ukrainian Research Institute of Environmental Problems and is based on the method (MMOR) (Vasenko O., Korobkova G.), which substantiates the possibility of using groups of aquatic macrophytes to assess the ecological status of forest-steppe and steppe rivers [4]. Similar studies concerning the assessment of the ecological status of the ecosystems of the Pripyat basin by higher plants were conducted by M. O. Klimenko and Yu. R. Grokhovska [3]. We conducted a study of groups of aquatic macrophytes to assess the ecological status of the rivers of Volyn Polissya which are tributaries of the Pripyat - Turia, Vyzhivka, Tsyru [1, 20, 21, 22, 23, 32].

**The purpose of article.** The purpose of article aims to assess the ecological status of the rivers of the Western Bug river basin using bioindication methods and determination of the Macrophyte Index for Rivers (MIR).

**Materials and Methods.** Research methods are expeditionary, methods of mathematical statistics and bioindication methods and determination of the Macrophyte Index for Rivers (MIR).

To determine the ecological status of the rivers of the Western Bug and to conduct research, three test sites with a length of at least 100 m were laid each on two tributaries of the first order, the rivers Luha and Studyanka. The first test section of the Luha riverbed is located in the village of Zavydiv village (upper course), the second test section of the Luha riverbed - in the city of Volodymyr-Volynskiy (500 m below the discharge of municipal treatment facilities), the third test section of the Studyanka riverbed - in the Ustyluh town (lower reaches of the river).

To determine the MIR (*Macrophyte Index for Rivers*), 42 indicator species of macrophytes were selected, of which 1 species belongs to the division Polipodiophyta and Equisetophyta, 40 species to the division Magnoliophyta, of which 15 belong to the class Magnoliopsida, and 25 belong to the class Li-

liopsida.

Performed in the river basin field studies allow to the calculation of the *Macrophyte Index for Rivers* (MIR), performed by the formula [25, 29]:

$$MIR = \sum (L_i \cdot W_i \cdot P_i) / \sum (L_i \cdot P_i) \cdot 10,$$

where

MIR - Macrophyte Index for Rivers;

$L_i$  - the quantitative value of the indicator for the specified species;

$W_i$  - the weighting factor for the species;

$P_i$  - the coverage ratio of the specified type on a 9-point scale.

The MIR can be calculated from 10 (most degraded rivers) to 100 (least degraded rivers). In the case of lowland rivers, the highest MIR cannot exceed 60. 151 indicator species of macrophytes are used in the calculation. The methodology limits the MIR index for 5 ecological status classes for each macrophytic river type developed according to the EU Water Framework Directive, where each water ecological status class corresponds to a status: very good, good, moderate or satisfactory, bad and very bad [25, 29,31]. The classification of the studied sections of the river is done by comparing the calculated MIR index to the classification indicators that correspond to the type of river (lowland, upland, or mountain) and are shown in Table 1.

Table 1

Classification of the MIR indicator to determine the ecological state of rivers [25]

Type of macrophytes		Type of water-	Ecological state				
			Very good	Good	Moderate	Bad	Very bad
M-I	Alpine water-courses	Upland and mountain watercourses	$\geq 65,6$	(65,6 – 50,7>	(50,7 – 38,8>	(38,8– 24,0>	<24,0
M-II	Silicon rivers		$\geq 61,8$	(61,8 – 48,1>	(48,1 – 37,0>	(37,0 – 23,3>	<23,3
M-III	Carbonate rivers		$\geq 55,4$	(55,4 – 42,0>	(42,0 – 31,4>	(31,4 – 18,0>	<18,0
M - IV	High-rise water-courses of low-land character		$\geq 48,3$	(48,3 – 37,7>	(37,7 – 27,0>	(27,0 – 16,4>	<16,4
M - V	Large upland rivers		$\geq 46,5$	(46,5 – 37,8>	(37,8 – 29,0>	(29,0 – 20,3>	<20,3
M - VI	Sandy rivers	Lowland watercourses	$\geq 46,8$	(46,8 – 36,6>	(36,6 – 26,4>	(26,4 – 16,1>	<16,1
M- VII	Stony and gravel rivers		$\geq 47,1$	(47,1 – 36,8>	(36,8 – 26,5>	(26,5 – 16,2>	<16,2
M- VIII	Organic rivers		$\geq 44,5$	(44,5 – 35,0>	(35,0– 25,4>	(25,4 – 15,8>	<15,8
M - IX	Large lowland rivers		$\geq 44,7$	(44,7 – 36,5>	(36,5– 28,2>	(28,2 – 20,0>	<20,0

To carry out a comparative analysis of the ecological status of water quality of the rivers Luha and Studyanka by hydrochemical indicators and determined according to MIR " *Macrophyte Index for Rivers*" [25] was used the results of laboratory studies performed according to guidelines in the instrumental and laboratory control of the State Ecological Inspectorate in Volyn region [19].

**Research results**

According to the physical and geographical zoning, the basins of the rivers Luha and Studyanka, a tributary of the first order of the river Western Bug, are located in the southwest of the Eastern European plain in Podilska physical and geographical country, physical geographical region - Volyn Upland areas (western part), Novovolynsk and Lokachinsky physical-geographical districts. Landscape units loodplains and runoff valleys are typical

- Meadow floodplains of small rivers of the Volyn Upland with grassy - grass - sedge meadows on the meadow - swamp soils and peatlands, significantly drained; landscape units of non-terraced slopes - undivided first and second forest terraces with shallow chernozems with low humus and podzolic under arable lands on the site of oak and hornbeam forests; landscape units interfluve - gently convex peaks of forest belts, covered in the past with oak groves with an admixture of other deciduous species, on chernozems podzolic and shallow low humus, plowed [18, 33].

The Luha River is a right tributary of the first order of the Western Bug river. The catchment area is – 1351,39 km<sup>2</sup>, length – 91,39 km. The river originates in the Lokachyn administrative district near the Kolpytiv village, in the upper reaches from east to west, and the middle and lower reaches - to the

northwest. Near the Ustyluh town, Volodymyr-Volynskiy administrative district, 569 km from the mouth, it flows into the Western Bug river. The main tributaries of the Luha river: the rivers Svinoryyka, Rylovytsia, Strypa, a stream without a name from the Kolona village [16, 18]. Valleys with gentle slopes, width 0,2 – 0,8 km, height 6 - 8 m. The density of the river network in the river basin is 0,2 km / km<sup>2</sup>, the coefficient of meandering of the river is 1,7, the slope is 0,44 m / km. The floodplain of the river is the meadow, in some places it is bushy, its width increases with the length of the river by an average of 0,4 – 0,8 km. The average height of the floodplain above the river edge is 0,6 – 0,7 m, the banks are low, sloping, the bottom is flat, loamy, the channel is very winding. From the source to the Stary Porytsk village width does not exceed 5 m, depth – 1,5 m. To the Ivanivka village river width – 5 - 12 m, depth - up to 3 m, near the village expands to 16 - 29 m, depth - up to 3,5 m. Between the Ivanivka village and Volodymyr-Volynskiy city, the river is 10-25 m. wide and 0,4-1,5 m. deep. In the area of the Selets village of the river branches into branches, forming an island of considerable size (more than 150 hectares). Between Ustyluh town and Volodymyr-Volynskiy city there are many ridges and islands [16, 18]. The pool has a drainage system - Luhivska. The riverbed is canalized, the river floodplain is mowed and grazed by cattle almost to the water's edge, the territory of the basin has a high degree of plowing and is densely populated [16,18].

The Studyanka River is also a right tributary of the first order of the Western Bug. It originates in Ivanychiv district near the Hrybovytsia village and flows into the Western Bug south of the Ustyluh town, Volodymyr-Volynskiy district, 570 km from its mouth. The catchment area is 136 km<sup>2</sup>, the length is 26,5 km, the slope is 1,32 m / km. The density of the river network in the river basin is 0.27 km / km<sup>2</sup>, the meandering coefficient of the river is 1,37. The channel is winding, partially straight, the shores are low, sloping, the valley is located among the hilly terrain, the floodplain is covered with meadow vegetation. The width of the floodplain is 400 m, covered with meadow vegetation, the valley is located in the middle of hilly terrain. The territory of the basin is densely populated, plowed, there are trampling and mowing of floodplains, as well as the significant anthropogenic impact of the mining and industrial complex, as here are part of the existing and preserved mines of the Lviv-Volyn coal basin and heaps. In the pool, there are drainage systems - Yagidnivska, Izivska, Bugska [16,18].

Ecological and geobotanical studies in the Western Bug basin, within the test sections of the Luha and Studyanka riverbeds, were conducted dur-

ing May-September 2019. 3 test sites were selected, at least 100 m long, located in the upper and lower reaches of the rivers. Peculiarities of distribution, species composition of indicator species of macrophytes, determined by the Chorna H. A. atlas [24] and projective coverage of each species in the test plots are shown in Table 2.

According to the results of the study, 17 species of macrophytes are common in both studied areas of the Luha River, which is 41,46% of the total number identified: *Equisetum palustre* L., *Nuphar lutea* (L.) Smith, *Polygonum hydropiper* L., *Myosotis palustris* (L.), *Bidens tripartita* L., *Alisma plantago-aquatika* L., *Sagittaria sagittifolia* L., *Hydrocharis morsusranae* L., *Stratiotes aloides* L., *Potamogeton natans* L., *Carex acutiformis* Ehrh., *Carex riparia* Curtis, *Phalaroides arundinacea* (L.) Rausch., *Phragmites australis* (Cav.), *Lemna minor* L., *Lemna trisulca* L., *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid.

On the test site № 1 Zavydiv village, 18 species of macrophytes were found in the river basin, but are absent here: *Thelypteris palustris* Schott, *Nymphaea alba* L., *Myriophyllum verticillatum* L., *Myriophyllum spicatum* L., *Ceratophyllum demersum* L., *Ceratophyllum submersum* L., *Cicutaro* L., *Lysimachia vulgaris* L., *Rorippa amphibia* (L.) Bess, *Mentha aquatica* L., *Potamogeton acutifolius* Link., *Potamogeton lucens* L., *Carex acuta* L., *Scirpus sylvaticus* L., *Scirpus lacustris* L., *Glyceria maxima* (C. Hartm.), *Tupha latifolia* L., *Typha angustifolia* L. At the test site № 2 Volodymyr-Volynskiy city downstream, 6 species of macrophytes were found, which are characteristic of the river basin, but are absent in this experimental area *Spach*, *Polygonum amphibium* L., *Potamogeton crispus* L., *Iris pseudacorus* L., *Acorus calamus* L., *Sparganium erectum* L.

The largest group of macrophyte species in the Luha riverbed is the coastal air-water vegetation - 24 species (58,54%), which is reflected in Fig. 1. These are representatives of 16 families - *Equisetaceae*, *Thelypteridaceae*, *Alismataceae*, *Iridaceae*, *Cyperaceae*, *Poaceae*, *Acoraceae*, *Sparganiaceae*, *Typhaceae*, *Polygonaceae*, *Apiaceae*, *Primulaceae*, *Brassicaceae*, *Boraginaceae*. Plants with floating leaves - 10 species (24,39%), belong to 6 families - *Hydrocharitaceae*, *Potamogetonaceae*, *Lemnaceae*, *Numphaeaceae*, *Ranunculaceae*, *Polygonaceae*. Another 7 species (17,07%) - submerged plants belonging to 4 families - *Hydrocharitaceae*, *Potamogetonaceae*, *Haloragaceae*, *Ceratophyllaceae*.

According to the study, the flora of the Studyanka River includes 19 species of aquatic and air-aquatic plants belonging to 2 divisions (*Equisetophyta* and *Magnoliophyta*), 12 families, and 15 genera (Table 2). One species belongs to the *Equisetophyta* division (5,3%), and eighteen species



Table 2

Species composition and projective coverage (P) of indicator species of macrophytes within the test areas of the Luha, Studyanka riverbed

№	Type of macrophyte	Test area								
		№ 1	P		№ 2	P		№ 3	P	
			%	Coefficient		%	Coefficient		%	Coefficient
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>Class Equisetopsida</b>										
1.	<i>Equisetum palustre</i> L.	+	2	3	+	2	3	+	2	3
<b>Class Polypodiopsida</b>										
2.	<i>Thelypteris palustris</i> Schott	-			+	7	5			
<b>Class Magnoliopsida</b>										
3.	<i>Nymphaea alba</i> L.	-			+	2	3	-	5	3
4.	<i>Nuphar lutea</i> (L.) Smith	+	7	5	+	6	5	+	5	5
5.	<i>Batrachium circinatum</i> (Sibth.) Spach	+	4	4	-					
6.	<i>Polygonum amphibium</i> L.	+	4	4	-			+		
7.	<i>Polygonum hydropiper</i> L.	+	5	5	+			-		
8.	<i>Myriophyllum verticillatum</i> L.	-			+	7	5	-		
9.	<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	-			+	6	5	-		
10.	<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	-			+	8	5	+	10	5
11.	<i>Ceratophyllum submersum</i> L.	-			+	7	5	+		
12.	<i>Cicuta virosa</i> L.	-			+	3	4	-		
13.	<i>Lysimachia vulgaris</i> L.	-			+	5	5	-		
14.	<i>Rorippa amphibia</i> (L.) Bess	-			+	4	4	-		
15.	<i>Myosotis palustris</i> (L.)	+	2	3	+	3	4	+		
16.	<i>Mentha aquatica</i> L.	-			+	7	5	+	6	5
17.	<i>Bidens tripartita</i> L.	+	4	4	+	5	5	-		
<b>Class Liliopsida</b>										
18.	<i>Alisma plantago-aquatika</i> L.	+	5	5	+	5	5	-		
19.	<i>Sagittaria sagittifolia</i> L.	+	7	5	+	10	6	-		
20.	<i>Hydrocharis morsus-ranae</i> L.	+	10	6	+	10	6	+	12	6
21.	<i>Stratiotes aloides</i> L.	+	10	6	+	10	6	+	12	6
22.	<i>Potamogeton acutifolius</i> Link.	-			+	1	2	-		
23.	<i>Potamogeton crispus</i> L.	+	6	5	-			-		
24.	<i>Potamogeton lucens</i> L.	-			+	2	3	+	8	5
25.	<i>Potamogeton natans</i> L.	+	6	5	+	6	5	+	7	5
26.	<i>Iris pseudacorus</i> L.	+	2	3	-			-		
27.	<i>Carex acuta</i> L.	-			+	10	6	+	7	5
28.	<i>Carex acutiformis</i> Ehrh.	+	7	5	+	7	5	+		
29.	<i>Carex riparia</i> Curtis.	+	6	5	+	6	5	+	8	5
30.	<i>Scirpus sylvaticus</i> L.	-			+	7	5	-		
31.	<i>Scirpus lacustris</i> L.	-			+	6	5	-		
32.	<i>Phalaroides arundinacea</i> (L.) Rausch.	+	6	5	+	7	5	+		
33.	<i>Glyceria maxima</i> (C. Hartm.)	-			+	10	6	-		
34.	<i>Phragmites australis</i> (Cav.)	+	15	6	+	10	6	+	8	5
35.	<i>Acorus calamus</i> L.	+	5	5	-			+		
36.	<i>Lemna minor</i> L.	+	10	6	+	10	6	-		
37.	<i>Lemna trisulca</i> L.	+	7	5	+	6	5	-		
38.	<i>Spirodela polyrrhiza</i> (L.) Schleid	+	6	5	+	7	5	-		
39.	<i>Sparganium erectum</i> L.	+	6	5	-			-		
40.	<i>Tupha latifolia</i> L.	-			+	7	5	+	7	5
41.	<i>Typha angustifolia</i> L.	-			+	6	5	+	8	5

(94,7%) belong to the *Magnoliophyta* division. The class of monocotyledonous plants is represented by 6 families, 8 genera, and 11 species (57,9% of the total number of species). The class of dicotyledonous plants is represented by 5 families, 6 genera, and 7 species (36,8% of the total number of species). The largest number of species contain the family *Cyperaceae* (3 – 15,8%). Other families are represented by one or two species (84,2% of the total number of families).

The largest group of plants is coastal air-water vegetation - 12 species (63,2%). These are representatives of 7 families - *Equisetaceae*, *Cyperaceae*, *Poaceae*, *Acoraceae*, *Typhaceae*, *Boraginaceae*, *Lamiaceae*.

Plants with floating leaves 4 species (15,8%) belong to 4 families - *Hydrocharitaceae*, *Potamogetonaceae*, *Numphaeaceae*, *Polygonaceae*. Another 3 species (15,8%) are submerged plants belonging to 2 families - *Hydrocharitaceae* and *Ceratophyllaceae*.

During the research within the test area № 1 (Zavydiv village) of the riverbed, 23 species of macrophytes were found - indicators of the ecological status of river water (Table 2). They are dominated by coastal plants and plants with floating leaves.

Study of the ecological condition of river water at the test site № 2 (Volodymyr-Volynskiy city), 35 species of macrophytes were found - indicators of the ecological condition of river water (Table 2).

Here are presented relatively evenly all ecological groups of plants - coastal, submerged, and with floating leaves.

Investigating the ecological status of the Studyanka river water at the test site № 3 (Ustyluh town), 19 species of macrophytes were found - indicators of the ecological status of river water (Table 2). They are dominated by coastal plants, 4 species of plants with floating leaves, and 3 species of submerged plants.

According to the results of the study, the ecological status of the Luha and Studyanka rivers was assessed according to the Macrophyte Index for Rivers (MIR). To calculate the MIR, the formula shown above was used and the classification table for 4 types of rivers was used (Table 1).

In the Luha and Studyanka rivers, 41 indicator species of macrophytes were found in the surveyed areas, according to the Methodology, the characteristics of which were used to calculate the MIR value. For each species of macrophytes, the quantitative value of the indicator (**L**), weighting factor (**W**), (Table 3), projective coverage (%), and coverage ratio (**P**) on a 9 - point scale were determined, which is shown in Table 1.

The results shown in the table show that 41 indicator species of macrophytes have been identified in the Luha riverbed, the quantitative value of macrophyte indicators varies between 2 - 6 and the weight coefficient - from 1 to 3.

Table 3

Indicator species of macrophytes [4, 25]

Class / Plant	MIR		Class / Plant	MIR		Class / Plant	MIR	
	L	W		L	W		L	W
<b>Equisetopsida</b>			<i>Nuphar lutea</i> L.			<i>Lemna minor</i> L.	2	2
<i>Equisetum palustre</i> L.	5	2	<i>Polygonum amphibium</i> L.	4	1	<i>Lemna trisulca</i> L.	4	2
<b>Polypodiopsida</b>			<i>Polygonum hydropiper</i> L.	3	1	<i>Phragmites australis</i>	4	2
<i>Thelypteris palustris</i> Schott	6	1	<i>Batrachium circinatum</i> (Sibth.) Spach	5	2	<i>Potamogeton acutifolius</i> Link.	6	1
<b>Magnoliopsida</b>			<i>Rorippa amphibia</i> L.	3	1	<i>Potamogeton crispus</i> L.	4	2
<i>Bidens tripartita</i> L.	2	3	<b>Liliopsida</b>			<i>Potamogeton lucens</i> L.	4	3
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	2	3	<i>Acorus calamus</i> L.	2	3	<i>Potamogeton natans</i> L.	4	1
<i>Ceratophyllum submersum</i> L.	2	3	<i>Alisma plantago-aquatica</i> L.	4	2	<i>Sagittaria sagittifolia</i> L.	4	2
<i>Cicuta virosa</i> L.	6	2	<i>Carex acuta</i> L.	5	1	<i>Scirpus lacustris</i> L.	4	2
<i>Lysimachia vulgaris</i> L.	4	1	<i>Carex acutiformis</i> Ehrh	4	1	<i>Scirpus sylvaticus</i> L.	5	2
<i>Mentha aquatica</i> L.	5	1	<i>Carex riparia</i> Curtis	4	2	<i>Sparganium erectum</i> L.	3	1
<i>Myosotis palustris</i> (L.) L.J.	4	1	<i>Phalaroides arundinacea</i> (L.) Rausch.	2	1	<i>Spirodela polyrrhiza</i> (L.)Schleid.	2	2
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	3	2	<i>Glyceria maxima</i> (C. Hartm.)	3	1	<i>Stratiotes aloides</i> L.	6	2
<i>Myriophyllum verticillatum</i> L.	5	2	<i>Hydrocharis morsus-ranae</i> L.	6	2	<i>Typha angustifolia</i> L.	3	2
<i>Numphaea alba</i> L.	6	2	<i>Iris pseudacorus</i> L.	6	2	<i>Typha latifolia</i> L.	2	2

The results of calculations of the Macrophyte Index for Rivers showed the following:

$$\text{MIR (test area 1)} =$$

$$\sum (L_i \times W_i \times P_i) / \sum (W_i \times P_i) \times 10 = 39,0$$

$$\text{MIR (test area 2)} =$$

$$\sum (L_i \times W_i \times P_i) / \sum (W_i \times P_i) \times 10 = 31,56$$

$$\text{MIR (test area 3)} =$$

$$\sum (L_i \times W_i \times P_i) / \sum (W_i \times P_i) \times 10 = 28,31$$

According to the classification of the indicator MIR [23] to determine the ecological status of the rivers Luha and Studyanka belong to the lowland

watercourses, with the type of macrophytes - M-VIII (organic rivers). As a result of the calculated Macrophyte Index for Rivers (MIR), it was established (Table 4) that the water quality in the Luha River in test site 1 (Zavydiv village) has a good ecological status and MIR is 39,0; and on test site 2 (Volodymyr-Volynskyi city) has a satisfactory or moderate ecological condition and MIR is 31,56; in the river Studyanka, on the test site 3 (Ustyluh town) has a satisfactory or moderate ecological condition and MIR is 28,31.

Table 4

Ecological condition of Luha and Studyanka rivers according to MIR index

Test site of the riverbed	Index MIR	Ecological condition
1. Zavydiv village (upper course)	39,0	Good
2. Volodymyr-Volynskyi (lower reaches)	31,56	Satisfactory or moderate
3. Ustyluh town	28,31	Satisfactory or moderate

During the research at all test sites, violations of water protection legislation and partial use of the river water protection zone for economic purposes (availability of farm buildings and agricultural lands) were also revealed; ingress into surface waters of residential and commercial facilities (cess-pools), clogging of the riverbed, and in the basin of the river Studyanka, also, there is man-made relief (subsidence of the relief over the mine workings, the presence of waste heaps and dumps).

To determine a more objective assessment of the ecological status of river water, a comparison of hydrochemical indicators of surface water quality (the results of laboratory studies of surface waters of the rivers Luha and Studyanka performed by the instrumental laboratory control department of the State Ecological Inspectorate in Volyn region for 2019 were used) and Macrophyte Index for Rivers (MIR) as well as assessment of the ecological condition of the rivers Luha and Studyanka was performed.

Based on the analysis of surface water quality on the basis of hydrochemical parameters, it can be stated that the values of mineralization values for both observation points of the Luha and Studyanka rivers were fresh hypohaline. According to the components of the salt composition, their waters belonged to category 1 of class I ("excellent" in their natural state, "very pure" in the degree of its purity). The average values of hydrochemical parameters and blocks of trophosaprobological and specific substances of toxic action included the waters of the Luha River to 4 and 5 categories of water quality class III ("satisfactory" in their natural state, "polluted" in purity), and the waters of the river Studyanka 5 category III water quality class ("satisfactory" in their natural state and "contaminated" in the degree of purity). In general, the average annual values of

hydrochemical parameters of both observation points classified the waters of the Luha river into 4 categories ("quite good" in their natural state, "slightly polluted" in the degree of purity) of the third class of water quality ("satisfactory" in their natural state and "moderately polluted" by the degree of purity, the level of trophic - eutrophic). The waters of the Studyanka River up to the 5th category ("satisfactory" in their natural state, "moderately polluted" in the degree of purity) of the III class of water quality ("satisfactory" in their natural state, "moderately polluted" in the degree of purity, the level of trophism - eutrophic).

It is determined that the ecological condition of the river according to the average annual values of hydrochemical indicators included the waters of the Luha River (in Volodymyr-Volynskyi city) to the 4th category of class III water quality ("satisfactory" in their natural state, "polluted" in the degree of purity), and water of the river Studyanka up to the 5th category of the III class of water quality ("satisfactory" in their natural state, "moderately polluted" in the degree of purity, the level of trophic - eutrophic).

According to the ecological status of rivers determined by the Macrophyte Index for Rivers (MIR), it is established that the waters of the Luha and Studyanka rivers have a satisfactory or moderate ecological status. This suggests that the research conducted on test sites and calculations of the Macrophyte Index for Rivers (MIR) are identical and fully reflect the ecological status of the rivers Luha and Studyanka determined by hydrochemical parameters, which allows using this algorithm for other rivers in the Western Bug basin.

**Conclusions.** Based on the research, the following conclusions can be drawn:

1. A significant part of the water management complex of the Volyn region is the basin of the

Western Bug river, which has a significant degree of development. Also, the state border between Ukraine and Poland runs along the watercourse, the river is a cross-border, and the tributary basins are located on the territory of both states. Therefore, to restore and preserve the optimal ecological condition of the Western Bug river basin, it is necessary to adhere to the strategic principles of rational nature management, within the catchments of small rivers.

2. To assess the ecological status of the MIR index (*Macrophyte Index for Rivers*), 42 indicator species of macrophytes were selected, of which 1 species belongs to the division *Polipodiophyta* and *Equisetopsida*, 40 species to the division *Magnoliophyta*, of which 15 belong to the class *Magnoliopsida*, and 25 belong to the class *Liliopsida*.

3. During the research within the test area № 1 (Zavydiv village) of the riverbed, 23 species of macrophytes were found - indicators of the ecological status of river water. They are dominated by coastal plants and plants with floating leaves. Study of the ecological condition of river water at the test site № 2 (Volodymyr-Volynskyi city), 35 species of macrophytes were found - indicators of the ecological condition of river water. Here we see relatively evenly all ecological groups of plants - coastal, submerged, and with floating leaves. Investigating the ecological state of the Studyanka river water at the test site № 3 (Ustyluh town), 19 species of macrophytes were found - indicators of the ecological state of the river water. They are dominated by coastal plants, 4 species of plants with floating leaves, and 3 species of submerged plants.

4. As a result of determining the ecological status of the tributaries of the Western Bug river, according to the MIR indicator, it was established that the rivers Luha and Studyanka belong to lowland watercourses, with the type of macrophytes - M-

VIII (organic rivers). As a result of the calculated Macrophyte Index for Rivers (MIR) it was found that the water quality in the Luha River at test site 1 (Zavydiv village) has a good ecological status and MIR is 39,0; on test site 2 (Volodymyr-Volynskyi city) has a satisfactory or moderate ecological condition and MIR is 31,56. The water quality in the Studyanka River in test site 3 (Ustyluh town) has a satisfactory or moderate ecological status and MIR is 28,31.

5. To obtain a more objective assessment of the ecological status of river water, a comparison of hydrochemical indicators of surface water quality and the results of determining the ecological status of rivers according to the Macrophyte Index for Rivers (MIR) will be carried out. It is determined that the ecological condition of the river according to the average annual values of hydrochemical indicators included the waters of the Luha River (in Volodymyr-Volynskyi city) to the 4th category of class III water quality ("satisfactory" in their natural state, "polluted" by the degree of purity) water of the river Studyanka up to the 5th category of the III class of water quality ("satisfactory" in their natural state, "moderately polluted" by the degree of purity, the level of trophic - eutrophic).

According to the ecological status of rivers determined by the Macrophyte Index for Rivers (MIR), it is established that the waters of the Luha and Studyanka rivers have a satisfactory or moderate ecological condition. This suggests that the research conducted on test sites and calculations of the Macrophyte Index for Rivers (MIR) are identical and fully reflect the ecological status of the rivers Luha and Studyanka determined by hydrochemical parameters, which allows the use of this research algorithm for other rivers in the Western Bug river basin and is promising during research on other rivers of Ukraine.

#### Bibliography

1. Боярин М. В. *Основи гідроекології: теорія й практика. Навчальний посібник. [Текст] / М. В. Боярин, І. М. Непробчук. – Луцьк: Вежа-Друк, 2016. – 364 с.*
2. Zueva N. V. *Use of Macrophytes in Assessing the Ecological Status of Small River (by the Example of the Okhta River, St. Petersburg) / N. V. Zueva, A. A. Bobrov // Inland Water Biology. – 2018. – Volume 11. – P. 34–41. <https://doi.org/10.1134/S1995082917040137>*
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. 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. <https://doi.org/10.26491/mhwm/59592>*
6. 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>*
7. *Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод [Текст] / Арсен О. М. та ін.; під ред. В. Д. Романенка. – К. : ЛОГОС, 2006. – 408 с.*
8. *Макрофиты-индикаторы изменений природной среды [Текст]. – Київ : Наукова думка, 1993. – 434 с.*

9. Нетробчук І.М. Геоecологічний стан басейну річки Луга / І. М. Нетробчук // Наук. вісник ВНУ ім. Лесі Українки. Географічні науки. – Луцьк: Волин. нац. ун-т. ім. Лесі Українки. – 2010. – № 9. – С. 176–182.
10. Некос А. Н., Боярин М. В. Управління водними ресурсами в басейні ріки Західний Буг на Волині. Науковий вісник Волинського державного університету ім. Лесі Українки. Географічні науки. – Луцьк. – 2009. – № 8. – С. 8–11.
11. Перхач О. В. Екологічна ситуація басейну р. Луга Волинської області / О. Перхач, Ф. Кіпчач, М. Сиротюк // Наукові записки ТНПУ. – 2016. – № 1. – С. 222–229.
12. Романенко В. Д. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями [Текст] / В. Д. Романенко, В. М. Жукинський, О. П. Оксіюк. – К.: Символ – Т, 1998. – 28 с.
13. Савицкая К. Л. Оценка экологического состояния малых рек на основе биологического индекса макрофитов. / К. Л. Савицкая // Вестник БГУ. Сер. 2. – 2014. – № 3. – С. 22–27.
14. Фесюк В. О. Вплив водогосподарського комплексу м. Володимир-Волинський на екологічний стан р. Луга / В. О. Фесюк, Б. С. Кротач // Вісник Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія: Екологія. – 2018. – № 3. – С. 213–226.
15. 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.
16. Яцик А. В. Екологічна оцінка сучасного стану якості води річки Луга./ А. В. Яцик, І. А. Пашенюк, І. В. Гончак, Т. О. Басюк // Вісник аграрної науки. – 2019. – № 2. – С. 61–65. <https://doi.org/10.31073/agroviznyk201902-08>
17. Jusik, S. Development of comprehensive river typology based on macrophytes in the mountain-lowland gradient of different Central European ecoregions. // Jusik, S., Szoszkiewicz, K., Kupiec, J. Hydrobiologia. – 2015. – № 745. – P. 241–262. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-2111-2>
18. 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.
19. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Волинській області у 2018 році. Луцьк [б.в.], 2019. – 196 с. URL: <http://eco.voladm.gov.ua>
20. Цьось О. О. Екологічна оцінка якості поверхневих вод річки Турія // О. О. Цьось / Природа Західного Полісся та прилеглих територій. – 2015. – №12. – С. 69–74.
21. Цьось О. О. Екологічна оцінка якості поверхневих вод річки Цир за категоріями. // О. О. Цьось / Людина та довкілля. Проблеми неоекології. – 2017. – № 1. – 2 (27). – С. 71–76.
22. 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>
23. Цьось О. О. Індикаторна флора річки Турія // О. О. Цьось / Вісник Харківського університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія». – 2016. – № 14. – С. 71–77.
24. Чорна Г. А. Рослини наших водойм. [Текст] / Г. А. Чорна. – К.: Фітосоціоцентр, 2001. – 134 с.
25. Ciecierska H. Biologiczne metody oceny stanu srodowiska. Tom 2. Ekosystemy wodne. Podrecznik metodyczny / Hanna Ciecierska, Maria Dynowska. – Olsztyn. – 2013. – 312 p.
26. 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.
27. 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.
28. Szoszkiewicz K. The Macrophyte Index for Rivers (MIR) asan 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>
29. Szoszkiewicz, K. Metodyka Bada'n Terenowych Makrofitów na Potrzeby Rutynowego Monitoringu Rzek / Szoszkiewicz, K., Zbierska, J., Jusik, S., Zgola, T. Bogucki Wydawnictwo Naukowe: Poznan, Poland. – 2009. – 81 p.
30. Szoszkiewicz, K. The variability of macrophyte metrics used in river monitoring. // Szoszkiewicz, K., Zbierska, J., Staniszewski, R., Jusik, S. Oceanol. Hydrobiol. Stud. – 2009. – № 38. – P. 117–126.
31. EU Water Framework Directive 2000/60/EC. Official Journal of the European Communities, 22.12.2000. L 327 / 1. – 118 p.
32. Mariia Boiaryn. Ocena stanu ekologicznego powierzchniowych wód rzeki Turia na podstawie makrofitowego indeksu rzeczynego (MIR) // Mariia Boiaryn, Oksana Tsos. – Chemia. Enviriment. Biotechnology. – 2019. – № 22. – P. 7–12. [www.ceb-journal.com, http://dx.doi.org/10.16926/cebj.2019.22.01](http://dx.doi.org/10.16926/cebj.2019.22.01)
33. Удосконалена схема фізико-географічного районування України / О.М. Маринич, Г.О. Пархоменко, О.М. Петренко, П.Г. Шищенко // Український географічний журнал. – 2003. – № 1. – С. 16–20.

Submitted November 07, 2020

Accepted March 10, 2021

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

UDC 556.51:502.51(477)

**Alla Nekos,**

DSc (Geography), Professor, Head of the Department of Ecological Safety and Ecological Education  
Karazin Institute of environmental sciences, V. N. Karazin Kharkiv National University,  
4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,  
e-mail: [alnekos999@gmail.com](mailto:alnekos999@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0003-1852-0234>;

**Mariia Boiaryn,**

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Ecology and Environmental Protection,  
Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli Ave., Lutsk, 43025, Ukraine,  
e-mail: [mariasun140314@gmail.com](mailto:mariasun140314@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0001-9822-5897>;

**Maria Lugowska,**

Dr. Eng., Assistant Professor at the Institute of Agriculture and Horticulture,  
University of Natural Sciences and Humanities, Prusa St., 14, 08-110 Siedlce, Poland,  
e-mail: [maria.lugowska@uph.edu.pl](mailto:maria.lugowska@uph.edu.pl), <http://orcid.org/0000-0001-5284-7965>;

**Oksana Tsos,**

Lecturer, Department of Ecology and Environmental Protection,  
Lesya Ukrainka Volyn National University,  
e-mail: [oksana.tsos1972@gmail.com](mailto:oksana.tsos1972@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-9679-9413>;

**Iryna Netrobchuk,**

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Geography,  
Lesya Ukrainka Volyn National University,  
mail: [iryna.nim@gmail.com](mailto:iryna.nim@gmail.com) <https://orcid.org/0000-0002-8633-7426>

## ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL CONDITION OF THE WESTERN BUG RIVER BASIN ACCORDING TO THE MACROPHYTE INDEX FOR RIVERS (MIR)

**Introduction.** To restore and preserve the optimal ecological status of the Western Bug river basin, it is necessary to adhere to the strategic principles of environmental management, and since the river is trans-boundary and tributary basins are located in Ukraine and Poland, it is important to determine the ecological status of small rivers. In the territory of the Volyn region, the rivers-tributaries Luha and Studyanka are most affected by anthropogenic impact. An ecological assessment of water quality based on the condition of macrophytes is given, as macrophytes allow to determine the degree of surface water degradation, first of all, in terms of their trophic status.

**The purpose of article.** The purpose of article aims to assess the ecological status of the rivers of the Western Bug river basin using bioindication methods and determination of the Macrophyte Index for Rivers (MIR).

**Methods.** Research methods are expeditionary, methods of mathematical statistics and bioindication methods and determination of the Macrophyte Index for Rivers (MIR).

**Results.** To determine the ecological status of the rivers of the Western Bug basin and to conduct research, three test sites with a length of at least 100 m were laid on two tributaries of the first order - the rivers Luha and Studyanka. To determine the MIR (*Macrophyte Index for Rivers*) in the test riverbed areas, 42 indicator species of macrophytes were selected, of which 1 species belongs to the division Polypodiophyta and Equisetophyta, 40 species to the division Magnoliophyta, of which 15 belong to the class Magnoliopsida, and 25 belong to the class Liliopsida. According to the classification of the MIR indicator, to determine the ecological status, the rivers Luha and Studyanka belong to lowland watercourses, with the type of macrophytes - M-VIII (organic rivers). As a result of the calculated Macrophyte Index for Rivers (MIR), it was established (Table 4) that the water quality in the Luha river in test site 1 (Zavydiv village) has a good ecological status, MIR is 39,0; and test site 2 (Volodymyr-Volynskiy city) has a satisfactory or moderate ecological status, MIR is 31,56; in the river Studyanka, the test site 3 (Ustyluh town) has a satisfactory or moderate ecological condition, MIR is 28,31.

**Conclusions.** According to the ecological status of rivers determined by the Macrophyte Index for Rivers (MIR), it is established that the waters of the Luha and Studyanka rivers have a satisfactory or moderate ecological condition. This suggests that the research conducted on test sites and calculations of the Macrophyte Index for Rivers (MIR) are identical and fully reflect the ecological status of the rivers Luha and Studyanka determined by hydrochemical parameters, which allows the use of this research algorithm for other rivers in the Western Bug river basin and is promising during research on other rivers of Ukraine.

**Keywords:** river, bioindication, macrophytes, ecological condition of rivers, macrophyte index, water quality classes, ecological assessment of water quality.

#### References

1. Boyaryn M. V., Netrobchuk I. M. (2016). *Fundamentals of hydroecology: theory and practice. Tutorial. Lutsk: Tower – Print, 364 [in Ukrainian].*
2. Zueva N. V., Bobrov A. A. (2018). *Use of Macrophytes in Assessing the Ecological Status of Small River (by the Example of the Okhta River, St. Petersburg). Inland Water Biology. Volume 11, 34–41. <https://doi.org/10.1134/S1995082917040137> [in Russian].*
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 Neoecology. 1–2(27), 62–70 [in Ukrainian].*
5. 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 <https://doi.org/10.26491/mhwm/59592> [in Polish].*
6. 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. <https://doi.org/10.3390/w10070953> [in English]*
7. Arsen O. M., Romanenko V. D. (2006). *Methods of hydroecological research of surface waters. K., LOGOS, 408 [in Ukrainian].*
8. *Macrophytes are indicators of changes in the natural environment, (1993). Kyiv, Naukova Dumka, 434 [in Ukrainian].*
9. Netrobchuk I. M. (2011). *Geoecological condition of the Luha river basin. Lutsk. Science. Bulletin of the University. Lesya Ukrainka. Geographical sciences. Lutsk: Volyn. nat. un-t. them. Lesya Ukrainka. 9, 176–182 [in Ukrainian].*
10. Nekos A. N., Boyaryn M. V. (2009). *Management of water resources in the Western Bug river basin in Volyn. Lutsk. Science. Bulletin of the University. Lesya Ukrainka. Geographical sciences. Lutsk: Volyn. nat. un-t. them. Lesya Ukrainka. 8, 8–11 [in Ukrainian].*
11. Perhach O. V., Kiptach F., Syrotiuk M. (2016). *Ecological situation of the Luha river basin of Volyn region. Scientific notes of TNPU. 1, 222–229 [in Ukrainian].*
12. Romanenko V. D., Zhukinsky V. M., Oksiyuk O. P. (1998). *Methods of ecological assessment of surface water quality by appropriate categories. K., Symbol, 28 [in Ukrainian].*
13. Savitskaya K. L. (2014). *Estimation of ecological condition of small rivers on the basis of biological index of macrophytes. Bulletin of BSU. Ser. 2, 22–27 [in Ukrainian].*
14. Fesyuk V. O., Krotach B. S. (2018). *Influence of the water management complex of Volodymyr-Volynskiy on the ecological condition of the Luha River. Bulletin of Kamyanets-Podilsky National University named after Ivan Ogienko. Series “Ecology”. 3, 213–226. [in Ukrainian].*
15. 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].*
16. Yatsyk A. V., Pashenyuk I. A., Hopchak I. V., Basyuk T. O. (2019) *Ecological assessment of the current state of water quality of the Luha River. Bulletin of Agricultural Science, 2, 61–65 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201902-08>*
17. 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 [in English] <https://doi.org/10.1007/s10750-014-2111-2>*
18. 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].*
19. *Regional report on the state of the environment in the Volyn region in 2018 (2019). Lutsk, 196. URL: <http://eco.voladm.gov.ua> [in Ukrainian].*
20. Tsyos O. O., (2015). *Ecological assessment of surface water quality of Turia river. Nature of Western Polissya and adjacent territories, 12, 69–74 [in Ukrainian].*
21. Tsyos O. O. (2017). *Ecological assessment of surface water quality of the river Tsyur by categories. Man and the environment. Problems of neoecology, 1–2 (27), 71–76 [in Ukrainian].*
22. 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] <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2018-30-08>*
23. Tsyos O. O. (2016). *Indicator flora of the river Turia. Bulletin of V. N Karazin Kharkiv University. Series “Ecology”, 14, 71–77 [in Ukrainian].*
24. Chorna H.A. (2001). *Plants of our reservoirs, 134 [in Ukrainian].*
25. Hanna Ciecierska, Maria Dynowska (2013) *Biological methods of assessing the state of the environment. Volume 2. Water ecosystems. Methodical handbook. Olsztyn, 312 [in Polish].*
26. AFNOR (Assosiation Francaise de Normalisation) *Qualite de l'eau – Determination de l'indice biologique macropfytique en rivier (IBMR) – Norm francaise NFT (2003), 9–395 [in French]*

27. 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, 421–429 [in Polish].
28. 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 [in English] <https://doi.org/10.3390/w12010108>
29. Szoszkiewicz, K.; Zbierska, J.; Jusik, S.; Zgola, T. (2009). *Metodyka Bada'ń Terenowych Makrofitów na Potrzeby Rutynowego Monitoringu Rzek [Macrophyte Survey Manual for the Purpose of River Monitoring]*; Bogucki Wydawnictwo Naukowe: Poznan, Poland, 81 [in Polish].
30. Szoszkiewicz, K., Zbierska, J., Staniszewski, R., Jusik, S. (2009). The variability of macrophyte metrics used in river monitoring. *Oceanol. Hydrobiol. Stud.*, 38, 117–126.
31. EU Water Framework Directive 2000/60/EC. *Official Journal of the European Communities*, 22.12.2000. L 327/1, 118.
32. 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. Environm. Biotechnology*. 22, 7–12 [in Polish] [www.cebj-journal.com, http://dx.doi.org/10.16926/cebj.2019.22.01](http://dx.doi.org/10.16926/cebj.2019.22.01)
33. Marynych O. M., Parkhomenko H. O., Petrenko O. M., Shyshchenko P. H. (2003). Improved physical and geographical zoning of the Ukraine. *Ukrainian geographical journal*, 1, 16–20 [In Ukrainian].



УДК 631.461:574.2:504.7

**Анатолій Миколайович Польовий,**

д. геогр. н., проф., зав. кафедри агрометеорології та агроєкології  
Одеського державного екологічного університету,  
вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016 Україна,  
e-mail: [apolevoy@te.net.ua](mailto:apolevoy@te.net.ua), <https://orcid.org/0000-0001-8395-0068>;

**Людмила Юхимівна Божко,**

к. геогр. н., доцент кафедри агрометеорології та агроєкології  
Одеського державного екологічного університету,  
e-mail: [bozko@i.ua](mailto:bozko@i.ua), <https://orcid.org/0000-0002-8712-2099>

## МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ЕМІСІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O) ІЗ ҐРУНТІВ АГРОЄКОСИСТЕМ

В статті наводяться результати розрахунків на основі розробленої комплексної моделі емісії парникових газів із ґрунтів агроєкосистем протягом 2017–2019 рр. Розрахунки показали, що спостерігається міжсезонна та міжрічна зміна потоків CO<sub>2</sub> та N<sub>2</sub>O. Вони варіюють в залежності від температури і вологості ґрунту та вмісту гумусу у ґрунті. Разом з тим, характерним є однаково невисокий рівень потоків CO<sub>2</sub> при досить низьких від 1 до 6 °C температурах ґрунту, він складає 0,072–0,401 г C-CO<sub>2</sub> м<sup>-2</sup>·д<sup>-1</sup>. За деяким винятком емісія CO<sub>2</sub> в весняні місяці була вищою ніж в осінні. Максимальна інтенсивність викидів CO<sub>2</sub> спостерігалась в літні місяці на фоні високих температур ґрунту, що визначило і найбільшу сумарну кількість викидів у літній сезон (0,670 – 0,822 т C-CO<sub>2</sub> га<sup>-1</sup> за літо). Встановлено, що найбільш інтенсивна емісія N<sub>2</sub>O спостерігалась в період високого рівня зволоження ґрунту, коли створювались анаеробні умови у ґрунті. Особливо інтенсивно процес денітрифікації відбувався в весняний період 2019 року, коли за період березень – травень випало 226 мм опадів, а обсяг порового простору, заповненого водою WFPS, сягав більше 0,8 відн. од. Середня за цей період інтенсивність емісії N<sub>2</sub>O складала 15,592 г N-N<sub>2</sub>O м<sup>-2</sup>, а сумарна кількість емісії була найбільшою (1,134 кг N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup>). За рахунок інтенсивного процесу денітрифікації емісія N<sub>2</sub>O в цей рік була максимальною. Найменший рівень емісії N<sub>2</sub>O спостерігався в умовах досить високих температур і недостатньої зволоженості ґрунту, що було характерним для 2017 року. На основі синтезу підходів з моделювання емісії CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O та продуктивності агроєкосистем розроблено комплексну модель емісії парникових газів із ґрунтів агроєкосистем (plant-agrosoil-GHG-model). Встановлена міжсезонна та міжрічна зміна потоків CO<sub>2</sub> і N<sub>2</sub>O та їхня залежність від погодних умов та вмісту гумусу у ґрунті.

**Ключові слова:** моделювання, емісія, двоокис вуглецю, закис азоту, ґрунт, продуктивність, агроєкосистема, температура повітря, опади, вологість ґрунту.

**А. Н. Полевой, Л. Е. Божко. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O) ИЗ ПОЧВ АГРОЭКОСИСТЕМ.** В статье приводятся результаты моделирования эмиссии парниковых газов из почв агроэко-систем в течение 2017–2019 гг. С помощью разработанной комплексной модели проведены расчеты, которые показали, что наблюдается межсезонная и межгодовая изменчивость потоков CO<sub>2</sub> и N<sub>2</sub>O. Они варьируют в зависимости от температуры и влажности почвы и содержания гумуса в почве. Вместе с тем, характерен одинаково низкий уровень потоков CO<sub>2</sub> при достаточно низких от 1 до 6 °C температурах почвы, он составлял 0,072–0,401 г C-CO<sub>2</sub> м<sup>-2</sup>·д<sup>-1</sup>. За некоторым исключением эмиссия CO<sub>2</sub> в весенние месяцы была выше, чем в осенние. Максимальная интенсивность выбросов CO<sub>2</sub> наблюдалась в летние месяцы на фоне высоких температур почвы, что определило и наибольшее суммарное количество выбросов в летний сезон (0,670 – 0,822 т C-CO<sub>2</sub> га<sup>-1</sup> за лето). Установлено, что наиболее интенсивная эмиссия N<sub>2</sub>O наблюдалась в периоды высокого уровня увлажнения почвы, когда создавались анаэробные условия в почве. Особенно интенсивным процессом денитрификации происходил в весенний период 2019 года, когда за период март – май выпало 226 мм осадков, а объем порового пространства, заполненного водой WFPS, достигал более 0,8 отн. ед. Средняя за этот период интенсивность эмиссии N<sub>2</sub>O составляла 15,592 г N-N<sub>2</sub>O м<sup>-2</sup>, а суммарное количество эмиссии было наибольшим (1,134 кг N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup>). За счет интенсивного процесса денитрификации эмиссия N<sub>2</sub>O в этом году была максимальной. Наименьший уровень эмиссии N<sub>2</sub>O наблюдался в условиях достаточно высоких температур и недостаточной увлажненности почвы, что было характерным для 2017 года. На основе синтеза подходов к моделированию эмиссии CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O и продуктивности агроэко-систем разработана комплексная модель эмиссии парниковых газов из почв агроэко-систем (plant-agrosoil-GHG-model). Установлена межсезонная и межгодовая изменчивость потоков CO<sub>2</sub> и N<sub>2</sub>O и их зависимость от погодных условий и содержания гумуса в почве.

**Ключевые слова:** моделирование, эмиссия, углерод, азот, почва, продуктивность, агроэко-система, температура воздуха, осадки, влажность почвы.

**Вступ.** Одним із провідних факторів зміни клімату є парниковий ефект, який обумовлено надходженням в атмосферу парникових газів, серед яких найбільш агресивними є CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> та N<sub>2</sub>O. Окрім антропогенної діяльності, джерелом парникових газів є емісія з природних екосистем та агроєкосистем.

Двоокис вуглецю CO<sub>2</sub> становить найбільшу долю емісії парникових газів, Закис азоту N<sub>2</sub>O є також важливим потенціалом глобального потепління, майже в 300 разів вищим, чим CO<sub>2</sub> в розрахунку на масу [30].

Емісія парникових газів із ґрунтів агроєкосистем визначається впливом комплексу екологічних факторів на сукупність біологічних і фізико-хімічних процесів у ґрунтах. Ґрунти екосистеми діють як поглинач, резервуар та джерело викидів парникових газів в залежності від балансу входів та виходів, які обумовлено різноманітними процесами, що впливають на викиди парникових газів, такими як біологічне дихання ґрунтів, інтенсивність процесу нітрифікації та інші окисні процеси.

Досить детально проблема рівноваги між

надходженням і мінералізацією зволоженого вуглецю у ґрунті розглянута в [14, 41, 49]. Обсяг емісії закису азоту із ґрунтів звичайно пов'язано з внесенням органічних та мінеральних добрив, залежністю від особливостей ґрунтів та клімату місцевості, виду сільськогосподарської культури [18, 32, 34].

Сільськогосподарські ґрунти являються однією з основних категорій джерел парникових газів у аграрному секторі. У фундаментальному огляді [33] узагальнено та оцінено методи, які застосовуються при оцінці викидів CO<sub>2</sub> та N<sub>2</sub>O у сільськогосподарських ґрунтах. У всебічному, широкому аналізі [37] розглядаються процеси, пов'язані з викидами ґрунтів, та їх параметри впливу. У ньому переглядаються дослідження викидів ґрунтів, що включають найважливіші типи покривів та кліматичних зон, та вводяться важливі системи вимірювання викидів ґрунту. Цей огляд суттєво доповнює інформацію щодо даних Північної півкулі.

Розвиток досліджень трансформації органічної речовини ґрунтів та емісії парникових газів дозволив сформулювати концептуальні підходи до моделювання динаміки процесів трансформації органічної речовини рослинних залишків та ґрунтів, а також емісії парникових газів.

Виділяються три напрямки моделювання емісії парникових газів із мінеральних ґрунтів, які сформувались протягом останніх 20 років.

До першого напрямку слід віднести моделі, в яких моделюється динаміка вуглецю у ґрунті та емісія CO<sub>2</sub> [17, 53].

Другий напрямок складають моделі, в яких розглядаються процеси нітрифікації і денітрифікації азоту в ґрунті та емісія N<sub>2</sub>O [25, 28, 29, 38].

Комплексні моделі [24, 39, 45, 50], в яких моделюється динаміка вуглецю у ґрунті, процеси трансформації азоту у ґрунті та емісія CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, можна віднести до третього напрямку.

В зазначених вище моделях, особливо в тих, що відносяться до першого та другого напрямку, тільки інколи розглядається рослина (посів), модель (або як блок більш загальної моделі). Розрахунки за цією моделлю надавали би на виході параметри рослинного покриву (надземної та підземної частини рослин) та значення абіотичних (ґрунтових) змінних агроєкосистеми, які характеризують умови росту. Останні могли б використовуватись в якості вхідних даних в більш загальній моделі, по меншій мірі, в період вегетації рослин.

**Метою** нашого дослідження являлось створення на основі робіт, присвячених моделюванню емісії двоокису вуглецю з мінеральних ґрунтів [17], кількісному опису викидів закису азоту [29] та моделюванню продуктивності агроєкоси-

стем [6, 7] комплексної моделі емісії парникових газів із агроєкосистем, яка дозволяє враховувати просторові та часові зміни умов навколишнього середовища.

Моделювання продукційного процесу рослин досягло високого рівня, створено загальнознані наукові школи з моделювання росту, розвитку та формування урожаю рослин: голландська ("School of de Wit"), американська (моделі типу CERES WHEAT), англійська (J.H.M. Thornley), естонська (Ю.К. Росс, Х.Г. Тоомінг), російська (Р.О. Полуєтков, О.Д. Сиротенко), українська (В.П. Дмитренко, А.М. Польовий).

Сучасне моделювання продукційного процесу рослин активно розвиває та використовує теоретичні розробки, що стосуються різних аспектів функціонування рослинності. Моделі продукційного процесу мають різну ступінь складності та деталізації описів процесів життєдіяльності рослин, спрямовані на вирішення різнопланових проблем.

Розроблена нами модель продуктивності агроєкосистем [6, 7] спрямована на вирішення прикладних задач.

**Методи та матеріали.** В основу створення комплексної моделі емісії парникових газів із ґрунтів агроєкосистем покладено модель емісії двоокису вуглецю з мінеральних ґрунтів [17], модель викидів закису азоту [29] та модель продуктивності агроєкосистем [6, 7].

В основі моделей продуктивності агроєкосистем лежить система рівнянь радіаційного, теплого і водного балансів, балансу біомаси (вуглецю та азоту) у рослинному покриві. Моделюється радіаційний, тепловий і водний режими системи «ґрунт – рослина – атмосфера», режим мінерального живлення рослин та вплив цих режимів на процеси фотосинтезу й дихання рослин, поглинання вологи та елементів мінерального живлення кореневою системою рослин, ріст та розвиток рослин, фотосинтетична продуктивність агроєкосистем.

Основною біологічною частиною моделей продуктивності агроєкосистем являється моделювання приросту біомаси рослин. Воно розглядається як баланс вуглеводів (продуктів фотосинтезу та розпаду тканин при старінні, витрат на дихання) та білків (поглинання азоту із ґрунту, продуктів розпаду тканин, витрат на оновлення життєдіяльних структур тканин) на кожному часовому кроці

$$\frac{dm}{dt} = \Phi + C_{hydr} - R + N_{abs} + N_{hydr} - N_{sen}, \quad (1)$$

де  $\frac{dm}{dt}$  – приріст біомаси рослин;  $\Phi$  – сумарний фотосинтез рослин;  $C_{hydr}$  – маса вуглеводів, що утворюються при розпаді тканин, які

старіють;  $R$  – витрати вуглеводів на дихання рослин;  $N_{abs}$  – кількість поглиненого з ґрунту азоту;  $N_{hydr}$  – кількість азоту, який утвориться при розпаді білкових структур;  $N_{sen}$  – витрати на відновлення білків.

Центральним в моделі являється розрахунок фотосинтезу, який проводиться за формулою [2, 8]. В цій формулі на першому етапі – дифузія молекул  $CO_2$  з повітря до центрів карбоксилювання у клітині описується законами біофізики, а на другому етапі – біохімічний цикл фотосинтезу в хлоропластах описується законами фотобіології та біохімії:

$$\Phi_L = \frac{1}{\frac{1}{\Phi_m} + \frac{1}{\chi_\Phi a_\Phi I_\Phi} + \frac{r_{ac} + r_{sc} + r_m}{C_A}} \quad (2)$$

де  $\Phi_m$  – потенційний фотосинтез, тобто  $\lim_{\Phi \rightarrow \infty} \Phi_L = \Phi_m$ , що залежить від температури та  $C_A \rightarrow \infty$  віку листка, а  $r_m = r_{md} + r_{mx}$ ;  $a_\Phi$  – нахил світлової кривої фотосинтезу;  $I_\Phi$  – інтенсивність ФАР;  $\chi_\Phi$  – коефіцієнт поглинання листком ФАР;  $r_{mx}$  – ефективний опір карбоксилювання.

Витрати на дихання росту і дихання підтримки моделюються з використанням концепції [35] із врахуванням зміни інтенсивності дихання в онтогенезі [6] та під впливом температури повітря [19]

$$\frac{dR}{dt} = \alpha_R \left[ C_G \frac{dm}{dt} + C_m m \varphi_R \right], \quad (3)$$

де  $C_G$  – коефіцієнт витрат на дихання росту;  $C_m$  – коефіцієнт витрат на дихання підтримки;  $\alpha_R$  – онтогенетична крива дихання;  $dm/dt$  – приріст біомаси рослин;  $m$  – маса рослин;  $\varphi_R$  – температурна крива дихання.

При стресових умовах і старінні рослин відбуваються процеси розпаду тканин. Ці процеси описуються рівняннями кінетики ферментативного каталізу.

Таким чином моделюється динаміка маси окремих органів рослин, їх старіння, відмирання та опад (рослинних рештків) частин рослини, динаміка вуглецю рослинного покриву, динаміка балансу вологи та мінерального азоту у ґрунті. Ці характеристики стану агроєкосистеми являються вхідними при моделюванні емісії вуглецю та закису азоту.

В основу моделювання викидів парникових газів ( $CO_2$  та  $N_2O$ ) із степових агроєкосистем, зайнятих різними сільськогосподарськими культурами, покладено концепцію, яка базується на принципах, сформульованих в ROTHС-моделі [17] для трансформації органічної речовини та викидів вуглецю із мінеральних ґрунтів, та ви-

значених в NOE-моделі [29] для моделювання емісії  $N_2O$  із сільськогосподарських ґрунтів

Структура розробленої нами комплексної моделі, поєднує основні положення наведених вище моделей з суттєвою модифікацією.

Моделює кругообігу вуглецю у ґрунті [17] описує динаміку чотирьох активних компартментів органічної речовини ґрунту та інертної органічної речовини.

В основі моделі лежить базове рівняння, яке дозволяє вести розрахунки декомпозиції рослинних залишків попереднього та поточного року на стійкий рослинний матеріал  $RPM$ , декомпозиційний рослинний матеріал  $DPM$ , мікробну біомасу  $BIO$  та гуміфіковану органічну масу. Інтенсивність цих процесів обумовлюється кількістю рослинних залишків та факторами навколишнього середовища (температура повітря, вологість повітря і ґрунту).

В алгоритм моделі [7] введено розрахунок рослинних залишків для набору сільськогосподарських культур за допомогою регресійних рівнянь, одержаних в умовах Краснодарського краю Росії [5].

Запропонована на основі робіт [6, 9] система рівнянь, яка дозволяє розділити рослинні залишки попереднього року по теплій порі поточного року:

$$U_{rst}(j) = U_{rs} \left\{ \left( \frac{4,6}{Q_w} \cdot 10^{\left[ \left( 2 - \frac{2}{Q_w} \right) (j - Q_w^1) + 1 \right] \right)} \right\} : \left\{ \left( 1 + 10^{\left[ \left( 2 - \frac{2}{Q_w} \right) (j - Q_w^1) + 1 \right] \right)} \right\}^2 \quad (4)$$

де  $U_{rst}$  – рослинні залишки за окрему декаду;  $U_{rs}$  – рослинні залишки за весь теплий період року;  $Q_w$  – кількість декад теплого періоду;  $Q_w^1$  – номер першої декади теплого періоду.

Для розрахунку випаровування з відкритої поверхні (випаровуваності) введено розрахунок цієї величини за формулою випаровуваності Іванова [4].

Моделюється послідовний (щодакдний) розклад рослинних залишків (попереднього та поточного років), органічної маси ґрунту та розклад внесених органічних добрив на три компартменти: мікробну біомасу, гуміфіковану біомасу та  $CO_2$ . Виходом моделі є розрахункові підсумкові величини кожного окремого компартменту за рік, їхня сума та баланс вуглецю у ґрунті на полі та викиди  $CO_2$ .

Згідно роботи [17] розраховується розкладання та подальша динаміка мінералізації органічного матеріалу не розкладених рослинних залишків попереднього року, рослинних залиш-

ків поточного року, утворення вуглецю та продукування  $\text{CO}_2$  у процесі мінералізації органічного матеріалу.

Для розкладу частки органічної речовини рослинних залишків  $DPM(j)$  використовується наступна система рівнянь:

$$\begin{cases} DBIO(j) = DPM(j) \exp[-a_c(j) \cdot a_w(j) \cdot c_c \cdot 0,055]; \\ DHUM(j) = DPM(j) \exp[-a_c(j) \cdot a_w(j) \cdot c_c \cdot 0,002]; \\ DCO_2(j) = x_c \cdot [DBIO(j) + DNUM(j)], \end{cases} (5)$$

де  $DBIO$  – мікробна біомаса, що виділилась при розкладі  $DPM$ , т  $\text{га}^{-1}$ ;  $DPM$  – декомпозиційний рослинний матеріал;  $a_c$  – коефіцієнт, який характеризує вплив температури ґрунту на декомпозицію органічного матеріалу;  $a_w$  – коефіцієнт, який характеризує вплив вологості ґрунту на декомпозицію органічного матеріалу;  $c_c$  – коефіцієнт, який характеризує вплив рН ґрунту на декомпозицію органічного матеріалу;  $DHUM$  – гуміфікована органічна біомаса, що виділилась при розкладі  $DPM$ ;  $DCO_2$  – кількість  $\text{CO}_2$ , що виділилось при розкладі  $DPM$ ;  $x_c$  – відношення  $\text{CO}_2/(\text{BIO}+\text{HUM})$ .

Аналогічним чином моделюється розкладання та подальша динаміка мінералізації органічного матеріалу ґрунту та органічного матеріалу органічних добрив, утворення вуглецю, продукування  $\text{CO}_2$  в процесі мінералізації органічного матеріалу.

Продукування закису азоту відбувається головним чином за допомогою двох біологічних процесів: денітрифікації, анаеробного мікробного дихання з використанням нітратів та нітритів як акцепторів електронів та нітрифікації, екзотермічного окиснення амонію до нітритів і нітратів [1].

Алгоритм NOE-моделі [29] враховує, що викиди  $\text{N}_2\text{O}$  обумовлені як денітрифікацією, так і нітрифікацією.

На основі роботи [29] моделюються процеси нітрифікації та денітрифікації форм азоту та емісії  $\text{N}_2\text{O}$  при протіканні цих процесів. Інтенсивність процесів денітрифікації і нітрифікації розглядається в залежності від біологічних параметрів, вмісту вологи у ґрунті (наповненості порового простору вологою), температури та вмісту в ґрунті мінерального азоту.

У рівняння, яке запропоновано [28] в NOE-моделі для опису процесу денітрифікації та емісії азоту протягом процесу денітрифікації, на основі роботи [1] нами введено допоміжну функцію впливу, яка враховує залежність інтенсивності денітрифікації від рН ґрунту [1]:

$$D_A = D_P F_N F_W F_T F_{pH}. \quad (6)$$

де  $D_A$  – фактична інтенсивність процесу денітрифікації ( $\text{кг N га}^{-1}\text{д}^{-1}$ );  $D_P$  – потенційна інтен-

сивність процесу денітрифікації ( $\text{кг N га}^{-1}\text{д}^{-1}$ );  $F_N, F_W, F_T, F_{pH}$  – функції впливу вмісту нітратів, вологи, температури та рН ґрунту на процес денітрифікації відповідно, безрозмірні.

Функція впливу вмісту нітратів у ґрунті на інтенсивність процесу денітрифікації розраховується як:

$$F_N = \frac{NO_3}{(K_{m1} + NO_3)} \quad (7)$$

де  $F_N$  – функція впливу вмісту нітратів у ґрунті на процес денітрифікації, безрозмірна;  $NO_3$  – вміст нітратів у ґрунті,  $\text{мг N кг}^{-1}$  ґрунту;  $K_{m1}$  – параметр рівняння (7), який згідно роботи [28] дорівнює  $22 \text{ мг N кг}^{-1}$  ґрунту.

$\text{N}_2\text{O}$  та  $\text{NO}$  продукуються у ґрунті в результаті двох контрастних процесів: нітрифікації та денітрифікації. Нітрифікація являється аеробним процесом, який протікає при заповненні водою порового простору ґрунту (WFPS) до 50% [27], який визначається за відношенням

$$WFPS = \frac{Q_v}{TP} \quad (8)$$

де  $WFPS$  – поровий простір, заповнений водою, відн. од.;  $Q_v$  – загальний вміст води у ґрунті (об'єм води у  $\text{см}^3$  на загальний об'єм ґрунту в  $\text{см}^3$ ), %;  $TP$  – загальна пористість, %.

Нітрифікація і денітрифікація є процесами, які контролюються специфічним фактором WFPS [20]. Його величина залежить від балансу між кількістю води, яка надійшла у ґрунт з опадами та випарувалась як результат випарування з ґрунту та транспірації. Для всіх типів ґрунту простежується вплив вологовмісту на емісію  $\text{N}_2\text{O}$ . Емісія  $\text{N}_2\text{O}$  залежить від доступності  $\text{O}_2$  для мікробіологічних процесів і здатності проникнення в процесі дифузії  $\text{N}_2\text{O}$  через пори у ґрунті.

Вміст вологи контролює обидва процеси. Для емісії  $\text{N}_2\text{O}$  складаються сприятливі умови, коли ґрунт достатньо зволожений і не обмежується доступність до  $\text{O}_2$ . Якщо ґрунт стає досить вологим, нітрифікація сповільнюється і припиняється, тоді починається і зростає інтенсивність процесу денітрифікації. Таким чином, вміст вологи у ґрунті буде регулювати процес нітрифікації і денітрифікації, що призведе до максимуму емісії  $\text{N}_2\text{O}$ . Взагалі пік мікробіологічної активності спостерігається при вологості ґрунту біля 30-60 % WFPS. Протягом процесу нітрифікації інтенсивна емісія  $\text{N}_2\text{O}$  відбувається при вологості ґрунту нижче 40 % WFPS, але при швидкому підвищенні вологовмісту у ґрунті пік емісії  $\text{N}_2\text{O}$  спостерігається при вологості ґрунту 55-65 % WFPS [21]. При вологості ґрунту вище 60-70 % WFPS вміст вологи лімітує дифузії  $\text{O}_2$ , що призводить до зниження інтенсивності процесу нітрифікації. При таких умовах денітрифікація стає

домінантним потоком емісії  $N_2O$  при вологості ґрунту 70–90 % WFPS. При збільшенні вологості ґрунту вище 90 % WFPS емісія  $N_2O$  стає невідзначеною.

Вплив вологості ґрунту на інтенсивність процесу денітрифікації в NOE-моделі [29] описується як:

$$F_W = 0, \quad WFPS < 0.62, \\ F_W = \left[ \frac{WFPS - 0.62}{0.38} \right]^{1.74}, \quad WFPS \geq 0.62, \quad (9)$$

де  $F_W$  – функція впливу вологості ґрунту на інтенсивність процесу нітрифікації, безрозмірна.

Процес денітрифікації залежить від зміни значення рН і температури. Оптимальне значення активної кислотності ґрунтового розчину, при якому протікає процес денітрифікації, за спостереженнями багатьох дослідників, лежить в межах рН ґрунту 7–8,5. Оптимальна температура для розвитку денітрифікованих мікроорганізмів близько 25–30 °С. При зниженні температури з 30 °С до 25 і 20 °С денітрифікація сповільнюється; на кожні 10 °С швидкість окремих її етапів знижується приблизно в два рази. При температурі нижче 10 °С і значенні рН менше 6 денітрифікація проходить дуже повільно. Як продукт відновлення утворюється  $N_2O$ , тоді як в оптимальних умовах зазвичай накопичується молекулярний азот.

Вплив температури на інтенсивність процесу денітрифікації описується за допомогою виразу [46]

$$F_T = \frac{47.91}{\exp \left[ \frac{125}{(T_{soil} + 18.27)} \right] + 1} \quad (10)$$

де  $F_T$  – функція впливу температури на інтенсивність процесу денітрифікації, безрозмірна;  $T_{soil}$  – температура ґрунту, °С.

Існує [1] лінійна залежність між значенням рН ґрунту та швидкістю процесу денітрифікації, яка описана нами рівнянням регресії

$$F_{pH} = 0.25(pH_{soil} - 4.0), \quad (11)$$

де  $F_{pH}$  – функція впливу рН ґрунту на інтенсивність процесу денітрифікації, безрозмірна;  $pH_{soil}$  – кислотність ґрунтового розчину.

Тільки фракція денітрифікованого азоту виділяється у вигляді  $N_2O$ . На основі лабораторних експериментів в NOE-моделі [29] встановлено кількісне значення параметра, який характеризує максимальну швидкість виділення  $N_2O$  в процесі денітрифікації нітратів при анаеробних умовах. Цей параметр ( $r_{max}$ ) дозволяє моделювати фракцію  $N_2O$ , яка виділяється у вигляді емісії  $N_2O$ :

$$N_2O_{denit} = r_{max} D_A, \quad (12)$$

де  $N_2O_{denit}$  – емісія  $N_2O$  при денітрифікації у ґрунті,  $kg N ga^{-1} d^{-1}$ ;  $r_{max}$  – максимальна швидкість виділення  $N_2O$  в процесі денітрифікації нітратів.

В роботі [26] проводились при температурі 21 °С вимірювання нітрифікації в аеробних умовах при нелімітованому рівні амонійного забезпечення, при цьому було встановлено, що існує експоненціальна залежність від водного потенціалу ґрунту та лінійна залежність від вмісту вологи у ґрунті в діапазоні від 5 до 35 % вологи. Нітрифікація також інгібується в умовах лімітування умов аерації ( $WFPS > 0.8$ ) [36]. Окрім цього, інтенсивність нітрифікації контролюється також вмістом амонію у ґрунті та температурою [42, 43].

В NOE-моделі [29] швидкість процесу нітрифікації описується як:

$$N_A = 0, \quad WFPS > 0.8; \\ N_A = N_W N_{NH_4} N_T, \quad WFPS \leq 0.8, \quad (13)$$

де  $N_A$  – фактична інтенсивність нітрифікації,  $kg N ga^{-1} d^{-1}$ ;  $N_W$ ,  $N_{NH_4}$ ,  $N_T$  – функції впливу вмісту вологи, вмісту амонію у ґрунті та температури на процес нітрифікації відповідно, безрозмірні.

Функція впливу зволоженості ґрунту на швидкість процесу нітрифікації визначається за виразом:

$$N_W = a WC + b, \quad (14)$$

де  $N_W$  – функція впливу вмісту вологи у ґрунті на інтенсивність процесу нітрифікації,  $kg N ga^{-1} d^{-1}$ ;  $WC$  – вміст вологи у ґрунті, %;  $a$  та  $b$  – параметри рівняння регресії, безрозмірні.

Вплив вмісту амонію у ґрунті на процес нітрифікації описується рівнянням:

$$N_{NH_4} = \frac{NH_4}{K_{m2} + NH_4} \quad (15)$$

де  $N_{NH_4}$  – функція впливу вмісту амонію у ґрунті на швидкість процесу нітрифікації, безрозмірна;  $NH_4$  – вміст амонію у ґрунті,  $mg N kg^{-1}$  ґрунту;  $K_{m2}$  – параметр рівняння (15). Згідно роботи [28] він дорівнює 2,6  $mg N kg^{-1}$  ґрунту. Вплив температури на інтенсивність процесу нітрифікації моделюється відповідно роботи [46] за виразом:

$$F_T = \frac{47.91}{\exp \left[ \frac{106}{(T_{soil} + 18.27)} \right] + 1} \quad (16)$$

де  $F_T$  – функція впливу температури на інтенсивність процесу нітрифікації, безрозмірна.

Кількість  $N_2O$ , яка виділяється в процесі нітрифікації, визначається в NOE-моделі [29] за співвідношенням між емісією  $N_2O$  та швидкістю процесу нітрифікації, що було встановлено на основі лабораторних експериментів. Ця залеж-

ність лінійна. В NOE-моделі передбачено, що при анаеробних умовах продукування  $N_2O$  йде зі швидкістю як продукування через денітрифікацію:

$$N_2O_{nit} = r_{nit}N_A, \quad WFPS < 0.62, \quad (17)$$

$$N_2O_{nit} = r_{max}r_{nit}N_A, \quad WFPS \geq 0.62, \quad (18)$$

де  $N_2O_{nit}$  – емісія  $N_2O$  при нітрифікації у ґрунті,  $kg\ N\ ga^{-1}d^{-1}$ ;  $r_{nit}$  – параметр пропорційності кількості виділення  $N_2O$  в процесі нітрифікації амонію ґрунту.

У зв'язку з майже повною відсутністю в Україні досягнутих результатів експериментальних спостережень за емісією парникових газів нами ідентифікація параметрів моделі виконувалась на основі опублікованих в літературних джерелах матеріалах експериментальних спостережень, які були отримані в процесі дослідження емісії парникових газів із сільськогосподарських угідь в умовах Західної Європи [33, 37, 50, 51], Росії [3, 10, 12] та України [11].

Розроблена нами на основі моделей [7, 17, 29] комплексна модель емісії парникових газів (plant-agrosoil-GHG-model) дозволяє вести численні експерименти з кількісної оцінки впливу факторів довкілля на викиди парникових газів та розраховувати щорічні значення емісії  $CO_2$  та  $N_2O$  із ґрунтів степових агроєкосистем.

**Результати. Умови виконання досліджень.** Чисельні експерименти з комплексною моделлю виконувались по матеріалах спостережень гідрометеорологічної станції Біловодськ, яка розташована в Луганській області Східної України (координати:  $49^{\circ}13''$  північної широти,  $39^{\circ}35''$  східної довготи, висота над рівнем моря 75 м.). Ґрунти: чорнозем звичайний легкоглинистий та важкосуглинковий. Ґрунти характеризуються високим вмістом часток менше 0,01 мм, вмістом вуглецю, гумусу, рН ґрунту, вмістом легкогідролізуемого азоту, об'ємною щільністю ґрунту (табл. 1). Розглядалися три роки (2017 – 2019), посіви озимої пшениці, весняно-літній період вегетації.

Таблиця 1

Основні характеристики ґрунтів у шарі 0-20 см

№ п/п	Рік	Тип ґрунту	Вміст часток < 0,01 мм, %	Вміст вуглецю, т га <sup>-1</sup>	Вміст гумусу, %	Актуальна кислотність, рН	Вміст легкогідролізуемого азоту, мг кг <sup>-1</sup>	Щільність ґрунту, г см <sup>-3</sup>
1	2017	Чорнозем звичайний легкоглинистий	64,1	69,2	4,93	7,8	137	1,21
2	2018	Чорнозем звичайний легкоглинистий	61,3	52,2	3,60	8,1	122	1,25
3	2019	Чорнозем звичайний важкосуглинковий	53,3	44,5	3,0	7,2	114	1,28

Три обраних для дослідження роки відрізнялись за температурним режимом та режимом опадів (табл. 2).

У весняні місяці температура повітря мінялась від 8,6 до 9,8 °С. Літній період характеризувався температурами повітря 20,9 – 21,9 °С. В осінній період температура повітря в ці роки була майже однакою (8,8 – 8,9 °С). Більш мінливі були опади. Кількість опадів за весну 2017 та 2018 років була практично однакою (152 – 154 мм), в той же час в 2019 році вона в 1,5 рази перевищувала їх і становила 226 мм.

В літні місяці в 2017 році кількість опадів була порівняно малою (їхня сума становила 78

мм), більше їх було в 2019 році (150 мм) і максимальна величина спостерігалась в 2018 році (177 мм). Осінні місяці в 2018 та 2019 роках характеризувались меншою кількістю опадів (79 – 82 мм) порівняно з 2017 роком (115 мм). В цілому за три календарних сезони найбільша кількість опадів спостерігалась в 2019 році (454 мм), менша в 2018 (417 мм) і найменша кількість була в 2017 році (345 мм).

Дані, наведені на рис. 1, надають уявлення про динаміку температури ґрунту на глибині 20 см та розмірів порового простору ґрунту, заповненого водою (WFPS) у ґрунті агроєкосистеми за роки дослідження.

Характеристика погодних умов календарних сезонів року

№ п/п	Рік	Середня за період температура повітря, °С			Сума опадів за період, мм			Сума за	
		Місяці							
		III-V	VI-VIII	IX-XI	III-V	VI-VIII	IX-XI		III-XI
1	2017	9,2	21,3	8,9	152	78	115	345	
2	2018	8,6	21,3	8,8	154	177	82	417	
3	2019	9,8	20,9	8,8	226	150	78	454	

*Емісія CO<sub>2</sub>*. Розраховані значення потоків CO<sub>2</sub> за періоди, коли температура ґрунту на глибині 20 см була позитивною, різняться в різні роки за рівнем емісії (рис. 2). Більш високий рівень потоків CO<sub>2</sub> спостерігався у 2017 році, меншим рівнем емісії CO<sub>2</sub> відрізняється 2018 рік. Ще нижчим був загальний рівень потоків CO<sub>2</sub> в 2019 році. Це було обумовлено різницею у вмісті гумусу та органічного вуглецю на ділянках вирощування озимої пшениці в ці роки (табл.1). Разом з тим, характерним є однаково невисокий рівень потоків CO<sub>2</sub> при досить низьких від 1 до 6 °С температурах ґрунту, Він складав 0,072 – 0,401 г С-CO<sub>2</sub> м<sup>-2</sup>·д<sup>-1</sup>.

Найбільш високий рівень емісії CO<sub>2</sub> спостерігався в 2017 році при поєднанні високої температури ґрунту (24 – 27 °С) та достатнього зволоження ґрунту (WFSP рівнялось 0,42 – 0,45 відн. од.) в період друга декада липня – друга декада серпня і складав 1,058 – 1,307 г С-CO<sub>2</sub> м<sup>-2</sup>·д<sup>-1</sup>. Максимальний рівень емісії CO<sub>2</sub> в 2018 році, який досягав 0,862 – 1,075 г С-CO<sub>2</sub> м<sup>-2</sup>·д<sup>-1</sup>, спостерігався в період третя декада червня – третя декада серпня на фоні температури ґрунту 23 – 25 °С та досить високої вологості ґрунту (WFSP складало 0,58 – 0,84 відн.од.). В 2019 році спостерігався досить тривалий період (з третьої декади травня по першу декаду вересня) з високою температурою повітря, що в окремі декади сягала 25–27 °С. За цей же період спостерігалось чотири декади з мінімальною кількістю опадів (0 – 3 мм за декаду) при цьому зволоження ґрунту було нерівномірним, WFSP складало 0,28 – 0,54 відн. од. В цей період потоки емісії CO<sub>2</sub> складали 0,658 – 0,780 г С-CO<sub>2</sub> м<sup>-2</sup>·д<sup>-1</sup>.

Сумарна емісія CO<sub>2</sub> по календарних сезонах року (табл. 3) в 2017 – 2019 рр. складала: в весняні місяці 0,457 – 0,475 т С-CO<sub>2</sub> га<sup>-1</sup> в літні місяці 0,670 – 0,822 т С-CO<sub>2</sub> га<sup>-1</sup>, в осінні місяці 0,366 – 0,498 т С-CO<sub>2</sub> га<sup>-1</sup>. Сумарно за три календарних сезони найбільша емісія була в 2017 році (1,763 т С-CO<sub>2</sub> га<sup>-1</sup> за період), дещо меншою вона була в 2018 році (1,680 т С-CO<sub>2</sub> га<sup>-1</sup> за період) і суттєво менше в 2019 р. (1,511 т С-CO<sub>2</sub> га<sup>-1</sup> за період).

В 2019 р. посіви озимої пшениці були розмі-

щені на полі, ґрунти якого характеризуються меншим вмістом органічної речовини і гумусу. Цим пояснюється менша сумарна кількість емісії CO<sub>2</sub> за три календарних сезони.

Найбільш високою інтенсивністю емісії CO<sub>2</sub> була в літні місяці, її рівень складав 0,729–0,990 г С-CO<sub>2</sub> м<sup>-2</sup>·д<sup>-1</sup>. У весняні і осінні місяці середня інтенсивність емісії CO<sub>2</sub> буде суттєво нижча.

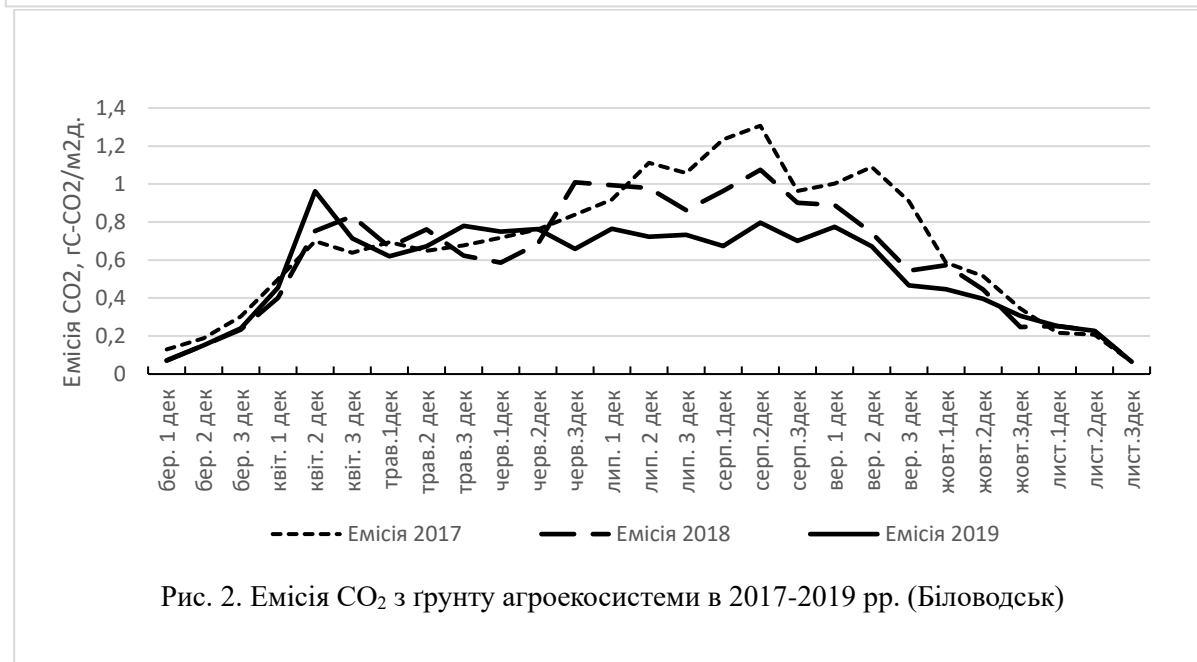
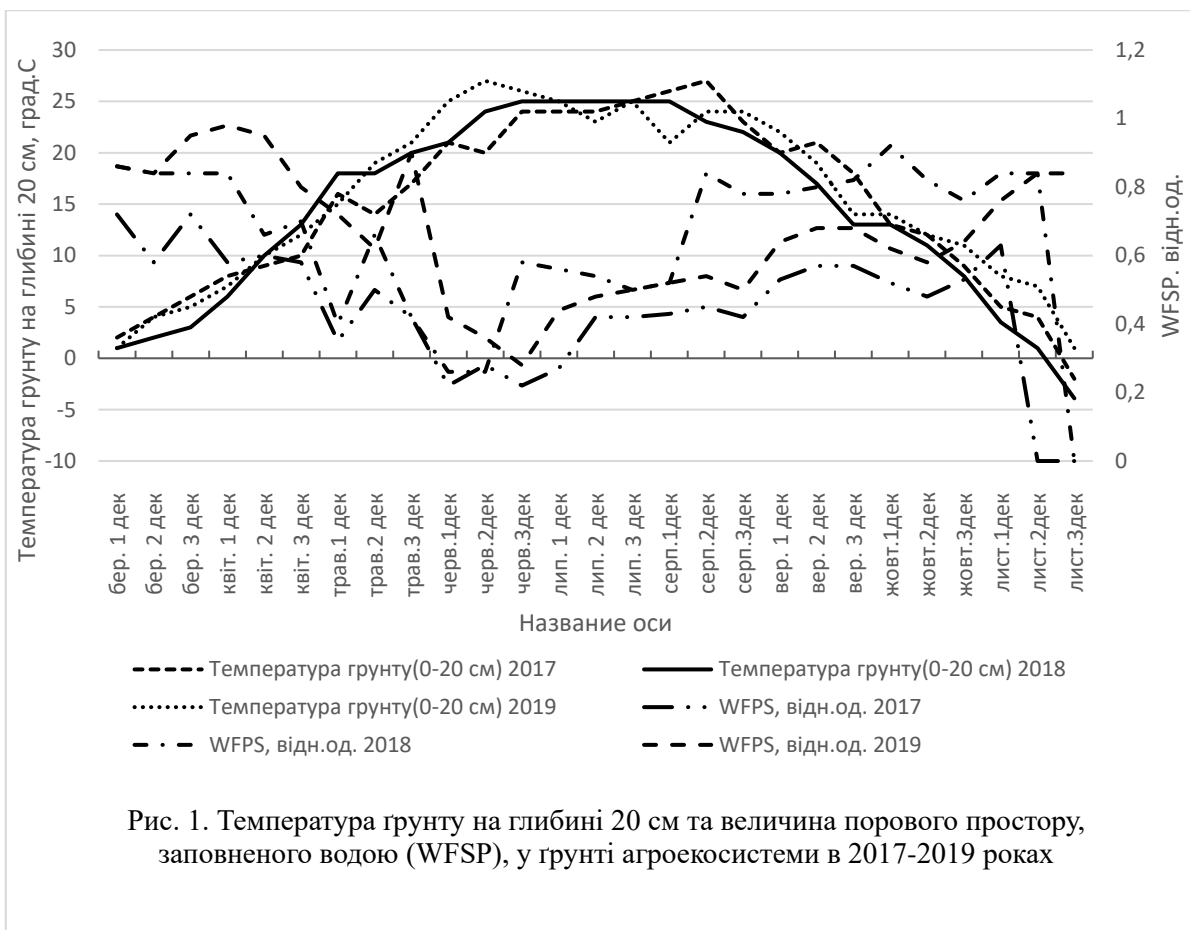
*Емісія N<sub>2</sub>O*. Потоки емісії N<sub>2</sub>O є результатами процесів нітрифікації та денітрифікації. У 2017–2019 рр. інтенсивність цих процесів змінювалась від 0 до 23 г N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup>·д<sup>-1</sup> (рис. 3).

Обидва процеси визначаються, головним чином, аерацією ґрунту. Збільшення вологості ґрунту погіршує умови аерації і призводить до денітрифікації. Вологість і температура ґрунту визначають інтенсивність процесів нітрифікації та денітрифікації. Сумарний потік емісії N<sub>2</sub>O залежить від співвідношення потоків N<sub>2</sub>O за рахунок нітрифікації та денітрифікації, яке суттєво відрізняється в окремі роки (рис. 3).

В 2017 році в першій та третій декадах березня в результаті підвищеної вологості ґрунту (рівень WFPS) сформувались анаеробні умови аерації ґрунту в шарі 0 – 20 см, що сприяло денітрифікації. Рівень WFPS був вище критичного рівня (WFPS > 0,62 відн. од.) і становив 70 – 0,72 відн. од. (рис. 1).

Такі умови визначили потік N<sub>2</sub>O за рахунок денітрифікації на рівні 1,338 – 1,800 г N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup>·д<sup>-1</sup>. В цей же час, спостерігалась незначна емісія N<sub>2</sub>O за рахунок нітрифікації (0,132 – 0,178 г N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup>·д<sup>-1</sup>). Решту часу, коли створились аеробні умови аерації у ґрунті, рівень WFPS був нижче критичного рівня (WFPS < 0,62 відн. од.), потік N<sub>2</sub>O визначався інтенсивністю процесу нітрифікації. Максимальні значення цього потоку (2,935 – 4,210 г N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup>·д<sup>-1</sup>) спостерігались в період перша декада серпня – третя декада вересня, коли температура ґрунту в окремі декади досягала 26–27 °С. Рівень WFPS в цей час утримувався в межах 0,43–0,53 відн. од. (рис. 1).

Погодні умови 2018 року склались таким чином, що спостерігалось декілька періодів підвищеної вологості орного шару ґрунту, які призводили до формування анаеробних умов і які ви-



значали рівень потоків N<sub>2</sub>O (рис. 3). Як видно з даних рис. 3, перший період спостерігався в квітні на фоні високого рівня WFPS (0,84 – 0,86 відн. од.) та температури ґрунту 6–13 °C на глибині 0–20 см (рис. 1).

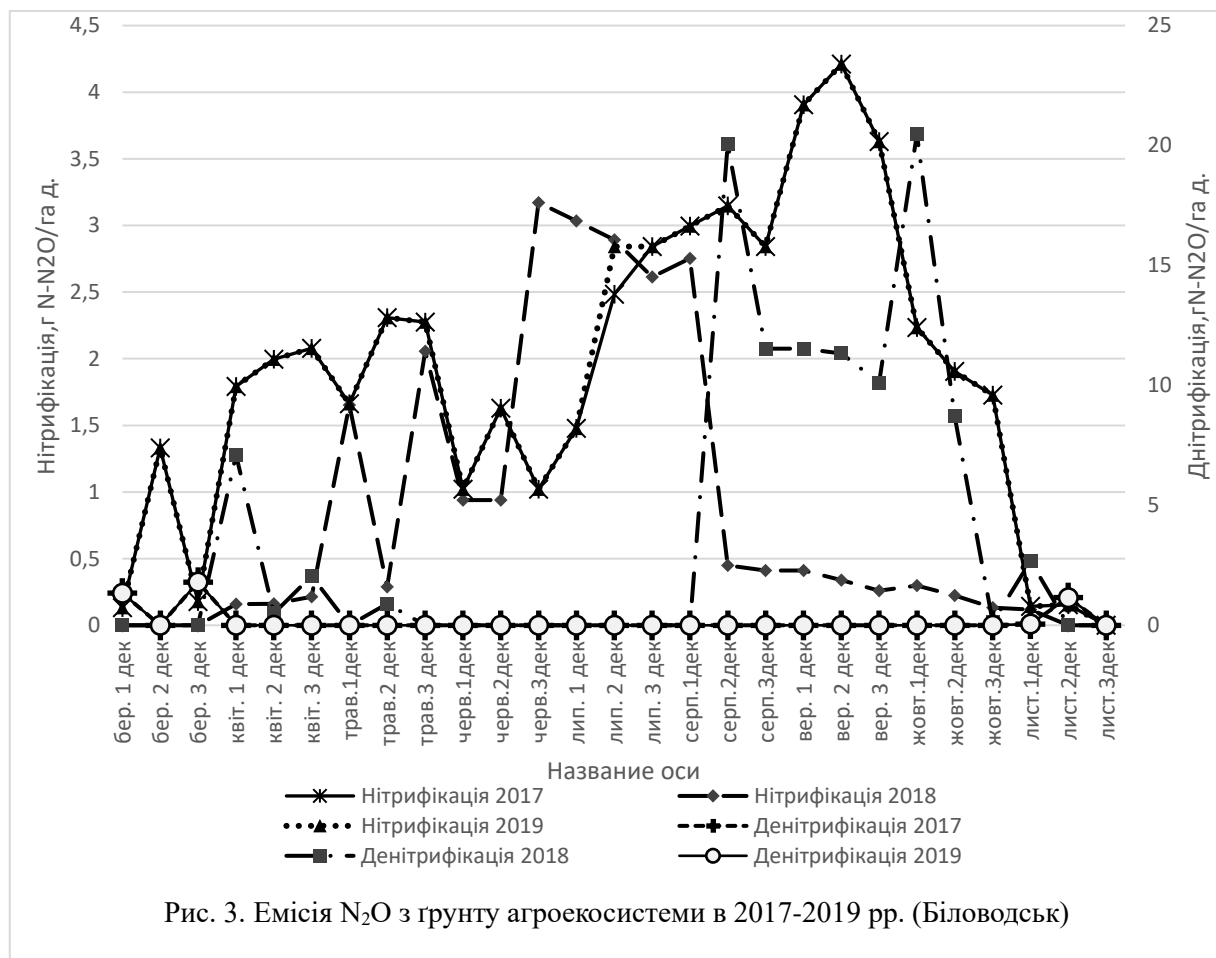
Емісія N<sub>2</sub>O за рахунок денітрифікації складала 0,492 – 7,100 г N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup>·д<sup>-1</sup>. Одночасно, досить сповільнений, відбувався процес нітрифікації, його інтенсивність складала 0,159 – 0,215 г N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup>·д<sup>-1</sup>. Другий, більш тривалий період

інтенсивного процесу денітрифікації спостерігався з другої декади серпня по першу декаду листопада (рис. 3). Особливо інтенсивним цей процес був в період друга декада серпня – перша декада жовтня, його інтенсивність складала 10,112 – 20,475 г N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup>·д<sup>-1</sup>, нітрифікація в цей час була сповільнена (0,260 – 0,449 г N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup>·д<sup>-1</sup>). Він відбувався на фоні зниження температури ґрунту, що знижувалась за період з 23 до 13 °C. Відповідно в цей період і знижува-



Емісія CO<sub>2</sub> за календарні періоди року

№ п/п	Рік	Емісія CO <sub>2</sub> за період, т С-CO <sub>2</sub> га <sup>-1</sup> період <sup>-1</sup>			Сума за	Середня інтенсивність емісії CO <sub>2</sub> за період, г С-CO <sub>2</sub> м <sup>-2</sup> ·д <sup>-1</sup>		
		Місяці				III-V	VI-VIII	IX-XI
		III-V	VI-VIII	IX-XI				
1	2017	0,457	0,808	0,498	1,763	0,498	0,990	0,549
2	2018	0,458	0,822	0,400	1,680	0,500	0,895	0,443
3	2019	0,475	0,670	0,366	1,511	0,518	0,729	0,401

Рис. 3. Емісія N<sub>2</sub>O з ґрунту агроєкосистеми в 2017-2019 рр. (Біловодськ)

лась інтенсивність процесу нітрифікації від 0,449 до 0,260 г N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup>·д<sup>-1</sup>.

В період з першої декади травня по першу декаду серпня на фоні досить високих температур ґрунту 18 – 25° С і низьких значень WFPS (0,260 – 0,580 відн. од.) процес нітрифікації відбувався досить інтенсивно. Максимальні значення його (2,614 – 3,172 г N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup>·д<sup>-1</sup>) спостерігались з третьої декади червня по першу декаду серпня на фоні температури ґрунту 25 °С та невисоких значень WFPS (0,481 відн. од.).

Умови зволоження 2019 року (рис.1) були ще більш строкатими, чим в 2018 році, з більш частим формуванням анаеробних умов в орному шарі ґрунту. Це обумовило наявність декількох періодів протікання інтенсивного процесу дені-

трифікації: 1) перша декада березня – перша декада травня; 2) третя декада травня; 3) перша декада вересня – третя декада вересня; 4) перша декада жовтня – третя декада листопада.

У виділених першому та другому періодах особливо високим був рівень інтенсивності денітрифікації в третій декаді березня (30,344 г N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup>·д<sup>-1</sup>), другій декаді квітня (38,461 г N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup>·д<sup>-1</sup>) і третій декаді травня (29,450 г N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup>·д<sup>-1</sup>), коли величина WFPS була близька до одиниці. В ці декади температура ґрунту була відповідно 5, 10 і 21°С.

В червні – серпні рівень зволоження був невисоким, величина WFPS складала 0,280 – 0,520 відн. од.), а температура ґрунту утримувалась на рівні 21 – 27 °С. Інтенсивність процесу нітрифі-

кації складала 1,729 – 3,056 г N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup>·д<sup>-1</sup>. Подібна ситуація складалась і в першій – другій декадах жовтня. Температура ґрунту утримувалась на рівні 11 – 13 °С, а величина WFPS дорівнювала 0,580 – 0,620 відн. од.

Характер емісії N<sub>2</sub>O за календарні періоди року наведено в табл. 4. В весняні місяці 2017 – 2018 рр. сумарна емісія N<sub>2</sub>O складала 0,153 – 0,173 кг N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup>. Високий рівень зволоження ґрунту весною 2019 р., при якому інтенсивно

проходив процес денітрифікації, обумовив досить значну сумарну емісію N<sub>2</sub>O (1,134 кг N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup>) в цей період.

В літній період емісія N<sub>2</sub>O складала 0,202 – 0,503 кг N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup>, а в осінні місяці 0,192 – 0,660 кг N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup>. Сумарно за три календарних сезони найбільша емісія була в 2019 році (1,567 кг N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup> за період). Меншою була величина емісії в 2018 році (1,323 кг N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup>) і ще меншою в 2017 р. (0,569 кг N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup> за період).

Таблиця 4

Емісія N<sub>2</sub>O за календарні періоди року

№ п/п	Рік	Емісія N <sub>2</sub> O за період, кг N-N <sub>2</sub> O га <sup>-1</sup> за період			Сума за	Середня швидкість емісії N <sub>2</sub> O за період, г N-N <sub>2</sub> O м <sup>-2</sup> ·д <sup>-1</sup>		
		Місяці				III-XI	III-V	VI-VIII
		III-V	VI-VIII	IX-XI				
1	2017	0,173	0,204	0,192	0,569	1,624	2,202	2,245
2	2018	0,153	0,503	0,667	1,323	3,341	5,422	7,533
3	2019	1,134	0,202	0,231	1,567	15,592	2,384	2,568

Інтенсивність емісії N<sub>2</sub>O змінювалась по календарних порах року, найбільш високою вона була в весняні місяці (2018 і 2019 роках) та в осінні місяці (2017 і 2018 роки), збільшення вологості ґрунту погіршувало умови аерації ґрунту, що призводило до інтенсивного процесу денітрифікації.

**Дискусія.** Спостереження за емісією парникових газів з сільськогосподарських угідь та природних екосистем проводяться в рамках різноманітних досліджень, а прогнози (розрахунки) емісії виконуються за допомогою моделей різного рівня складності (як емпіричних так і фізичних) з використанням різноманітної базової інформації.

Серед комплексних моделей, які використовуються для отримання прогнозних оцінок емісії парникових газів, слід виділити результати, отримані за допомогою моделі DAYCENT [39]. Достойнство цієї моделі полягає як у високій ступені фізичної обґрунтованості, так і в експліцитному оперуванні екологічно важливими кліматичними факторами, моделюванням щоденної продуктивності рослин, поживних речовин, потоків парникових газів, стану ґрунтових вод та температури.

Модель DAYCENT широко застосовується для моделювання урожаю та емісії парникових газів [13, 22, 23]. В роботі [24] за цією моделлю оцінено потенційний урожай енергокультур та потоки емісії парникових газів в центральній Флориді. Вони становили для різних типів ґрунтів (пасовисько, енергокультури) в середньому емісії CO<sub>2</sub> на рівні 500 – 800 г С м<sup>-2</sup> за рік.

В роботі [51] в умовах Європи потік емісії CO<sub>2</sub> з ґрунту оцінюється з трав'янистої рослинності (пасовища) кількістю 0,52 т CO<sub>2</sub>-С га<sup>-1</sup> за рік. Для орних земель спостерігається більш високе значення емісії CO<sub>2</sub> (0,84 т CO<sub>2</sub>-С га<sup>-1</sup> за рік). Виконані в [11] на чорноземах Лівобережної частини України багаторічні вимірювання балансу вуглецю і емісії CO<sub>2</sub> з чорноземного ґрунту під однорічними травами демонструють середні значення потоків CO<sub>2</sub>, рівні 0,524 – 0,525 т CO<sub>2</sub>-С га<sup>-1</sup> за рік. Багаторічні дослідження [12], проведені у Володимирській області показали, що продукування вуглекислого газу однією і тією ж культурою в різні роки варіює залежно від гідротермічних умов, коливання між мінімальним і максимальним виділенням CO<sub>2</sub> становлять для: ячменю 111 – 467 кг С-CO<sub>2</sub> га<sup>-1</sup>, люпину 429 – 1356 кг С-CO<sub>2</sub> га<sup>-1</sup>, пару 141 – 1033 кг С-CO<sub>2</sub> га<sup>-1</sup>, озимої пшениці 792 – 1259 кг С-CO<sub>2</sub> га<sup>-1</sup>, картоплі 521 – 883 кг С-CO<sub>2</sub> га<sup>-1</sup>, покладів 521 – 2321 кг С-CO<sub>2</sub> га<sup>-1</sup>.

У виконаних нами модельних розрахунках сумарних потоків емісії CO<sub>2</sub> річні значення змінюються від року до року залежно від погодних умов і в межах 1,511 – 1,763 т С-CO<sub>2</sub> га<sup>-1</sup>. Вони співвідносяться з результатами експериментальних вимірювань, наведених вище літературних даних.

За допомогою моделі DAYCENT в роботі [24] оцінено емісію N<sub>2</sub>O в умовах Флориди, вона становила від 0,05 до 1,0 г N м<sup>-2</sup> за рік. За допомогою моделі SWAT N<sub>2</sub>O [54], алгоритм якої засновано на роботі [40], виконана оцінка емісії N<sub>2</sub>O в умовах Голландії. Річна емісія N<sub>2</sub>O на полі

з кукурудзою становила за період 2009 – 2014 рр. 8,48 кг N га<sup>-1</sup>. В роботі [52] з удобрених полів озимої пшениці отримано значення емісії N<sub>2</sub>O для двох років спостережень (2006 – 2007 та 2007 – 2008) відповідно 2,1 – 3,4 та 3,2 – 7,5 кг N га<sup>-1</sup>. В умовах південного сходу Шотландії [47] на полях картоплі і пасовищ спостерігались більш високі річні викиди N<sub>2</sub>O на гектар (1,0 – 3,2 кг N<sub>2</sub>O-N га<sup>-1</sup>), ніж з поля ярого ячменю або озимої пшениці (0,3 – 0,8 кг N<sub>2</sub>O-N га<sup>-1</sup>). На орних землях, особливо на картопляних полях, значна частина викидів сталася після збору врожаю. В роботі [31] наводяться дані емісії N<sub>2</sub>O для дев'яти сільськогосподарських ґрунтів Європи, яка складає 0,2 – 6,6 кг N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup> за рік. Для території Саксонії в роботі [16] за допомогою моделі DNDC була оцінена щорічна емісія N<sub>2</sub>O з сільськогосподарських та лісових ґрунтів, яка становила відповідно 0,5 – 26,0 та 0,04–19,7 кг N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup>. Для умов Італії в роботі [15] визначили емісію N<sub>2</sub>O з овочевих культур, яка складала 0,3 – 5,5 кг N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup> за сезон. Щорічні викиди N<sub>2</sub>O із мінеральних ґрунтів за даними [48] становлять 0,3 – 10,7 кг N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup>. В роботі [44] встановлено, що для пшениці емісія N<sub>2</sub>O становила 0,5 – 3,7 кг N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup>. В роботі [3] виконана оцінка емісії N<sub>2</sub>O із супіщаних дерново-підзолистих ґрунтів за допомогою моделі DNDC, за якою вона становила 0,3 – 0,7 кг N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup> за сезон.

Наші модельні розрахунки оцінюють емісію N<sub>2</sub>O за період, коли температура ґрунту на глибині 20 см була позитивною, для трьох досліджуваних років в розмірі 0,569 – 1,537 кг N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup>. Вони досить задовільно узгоджуються з наведеними вище літературними даними.

**Висновки.** На основі синтезу підходів з моделювання емісії CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O та продуктивності агроєкосистем розроблено комплексну модель емісії парникових газів із ґрунтів агроєкосистем (plant-agrosoil-GHG-model).

Результати моделювання емісії CO<sub>2</sub> за допомогою розробленої комплексної моделі емісії парникових газів із ґрунтів агроєкосистем показали, що спостерігається міжсезонна та міжрічна зміна потоків CO<sub>2</sub>. Вони варіюють в залежності від температури ґрунту, вологості ґрунту та вміс-

ту гумусу у ґрунті. За деяким винятком емісія CO<sub>2</sub> в весняні місяці була вищою ніж в осінні. Максимальна інтенсивність викидів CO<sub>2</sub> спостерігалась в літні місяці на фоні високих температур ґрунту, що визначило і найбільшу сумарну кількість викидів у літній сезон (0,670 – 0,822 т C-CO<sub>2</sub> га<sup>-1</sup> за літо). Сумарна кількість викидів CO<sub>2</sub> за літо складає майже половину всієї кількості емісії CO<sub>2</sub> за період, коли температура ґрунту на глибині 20 см була позитивною.

Спостерігається коливання річних (за три календарних сезони) сум емісії CO<sub>2</sub>, найменша емісія була на полі, яке відзначалося меншим вмістом органічної речовини і гумусу у ґрунті.

Кількісна оцінка емісії N<sub>2</sub>O за допомогою моделі показала істотні відмінності як інтенсивності потоків, так і їхньої сумарної кількості в залежності від погодних умов. Встановлено, що найбільш інтенсивна емісія N<sub>2</sub>O спостерігалась в періоди високого рівня зволоження ґрунту, коли створювались анаеробні умови у ґрунті. Особливо інтенсивним процес денітрифікації відбувався в весняний період 2019 року, коли за період березень – травень випало 226 мм опадів, а обсяг порового простору, заповненого водою WFPS, сягав більше 0,8 відн.од. Середня за цей період інтенсивність емісії N<sub>2</sub>O складала 15,592 г N-N<sub>2</sub>O м<sup>-2</sup>, а сумарна кількість емісії була найбільшою (1,134 кг N-N<sub>2</sub>O га<sup>-1</sup>). За рахунок інтенсивного процесу денітрифікації емісія N<sub>2</sub>O в цей рік була максимальною. Найменший рівень емісії N<sub>2</sub>O спостерігався в умовах досить високих температур і недостатньої зволоженості ґрунту, що було характерним для 2017 року.

Моделювання емісії парникових газів із ґрунтів агроєкосистем є важливою складовою моніторингу викидів CO<sub>2</sub> та N<sub>2</sub>O. Представлена комплексна модель емісії парникових газів дозволяє кількісно оцінити щодакдану динаміку емісії CO<sub>2</sub> та N<sub>2</sub>O, розширити уявлення про динаміку міжмісячної та міжсезонної зміни потоків емісії, оцінити просторово-часову мінливість їх на теренах України. Розвиток моделі в майбутньому буде спиратись на поглиблення дослідження процесів та їх взаємодії, розширення експериментальних короткоперіодних та тривалих досліджень емісії парникових газів з природних та антропогенних екосистем.

#### Література

1. Барбер С. А. Биологическая доступность питательных веществ в почве [Текст] / С. А. Барбер. – М.: ВО «Агропромиздат», 1988. – 376 с.
2. Бихеле З. Н. Математическое моделирование транспирации и фотосинтеза растений при недостатке почвенной влаги [Текст] / З. Н. Бихеле, Х. А. Молдау, Ю. К. Росс. – Л.: Гидрометеоиздат, 1980. – 223 с.
3. Бучкина Н.П. Эмиссия N<sub>2</sub>O из супесчаных дерновоподзолистых почв и её прогнозирование с помощью модели DNDC [Текст] / Н. П. Бучкина, Е. В. Балашов, У. Я. Рижия, С. В. Павлик. // в материалах Международной конференции «Современная агрофизика – высоким технологиям», 25-27 сентября 2007 года. – С.-Пб.: 2007. – С. 272-273.

4. Иванов Н. Н. Об определении величин испаряемости [Текст] / Н. Н. Иванов – М.: Известия ВГО. – 1954. – Том 86. – № 2.
5. Новиков А. А. Обоснование роли корневых и пожнивных остатков в агроценозе [Текст] / А. А. Новиков // Научный журнал Куб. ГАУ. – 2012. – № 78 (04). – С. 1-10.
6. Полевой А. Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур [Текст] / А. Н. Полевой – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 175 с.
7. Польовий А.М. Моделювання продуктивності агроєкосистем [Текст] / А. М. Польовий // Вісник Одеського державного Екологічного Університету. – 2005. – Вип. 1. – С. 79-86.
8. Полевой А. Н. Моделирование фотосинтеза зеленого листа у растений типа С3 и С4 при изменении концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере [Текст] / А. Н. Полевой // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – М.: 2010. – Том XXIII. – С. 297-316.
9. Полевой А. Н. Оценка динамики органического углерода чернозема оподзоленного в полевом севообороте при изменении климата [Текст] / А. Н. Полевой, Л. Е. Божко // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. – 2019. – № 2. – С. 65-78. DOI: <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-2-65-78>
10. Пуртова Л. Н. и др. Эмиссия углекислого газа из почв природных и антропогенных ландшафтов юга Приморья [Текст] / Л. Н. Пуртова, Н. М. Костенков, В. А. Семаль, И. В. Комачкова // Журнал Фундаментальные исследования. – 2013. – № 1. – С. 555-558.
11. 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.
12. Шилова Н. А. Динамика выделения CO<sub>2</sub> в посевах полевых культур на дерново-подзолистых и торфяных почвах [Текст] / Н. А. Шилова // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – № 1(52). – С. 104-113.
13. Adler P. R. Life-Cycle assessment of net greenhouse-gas flux for bioenergy cropping systems [Text] / P.R. Adler, S.J. Grosso, W.J. Parton // Ecol Appl. – 2007. – Vol. 17. – P. 675-691. <https://doi.org/10.1890/05-2018>
14. Autret B. Alternative arable cropping systems: a key to increase soil organic carbon storage? Results from a 16 year field experiment [Text] /B. Autret, B. Mary, C. Chenu, M. Balabane et al. // Agric. Ecosyst. Environ. – 2016. – Vol. 232. – P. 150-164. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.07.008>
15. Bosko S. Greenhouse Gas Emissions from Soil Cultivated with Vegetables in Crop Rotation under Integrated, Organic and Organic Conservation Management in a Mediterranean Environment [Text] / S. Bosko, I. Volpi., D. Antichi, G. Ragaaglini et al. // Agronomy. 2019. – Vol. 9. – 446 p. <https://doi.org/10.3390/agronomy9080446>
16. Butterbach-Bahl K. Quantifying the regional source strength of N-trace gases across agricultural and forest ecosystems with process based models [Text] / K. Butterbach-Bahl, M. Kesik, P. Miehle, H. Papen et al. // Plant and Soil. – 2004. – Vol. 260. – P. 311-329. <https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000030186.81212.fb>
17. Coleman K. A model for the turnover of carbon in soil. Model description and windows users guide [Text] / K. Coleman, D.S. Jenkinson // Rothamsted Research Harpenden Herts. – 2008. – ROTHC-26.3. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-61094-3\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-642-61094-3_17)
18. Corre M. D. Am-bient nitrous oxide emissions from different landform com-plexes as affected by simulated rainfall [Text] / M.D. Corre, C. van Kessel, D.J. Pennock, M.P. Solohub // Commun Soil SciPlant Anal. – 1995. – Vol. 26(13/14). – P. 2279-2293. <https://doi.org/10.1080/00103629509369446>
19. Curry R. B. Dynamic simulation of plant growth / 1. Development of a model [Text] / R.B. Curry // Trans. ASAE, – 1971. – Vol. 14. – P. 946-959.
20. Davidson E.A. Fluxes of nitrous oxide and nitric acid from terrestrial ecosystem. In: Rogers J.E., Whitman W.B. (eds.). Microbial production and consumption of greenhouse gases: Methane, Nitrous oxide and Halomethane [Text] / E.A. Davidson // American Society of microbiology. Washington. – 1991. – P. 219-236.
21. Davidson E.A. Testing a conceptual model of soil emissions of nitrous and nitric oxides [Text] / E.A. Davidson, M. Keller, H.E. Erickson, V. Louis et al. // Bioscience. – 2000. – Vol. 50(8). – P. 667-680. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050\[0667:TACMOS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[0667:TACMOS]2.0.CO;2)
22. Del Grosso S.J. DayCent model analysis of past and contemporary soil N<sub>2</sub>O and net greenhouse gas flux for major crops in the USA [Text] / S.J. Del Grosso, A.R. Mosier, W.J. Parton, D.S. Ojima // Soil Tillage Res. – 2005. – Vol. 83. – P. 9-24. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.02.007>
23. Del Grosso S.J. Modeling soil CO<sub>2</sub> emissions from ecosystems [Text] / S.J. Grosso, A.R. Mosier, W.J. Parton, E.A. Holland et al. // Biogeochemistry. – 2005. – Vol. 73. – P. 71-91. <https://doi.org/10.1007/s10533-004-0898-z>
24. Duval B.D. Predicting Greenhouse Gas Emissions and Soil Carbon from Changing Pasture to an Energy Crop [Text] / B.D. Duval, K.J. Anderson-Teixeira, S.C. Davis, C. Keogh et al. // PLoS ONE. – 2013. – Vol. 8(8). – 12 p. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072019>
25. Frohking S.E. Comparison of N<sub>2</sub>O emissions from soils at three temperate agricultural sites: simulations of year round measurements by four models Nutr. Cycl. [Text] / S.E. Frohking, A.R. Mosier, D.S. Ojima, C.Li et al. // Agroecosys. – 1998. – Vol. 52. – P. 77-105.
26. Garrido F. N<sub>2</sub>O and NO emissions by agricultural soils with low hydric potentials [Text] / F. Corrido, C. Henualt, H. Gaillard, S. Perez et al // Soil Biology and Biochemistry. – 2002. – Vol. 34. – P. 559-575. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(01\)00172-9](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00172-9)
27. Granli T. Nitrous oxide from agriculture [Text] / T. Granli, O.C. Bøckman // Norw J Agric Sci [Suppl]. – 1994. – Vol. 12. – P. 1-128.
28. Henualt C. NEMIS: a predictive model of denitrification on the field scale [Text] / C. Henualt, J.C. Germon // European Journal of Soil Science. – 2000. – Vol. 51. – P. 257-270. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2000.00314.x>
29. Henualt C. Predicting in situ emission using NOE algorithm and soil database [Text] / C. Henualt, F. Bizouard, P. Laville, B. Gabrielle et al. // Global Change Biology. – 2005. – Vol. 11. – P. 115-127.

30. IPCC. *Climate Changes (2001): The Scientific Basis Contribution [Text]*. Cambridge University Press. Cambridge. 2001. – 881 p.
31. Kaiser E.-A. *What predicts nitrous oxide emissions and denitrification N-loss from European soils? [Text]* / E.-A. Kaiser, F. Eiland, J.C. Germon, M.A. Gispert et al. // *Z Pflanzenernaehr Bodenkd.* – 1996. – Vol. 159. – P. 541-547.
32. Kaiser E.-A. *Nitrous oxide release from arable soil: importance of N-fertilization, crops and temporal variation [Text]* / E.-A. Kaiser, K. Kohrs, M. Kücke, E. Schnug et al. // *Soil Biol Bio-chem.* – 1998. – Vol. 30. – P. 1553-1563.
33. Lokupitya F. *Agricultural soil greenhouse gas emissions: A review of national inventory methods [Text]* / F. Lokupitya, K. Paustian // *Article Literature Review (PDF Available) in Journal of Environmental Quality.* – 2006. – Vol. 35(4). – P. 1413-1427. <https://doi.org/10.2134/jeq2005.0157>
34. Mac Kenzie A.F. *Nitrous oxide emission in three years as affected by tillage, corn-soybean-alfalfa rotations and nitrogen fertilization [Text]* / A.F. Mac Kenzie, M.X. Fan, F. Cadrin // *J Environ Qual.* – 1998. – Vol. 27. – P. 698-703. <https://doi.org/10.2134/jeq1998.00472425002700030029x>
35. McCree K.J. *An equation for the rate of respiration of white clover plants growth under controlled condition [Text]* / K.J. McCree // In: *Prediction and measurement of photosynthetic productivity.* – Wageningen: Pudoc. – 1970. – P. 221-229.
36. Mosier A.R. *Managing soil denitrification [Text]* / A.R. Mosier, J.W. Doran, J.R. Freney // *Journal of Soil and Water Conservation.* – 2002. – Vol. 57. – P. 505-512.
37. Oertel C. *Greenhouse gas emissions from soils-A review [Text]* / C. Oertel, J. Matschullat, K. Zurba, F. Zimmermann et al. // *Geochemistry.* – 2016. – Vol. 76. – No 3. – P. 327-352. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2016.04.002>
38. Parton W.J. *A general model for soil organic matter dynamics: sensitivity to litter chemistry, texture and management. in Quantitative Modeling of Soil Forming Processes (Special Pub) [Text]* / W.J. Parton, D.S. Ojima, C.V. Cole, D.S. Shimel // *Soil Science Society of America, Madison, W* – 1994. – P. 147-167. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub39.c9>
39. Parton W.J. *DAYCENT and its land surface submodel: description and testing [Text]* / W.J. Parton, M.D. Hartman, D.S. Ojima, D.S. Schimel // *Glob Planet Change.* – 1998. – Vol. 19. – P. 35-48.
40. Parton W.J. *Generalized model for NO<sub>x</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from soils [Text]* / W.J. Parton, E.A. Holland, S.J. Grosso, S.J. Hartman et al. // *Journal of Geophysical research.* – 2001. – Vol. 106(15). – P. 17403-17420. <http://hdl.handle.net/11858/00-001M-0000-000E-CE2B-9>
41. Poulton P. *Major limitations to achieving “4 per 1000” increases in soil organic carbon stock in temperate regions: evidence from long-term experiments at Rothamsted Research, United Kingdom [Text]* / P. Poulton, J. Johnston., A. Macdonald, R. White et al. // *Glob. Change Biol.* – 2018. – Vol. 24. – P. 2563-2584. <https://doi.org/10.1111/gcb.14066>
42. Robertson G.P. *Nitrification and denitrification in humid tropical ecosystems: potential control on nitrogen retention in mineral nutrient [Text]* / G.P. Robertson // In: *Tropical Forest and Savanna Ecosystems (ed. Procter J.).* Blackwell Scientific, Boston: 1989. – P. 55-69.
43. Robertson G.P. *Denitrification in a lowland tropical rain forest [Text]* / G.P. Robertson, J.M. Tiedje // *Nature.* – 1988. – Vol. 336. – P. 756-759.
44. Roelandt C. *Estimating annual N<sub>2</sub>O emissions from agricultural soils in temperate climates [Text]* / C. Roelandt, B. van Wesemael, M. Rounsevell // *Global Change Biol.* – 2015. – Vol. 11. – P. 1701-1711. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01025.x>
45. Sándor R. *The use of biogeochemical models to evaluate mitigation of greenhouse gas emissions from managed grasslands [Text]* / R. Sándor, F. Ehrhardt, L. Brilli, M. Carozzi et al. // *Science of The Total Environment.* – 2018. – Vol. 642. – P. 292-306. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01976249>
46. Smith J. *Model to Estimate Carbon in Organic Soils – Sequestration and Emissions (ECOSSE) [Text]* / J. Smith., P. Gottschalk, J. Bellarby // *Institute of Biological and Environmental Sciences.* – Aberden. Scotland. – 2010. – 73 p.
47. Smith K.A. *Emissions of N<sub>2</sub>O from Scottish agricultural soils, as a function of fertilizer N [Text]* / K.A. Smith, I.P. McTaggart, F. Conen // *Nutrient Cycling in Agroecosystems.* – 1998 – Vol. 52. – P. 123-130.
48. Stehfest E. *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 [Text]* / E. Stehfest, L. Bouwman // *Nutr. Cycl. Agroecosys.* – 2006. – Vol. 74. – P. 207-228. <https://doi.org/10.1007/s10705-006-9000-7>
49. Stockmann U. *The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon [Text]* / U. Stockmann, M.A. Adams, J.W. Crawford, D.J. Field et al. // *Agric. Ecosyst. Environ.* – 2013. – Vol. 164. – P. 80-99. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.10.001>
50. Syp A. *Modeling Impact of Climate Change and Management Practices on Greenhouse Gas Emissions from Arable Soils [Text]* / A. Syp, A. Faber, J. Kozyra, R. Borek et al. // *Pol. J. Environ. Stud.* – 2011. – Vol. 20(6). – P. 593-1602.
51. Vleeshouwers L.M. *Carbon emission and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe [Text]* / L.M. Vleeshouwers, A. Verhagen // *Global Change Biology.* – 2002. – Vol. 8. – P. 519-530. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00485.x>
52. Wei R. *Biogeosciences Nitrous oxide emission from highland winter wheat field after long-term fertilization [Text]* / R. Wei, M.D. Hao, X.H. Xue, P. Shi et al. // *Biogeosciences.* – 2010. – Vol. 7. – P. 3301-3310. <https://doi.org/10.5194/bg-7-3301-2010>
53. Yadav D. *Modelling carbon dioxide emissions from agricultural soils in Canada [Text]* / D. Yadav, J Wang // *Environ Pollut.* – 2017. – Vol. 230. – P. 1040-1049. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.066>
54. Yang Q. *Enhancing the soil and water assessment tool model for simulating N<sub>2</sub>O emissions of three agricultural systems [Text]* / Q. Yang, X. Zhang, M. Abraha, S. Del Grosso et al. // *Ecosystem Health and Sustainability.* – 2017. – Vol. 3. – No. 2. – P. 1-12. <https://doi.org/10.1002/ehs2.1259>

Надійшла до редакції 31 травня 2020 р.

Прийнята 15 червня 2020 р.

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

UDC 631.461:574.2:504.7

*Anatoly Polevoy,*

DSc (Geography), Professor, Head of Department of Agrometeorology and Agroecology,  
Odessa State Environmental University, 15 Lvivska St., Odessa, 65016, Ukraine,  
e-mail: [apolevoy@te.net.ua](mailto:apolevoy@te.net.ua), <https://orcid.org/0000-0001-8395-0068>;

*Lyudmila Bozhko,*

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Agrometeorology and Agroecology,  
Odessa State Environmental University,  
e-mail: [bozhko@i.ua](mailto:bozhko@i.ua), <https://orcid.org/0000-0002-8712-2099>

## MODELLING DYNAMICS OF EMISSION OF GREENHOUSE GASES (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O) FROM SOILS IN AGROECOSYSTEMS

**Problem formulation.** One of the main factors affecting climate change is the greenhouse effect conditioned by adding greenhouse gases to the atmosphere, among which CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O are the most dangerous heat-trapping gases. In addition to anthropogenic activities, the source of greenhouse gases is emissions from natural ecosystems and agroecosystems. Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) accounts for the largest share of greenhouse gas emissions, nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) also has large global warming potential, being nearly 300 times higher than CO<sub>2</sub> on a weight basis.

**The purpose of the study** is to create the integrated model of greenhouse gas emissions from soils in the agroecosystems on the basis of studies concerning modelling carbon dioxide emissions from mineral soils, quantitatively describing nitrous oxide emissions and modelling agroecosystem productivity.

**Methods.** Mathematical modelling of environmental processes, the synthesis of quantitative approaches to their description.

**Results.** The results of modelling greenhouse gas emissions from soils in agro-ecosystems during 2017-2019 obtained by means of the integrated model developed showed that there is an interseasonal and interannual variability of CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O fluxes. The higher CO<sub>2</sub> flow rate was observed in 2017, in 2018 the lower CO<sub>2</sub> emission intensity was discovered and in 2019 the CO<sub>2</sub> flow rate was even lower. The emission of greenhouse gases varies depending on soil temperature, moisture and humus level of the soil. The equally low level of CO<sub>2</sub> fluxes was observed at sufficiently low (from 1 to 6°C) soil temperatures. It was 0.072 – 0.401 g C-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/day. The highest level of CO<sub>2</sub> emission was observed in 2017 with a combination of high soil temperature (24-27°C) and sufficient soil moisture, and varies between 1,058 to 1,307 g C- CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/day.

It was revealed that the most intense emission of N<sub>2</sub>O was observed during periods of high soil moisture when anaerobic conditions were established in the soil. The denitrification process was particularly intense in the spring of 2019, when the seasonal precipitation sum was 226 mm, and water-filled pore space (WFPS) reached more than 0.8 relative units. The average emission level of N<sub>2</sub>O was 15.592 g N-N<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>/day over this period, and the total N<sub>2</sub>O emission was the highest (1.134 kg of N-N<sub>2</sub>O/ha).

The N<sub>2</sub>O emission intensity varied depending on the meteorological seasons. In the spring of 2017 and spring of 2018, the total N<sub>2</sub>O emission was 0.153–0.173 kg N-N<sub>2</sub>O/ha. The N<sub>2</sub>O emissions reached to 0.202–0.503 kg N-N<sub>2</sub>O/ha in the summer season and 0.192–0.660 kg N-N<sub>2</sub>O/ha in the autumn. The highest emission levels were observed in the spring seasons (2018 and 2019) and in the autumn months (2017 and 2018), an increase in soil moisture worsened soil aeration, which led to an intensive denitrification process. In total, for the three meteorological seasons the highest emission was in 2019 (1.567 kg N- N<sub>2</sub>O/ha). The emission level was lower in 2018 (1.323 kg N-N<sub>2</sub>O/ha) and even lower in 2017 (0.569 kg N-N<sub>2</sub>O/ha).

**Conclusions.** Based on the synthesis of approaches to modelling CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O emissions and agroecosystem productivity, an integrated model of greenhouse gas emissions from soils in agro-ecosystems has been developed (plant-agrosoil-GHG-model). The interseasonal and interannual variability of CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O fluxes and their dependence on weather conditions and humus level of the soil have been obtained.

**Keywords:** modelling, emission, carbon, nitrogen, soil, productivity, agroecosystem, air temperature, precipitation, soil moisture.

### References

1. Barber S.A. (1988). *Bioavailability of nutrients in the soil*. M.: VO Agropromizdat. 376. [in Russian].
2. Bihele Z.N, Moldau Kh.A., Ross Yu.K. (1980). *Mathematical modeling of transpiration and photosynthesis of plants with a lack of soil moisture*. L.: Hydrometeoizdat. 223. [in Russian].
3. Buchkina N.P., Balashov E.V., Riga U.Ya., Pavlik S.V.(2007). *Emission of N<sub>2</sub>O from sandy loamy sod-podzolic soils and its prediction using the DNDC model*. International conference "Modern agrophysics - high technologies", September 25-27 2007. St.-Petersburg: 272-273. [In Russian].

4. Ivanov N.N. (1954). On the determination of the values of evaporation. *Izvestiya VGO*. 86, 2. [in Russian].
5. Novikov A.A. (2012). Substantiation of the role of root and crop residues in the agrocenosis. *Scientific journal Cube. GAU*, 78 (04), 1-10. [in Russian].
6. Polevoy A.N. (1983). *Theory and calculation of the productivity of agricultural crops*. L.: Gidrometeoizdat, 175. [in Russian].
7. Poloviy A.M. (2005). Model of productivity of agroecosystems. *Bulletin of the Odessa State Ecological University*. 1, 79-86. [in Ukrainian].
8. Polevoy A.N. (2010). Modeling of photosynthesis of green leaves in C3 and C4 plants with changes in the concentration of CO2 in the atmosphere. *Problems of ecological monitoring and modeling of ecosystems*. M.: XXIII, 97-316. [in Russian].
9. Polevoy A.N., Bozhko L.E. (2019). Assessment of the dynamics of organic carbon in podzolized chernozem in field crop rotation under climate change. *Journal of the Belarusian State University. Geography. Geology*. 2, 65-78. [in Russian] DOI: <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-2-65-78>
10. Purtova L.N. et al. (2013). Carbon dioxide emission from soils of natural and anthropogenic landscapes in the south of Primorye. *Fundamental research*. 1, 555-558. [in Russian].
11. Syabruk O.P. (2013). Evaluation of the consumption of carbon from black soil typical for the development of fertilization systems. *Agrochemistry and runtoznavstvo*. 80, 140-146. [In Ukrainian].
12. Shilova N.A. (2014). Dynamics of CO2 emission in field crops on sod-podzolic and peat soils. *Soil Science and Agrochemistry*. 1 (52), 104-113. [in Russian].
13. Adler, P.R., Del Grosso, S.J., Parton W.J. (2007). Life-Cycle assessment of net greenhouse-gas flux for bioenergy cropping systems. *Ecol Appl*. 17, 675-691. [in English]. <https://doi.org/10.1890/05-2018>
14. Autret, B., Mary, B., Chenu, C. et al. (2016). Alternative arable cropping systems: a key to increase soil organic carbon storage? Results from a 16 year field experiment. *Agric. Ecosyst. Environ*. 232, 150-164. [in English]. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.07.008>
15. 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. [in English]. <https://doi.org/10.3390/agronomy9080446>
16. 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. [in English]. <https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000030186.81212.fb>
17. Coleman, K., Jenkinson, D.S. (2008). A model for the turnover of carbon in soil. Model description and windows users guide. Rothamsted Research Harpenden Herts. ROTHC-26.3. [in English]. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-61094-3\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-642-61094-3_17)
18. Corre M.D., van Kessel, C., Pennock, D.J. et al. (1995). Am-bient nitrous oxide emissions from different landform complexes as affected by simulated rainfall. *Commun Soil Sci. Plant Anal*. 26(13/14), 2279-2293. [in English]. <https://doi.org/10.1080/00103629509369446>
19. Curry, R.B. (1971). Dynamic simulation of plant growth. 1. Development of a model. *Trans. ASAE*, 14, 946-959. [in English].
20. Davidson, E.A. (1991). Fluxes of nitrous oxide and nitric acid from terrestrial ecosystem. In: Rogers J.E., Whitman W.B. (eds.). *Microbial production and consumption of greenhouse gases: Methane, Nitrous oxide and Halomethane*. American Society of microbiology. Washington: 219-236. [in English].
21. Davidson, E.A., Keller, M., Erickson, H.E. et al. (2000). Testing a conceptual model of soil emissions of nitrous and nitric oxides. *Bioscience*. 50(8), 667-680. [in English]. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050\[0667:TACMOS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[0667:TACMOS]2.0.CO;2)
22. Del Grosso, S.J., Mosier, A.R., Parton, W.J. et al. (2005). DayCent model analysis of past and contemporary soil N2O and net greenhouse gas flux for major crops in the USA. *Soil Tillage Res*. 83, 9-24. [in English]. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.02.007>
23. Del Grosso, S.J., Parton, W.J., Moiser, A.R. et al. (2005). Modeling soil CO2 emissions from ecosystems. *Biogeochemistry*. 73, 71-91. [in English]. <https://doi.org/10.1007/s10533-004-0898-z>
24. 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. [in English]. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072019>
25. Frohling, S.E., Mosier, A.R., Ojima, D.S. et al. (1998). Comparison of N2O emissions from soils at three temperate agricultural sites: simulations of year round measurements by four models *Nutr. Cycl. Agroecosys*. 52, 77-105. [in English].
26. Garrido, F. et al. (2002). N2O and NO emissions by agricultural soils with low hydric potentials. *Soil Biology and Biochemistry*. 34, 559-575. [in English]. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(01\)00172-9](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00172-9)
27. Granli, T., Bockman, O.C. (1994). Nitrous oxide from agriculture. *Norw J Agric Sci [Suppl]*. 12, 1-128. [in English].
28. Henault, C., Germon, J.C. (2000). NEMIS: a predictive model of denitrification on the field scale. *European Journal of Soil Science*. 51, 257-270. [in English]. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2000.00314.x>
29. Henault, C., Bizouard, F., Laville, P. et al. (2005). Predicting in situ emission using NOE algorithm and soil database. *Global Change Biology*. 11, 115-127. [in English].

30. IPCC (2001). *Climate Changes (2001). The Scientific Basis Contribution*. Cambridge University Press. Cambridge. 881. [in English].
31. 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. [in English].
32. Kaiser, E.-A., Kohrs, K., Kücke, M. et al. (1998). *Nitrous oxide release from arable soil: importance of N-fertilization, crops and temporal variation*. *Soil Biol Bio-chem.* 30, 1553-1563. [in English].
33. Lokupitya, F., Paustian, K. (2006). *Agricultural soil greenhouse gas emissions: A review of national inventory methods*. *Article Literature Review (PDF Available) in Journal of Environmental Quality.* 35(4), 1413-1427. [in English]. <https://doi.org/10.2134/jeq2005.0157>
34. Mac Kenzie, A.F., Fan, M.X., Cadrin, F. (1998). *Nitrous oxide emission in three years as affected by tillage, corn-soybean-alfalfa rotations and nitrogen fertilization*. *J Environ Qual.* 27, 698-703. [in English]. <https://doi.org/10.2134/jeq1998.00472425002700030029x>
35. McCree, K.J. (1970). *An equation for the rate of respiration of white clover plants growth under controlled condition*. In: *Prediction and measurement of photosynthetic productivity*. Wageningen: Pudoc. 221-229. [In English].
36. Mosier, A.R., Doran, J.W., Frenay, J.R. (2002). *Managing soil denitrification*. *Journal of Soil and Water Conservation.* 57, 505-512. [in English].
37. Oertel, C., Matschullat, J., Zurba, K. et al. (2016). *Greenhouse gas emissions from soils. A review*. *Geochemistry.* 76, 3, 327-352. [in English]. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2016.04.002>
38. Parton W.J., Ojima D.S., Cole C.V. et al. (1994). *A general model for soil organic matter dynamics: sensitivity to litter chemistry, texture and management*. In *Quantitative Modeling of Soil Forming Processes (Special Pub. Soil Science Society of America, Madison, W.* 147-167. [in English]. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub39.c9>
39. Parton, W.J., Hartman, M.D., Ojima, D.S., Schimel, D.S. (1998). *DAYCENT and its land surface submodel: description and testing*. *Glob Planet Change.* 19, 35-48. [in English].
40. Parton, W.J., Holland, E.A., Del Grosso, S.J. et al. (2001). *Generalized model for NO<sub>x</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from soils*. *Journal of Geophysical research.* 106 (15), 17403-17420. [in English]. <http://hdl.handle.net/11858/00-001M-0000-000E-CE2B-9>
41. Poulton, P., Johnston, J., Macdonald, A. et al. (2018). *Major limitations to achieving “4 per 1000” increases in soil organic carbon stock in temperate regions: evidence from long-term experiments at Rothamsted Research, United Kingdom*. *Glob. Change Biol.* 24, 2563-2584. [in English]. <https://doi.org/10.1111/gcb.14066>
42. Robertson, G.P. (1989). *Nitrification and denitrification in humid tropical ecosystems: potential control on nitrogen retention in mineral nutrient*. In: *Tropical Forest and Savanna Ecosystems (ed. Procter J.)*. Blackwell Scientific, Boston: 55-69. [in English].
43. Robertson, G.P. & Tiedje, J.M. (1988). *Denitrification in a lowland tropical rain forest*. *Nature.* 336, 756-759. [in English].
44. Roelandt, C., van Wesemael, B., and Rounsevell, M. (2015). *Estimating annual N<sub>2</sub>O emissions from agricultural soils in temperate climates*. *Global Change Biol.* 11, 1701-1711. [in English]. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01025.x>
45. Sándor, R., Ehrhardt, F., Brilli, L. et al. (2018). *The use of biogeochemical models to evaluate mitigation of greenhouse gas emissions from managed grasslands*. *Science of The Total Environment.* 642, 292-306. [in English]. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01976249>
46. Smith, J., Gottschalk, P., Bellarby, J. (2010). *Model to Estimate Carbon in Organic Soils – Sequestration and Emissions (ECOSSE)*. Institute of Biological and Environmental Sciences. Aberdeen. Scotland. 73. [in English].
47. Smith, K.A., Mctaggart, I.P., Conen, F. (1988). *Emissions of N<sub>2</sub>O from Scottish agricultural soils, as a function of fertilizer N*. *Nutrient Cycling in Agroecosystems.* 52, 123-130. [in English].
48. Stehfest, E. and 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. [in English]. <https://doi.org/10.1007/s10705-006-9000-7>
49. Stockmann, U., Adams, M.A., Crawford, J.W. et al. (2013). *The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon*. *Agric. Ecosyst. Environ.* 164, 80-99. [in English]. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.10.001>
50. Syp, A., Faber, A., Kozyra, 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), 593-1602. [in English].
51. 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. [in English]. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00485.x>
52. Wei, R., Hao, M.D., Xue, X.H. et al. (2010). *Biogeosciences Nitrous oxide emission from highland winter wheat field after long-term fertilization*. *Biogeosciences.* 7, 3301-3310. [in English]. <https://doi.org/10.5194/bg-7-3301-2010>
53. Yadav, D., Wang, J. (2017). *Modelling carbon dioxide emissions from agricultural soils in Canada*. *Environ Pollut.* 230, 1040-1049. [in English]. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.066>
54. Yang, Q., Zhang, X., Abrahama, M. et al. (2017). *Enhancing the soil and water assessment tool model for simulating N<sub>2</sub>O emissions of three agricultural systems*. *Ecosystem Health and Sustainability.* 3, 2, 1-12. [in English]. <https://doi.org/10.1002/ehs2.1259>



УДК 504.3.054

**Василь Олександрович Фесюк,**

д. геогр. н., професор, зав. кафедри фізичної географії

Волинського національного університету імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, 43025, Україна,

e-mail: [fesyuk@ukr.net](mailto:fesyuk@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-3954-9917>;

**Ірина Анатоліївна Мороз,**

к. хім. н., доцент, доцент кафедри матеріалознавства

Луцького національного технічного університету, вул. Львівська, 75, м. Луцьк, 43000, Україна,

e-mail: [moroz.iryndal@gmail.com](mailto:moroz.iryndal@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-9167-4876>

## СУЧАСНИЙ СТАН ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ М. ЛУЦЬКА

Забруднення атмосферного повітря міст є важливим чинником, що впливає на якість життя і стан здоров'я жителів міських населених пунктів. Воно підвищується внаслідок урбанізації, розвитку промислових та транспортних комплексів міст. Ці ж тенденції характерні і для стану забруднення атмосферного повітря м. Луцька. В останні роки рівень його забруднення оцінюється як високий. А в першому півріччі 2018 р. Луцьк потрапив до трійки міст із найвищим рівнем забруднення атмосферного повітря в Україні, хоч місто не є крупним індустріальним центром. Проаналізовано структуру викиду забруднюючих речовин. Встановлено, що зросла частка викидів від пересувних джерел, перш за все, автотранспорту від 61,4 % в 1990 р. до 92,2% у 2015 р. і 94,6% у 2020 р. Серед поллютантів найбільша частка припадала на оксид вуглецю (30%), діоксид азоту (19%), інші сполуки азоту (24%), неметанові леткі органічні сполуки (9%), тверді суспендовані частки (8%). За період з 2009 р. і до нашого часу величина індексу забруднення атмосфери (ІЗА) для м. Луцька змінюється в межах 7,7-10,49, що відповідає градації високого рівня забруднення. Величина ІЗА децю зменшувалась до 2015 р., а потім збільшувалась до 2018 р. Місце Луцька в переліку (рейтингу) найбільш забруднених міст України корелює із величиною ІЗА міста: у 2013-14 р.р. ІЗА був відносно невисокий (7,99-8,55), місто займало 22 сходинку рейтингу. З 2016 р. ІЗА для м. Луцька почав збільшуватись і місто почало підніматись в рейтингу від 9 до 7 сходинки. В атмосферному повітрі міста постійно перевищують ГДК концентрації діоксиду азоту, фенолу та формальдегіду. Тому зменшення забруднення атмосферного повітря є найважливішим напрямом міської екологічної політики, а зменшення викидів саме від пересувних джерел, зокрема, від автотранспорту – найбільш пріоритетним заходом.

**Ключові слова:** атмосферне повітря, забруднююча речовина, індекс забруднення атмосфери, рівень забруднення, стаціонарні джерела викидів, пересувні джерела викидів, моніторинг забруднення атмосферного повітря, заходи зменшення забруднення атмосферного повітря.

**В. А. Фесюк, І. А. Мороз. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА Г. ЛУЦЬКА.** Загрязнения атмосферного воздуха городов является важным фактором, который влияет на качество жизни и состояние здоровья жителей городских населенных пунктов. В то же время оно повышается из-за урбанизации, развития промышленных и транспортных комплексов городов. Эти же тенденции характерны и для состояния загрязнения атмосферного воздуха г. Луцка. В последние годы уровень его загрязнения оценивается как высокий. А в первом полугодии 2018 г. Луцк попал в тройку городов с самым высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха в Украине, хотя город не является крупным индустриальным центром. Проанализирована структура выброса загрязняющих веществ. Установлено, что выросла доля выбросов от передвижных источников, прежде всего, автотранспорта от 61,4% в 1990 г. до 92,2% в 2015 г. и 94,6% в 2020 г. Среди поллютантов наиболее выбрасывается оксида углерода (30%), диоксида азота (19%), других соединений азота (24%), неметановых летучих органических соединений (9%), твердых взвешенных частиц (8%). За период с 2009 г. и до настоящего времени величина ИЗА для г. Луцка изменяется в пределах 7,7-10,49, что соответствует градации высокого уровня загрязнения. Величина ИЗА несколько уменьшалась до 2015, а затем увеличивалась до 2018 г. Место Луцка в списке (рейтинга) наиболее загрязненных городов Украины коррелирует с величиной ИЗА города: в 2013-14 г.г. ИЗА был относительно невысок (7,99-8,55), город занимал 22 строчку рейтинга. С 2016 ИЗА для г. Луцка начал увеличиваться и город начал подниматься в рейтинге с 9 до 7 ступени. В атмосферном воздухе города постоянно превышают ПДК концентрации диоксида азота, фенола и формальдегида. Поэтому уменьшение загрязнения атмосферного воздуха является важнейшим направлением городской экологической политики, а уменьшение выбросов именно от передвижных источников, в частности, от автотранспорта – наиболее приоритетным мероприятием.

**Ключевые слова:** атмосферный воздух, загрязняющее вещество, индекс загрязнения атмосферы, уровень загрязнения, стационарные источники выбросов, передвижные источники выбросов, мониторинг загрязнения атмосферного воздуха, мероприятия уменьшения загрязнения атмосферного воздуха.

**Вступ.** Серед чинників, що визначають якість життя і стан здоров'я жителів міських населених пунктів, одним із найважливіших є рівень забрудненості атмосферного повітря міст. Забруднення повітря спричинює збільшення захворюваності та смертності в світі, зокрема, понад 80% захворювань тією чи іншою мірою залежать від якості повітря. Забруднене повітря міст є причиною передчасної смерті мільйонів людей у всьому світі. Причому більшість із цих людей можуть навіть не знати про рівень забруднення ат-

мосферного повітря.

Існує тісна кореляція між забрудненням атмосферного повітря в містах та рівнем захворюваності населення, зокрема, на хвороби органів дихання, кровообігу, алергій різноманітного походження. В науковій урбоекологічній літературі навіть існує термін «типово міські хвороби».

Забруднення атмосферного повітря міст на сьогодні можливо навіть ідентифікувати з використанням багатозональних космічних знімків та багатьох інтернет-сервісів, які дають змогу відс-

лідкувати стан забруднення атмосфери в місті в режимі реального часу.

Тому проблема забруднення атмосферного повітря міст є дуже важливою і вимагає ґрунтовних наукових досліджень, які могли б лягти в основу розробки ефективних загальнонаціональних та регіональних програм зменшення забруднення атмосфери та захворюваності населення.

Актуальність дослідження забруднення атмосферного повітря підвищується у зв'язку із урбанізацією, розвитком промислових та транспортних комплексів міст, підвищенням інтересу громадян до якості середовища їх життя.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Проблемі оцінки забруднення атмосферного повітря присвячена значна кількість робіт. Багато таких досліджень здійснено для міст України. Так, зокрема, стаття [26] присвячена оцінці і аналізу забруднення атмосферного повітря м. Одеси, [4] – м. Харкова, [24-25] – міст Північно-Західного Причорномор'я, [23] – м. Миколаїв, [13] – м. Херсона, [18] – м. Києва, [38] – м. Дніпра, [7] – міст Чернігівської області, або й загалом території України [3, 5, 10, 11, 27]. Проводяться такі дослідження і за кордоном. Наприклад, російськими дослідниками вивчався вплив забрудненості атмосферного повітря на стан здоров'я населення міст Єкатеринбургу [1], Новгороду [2], Казані [21], інших міст Росії [12]. Відомі також роботи, присвячені оцінці та аналізу забруднення атмосферного м. Дублін [34], м. Мехіко [41], впливу забруднення атмосферного повітря на стан здоров'я населення Китаю старшого віку [36], оцінці якості повітря в м. Санвей-Сіті (Малайзія) [30], порівняльній оцінці забрудненості повітря 20 міст Індії [35], міст Парижа і Лондона [33], оцінці впливу забруднення атмосферного повітря на стан здоров'я населення Шотландії та отримання вигоди від зменшення концентрації поллютантів в центрах міст [39], просторовому зв'язку між забрудненням повітря та шумом у містах Данії [34], взаємозв'язку забруднення атмосферного повітря, здоров'я населення та викидів автотранспорту [42], оцінці взаємозв'язку атмосферного забруднення та алергії в м. Рим [32] тощо.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Стаття присвячена дослідженню забруднення атмосферного повітря м. Луцька. В останні роки рівень його забруднення оцінюється як високий. А в першому півріччі 2018 р. Луцьк взагалі потрапив до трійки міст із найвищим рівнем забруднення атмосферного повітря в Україні. І це при тому, що місто не є великим промисловим центром. Тут практично відсутні підприємства, які відносяться до екологічно «брудних» галузей. Тому питання якості

повітря у місті є дуже актуальним, має значний соціальний резонанс. Результати дослідження забруднення атмосферного повітря в контексті оцінки екологічного стану території частково наведені у монографіях [16] (за період 1990-2000 р.р.) та [20,22-23] (за період 2000-2010 р.р.). Але в останні роки тенденції дещо змінились, а тому оцінка забруднення атмосферного повітря у місті вимагає суттєвого уточнення.

**Формулювання мети статті.** Метою дослідження є визначення особливостей сучасного рівня забруднення атмосферного повітря м. Луцька за багаторічний період (2011-2019 рр.), причин та його формування та окреслення основних заходів для зниження рівня забруднення.

**Матеріали та методи.** Під час підготовки статті використані матеріали власних досліджень екологічного стану території м. Луцька, а також результати лабораторних досліджень забруднення атмосферного повітря на стаціонарних постах у місті, проведених Комплексною лабораторією спостережень за забрудненням природного середовища Волинського обласного центру з гідрометеорології (ЦГМ). Методи дослідження – експедиційний (для дослідження екологічного стану міської території), методи математичної статистики (для статистичної обробки результатів моніторингу), експертної оцінки (для встановлення причин забруднення та екологічних ризиків).

Для оцінки застосований індекс забруднення атмосфери (ІЗА) і комплексний ІЗА (КІЗА), які на даний час є одними з основних показників якості атмосферного повітря в Україні [4, 26]. Для класифікації рівня забруднення використано індекс КІЗА, який враховує дані про 5 забруднюючих речовин, для яких значення часткових індексів найвищі. Градація цього комплексного показника: до 2,5 – умовно чисте атмосферного повітря; 2,5-7,5 – слабозабруднене повітря; 7,6-12,5 – забруднене; 12,6-22,5 – сильнозабруднене; 22,6-52,5 – брудне; понад 52,5 – екстремально брудне.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження.**

Луцьк – адміністративний, економічний і культурний центр Волинської області. Місто розташоване на обох берегах р. Стир (притоки р. Прип'ять). У транспортному відношенні місто є залізничним вузлом, вузлом автомобільних доріг. Окрім того, тут знаходиться річкова пристань та аеропорт.

Луцьк розташований в південно-східній частині Волинської області. Економіко-географічне розташування міста дуже сприятливе. Луцьк знаходиться на невеликій відстані від інших великих міст Західної України і з'єднаний з ними автомобільними магістралями. Крім того, через місто проходять автодороги міждержавного зна-

чення, що сполучають Україну з Польщею та Білоруссю. Найближча відстань від міста до державного кордону з Польщею близько 105 км (через прикордонний пропускний пункт Устилуг).

Територія міста на сьогодні становить (за даними міського управління архітектури та містобудування) більше 5400 га (54 км<sup>2</sup>). Чітко простежується тенденція до збільшення площі міста: в 1980 р. вона становила 3810 га, у 1990 р. – 4280 га, зараз – 5364 га. Площа під забудовою становить близько 3500 га, зелені насадження – 1900 га, із них майже 500 га загального користування. Розростаючись, місто асимілює навколишні села. Цей процес продовжується і зараз. Його інтенсивність сьогодні прямо пропорційно залежить від збільшення вартості земельних ділянок під забудову та проведення виробничої діяльності. Тому площа міста зростатиме і надалі.

Природні умови території міста досить сприятливі для заселення та ведення господарства. Спеціалізацію Луцька в загальноукраїнському та міжнародному поділі праці визначають машинобудування та металообробка, легка і харчова, хімічна промисловість та індустрія будівельних матеріалів.

Підприємства розміщені на території міста нерівномірно. Найбільше їх скупчення у північно-східній та південно-східній частинах міста. Саме підприємства цих районів “забезпечують” більшу частину викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел. Аналізуючи розміщення промислових підприємств по території міста можна зробити висновки, що [23]:

- об’єктивно існують чотири промислових зони (північно-східна, південно-східна, південно-західна, західна);

- станом на сьогодні промислові підприємства різного класу шкідливості опинились у зонах житлової забудови;
- санітарно-захисні зони (СЗЗ) на окремих підприємствах відсутні, а на більшості не відповідають своєму призначенню та використовуються з порушенням режиму;
- роль санітарно-захисних зон у старопромилових районах відіграє комунально-складська забудова, розташована навколо промислових підприємств, що відділяє підприємства від житлових масивів.

Також суттєвим джерелом забруднення атмосферного повітря міста є транспорт. Кількість автотранспорту в місті зростає з року в рік. До місцевого транспорту як джерела забруднення приєднуються також транзитні потоки. Найбільшою проблемою міського транспортного комплексу є відсутність повних за охопленням міста кільцевих (об’їзних) доріг, поганий стан дорожнього покриття, перевантаженість окремих вулиць внаслідок низької пропускної спроможності та нераціональна структура транспортних потоків.

Аналіз динаміки викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря (рис. 1) у місті чітко виявляє тенденцію до їх зменшення від стаціонарних джерел у порівнянні з початком 90-х років ХХ ст. Так вже починаючи з 2012 р. викиди забруднюючих речовин від стаціонарних джерел у місті не перевищують 1 тис. т за рік. Зменшення величини викиду у 2018-19 р.р. зумовлені тим, що одне з найбільших підприємств-забруднювачів змінило адресу реєстрації з м. Луцька на Луцький район. Проте викиди воно і надалі здійснює.

Натомість у структурі забруднення зростає частка викидів від пересувних джерел, перш за

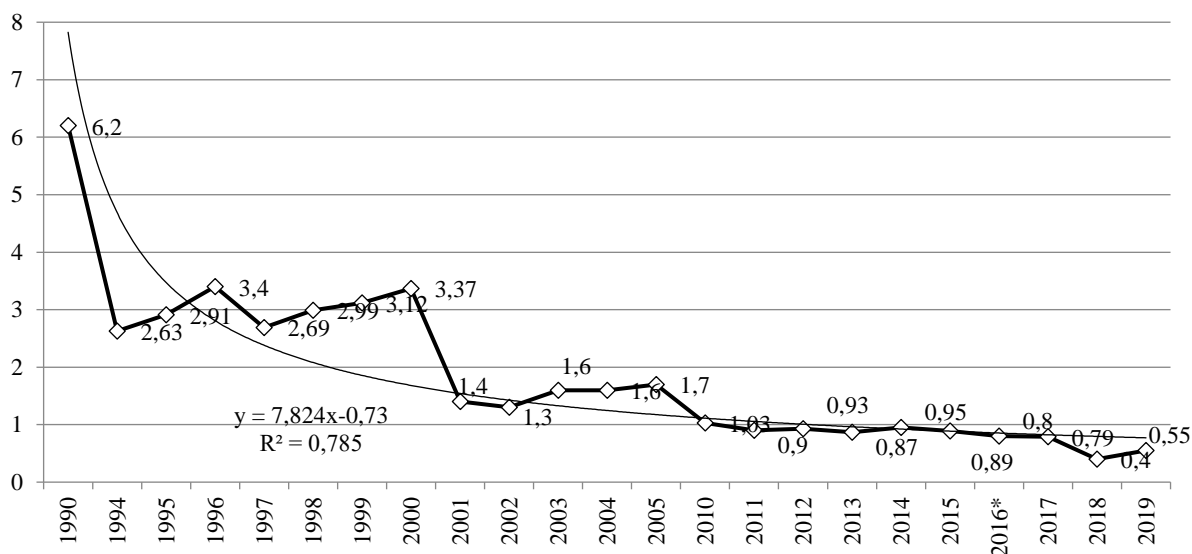


Рис. 1. Викиди забруднюючих речовин від стаціонарних джерел, тис. т

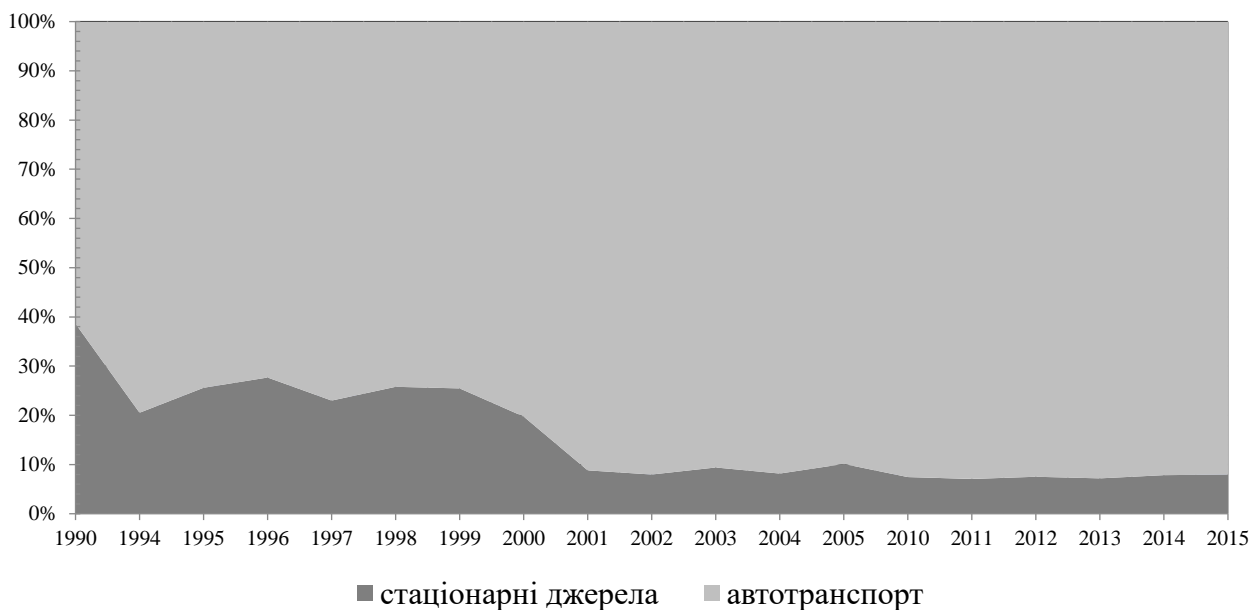


Рис. 2. Структура викиду забруднюючих речовин в атмосферне повітря у м. Луцьку

все, автотранспорту (рис. 2): в 1990 р. вона становила 61,4%, в 1995 р. – 75,8%, в 2000 р. – 80,0%, в 2005 р. – 91,1%, в 2011 р. – 91,3%, в 2015 р. – 92,2%. Об'єм викидів шкідливих речовин у цілому зменшувався синхронно розвитку економічної кризи (зокрема, скороченню промислового виробництва). Сьогодні надзвичайно гостро стоїть питання боротьби із забрудненням атмосфери не стільки стаціонарними джерелами (промисловістю), скільки автотранспортом, кількість якого в місті постійно збільшується. Починаючи від 2016 р. дані по викидах забруднюючих речовин пересувними джерелами у статистичних бюлетенях не наводяться. Тому на сьогодні даними офіційної статистики оцінити викиди від пересувних джерел неможливо. Використання методу екстраполяції степеневі функцією дозволило наближено визначити частку пересувних джерел у структурі викиду забруднюючих речовин в атмосферне повітря станом на 2020 р. – 94,58%. Коефіцієнт детермінації при цьому становив 0,961. Отже, починаючи з 2005 р. і до нашого часу «вклад» пересувних джерел у забруднення атмосферного повітря м. Луцька змінюється в межах 90-95% (рис. 2). Тобто саме автотранспорт, найбільшою мірою, зумовлює забруднення повітря у місті.

За інформацією Регіонального сервісного центру ГСЦ МВС у Волинській області в м. Луцьку станом на 20.07.2020 р. зареєстровано 37115 одиниць транспортних засобів. Реально їх набагато більше, оскільки далеко не всі автомобілі мають місцеву реєстрацію.

Цікаво виглядає також динаміка забруднення атмосферного повітря міста протягом останнього десятиліття. Тренд сумарного забруднення

повітря і забруднення пересувними джерелами буквально співпадають. Коефіцієнт кореляції між ними становить 0,95, в той час між сумарним та стаціонарними джерелами – 0,15. Динаміка викидів забруднюючих речовин з достатньою достовірністю апроксимується поліномами (коефіцієнт детермінації 0,9-0,95).

В структурі викиду забруднюючих речовин стаціонарними джерелами (рис. 3) у 2019 р. найбільша частка припадала на оксид вуглецю (30%), діоксид азоту (19%), інші сполуки азоту (24%), неметанові леткі органічні сполуки (НМЛОС – 9%), тверді суспендовані частки (8%).

Моніторинг забруднення атмосферного повітря в місті здійснюється Волинським обласним центром з гідрометеорології. У м. Луцьку функціонує три стаціонарних пости спостереження за забрудненням повітря (ПСЗ). Згідно з «Програмою спостережень за забрудненням навколишнього природного середовища», затвердженої Наказом МВС України №931 від 16.11.2018 р., та «Порядком здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря», затвердженого Постановою КМ України № 827 від 14.08.2019 р., така кількість постів є достатньою для міста з чисельністю населення міста 217,315 тис. чол. (станом на 1.01.2020 р.).

Розміщення постів спостереження ілюструє рис. 4.

Територіальне розміщення цих постів не випадкове. Два з них (№5, №7) знаходяться в межах відповідно південно-східної та північно-східної промислових зон міста, а третій (№4) – в центрі міста на заплаві р. Сапалаївка, тут знаходиться рекреаційна зона вздовж річки від вул. Шопена до вул. Чехова. Як уже зазначалось вище,

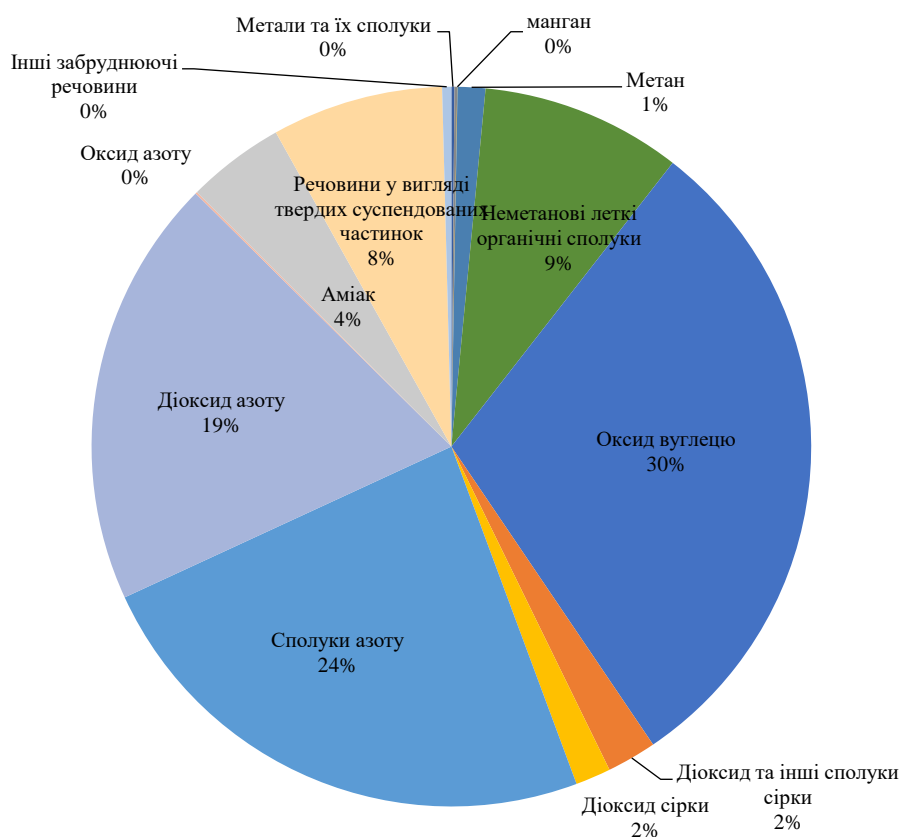


Рис. 3. Структура викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами у 2019 р.

в місті можна виділити 4 промислові зони. Згадані південно-східна та північно-східна є найбільшими за площею, кількістю підприємств та щільністю стаціонарних джерел забруднення атмосфери на цих підприємствах.

За інформацією Центральної геофізичної обсерваторії ім. Бориса Срезневського, м. Луцьк регулярно потрапляє до переліку міст України із найвищим рівнем забруднення атмосферного повітря (рис. 5) [17].

Як видно з рис. 5, за період з 2009 р. і до нашого часу величина ІЗА для м. Луцька змінюється в межах 7,7-10,49. Тобто весь цей час ІЗА відповідає градації високого рівню забруднення (за методикою Центральної геофізичної обсерваторії ім. Бориса Срезневського) або забрудненому повітрю (за методикою [28]). Величина ІЗА дещо зменшувалась у порівнянні із 2010 р. до 2015 р., а потім – збільшувалась до 2018 р. У 2019 р. вона знов зменшилась до мінімального рівня 2015 р.

Місце Луцька в переліку (рейтингу) найбільш забруднених міст України корелює із величиною ІЗА міста (рис. 6). Так, наприклад, у 2013-14 р.р. значення ІЗА було відносно невелике (7,99-8,55), місто займало 22 сходинку рейтингу. З 2016 р. значення ІЗА для м. Луцька почало

збільшуватись і місто почало підніматись в рейтингу з 9 до 7 сходинки [17].

У 2019 р., за усередненими даними спостережень на трьох стаціонарних постах, рівень забруднення атмосферного повітря м.Луцька характеризувався наступними показниками у порівнянні із ГДК середньодобовою: середньорічна концентрація пилу досягала 0,60 ГДК, діоксиду сірки – 0,03 ГДК, оксиду вуглецю – 0,12 ГДК, діоксиду азоту – 2,06 ГДК, оксиду азоту – 0,61 ГДК, фенолу – 1,77 ГДК, формальдегіду – 1,83 ГДК. Перевищення мало місце за вмістом діоксиду азоту, фенолу і формальдегіду (табл. 1). Порівняно із 2018 р. спостерігалось зростання середньорічних концентрацій пилу з 0,56 до 0,6 ГДК. Навпаки, зменшення середньорічних концентрацій у 2019 р. спостерігалось за вмістом: діоксиду сірки – з 0,04 до 0,03 ГДК, діоксиду азоту – з 2,37 до 2,06 ГДК, оксиду азоту з 0,93 до 0,61 ГДК, фенолу з 1,83 до 1,77 ГДК, формальдегіду з 3,13 до 1,83 ГДК. За матеріалами Волинського ЦГМ протягом 2019 р. спостерігалось 175 випадків перевищення ГДК (232 випадків у 2018 р.). З них 81 випадок – по діоксиду азоту, 93 – по фенолу, 1 – по формальдегіду [9].

У 2018 р., за усередненими даними спостережень на трьох стаціонарних постах мали місце

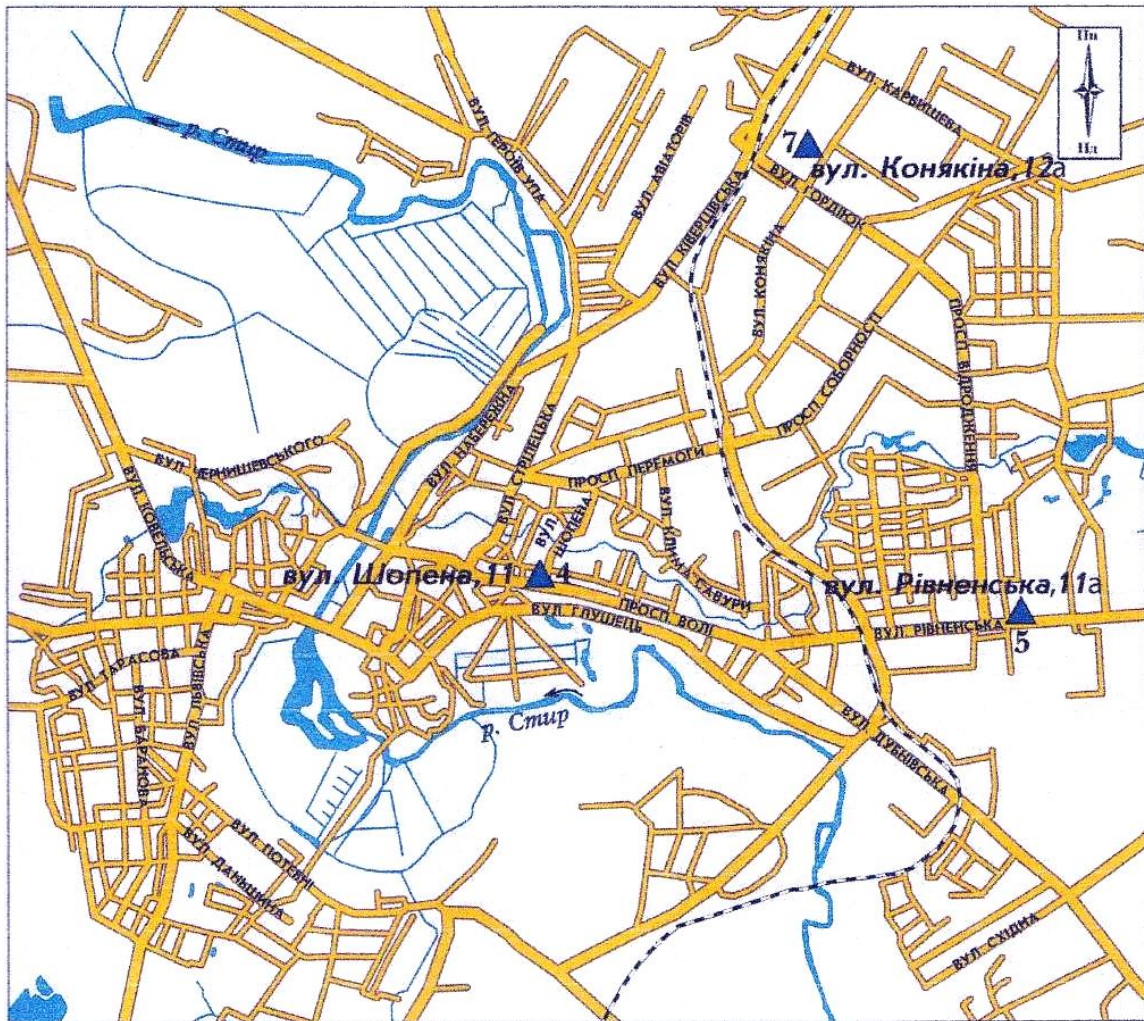


Рис. 4. Схема розміщення стаціонарних постів спостереження за забрудненням атмосферного повітря Волинського центру з гідрометеорології у м. Луцьку

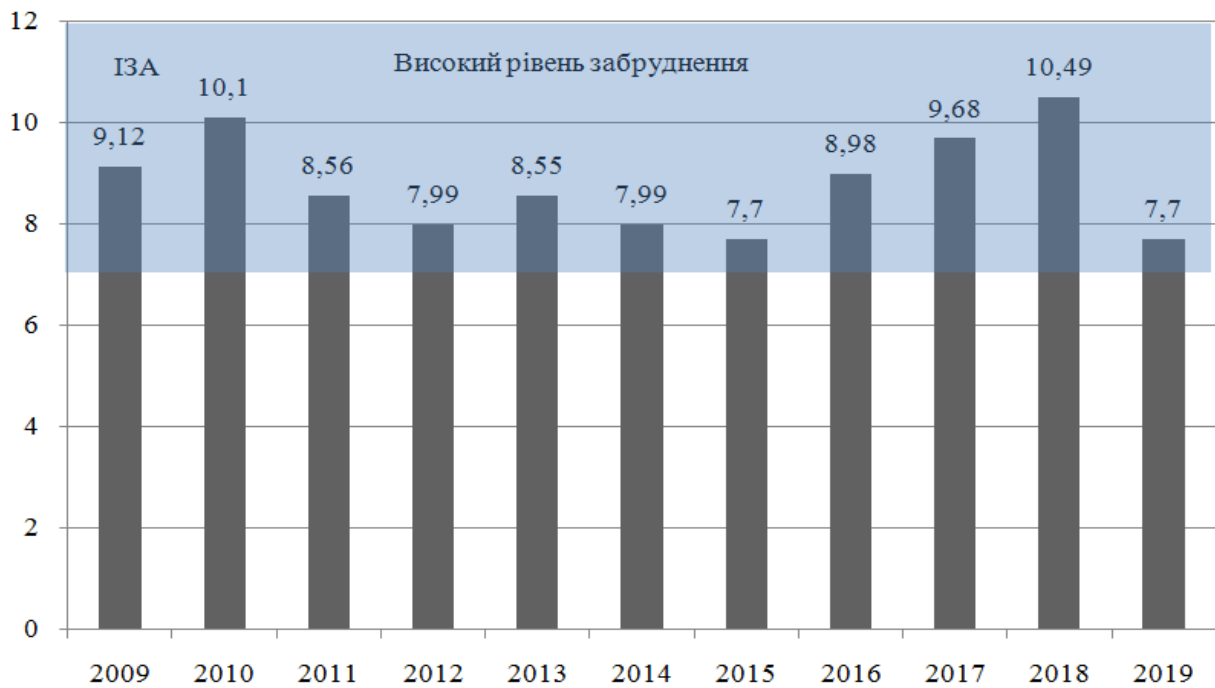


Рис. 5. Динаміка ІЗА м. Луцька (за інформацією Центральної геофізичної обсерваторії ім. Бориса Срезневського) [17]

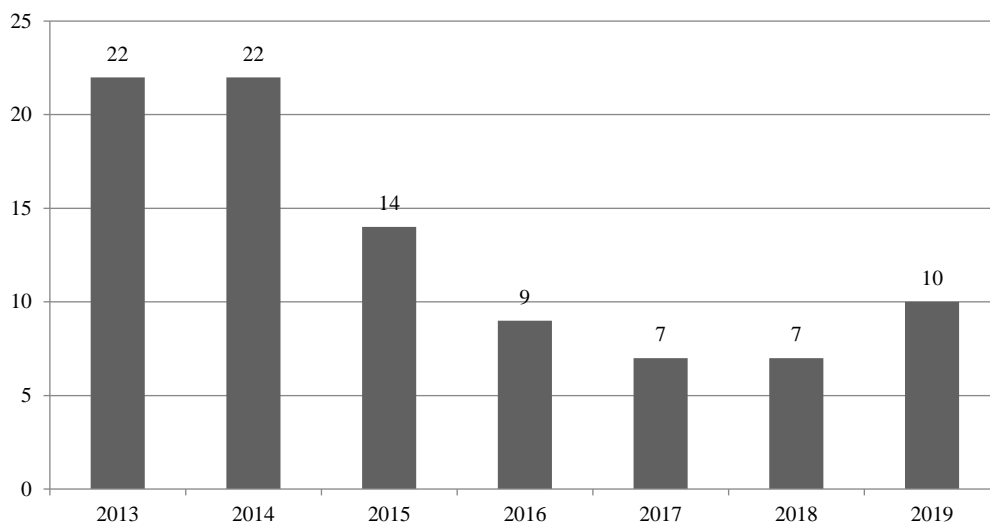


Рис. 6. Динаміка міста м. Луцька в консолідованому рейтингу міст України із найбільшим забрудненням атмосферного повітря (за даними Центральної геофізичної обсерваторії ім. Бориса Срезневського) [17]

наступні рівні вмісту забруднюючих речовин: пилу – 0,56 ГДК, діоксиду сірки – 0,04 ГДК, оксиду вуглецю – 0,12 ГДК, діоксиду азоту – 2,37 ГДК, оксиду азоту – 0,93 ГДК, фенолу – 1,83 ГДК, формальдегіду – 3,13 ГДК. Перевищення, традиційно, мало місце за вмістом діоксиду азоту, фенолу і формальдегіду (табл. 1). У порівнянні із попереднім роком збільшились середньорічні концентрації: оксиду азоту з 0,67 до 0,93 ГДК, фенолу з 1,8 до 1,83 ГДК, формальдегіду з 2,6 до 3,13 ГДК. Натомість, незначно зменшилась концентрація пилу з 0,58 до 0,56 ГДК, оксиду вуглецю з 0,15 до 0,12 ГДК, діоксиду азоту з 2,58 до 2,37 ГДК. Протягом року спостерігалось 232 випадки перевищення ГДК (234 у 2017 році). З них – 123 випадки по діоксиду азоту, 2 – по оксиду азоту, 78 – по фенолу, 29 – по формальдегіду.

У 2017 р., за усередненими даними спостережень на трьох стаціонарних постах спостерігались наступні рівні вмісту забруднюючих речовин: пилу – 0,58 ГДК, діоксиду сірки – 0,04 ГДК, оксиду вуглецю – 0,15 ГДК, діоксиду азоту – 2,58 ГДК, оксиду азоту – 0,67 ГДК, фенолу – 1,8 ГДК, формальдегіду – 2,6 ГДК. Зростання середньорічних концентрацій порівняно з 2016 р. спостерігалось: по оксиду вуглецю з 0,09 до 0,15 ГДК, діоксиду азоту з 2,54 до 2,58 ГДК, оксиду азоту з 0,62 до 0,67 ГДК, фенолу з 1,73 до 1,8 ГДК, формальдегіду з 2,03 до 2,6 ГДК, а зменшення: по пилу з 0,59 до 0,58 ГДК, діоксиду сірки з 0,05 до 0,04 ГДК. Встановлено 234 випадки перевищення ГДК (238 у 2016 р.). З них – 164 по діоксиду азоту, 52 – по фенолу, 18 – по формальдегіду.

У 2016 р. рівень забруднення атмосферного повітря м. Луцька характеризувався такими усередненими вмістами основних забруднюючих речовин: пилу – 0,58 ГДК, діоксиду сірки – 0,05 ГДК, оксиду вуглецю – 0,09 ГДК, діоксиду азоту – 2,38 ГДК, оксиду азоту – 0,62 ГДК, фенолу – 1,73 ГДК, формальдегіду – 2,03 ГДК. Порівняно із 2016 р. зростали середньорічні концентрації: пилу з 0,54 до 0,59 ГДК, діоксиду сірки з 0,04 до 0,05 ГДК, оксиду вуглецю з 0,08 до 0,09 ГДК, діоксиду азоту з 2,38 до 2,54 ГДК, оксиду азоту з 0,55 до 0,62 ГДК, фенолу з 1,47 до 1,73 ГДК, формальдегіду з 1,97 до 2,03 ГДК. Зафіксовано 238 випадків перевищення ГДК (188 у 2015 р.). З них: 190 – по діоксиду азоту, 39 – по фенолу, 9 – по формальдегіду.

У 2015 р. рівень забруднення атмосферного повітря м. Луцька характеризувався такими усередненими вмістами основних забруднюючих речовин: пилу – 0,54 ГДК, діоксиду сірки – 0,04 ГДК, оксиду вуглецю – 0,08 ГДК, діоксиду азоту – 2,38 ГДК, оксиду азоту – 0,55 ГДК, фенолу – 1,47 ГДК, формальдегіду – 1,97 ГДК. Незначне зростання середньорічних концентрацій порівняно з 2014 р. спостерігалось по: пилу з 0,46 до 0,54 ГДК, діоксиду азоту з 2,27 до 2,38 ГДК, оксиду азоту з 0,42 до 0,55 ГДК, формальдегіду з 1,93 до 1,97 ГДК, а зменшення по: діоксиду сірки з 0,05 до 0,04 ГДК, фенолу з 1,5 до 1,47 ГДК. Протягом року спостерігалось 188 випадків перевищення ГДК (193 у 2014 р.). З них – 169 випадків перевищень ГДК по діоксиду азоту, 16 – по фенолу, 3 – по формальдегіду.

У 2014 р. рівень забруднення атмосферного повітря м. Луцька характеризувався такими усередненими вмістами основних забруднюючих речовин: пилу – 0,46 ГДК, діоксиду сірки – 0,05 ГДК, оксиду вуглецю – 0,08 ГДК, діоксиду азоту – 2,38 ГДК, оксиду азоту – 0,55 ГДК, фенолу – 1,47 ГДК, формальдегіду – 1,97 ГДК. Незначне зростання середньорічних концентрацій порівняно з 2014 р. спостерігалось по: пилу з 0,46 до 0,54 ГДК, діоксиду азоту з 2,27 до 2,38 ГДК, оксиду азоту з 0,42 до 0,55 ГДК, формальдегіду з 1,93 до 1,97 ГДК, а зменшення по: діоксиду сірки з 0,05 до 0,04 ГДК, фенолу з 1,5 до 1,47 ГДК. Протягом року спостерігалось 188 випадків перевищення ГДК (193 у 2014 р.). З них – 169 випадків перевищень ГДК по діоксиду азоту, 16 – по фенолу, 3 – по формальдегіду.

У 2014 р. рівень забруднення атмосферного повітря м. Луцька характеризувався такими усередненими вмістами основних забруднюючих речовин: пилу – 0,46 ГДК, діоксиду сірки – 0,05 ГДК, оксиду вуглецю – 0,08 ГДК, діоксиду азоту – 2,38 ГДК, оксиду азоту – 0,55 ГДК, фенолу – 1,47 ГДК, формальдегіду – 1,97 ГДК. Незначне зростання середньорічних концентрацій порівняно з 2014 р. спостерігалось по: пилу з 0,46 до 0,54 ГДК, діоксиду азоту з 2,27 до 2,38 ГДК, оксиду азоту з 0,42 до 0,55 ГДК, формальдегіду з 1,93 до 1,97 ГДК, а зменшення по: діоксиду сірки з 0,05 до 0,04 ГДК, фенолу з 1,5 до 1,47 ГДК. Протягом року спостерігалось 188 випадків перевищення ГДК (193 у 2014 р.). З них – 169 випадків перевищень ГДК по діоксиду азоту, 16 – по фенолу, 3 – по формальдегіду.

– 2,27 ГДК, оксиду азоту – 0,42 ГДК, фенолу – 1,5 ГДК, формальдегіду – 1,93 ГДК. Незначне зростання середньорічних концентрацій в порівнянні з попереднім роком спостерігалось за вмістом: діоксиду сірки з 0,04 до 0,05 ГДК, діоксиду азоту з 2,04 до 2,27 ГДК, оксиду азоту з 0,37 до 0,42 ГДК, фенолу з 1,47 до 1,5 ГДК, а зменшення за вмістом: пилу з 0,52 до 0,46 ГДК, оксиду вуглецю з 0,11 до 0,08 ГДК, формальдегіду з 2,5 до 1,93 ГДК. Зафіксовано 193 випадки перевищення ГДК (140 у 2013 р.). З них – 160 випадків перевищень ГДК по діоксиду азоту, 31 – по фенолу, 2 – по формальдегіду.

У 2013 р. рівень забруднення атмосферного повітря м. Луцька характеризувався такими усередненими вмістами основних забруднюючих речовин: пилу – 0,52 ГДК, діоксиду сірки – 0,04 ГДК, оксиду вуглецю – 0,11 ГДК, діоксиду азоту – 2,04 ГДК, оксиду азоту – 0,37 ГДК, фенолу – 1,47 ГДК, формальдегіду – 2,50 ГДК. У порівнянні із минулим роком незначно зросли концентрації: діоксиду азоту з 2,01 до 2,04 ГДК, фенолу з 1,37 до 1,47 ГДК, формальдегіду з 2,2 до 2,5

ГДК, а зменшились: пилу з 0,56 до 0,52 ГДК, оксиду вуглецю з 0,13 ГДК до 0,11 ГДК, оксиду азоту з 0,43 до 0,37 ГДК. Зафіксовано 140 випадків перевищення ГДК (141 випадок у 2012 р.). З них – 89 випадків перевищень по діоксиду азоту, 18 – по формальдегіду, 33 – по фенолу.

У 2012 р. рівень забруднення атмосферного повітря м. Луцька характеризувався такими усередненими вмістами основних забруднюючих речовин: пилу – 0,56 ГДК, діоксиду сірки – 0,04 ГДК, оксиду вуглецю – 0,13 ГДК, діоксиду азоту – 2,01 ГДК, оксиду азоту – 0,43 ГДК, фенолу – 1,37 ГДК, формальдегіду – 2,2 ГДК. Зросли у порівнянні з 2011 р. концентрації фенолу з 1,2 до 1,37 ГДК, зменшились: пилу з 0,59 до 0,56 ГДК, оксиду вуглецю з 0,28 до 0,13 ГДК, діоксиду азоту з 2,26 до 2,01 ГДК, оксиду азоту з 0,61 до 0,43 ГДК, формальдегіду з 2,57 до 2,2 ГДК. Зафіксовано 141 випадок перевищення ГДК (за 2011 р. – 208 випадків). З них – 87 випадків перевищень по діоксиду азоту, 11 – по формальдегіду, 43 – по фенолу.

У 2011 р. рівень забруднення атмосферного

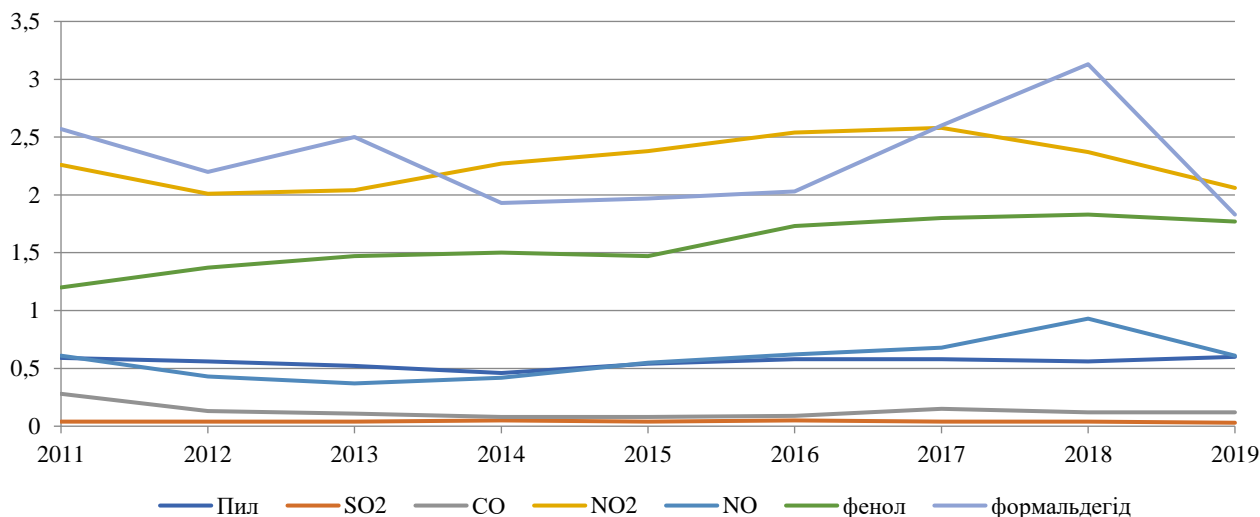


Рис. 7. Кратність перевищення ГДК (середньодобового) по забруднюючих речовинах в атмосферному повітрі м. Луцька (за матеріалами Волинського ЦГМ)

повітря м. Луцька характеризувався такими усередненими вмістами основних забруднюючих речовин: пилу – 0,59 ГДК, діоксиду сірки – 0,04 ГДК, оксиду вуглецю – 0,28 ГДК, діоксиду азоту – 2,26 ГДК, оксиду азоту – 0,61 ГДК, фенолу – 1,2 ГДК, формальдегіду – 2,57 ГДК. Зросли середньорічні концентрації: пилу з 0,46 до 0,59 ГДК, оксиду вуглецю з 0,18 до 0,28 ГДК, діоксиду азоту з 2,14 до 2,26 ГДК, а зменшились: діоксиду сірки з 0,06 до 0,04 ГДК, оксиду азоту з 0,66 до 0,61 ГДК, фенолу з 1,3 до 1,2 ГДК, формальдегіду з 3,53 до 2,57 ГДК. Зафіксовано 208 випадків перевищення ГДК (191 випадок у 2010 р.). З них – 162 по діоксиду азоту, 16 – по формальдегіду,

30 – по фенолу.

Аналіз рис. 7 дозволив зробити висновок, що за більшістю забруднюючих речовин в атмосферному повітрі міста за досліджуваний період за усередненими за рік значеннями ГДК середньодобове не досягається. Але вміст деяких речовин в повітрі міста майже постійно перевищений: фенол (кратність перевищення ГДК змінювалась від 1,2 у 2011 р. до 1,83 у 2018 р.), діоксид азоту (кратність перевищення ГДК змінювалась від 2,01 у 2012 р. до 2,58 у 2017р.) і формальдегід (кратність перевищення ГДК змінювалась від 1,83 у 2019 р. до 3,13 у 2018 р.).

Чи існує зв'язок між перевищеннями ГДК



концентраціями цих речовин? Як видно з кореляційної матриці (табл. 1), чіткого і тісного зв'язку не існує. Коефіцієнти кореляції невисокі. Це свідчить, що ймовірно ці речовини викидаються різними джерелами, причому їх досить багато.

Розглянемо детальніше закономірності зміни концентрації речовин, згаданих в табл. 1, адже саме вони, найбільшою мірою, визначають особливості забруднення атмосферного повітря міста.

Аналіз динаміки забруднення атмосферного

Таблиця 1

Кореляційна матриця для кратностей перевищення ГДК концентраціями деяких забруднюючих речовин в атмосферному повітрі м. Луцька

	NO <sub>2</sub>	фенол	формальдегід
NO <sub>2</sub>		0,447586	0,198885
фенол	0,447586		0,142495
формальдегід	0,198885	0,142495	

повітря забруднюючими речовинами, концентрації яких перевищують ГДК, в розрізі окремих постів (рис. 8-10) за 2014-19 р.р. дозволив встановити певні закономірності. Так, наприклад, у 2019 р. у м. Луцьку спостерігався високий рівень забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту. На ПСЗ №4 найвищі середньомісячні концентрації спостерігались у травні (1,87 ГДК), на ПСЗ №5 – у липні-серпні (1,99 ГДК), на ПСЗ №7 – у травні (2,03 ГДК). Перевищень ГДК по діоксиду азоту на ПСЗ протягом року зафіксовано 81 (123 у 2018 р.). Річний хід концентрацій діоксиду азоту залежить від інтенсивності транспортних потоків, якості паливно-мастильних матеріалів та метеорологічних умов.

Забруднення повітря міста фенолом у 2019 р. дещо зменшилося. Пік забруднення на всіх ПСЗ припав на серпень. На ПСЗ №4 зафіксовано 19 випадків перевищень ГДК з максимальною концентрацією 1,6 ГДК у червні, ПСЗ №5 – 33 випадки з максимальною концентрацією 1,7 ГДК у серпні, ПСЗ №7 – 41 випадок, максимальна концентрація 2,14 ГДК у серпні.

Забруднення атмосферного повітря Луцька формальдегідом за 2019 р. також зменшилося. Пік забруднення на ПСЗ №5 припадає на червень (максимальна концентрація 0,82 ГДК), на ПСЗ №7 на травень (1,07 ГДК). На збільшення забруднення атмосферного повітря Луцька формальдегідом відчутно впливає велика кількість автотранспорту в місті.

У 2018 р. також зафіксовано високий рівень забруднення атмосферного повітря міста діоксидом азоту. На ПСЗ №4 найвищі середньомісячні концентрації спостерігались у листопаді (1,90 ГДК), ПСЗ №5 – у січні (2,15 ГДК), ПСЗ №7 – у травні (1,6 ГДК). Протягом року зафіксовано 123 випадки перевищення ГДК по діоксиду азоту (164 у 2017 р.).

Забруднення повітря міста фенолом у 2018 р. зросло, зафіксовано два піки забруднення на всіх ПСЗ: у січні та у липні. Перший з них

пов'язаний із переходом населення та установ на обігрів приміщень альтернативними видами палива з використанням твердопаливних котлів. На ПСЗ №4 зафіксовано 41 випадок перевищень ГДК з максимальною концентрацією 1,98 ГДК у липні, ПСЗ №5 – спостерігалось 26 випадків, максимум – 1,98 ГДК у липні, ПСЗ №7 – 11 випадків, максимум 1,68 ГДК у липні.

Забруднення атмосферного повітря Луцька формальдегідом також зросло. Пік забруднення на ПСЗ №5 припадає на липень (1,82 ГДК), ПСЗ №7 у липні (2,11 ГДК). Традиційно впливає велика кількість автотранспорту в місті.

У 2017 р. концентрація діоксиду азоту також зростала. На ПСЗ №4 найвищі середньомісячні концентрації спостерігались у липні (1,95 ГДК), ПСЗ №5 – у вересні (2,15 ГДК), ПСЗ №7 – у вересні (2,2 ГДК). Випадків перевищення ГДК по діоксиду азоту протягом року зафіксовано 164 (190 у 2016 р.), найбільше у вересні (55).

Забруднення повітря міста фенолом у 2017 р. зросло. Гострих піків на всіх ПСЗ протягом року не спостерігалось, але в осінньо-зимові місяці концентрації зростають у зв'язку з переходом на альтернативні види палива. На ПСЗ зафіксовано 24 випадки перевищень (максимальна концентрація – 1,58 ГДК у вересні), ПСЗ №5 – 18 випадків (1,48 ГДК у жовтні), ПСЗ №7 – 10 випадків (1,48 ГДК у вересні).

Забруднення атмосферного повітря Луцька формальдегідом також зросло. Пік забруднення на ПСЗ №5 припадає на червень (2,79 ГДК), ПСЗ №7 – на серпень (2,37 ГДК).

Забруднення м. Луцька діоксидом азоту у 2016 р. також було традиційно високим. На ПСЗ №4 найвищі середньомісячні концентрації спостерігались у червні (1,65 ГДК), ПСЗ №5 – у травні (1,65 ГДК), ПСЗ №7 – у червні (1,6 ГДК). Випадків перевищення ГДК протягом року – 190 (169 у 2015 р.).

Забруднення повітря міста фенолом у 2016 р. продовжувало зростати. На ПСЗ №4 зафіксовано

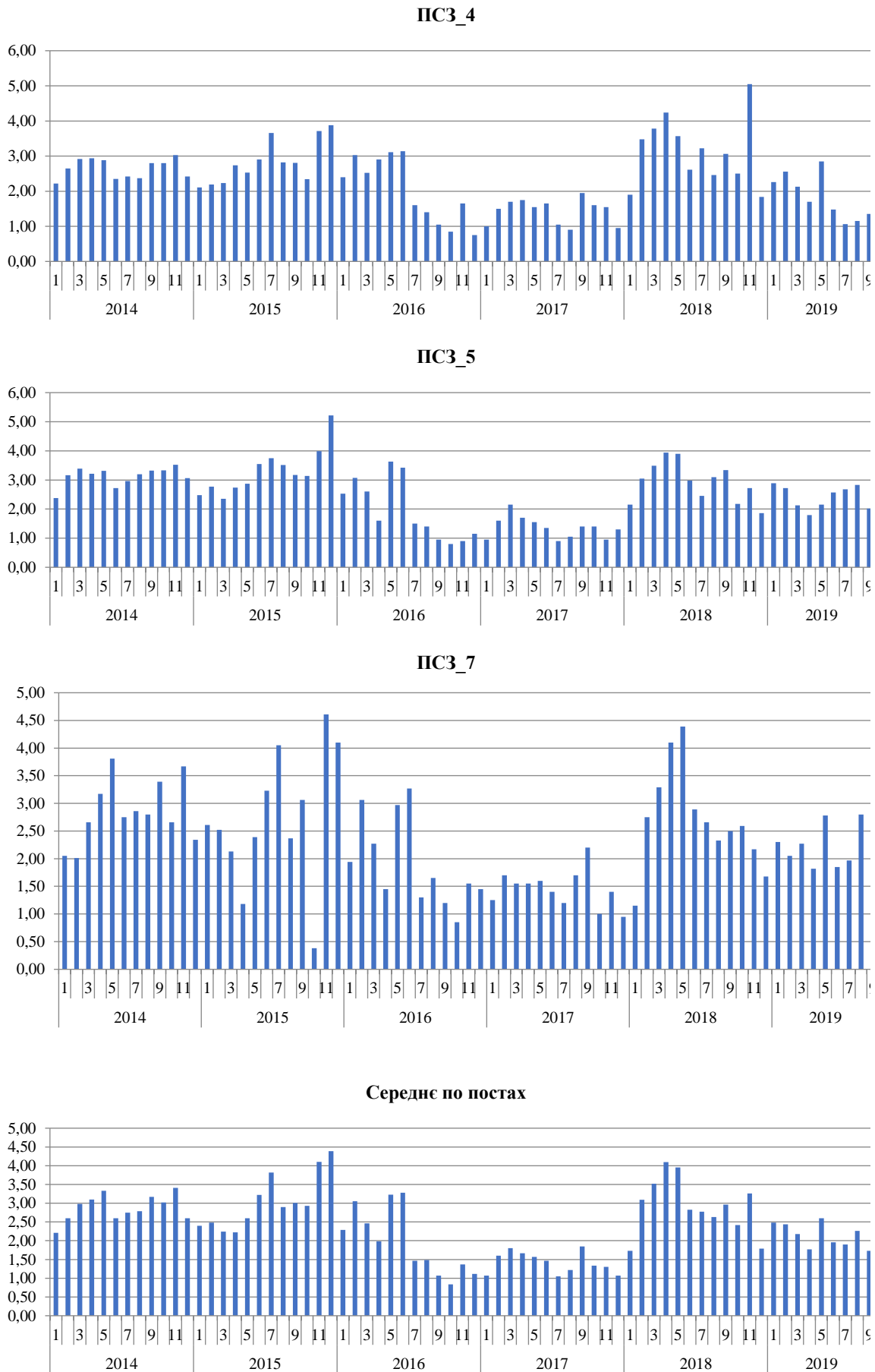


Рис. 8. Динаміка зміни ІЗА м. Луцька діоксидом азоту (за матеріалами Волинського ЦГМ)

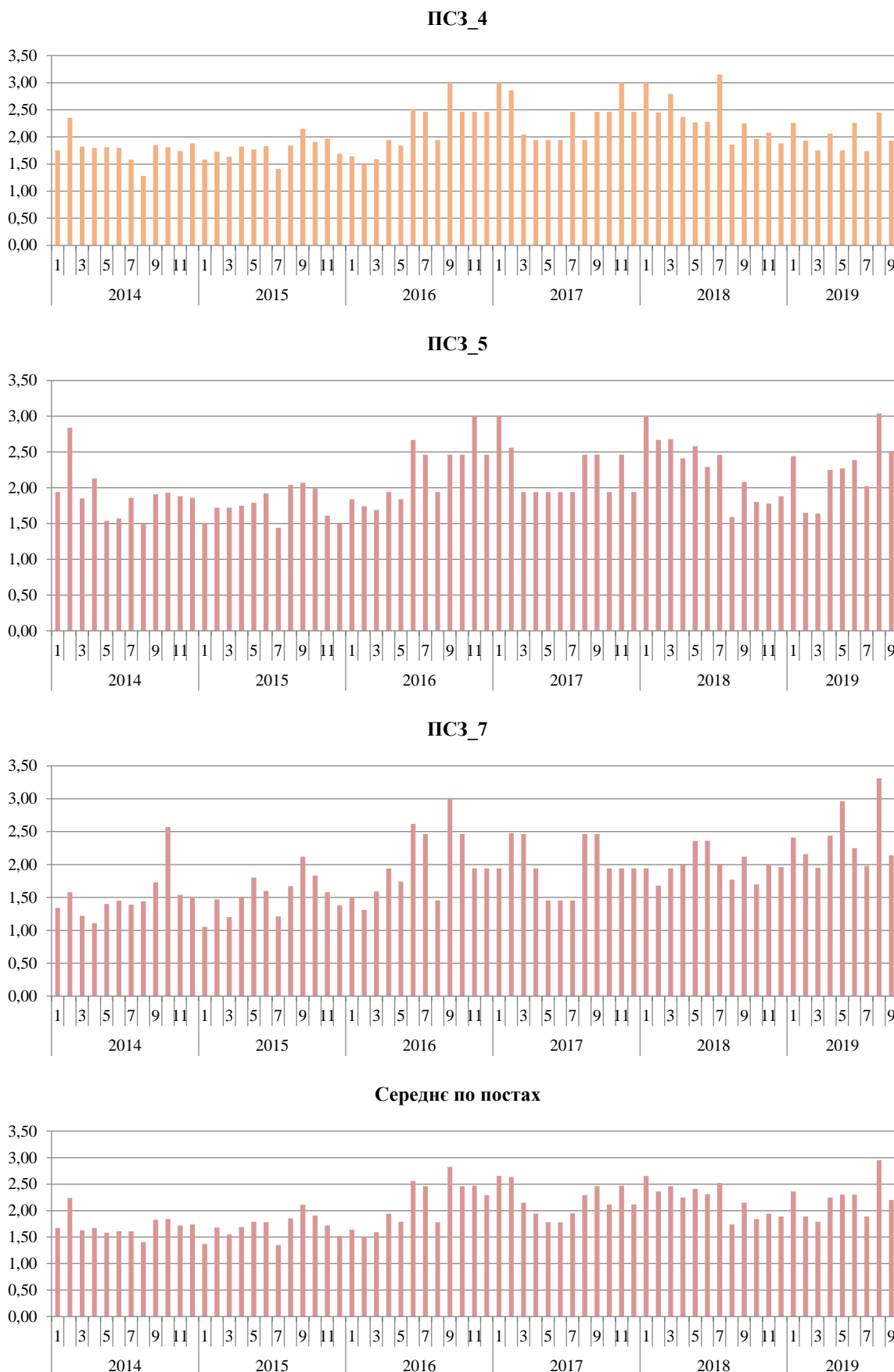


Рис. 9. Динаміка зміни ІЗА м. Луцька фенолом (за матеріалами Волинського ЦГМ)

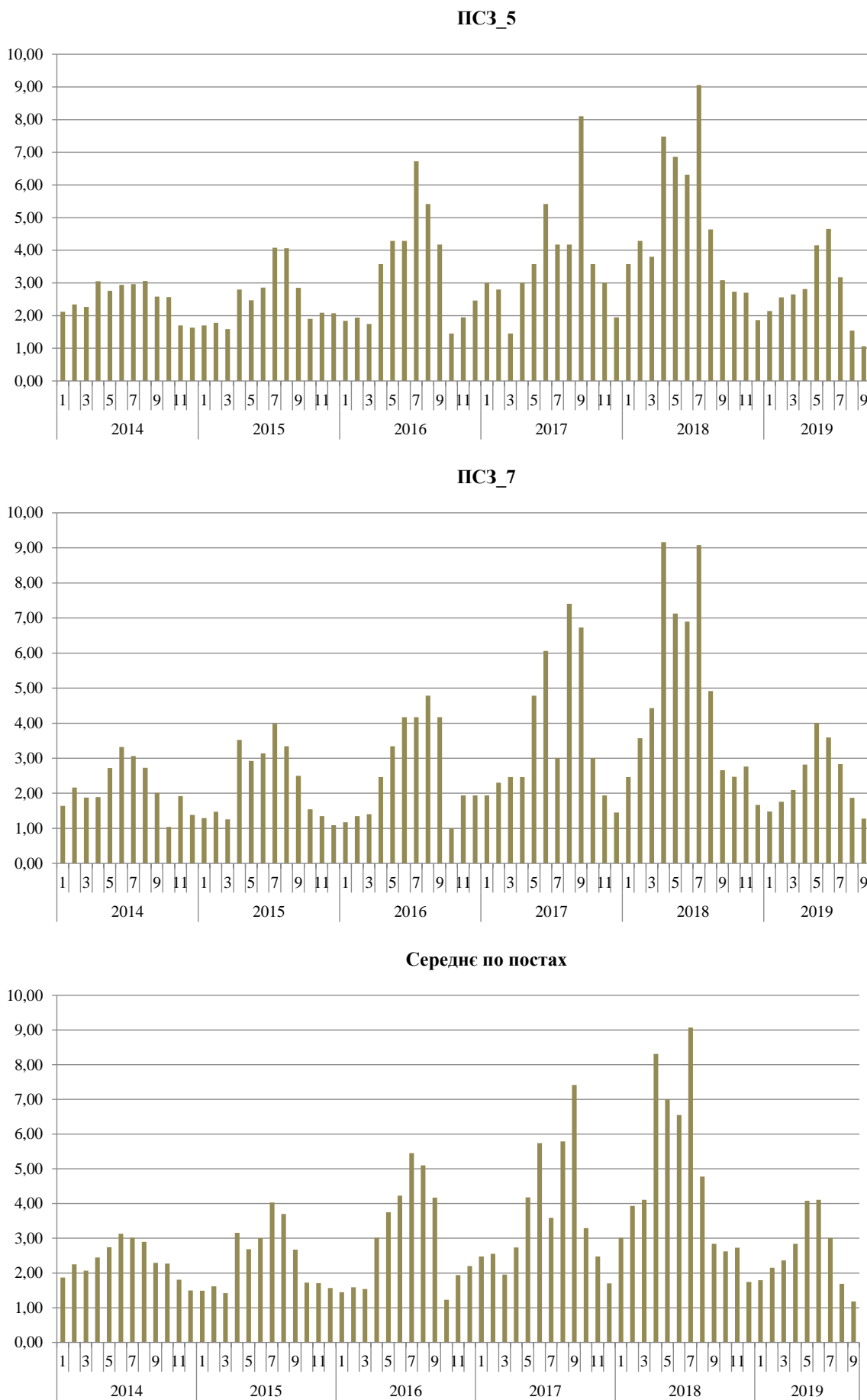


Рис. 10. Динаміка зміни ІЗА м. Луцька формалдегідом (за матеріалами Волинського ЦГМ)

14 випадків перевищень ГДК, максимум 1,4 ГДК у грудні, ПСЗ №5 – 16 випадків (1,3 ГДК у вересні), ПСЗ №7 – 9 випадків (2,4 ГДК у червні).

Забруднення атмосферного повітря Луцька формальдегідом за 2016 р. також зросло. Пік забруднення припадає на липень-серпень – ПСЗ № 5 (2,08 ГДК), ПСЗ № 7 (1,34 ГДК).

Рівень забруднення атмосферного повітря у м. Луцьку діоксидом азоту у 2015 р. – високий. На ПСЗ №4 та №5 найвищі середньомісячні концентрації зафіксовані у грудні (1,55 ГДК та 1,6 ГДК), ПСЗ №7 – у листопаді (1,95 ГДК). Зафіксовано 169 випадків перевищення ГДК протягом року (160 у 2014 р.)

Забруднення повітря міста фенолом у 2015 р. дещо зменшилось. На ПСЗ №4 спостерігалось 8 випадків перевищень ГДК (максимальна концентрація – 1,5 ГДК у травні), ПСЗ №5 – 3 випадки перевищення ГДК (1,3 ГДК у червні), ПСЗ №7 – 5 випадків перевищення (1,6 ГДК у травні).

Забруднення атмосферного повітря Луцька формальдегідом протягом 2015 р. зросло. Пік забруднення припадає на липень-серпень з максимальною концентрацією 1,2 ГДК на ПСЗ №5 та 0,8 ГДК на ПСЗ №7.

Забруднення м. Луцька діоксидом азоту у 2014 р. також перевищувало допустимі нормативи. На ПСЗ №4 та №5 найвищі середньомісячні концентрації спостерігались у листопаді (1,45 ГДК та 1,5 ГДК), ПСЗ №7 – у травні (1,5 ГДК). Випадків перевищення ГДК протягом року зафіксовано 160 (89 у 2013 р.).

Рівень забруднення повітря міста фенолом у 2014 р. підвищився. Причому на ПСЗ №5 він був найвищим – 13 випадків (максимальна концентрація – 1,8 ГДК у лютому), ПСЗ №4 – 13 випадків (1,6 ГДК у лютому), ПСЗ №7 – 5 випадків (1,3 ГДК у травні).

Ситуація із забрудненням повітря міста формальдегідом у 2014 р. значно покращилась, що і зменшило значення ІЗА по Луцьку (ІЗА – 7,99, 22 місце по Україні). Пік забруднення припадає на літній період – ПСЗ № 5 (1,1 ГДК у липні), ПСЗ №7 (1,02 ГДК у червні). Зафіксовано лише по одному випадку перевищення ГДК на кожному із ПСЗ, у 2013 році – 18 випадків.

Отже, забруднення атмосферного повітря в місті, найбільшою мірою визначається концентраціями діоксиду азоту, фенолу та формальдегіду.

Основними джерелами надходження оксидів азоту, зокрема, NO<sub>2</sub> в атмосферу є викиди продуктів високотемпературного і неповного згорання палива (вихлопні гази автотранспорту, викиди промислових підприємств і теплових електростанцій). Також діоксид азоту надходить в атмосферу внаслідок мікробіологічних процесів, що відбуваються у ґрунті, фотохімічного окислення

аміаку і закису азоту в атмосфері. Вміст діоксиду азоту залежить від багатьох чинників: урбанізації, кількості транспорту, сезонності, температури повітря. Небезпека зростання вмісту цієї забруднюючої речовини збільшується внаслідок глобальних змін клімату. Викиди оксидів азоту в атмосферу також призводять до виникнення кислотних дощів [12].

Фенол викидається у атмосферне повітря міст внаслідок функціонування підприємств, в технологічних процесах яких відбувається термічна переробка органічної сировини (деревообробна, целюлозно-паперова, хімічна, нафтохімічна промисловість, виготовлення штучних смол, пластмаси тощо). Тенденція до збільшення забруднення атмосферного повітря м. Луцька фенолом також може бути частково пояснена переорієнтацією на альтернативні види палива для опалення житлових та комунальних будівель міста, диверсифікацією споживання палива з метою зменшення енергетичної залежності від імпортного газу. При спалюванні твердого палива викиди фенолу зростають на порядок [3, 4].

Формальдегід в атмосфері синтезуються внаслідок фотохімічних процесів під впливом ультрафіолетового випромінювання. Джерелами антропогенного надходження формальдегіду у довкілля є також: металургійні та хімічні підприємства, виготовлення меблів, полімерів та будівельних матеріалів. Останнім часом у великих містах основним джерелом забруднення атмосферного повітря є автотранспорт, вихлопні гази якого містять високі концентрації формальдегіду, що утворюється за неповного згорання палива. Останні дослідження доказують, що формальдегід надходить в атмосферу не тільки від промислових і природних (лісові та торфові пожежі) джерел, але й утворюється як вторинний продукт у результаті комплексу фотохімічних реакцій у взаємодії з метаном, оксидами азоту та іншими вуглеводневими сумішами, які є в забрудненій атмосфері [3]. Суттєво впливає на зростання вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі міста в зміна метеорологічних умов. Концентрації формальдегіду в атмосферному повітрі характерна чітка сезонність, збільшення концентрації в літній період, що залежить від температури повітря й інтенсивності прямої сонячної радіації [6].

Отже, склад та концентрації забруднюючих речовин, які перевищують ГДК, ще раз доводить висловлену тезу про те, що основним джерелом забруднення атмосферного повітря в місті є саме автотранспорт. У складі відпрацьованих газів автомобілів найбільша частка за об'ємом припадає на оксид вуглецю (0,5-10%), оксиди азоту (до 0,8%), неспалені вуглеводні (0,2-3,0%), альдегіди (до 0,2%) та сажу. В абсолютних величинах на 1 т

пального двигун внутрішнього згорання викидає з вихлопними та картерними газами: 200 кг СО, 25 кг вуглеводнів, 20 кг оксидів азоту, 1 кг сажі, 1 кг сірчистих сполук [5].

Можна зробити наступний проміжний підсумок: ми звикли до того, що м. Луцьк належить до міст із відсутніми крупними підприємствами, екологічно шкідливими виробництвами, значною площею озеленення і, як наслідок, сприятливою екологічною ситуацією. На жаль, на сьогодні це не так. Сучасні реалії змушують вести мову про серйозні екологічні проблеми, які стоять перед містом і вимагають негайного розв'язання. І найгострішою з них є проблема забруднення атмосферного повітря. Підтвердженням тому є знаходження міста в першій десятці міст України за забрудненням атмосферного повітря протягом кількох минулих років.

Що робиться на сьогодні в місті для поліпшення ситуації? Протягом кілька останніх років серед екологічних проблем міста жителів найбільш турбувала проблема смороду в південно-західній та південній частинах міста. Джерелом неприємного запаху були поля фільтрації Гнідавського цукрового заводу, на які скидалися відходи виробництва спирту. Речовини, що потрапляли в атмосферне повітря з полів, зумовлювали подразнення слизових оболонок дихальних органів, очей та шкіри, погіршували стан здоров'я мешканців Луцька. Лише протягом травня-липня 2019 р. до міської ради надійшло 1272 скарги на неприємний запах. Наприклад, внаслідок перевірки, проведеної 09.07.19 р. у 5 місцях відбору (дачна забудова масиву «Світанок, вулиці Львівська, Ковельська, Станіславського, бульвар Дружби Народів) виявлено перевищення концентрації аміаку (від 2,3-22,6 ГДК), сірководню (2-10 ГДК), оцтової кислоти (2,6 ГДК) [9]. Відділом екології Луцької міської ради було проведено ряд заходів по вирішенню проблеми. Зокрема, припинено скид відходів спиртового виробництва на поля фільтрації, розроблено план заходів для зменшення забруднення атмосферного повітря в зоні дії підприємства. В результаті влітку 2020 р. неприємний запах в південній та південно-західній частині міста відсутній. Це приклад вирішення екологічної проблеми міською владою спільно з громадськістю міста.

В місті діє «Комплексна програма охорони навколишнього природного середовища міста Луцька на 2018-2020 роки» [13]. В розділі «Охорона атмосферного повітря» вона передбачає реалізацію низки заходів. А саме: проведення інвентаризації викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря (ПрАТ «Луцький пивзавод», ПАТ «Луцьк Фудз, Луцьке МПД ДП «Укрспирт», ПАТ «Волиньгаз», ПрАТ «СКФ Україна»), здійс-

нення лабораторного контролю викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами (ПрАТ «СКФ Україна», ДП «АСЗ № 1» ПАТ «АК «Богдан Моторс»), придбання та встановлення пилогазоочисного устаткування (ДП ЛРЗ «Мотор», ПАТ «Теремно Хліб») тощо [13]. Все це потрібні заходи. Але стосуються вони переважно підприємств, які мають стаціонарні джерела викидів. А в структурі забруднення атмосферного повітря міста останнім часом близько 95% припадає на пересувні джерела, зокрема, автотранспорт.

Ще одною позитивною практикою міської влади останнім часом є спроба налагодити оперативний моніторинг з використанням дистанційних методів та інтерактивних карт. Зокрема, створена платформа для автоматичного збору даних та здійснення моніторингу за якісним станом атмосферного повітря (рис. 11) [24]. За допомогою аналітичного модулю можливо проаналізувати статистичні дані за попередній період, побудувати діаграми, співставити якісний стан атмосферного повітря за 5 параметрами (аміак, діоксид азоту, оксид вуглецю, частки пилу розміром 2,5 і 10 мкм), стан метеорологічних компонентів тощо.

**Висновки.** Отже, підсумовуючи вище викладене можна зробити висновки, що забруднення атмосферного повітря перетворюється для м. Луцька на найважливішу екологічну проблему, яка вже на сьогодні суттєво погіршує умови проживання та стан здоров'я населення міста. В розрізі забруднювачів в останні роки найбільша частка (понад 95%) припадає на пересувні джерела, перш за все автотранспорт. В розрізі забруднюючих речовин постійне перевищення ГДК в атмосферному повітрі фіксується для діоксиду азоту, фенолу та формальдегіду. Але вміст ще деяких забруднюючих речовин в атмосферному повітрі впритул наближається до ГДК. Так, наприклад, концентрація оксиду азоту на ПСЗ №5 в 2019 р. становила в лютому – 0,96 ГДК, в березні – 0,87 ГДК, в травні – 0,95 ГДК, в 2018 р. в лютому – 0,91 ГДК, в березні – 0,91 ГДК, в квітні – 0,94 ГДК, в травні – 1,02 ГДК, в червні – 0,96 ГДК, в липні – 1,15 ГДК, в листопаді – 1,62 ГДК. Тому прогнозуємо, що якщо не будуть вжиті негайні та ефективні заходи для зменшення забруднення, концентрація цих речовин також може перевищувати ГДК і суттєво впливати на величину ІЗА вже в недалекому майбутньому.

Заходи, які на сьогодні вживаються владою у місті для зменшення забруднення атмосферного повітря є правильними, але недостатніми. Вони спрямовані, передусім, на стаціонарні джерела викидів. Такі викиди також потрібно контролювати і зменшувати, але вони становлять лише

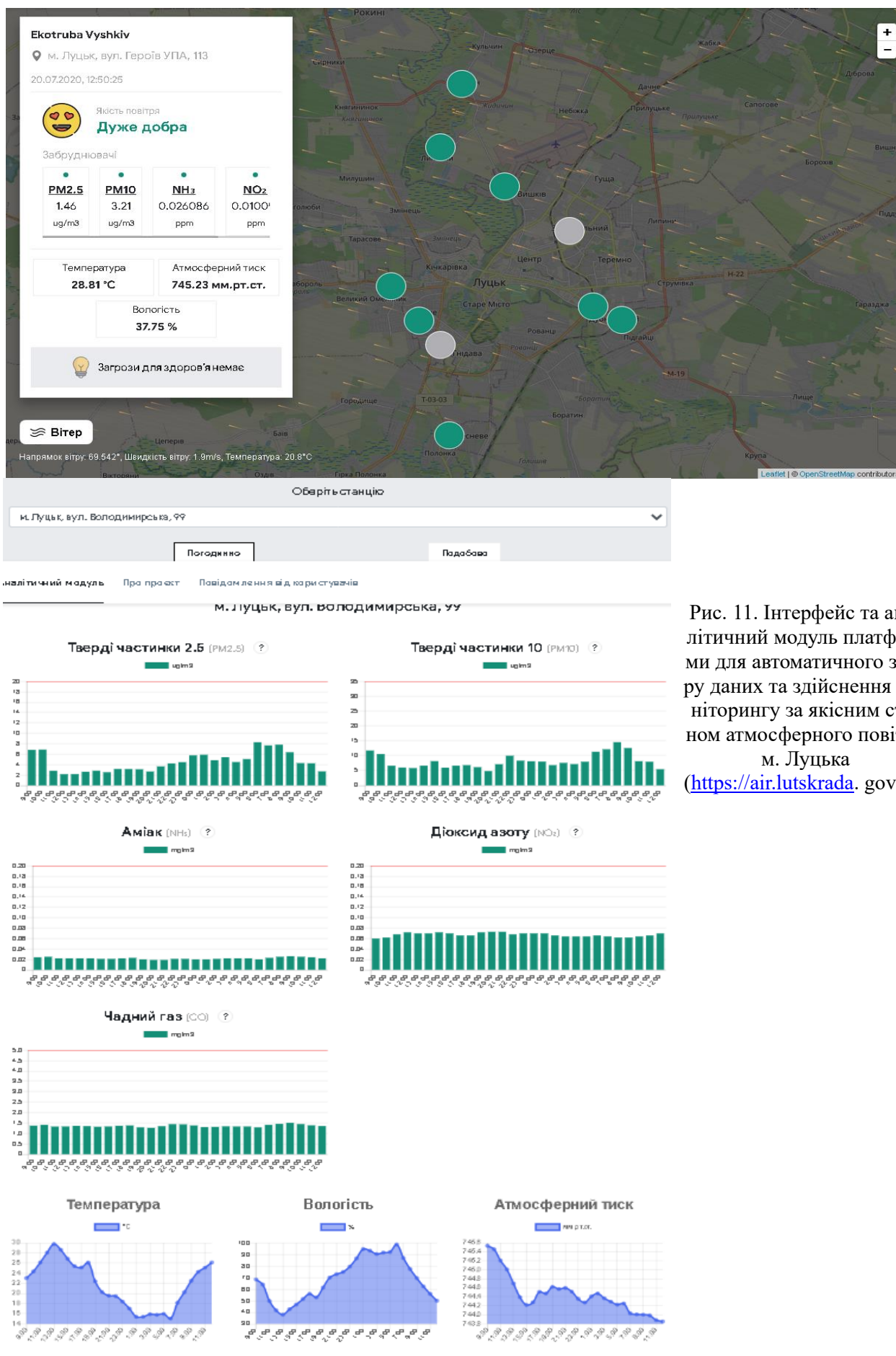


Рис. 11. Інтерфейс та аналітичний модуль платформи для автоматичного збору даних та здійснення моніторингу за якісним станом атмосферного повітря м. Луцька (<https://air.lutskrada.gov.ua>)

3-5% сумарних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря м. Луцька. Ще один важливий чинник збільшення забруднення повітряного басейну міста – викиди котелень та окремих котлів, які переорієнтувались на тверде паливо з метою диверсифікації використання палива і зменшення газової залежності. Вплив цього чинника вже відчутно проявляється за результатами моніторингу. З іншого боку, немає іншого шляху в енергозабезпеченні нашої держави окрім зменшення використання газу і залежності від країн-експортерів газу.

Насамкінець пріоритетним напрямком заходів охорони атмосферного повітря в м. Луцьку є зменшення викидів пересувних джерел, зокрема автотранспорту. Для цього слід:

- оптимізувати транспортну мережу міста, розробити нову ефективну схему руху транспорту, структуру і обсяги транспортних потоків у місті;
- здійснювати планування та забудову міста з дотриманням нормативно визначеної відстані до транспортних шляхів, унеможливити хаотичну, безсистемну забудову центральної частини міста, нове житлове будівництво дозволити лише у новостворених кварталах, розбудувати мережу автопарковок в місті, жорстко контролювати дотримання заборони паркування в окремих частинах міста;
- добудувати мережу об'їзних доріг з метою зменшення ймовірності потрапляння транспортних транспортних потоків у центр міста;
- впровадити в місті автоматизовану систему регулювання дорожнього руху, удосконалити управління сигналами світлофорів, створювати так звані «зелені хвилі»;
- максимально перейти на електричний громадський транспорт, збільшити кількість тролейбусів, відмовитись від маршруток на користь тролейбусів, добудувати контактну мережу у районах, де вона нині відсутня;
- проводити популяризацію громадського транспорту з метою відмови мешканців міста від поїздок особистим транспортом;
- створити «перехоплюючі» парковки (так звані «Park+Ride») на в'їздах в місто біля зупинок громадського транспорту;
- розвивати велосипедний рух в місті, створювати велосипедну інфраструктуру;
- збільшувати кількість зелених насаджень у місті, особливо вздовж вулиць та автодоріг з інтенсивним рухом.

Імплементация кожного із цих заходів не є панацеєю, але дозволить на якусь частку зменшити забруднення атмосферного повітря міста і поліпшити умови проживання містян. Впровадження всього комплексу заходів дозволить досягнути кумулятивного ефекту і зменшити забруднення вже на суттєву величину, сприятиме підвищенню привабливості міста для лучан та туристів.

#### Література

1. Антонов К. Л. Воздействие выбросов автотранспорта на здоровье детей Екатеринбурга / К. Л. Антонов, Е. Д. Константинова, А. Н. Вараксин // Гигиена и санитария. – 2007. – № 5. – С. 28-32.
2. Архипова Е. И. Характеристика заболеваемости населения Великого Новгорода с учётом уровня загрязнения атмосферного воздуха / Е. И. Архипова, Т. И. Оконенко // Экология человека. – 2007. – № 5. – С. 11-14.
3. Баитаннік М. П. Стан забруднення атмосферного повітря над територією України / М. П. Баитаннік, Н.С. Жемера, Є. М. Кіпченко, Т. В. Козленко // Наукові праці УкрНДГМІ. – 2014. – Вип. 266. – С. 70-93.
4. Бекетов В. Є. Аналіз та оцінка рівня забруднення атмосферного повітря м. Харків / В. Є. Бекетов, Г. П. Євтухова, О. С. Ломакіна // Людина та довкілля. Проблеми неоекології. – 2016. – № 3-4 (26). – С. 97-103.
5. Васькін Р. А. Аналіз динаміки забруднення атмосферного повітря України викидами автотранспорту / Р. А. Васькін, І. В. Васькіна // Вісник КДПУ ім. М. Остроградського. – Вип. 5. – 2009. – № 58. – С. 109-112.
6. Гомонай В. І. Формальдегід – головний компонент забруднення атмосфери автомобільним транспортом в містах України / В. І. Гомонай, В. Ю. Лобко, В. С. Ходаковський // Екологічний вісник. – 2007. – № 1 (41). – С. 10-12.
7. Донець М. П. Гігієнічна оцінка забруднення повітряного басейну у Чернігівській області / М. П. Донець, А. Г. Валовенко, Л. М. Петрусенко [та ін.] // Довкілля та здоров'я. – 2010. – № 4 (55). – С. 63-67.
8. ДСП-201-97. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених міст від забруднення хімічними та біологічними речовинами. Введено Наказом МОЗ України № 201 від 9.07.97. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://kislroda.net.ua/articles/view/65.html>
9. Екологічний паспорт м. Луцьк. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://voladm.gov.ua/article/ekologichnyi-pasport-mlucka/>
10. Киреева И. С. Гигиеническая оценка риска загрязнения атмосферного воздуха промышленных городов Украины для здоровья населения / И. С. Киреева, И. А. Черниченко, О. Н. Литвиченко // Гигиена и санитария. – 2007. – № 1. – С. 17-21.
11. Клейн С. В. Формирование программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха для задач социально-гигиенического мониторинга: практический опыт реализации мероприятий федерального проекта «Чистый воздух» / С. В. Клейн, Н. В. Зайцева, И. В. Май, С. Ю. Балашов, С. Ю. Загороднов, Д. В. Горяев, И. В. Тихонова, А. М. Андришунас // Гигиена и санитария. – 2020. – №99 (11). – С. 1196-1202.



12. Колесник В. С. Екологічна класифікація якості атмосферного повітря за комплексними індексами його забруднення / В. С. Колесник, А. В. Павличенко, К. Р. Калініна // *Геотехнічна механіка*. – 2017. – №137. – С. 156-169.
13. Комплексна програма охорони навколишнього природного середовища міста Луцька на 2018-2020 роки. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.lutskrada.gov.ua/documents/pro-zatverdzhennya-kompleksnovi-programy-ohorony-navkolyshnogo-pryrodnogo-seredovyssha>
14. Малєєв В. О. Атмосферне повітря м. Херсона: стан і проблеми / В.О. Малєєв, В.М. Безпальченко, О.О. Семенченко // *Екологічні науки*. – 2018. – № 3 (22). – С. 47-52.
15. Методичні рекомендації «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря». Затверджено Наказом МОЗ України № 184 від 13.04.2007. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=6902>
16. Мольчак Я. О. Луцьк: сучасний екологічний стан та проблеми / Я. О. Мольчак, В. О. Фесюк, О. Ф. Картава. – Луцьк: РВ ЛДТУ, 2003. – 488 с.
17. Огляд про стан забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій (2014-19 р.р). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=u\\_zabrud&f=ukraine&p=1](http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine&p=1)
18. Стан атмосферного повітря і неінфекційна захворюваність. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://cgz.vn.ua/problematika-gromadskogo-zdorovya/problematika-gromadskogo-zdorovya\\_455.html](http://cgz.vn.ua/problematika-gromadskogo-zdorovya/problematika-gromadskogo-zdorovya_455.html)
19. Стахів І. Р. Вплив забруднення повітряного середовища на стан здоров'я населення за 2001-2010 рр. // *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики*. Зб. наук. пр. – 2013. – С. 126-132.
20. 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.
21. Тафеева Е. А. Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха как фактор риска здоровью населения Казани / Е. А. Тафеева, А. В. Иванов, А. А. Титова, И. Ф. Ахметзянова // *Гигиена и санитария*. – 2015. – № 94 (3). – С. 37-40.
22. Фесюк В. О. Конструктивно-географічні засади формування екологічного стану великих міст Північно-Західної України / В. О. Фесюк. – Луцьк: РВВ ЛДТУ, 2008. – 344 с.
23. Фесюк В. О. Луцьк: сталий розвиток і соціально-екологічні проблеми / В. О. Фесюк. – Луцьк: РВВ ЛДТУ, 2013. – 304 с.
24. Чисте повітря. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://air.lutskrada.gov.ua>
25. Чугай А. В. Оцінка забрудненості повітряного басейну міста Миколаїв / А. В. Чугай // *Український гідрометеорологічний журнал*. – 2013. – № 13. – С. 10–17.
26. Чугай А. В. Оцінка рівня забруднення атмосферного повітря міст прибережної зони Північно-Західного Причорномор'я / А. В. Чугай, А. В. Колісник, О. В. Демяненко, С. Е. Романенко // *Вісник ХНУ ім. В.Н. Каразіна. Сер. «Екологія»*. – 2015. – Вип. 13. – С. 91-97.
27. Чугай А. В. Забруднення атмосферного повітря міст прибережної зони Північно-Західного Причорномор'я специфічними забруднюючими речовинами / А. В. Чугай, Х. С. Патраман // *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. – 2017. – № 1 – 2 (27). – С. 113-122.
28. Чугай А. В. Стан та якість повітряного басейну Одеської промислово-міської агломерації / А.В. Чугай // *Екологічна безпека*. – 2019. – Вип. 2 (28). – С. 81–85.
29. Яценко О. Класифікація міст України за рівнем забруднення атмосферного повітря. / О. Яценко, О. Шевченко, С. Сніжко // *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія: Географія*. – 2017. – Вип. 3(68). – С. 25-30. <http://doi.org/10.17721/1728-2721.2017.68.4>
30. ChunLee C. Evaluation of air quality in Sunway City, Selangor, Malaysia from a mobile monitoring campaign using air pollution micro-sensors. / C. ChunLee, M.Cheng, W. Choo, C. Pin, T. Yeong, S. Chiew // *Environmental Pollution*. – Vol. 265. – P. 263-271. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115058>
31. Cooper C. D. Air Pollution Control: A Design Approach / C. D. Cooper, F. C. Alley // Long Grove (IL): Waveland press. – 2011. – 839 p.
32. Di Menno A. Combined effects of air pollution and allergens in the city of Rome / A. Di Menno, M. Bucchianico M., A. Brighettib, G. Cattania, C. Costac // *Urban Forestry & Urban Greening*. – 2019. – Vol. 37 P. 13-23. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.04.001>
33. Font A. A tale of two cities: is air pollution improving in Paris and London? / A. Font, L. Guiseppein, M. Blangiardo, V. Ghersi, G. Fuller // *Environmental Pollution*. – 2019. – Vol. 249. – P. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.01.040>
34. Gallagher J. The passive control of air pollution exposure in Dublin, Ireland: A combined measurement and modeling case study / J. Gallagher, L. Gill, A. McNabola // *Science of the Total Environment*. 2013. – Vol. 458-460. – P. 331-343.
35. Guttikunda S. Air pollution knowledge assessments (APnA) for 20 Indian cities / S. Guttikunda, K. Nishadh, A. Pujawahar // *Urban Climate Volume*. – 2019. Vol. 3. – P. 124-141. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.11.005>
36. Hu K. The association between city-level air pollution and frailty among the elderly population in China / K. Hu, K. Keenan, J. Hale, T. Börger // *Health & Place*. – 2020. – Vol. 64. – P. 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2020.102362>

37. Khan J. *The spatial relationship between traffic-related air pollution and noise in two Danish cities: Implications for health-related studies* / J. Khan, K. Kakosimos, S. Jensen, O. Hertel, M. Sorensen, J. Gulliver, M. Ketzel // *Science of The Total Environment*. – 2020. – Vol. 726. – P. 102-114. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138577>
38. Kelly F. *Monitoring air pollution: use of early warning systems for public health* / F. J. Kelly, G. W. Fuller, H. A. Walton, J. C. Fussell // *Respirology*. – 2012. – Vol. 17, № 1. – P. 7–19.
39. Lee D. *Estimating the health impact of air pollution in Scotland, and the resulting benefits of reducing concentrations in city centres* / D. Lee, C. Robertson, C. Ramsay, C. Gillespie, G. Napier // *Spatial and Spatiotemporal Epidemiology*. – 2019. – Vol. 29. – P. 85-96. <https://doi.org/10.1016/j.sste.2019.02.003>
40. Shupranova, L. V. *Air pollution assessment in the Dnepropetrovsk industrial megapolice of Ukraine* / L. V. Shupranova, V. M. Khlopova, M. M. Kharytonov // *Air Pollution Modeling and its Application XXII. NATO Science for Peace and Security Series – C: Environmental Security*. Springer. – 2014. – Pp. 101–104.
41. Son Y. *Land use regression models to assess air pollution exposure in Mexico City using finer spatial and temporal input parameters* / Y. Son, A. Osornio-Vargas, M. O'Neill, P. Hystad, J. Texcalac-Sangrador // *Science of The Total Environment*. – 2018. – Vol. 639. – P. 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.144>
42. Zhang K. *Air pollution and health risks due to vehicle traffic* / K. Zhang, S. Batterman // *Science of The Total Environment*. – 2013. – Vol. 450-451. – P. 307-316. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.01.074>

Надійшла до редакції 19 липня 2020 р.

Прийнята 30 березня 2021 р.

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

UDC 504.3.054

**Vasyl Fesyuk,**

DSc (Geography), Professor, Head of Department of Physical Geography,  
Lesya Ukrainka Eastern European National University, 13 Voli Avenue, 43000, Lutsk, Ukraine,  
e-mail: [fesyuk@ukr.net](mailto:fesyuk@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-3954-9917>;

**Iryna Moroz,**

PhD (Chemistry), Associate Professor,  
Department of Material Science, Lutsk National Technical University,  
75 Lvivska St., Lutsk, 43018, Ukraine,  
e-mail: [moroz.iryнал@gmail.com](mailto:moroz.iryнал@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-9167-4876>

## CURRENT STATE OF AIR POLLUTION OF LUTSK TOWN

**Introduction.** Air pollution is an important factor influencing the quality of life and health of peoples. It is increasing due to urbanization, development of industrial and transport complexes of cities. The same tendencies are characteristic for the state of air pollution in Lutsk. In recent years, the level of its pollution is estimated as high. And in the first half of 2018, Lutsk was among the top three cities with the highest level of air pollution in Ukraine. Although the town is not a major industrial center.

**The purpose of article.** The purpose of the study is assessment and analyze the current level of air pollution in Lutsk for many years (2011-2019).

**Methods.** Research methods – expeditionary (for research the ecological condition of the urban area), methods of mathematical statistics (for statistical processing of monitoring results), expert assessment (to establish the causes of pollution and environmental risks).

The materials of own researches of an ecological condition of the Lutsk territory, and also results of laboratory researches of atmospheric air pollution on stationary posts in the town are used. They were conducted by the Integrated Laboratory for Environmental Pollution Observations of the Volyn Regional Center for Hydrometeorology.

**Results.** The structure of pollutant emissions in the town is analyzed. It is established that the share of emissions from mobile sources (vehicles) increased from 61.4% in 1990 to 92.2% in 2015 and 94.6% in 2020. For the period from 2009 to the present the air pollution index (API) for the Lutsk town varies between 7.7 and 10.49 (high level of pollution). The size of the API slightly decreased until 2015, and then increased until 2018. The place of Lutsk in the ranking of the most polluted cities in Ukraine correlates with the value of the API. In 2013-14 API was relatively low – 7.99-8.55. Lutsk occupied 22 steps. Since 2016, API for the Lutsk has started to increase. The city rating rose from 9 to 7 steps. Concentrations of nitrogen dioxide, phenol and formaldehyde in the air of the town constantly exceed the maximum concentration limits.

**The scientific novelty** is to analyze the dynamics of the content in the town air of substances whose concentrations exceed the maximum allowable, to study the causes of pollution, to develop a set of measures to reduce air pollution in Lutsk.

**Practical significance** is determined by the possibility of using the obtained results to develop a set of measures to reduce air pollution in Lutsk.

**Keywords:** atmospheric air, pollutant, air pollution index, pollution level, stationary emission sources, mobile emission sources, air pollution monitoring, measures to reduce air pollution.

#### **References**

1. Antonov, K. L., Konstantynova, E. D., Varaksyn, A. N. (2007). *The impact of vehicle emissions on the health of children in Yekaterinburg. Hygiene and sanitation*, 5, 38-32. [in Russian].
2. Archypova, E.Y., Okonenko, T.Y. (2007). *Characteristics of morbidity of the population of Veliky Novgorod taking into account the level of air pollution. Human ecology*, 5, 11-14. [in Russian].
3. Bashtannik, M.P., Jemer N.S., Kiptenko, E.M., Kozlenko, T.V. (2014). *Air pollution state the territory of Ukraine. Scientific Works of UkrNDGMI*, 266, 70-93. [in Ukrainian].
4. Byekyetov, V.Ye., Yevtuxova, G.P., Lomakina, O.S. (2016). *Analysis and assessment of atmospheric air pollution in Kharkiv. Man and the environment. Problems of neocology*, 3-4, 97-103. [in Ukrainian].
5. Vaskin, R. A., Vaskina, I. V. (2005). *Analysis of the dynamics of air pollution in Ukraine by vehicle emissions. Bulletin of the Mykhailo Ostrohradsky Kyiv State Pedagogical University*, 58, 109-112. [in Ukrainian].
6. Homonaj, V. I., Lobko, V. Ju., Chodakovskyy, V. S. (2007). *Formaldehyde is the main component of air pollution by road transport in the cities of Ukraine. Environmental Bulletin*, 1(41), 10-12. [in Ukrainian].
7. Donec, M. P., Valovenko, A. H., Petrusenko, L. M. (2010). *Hygienic assessment of air pollution in the Chernihiv region. Environment and health*, 4 (55), 63-67. [in Ukrainian].
8. DSP-201-97. *State sanitary rules of protection of atmospheric air of inhabited cities from pollution by chemical and biological substances. Introduced by the Order of the Ministry of Health of Ukraine № 201 dated July 9, 1997. Electronic resource. Available at: <http://kisloroda.net.ua/articles/view/65.html>*
9. *Ecological passport of Lutsk. Electronic resource. Available at: <https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-mlucka>. [in Ukrainian].*
10. Kyreeva, Y. S., Chernychenko, Y. A., Lytvychenko, O. N. (2007). *Hygienic assessment of the risk of air pollution of industrial cities of Ukraine for public health. Hygiene and sanitation*, 1, 17-21. [in Russian].
11. Klejn, S.V., Zajceva N.V., Maj, Y.V., Balashov, S.Yu., Zagorodnov, S.Yu., Goryachev, D.V., Tyxonova, Y.V., Andryshunas, A.M (2020). *Formation of atmospheric air quality monitoring programs for social and hygienic monitoring tasks: practical experience in implementing the activities of the federal project "Clean Air". Hygiene and sanitation*, 99 (11), 1196-1202. [in Russian].
12. Kolesnyk, V.Je., Pavlychenko, A.V., Kalinina, K.R. (2017). *Ecological classification of atmospheric air quality according to complex indices of its pollution. Geotechnical mechanics*, 137, 156-169. [in Ukrainian].
13. *Comprehensive environmental protection program of the city of Lutsk for 2018-2020. Electronic resource. Available at: <https://www.lutskrada.gov.ua/documents/pro-zatverdzhennya-kompleksnyi-programy-ohorony-navkolishnogo-pryrodnogo-seredovyshcha>. [in Ukrainian].*
14. Maljejev, V.O., Bezpалchenko, V.M., Semenchenko, O.O. (2018). *Atmospheric air of city Kherson: condition and problems. Environmental sciences*, 3 (22), 47-52. [in Ukrainian].
15. *Methodical recommendations "Assessment of the risk to public health from air pollution". Approved by the Order of the Ministry of Health of Ukraine № 184 dated 13.04.2007. Electronic resource. Available at: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=6902> [in Ukrainian].*
16. Molchak, Ja.O., Fesyuk, V.O., Kartava, O.F. (2003). *Lutsk: current ecological condition and problems. Lutsk: RVV LDTU*, 488. [in Ukrainian].
17. *Review of the state of environmental pollution on the territory of Ukraine according to the observations of hydrometeorological organizations (2014-19). Electronic resource. Available at: [http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=u\\_zabrud&f=ukraine&p=1](http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine&p=1). [in Ukrainian].*
18. *Atmospheric air condition and non-infectious morbidity. Electronic resource. Available at: [http://cgz.vn.ua/problematika-gromadskogo-zdorovya/problematika-gromadskogo-zdorovya\\_455.html](http://cgz.vn.ua/problematika-gromadskogo-zdorovya/problematika-gromadskogo-zdorovya_455.html). [in Ukrainian].*
19. Stahiv, I.R. (2013). *The impact of air pollution on the health of the population in 2001-2010. Theoretical and applied aspects of geoinformatics*, 126-132. [in Ukrainian].
20. *Current ecological condition and prospects of ecologically safe sustainable development of Volyn region: collective monograph. (2016). Ed. V.O. Fesyuk. Kyiv: TOV Pidpryjemstvo Vi En Ej*, 316. [in Ukrainian].
21. Tafeeva, E.A., Yvanov, A.V., Axmetzyanova, Y.F. (2015). *Monitoring of air pollution as a risk factor for the health of the population of Kazan. Hygiene and sanitation*, 94 (3), 37-40. [in Russian].
22. Fesyuk, V.O. (2008). *Constructive-geographical bases of formation of ecological condition of large cities of North-Western Ukraine. Lutsk: RVV LNTU*, 344. [in Ukrainian].
23. Fesyuk, V.O. (2013). *Lutsk: sustainable development and socio-environmental problems. Lutsk: RVV LNTU*, 304. [in Ukrainian].
24. *Clear air. Electronic resource. Available at: <https://air.lutskrada.gov.ua>. [in Ukrainian].*

25. Chugai, A.V. (2013). Assessment of pollution of the air pool of the city of Mykolaiv. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 13, 10–17. [in Ukrainian].
26. Chugai, A.V., Kolesnik, A.V., Demianenko, O.V., Romanenko, S.E. (2015). Assessment of the air pollution level of coastal zone cities North Western Black Sea. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series "Ecology"*, 13, 91-97. [in Ukrainian].
27. Chugai, A.V., Patraman, H.S. (2017). Contamination of atmospheric air of cities of coastal zone cities North Western Black Sea region by specific contaminants. *Man and the environment. Problems of neoecology*, 1-2(27), 113-122. [in Ukrainian].
28. Chugai, A.V. (2019). State and quality of the air pool Odessa industrial urban agglomerations. *Environmental safety*, 2 (28), 81-85. [in Ukrainian].
29. Jacenko, O., Shevchenko, O., Snizko, S. (2017). Classification of cities of Ukraine by the level of air pollution. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series: Geography*, 3(68), 25-30. [in Ukrainian].
30. Chun Lee C., Cheng, M., Choo, W., Pin, C., Yeong, T., Chiew, S. (2020). Evaluation of air quality in Sunway City, Selangor, Malaysia from a mobile monitoring campaign using air pollution micro-sensors. *Environmental Pollution*, 265, 263-271. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115058>
31. Cooper, C.D., Alley, F.C. (2011). *Air Pollution Control: A Design Approach*. Long Grove (IL): Waveland press, 839.
32. Di Menno, A., Bucchianicoa, M., Brighettib, A., Cattania, G., Costac, C. (2019). Combined effects of air pollution and allergens in the city of Rome. *Urban Forestry & Urban Greening*, 37, 13-23. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.04.001>
33. Font, A., Guiseppin, L., Blangiardo, M., Ghersi, V., Fuller, G. (2019). A tale of two cities: is air pollution improving in Paris and London? *Environmental Pollution*, 249, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.01.040>
34. Gallagher, J., Gill, L., McNabola, A. (2013). The passive control of air pollution exposure in Dublin, Ireland: A combined measurement and modelling case study. *Science of the Total Environment*, 458-460, 331-346. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.03.079>
35. Guttikunda, S., Nishadh, K., PujaJawahar, A. (2019). Air pollution knowledge assessments (APnA) for 20 Indian cities. *Urban Climate*, 3, 124-141. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.11.005>
36. Hu, K., Keenan, K., Hale, J., Börger, T. (2020). The association between city-level air pollution and frailty among the elderly population in China. *Health & Place*, 64, 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2020.102362>
37. Khan, J., Kakosimos, K., Jensen, S., Hertel, O., Sorensen, M., Gulliver, J., Ketznel, M. (2020). The spatial relationship between traffic-related air pollution and noise in two Danish cities: Implications for health-related studies. *Science of The Total Environment*, 726, 102-114. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138577>
38. Kelly, F., Fuller, H., Walton, G., Fussell, J. (2012). Monitoring air pollution: use of early warning systems for public health. *Respirology*, 1, 7-19.
39. Lee, D., Robertson, C., Ramsay, C., Gillespie, C., Napier, G. (2019). Estimating the health impact of air pollution in Scotland, and the resulting benefits of reducing concentrations in city centres. *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology*, 29, 85-96. <https://doi.org/10.1016/j.sste.2019.02.003>
40. Shupranova, L.V., Khlopova, V.M., Kharytonov, M.M. (2014). Air pollution assessment in the Dnepropetrovsk industrial megapolice of Ukraine. *Air Pollution Modeling and its Application XXII. NATO Science for Peace and Security Series. Springer*, 101-104.
41. Son, Y., O'Neill, M., Hystad, P., Texcalac-Sangrador, J. (2018). Land use regression models to assess air pollution exposure in Mexico City using finer spatial and temporal input parameters. *Science of The Total Environment*, 369, 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.144>
42. Zhang, K., Batterman, S. (2013). Air pollution and health risks due to vehicle traffic. *Science of The Total Environment*, 450-451, 307-316. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.01.074>

## 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, російською або англійською мовами. Перевага надається англійським статтям. Рішення про публікацію приймається редакційною колегією „Вісника”, при цьому кожна стаття рецензується двома вченими – фахівцями у даній тематичі.

Матеріали подаються у друкованому або в електронному вигляді та надсилаються на електронну пошту [geoeco-series@karazin.ua](mailto:geoeco-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.

Згідно вимог ДАК 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; виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття.
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 (не менше ніж 1800 знаків) та ключові слова (8-10) українською й російською мовами.

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, російською й англійською мовами. Кількість авторів не повинна перевищувати 3 (як виключення – до 5). Перелік посилань оформлюється згідно з ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. До переліку обов'язково повинна бути включена література за останні п'ять років, у тому числі закордонна, 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 не менше ніж 2500 знаків,
- інформативність (не містити загальних слів),
- оригінальність (не бути калькою російської або української анотації),
- змістовність (відображати 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 списків використаної літератури у статтях необхідно додавати DOI джерел (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. За відмови у публікації роботи рукописи статей авторам не повертаються.

При підтвердженні позитивного рішення на публікацію статті, автор має оформити та надіслати згоду на публікацію та оприлюднення персональних даних.

**Зразок оформлення статті :**

УДК 551.24.548:242.7:248(477)

**Олексій Вацлавович Барташук,**

к. геол. н., доцент, зав. відділу газових ресурсів Українського науково-дослідного інституту природних газів, Гімназійна наб., 20, м. Харків, 61010, Україна,  
e-mail: [alekseybart@gmail.com](mailto:alekseybart@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0001-7831-6134>

**СИСТЕМНА ОРГАНІЗАЦІЯ ДИЗ'ЮНКТИВНОЇ ТЕКТОНІКИ КОНСОЛІДОВАНОГО ФУНДАМЕНТУ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОГО ПАЛЕОРИФТУ.**

*Стаття є заключною частиною трилогії, що висвітлює системну організацію розломної тектоніки кристалічного фундаменту Дніпровсько-Донецького палеорифту (ДДП). При регіональних геотектонічних дослідженнях структурних рисунків розломних систем докембрійського фундаменту вперше виявлено ансамблі структур об'ємної тектонічної течії, які зумовлені зовнішніми деформаціями кристалічних гірських порід і горизонтальними переміщеннями геомасивів в межах цієї рифтогенної внутрішньоплітної геоструктури Сарматської плити. ...*

**Ключові слова:** деформації горизонтального здвигу, структурний рисунок, механізми тектонічної течії, структурно-кінематичний парагенез.

**А.В. Барташук. СИСТЕМНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ДИЗ'ЮНКТИВНОЙ ТЕКТониКИ КОНСОЛИДИРОВАННОГО ФУНДАМЕНТА ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОГО ПАЛЕОРИФТА.** Статья является заключительной частью трилогии, освещающей системную организацию разломной тектоники кристаллического фундамента Днепровско-Донецкого палеорифта (ДДП). При региональных геотектонических исследованиях структурных рисунков разломных систем докембрийского фундамента впервые выявлены ансамбли структур тектонического течения, которые вызваны сдвиговыми деформациями кристаллических горных пород и горизонтальными перемещениями геомассивов, в пределах этой рифтогенной внутриплитной геоструктуры Сарматской плиты. ...

**Ключевые слова:** деформации горизонтального сдвига, структурный рисунок, механизмы тектонического течения, структурно-кинематический парагенез.

**Вступ.** Встановлено, що внутрішня кінематика літосфери проявляється у вертикальних і горизонтальних переміщеннях геомас. Відбитками перших є діапіри та магматичні осередки різного речовинного складу і глибини проникнення. Структурними проявами горизонтальних переміщень гірських порід є деформаційні структури тектонічної течії (СТТ). Тому, при вивченні тектонічної будови геоструктур слід враховувати ймовірність комбінованого ефекту двох головних структуроутворюючих факторів – магматичного та тектонічного, який реалізується за механізмами об'ємної течії гірських порід. ...

**Література**

1. Пейве, А. Тектоника и магматизм [Текст] / А. Пейве. – М. : Изд. АН СССР. Сер. геол., 1961. – № 3. – С. 36-54.
2. Горизонтальные перемещения по разломам и некоторые методы их изучения [Текст] / В. Буртман, А. Лукьянов, А. Пейве, С. Руженцев // Разломы и горизонтальные движения земной коры. – М. : Изд. АН СССР, 1963. – С. 5-33.

UDC 551.243.8:550.8(477)

**Oleksii Bartashchuk,**

PhD (Geology), Associate Professor, Head of Department of natural gas resources, Ukrainian Scientific Research Institute of Natural Gases, 20 Gimnaziyna Naberejna, Kharkiv, 61010, Ukraine,  
e-mail: [alekseybart@gmail.com](mailto:alekseybart@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0001-7831-6134>

**SYSTEM ORGANIZATION OF DISJUNCTIVE TECTONICS OF CONSOLIDATED BASEMENT IN DNIPRO-DONETS PALEORIFT**

**Formulation of the problem.** Getting knowledge of the processes and mechanisms of the rocks tectonic flow is important both for geotectonics and for oil and gas geology as horizontal displacements and rotation of geological blocks in creep dislocations form secondary deformation structures. ...

**Keywords:** horizontal strike-slip deformation, structural pattern, tectonic flow structure, structural kinematic paragenesis.

**References**

1. Peyve, A. (1961). *Tectonics and magmatism*. M., Academy of Sciences of USSR, Vol. Geol., 36-54.
2. Burtman, V., Luk'yanov, A., Peyve, A., Ruzhentsev, S. (1963). *Horizontal displacements by faults & some methods of study*. M., Academy of Sciences of USSR, 5-33.

Наукове видання

**ВІСНИК**  
**ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**  
**імені В. Н. КАРАЗІНА**

серія  
**«ГЕОЛОГІЯ. ГЕОГРАФІЯ. ЕКОЛОГІЯ»**

Випуск 54

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Українською, російською та англійською мовами

Редактор К. А. Немець  
Технічний редактор О. В. Чуєнко  
Комп'ютерне верстання О. В. Чуєнко  
Відповідальний за випуск К. А. Немець

Підписано до друку 31.05.2021 р. Формат 60x84/8. Папір офсетний.  
Друк ризографічний. Ум. друк. арк. 35,6. Обл.–вид. арк. 41,0.  
Наклад 100 пр. Зам. № 1229/8–15. 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.