

ISSN 2410-7360 (Print)

ISSN 2411-3913 (Online)

Міністерство освіти і науки України

ВІСНИК

**ХАРКІВСЬКОГО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
імені В. Н. КАРАЗІНА**

**СЕРІЯ
“ГЕОЛОГІЯ. ГЕОГРАФІЯ. ЕКОЛОГІЯ”**

<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>

Випуск 57

<><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><><>

Заснована 1970 року

Харків
2022

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

Для науковців, фахівців і викладачів вищих закладів освіти.

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

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

Затверджено до друку рішенням Вченої ради Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (протокол № 18 від 25.11.2022 р.).

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

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

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

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

e-mail: geoeco-series@karazin.ua;

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

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

Статті пройшли внутрішнє та зовнішнє рецензування.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

INTERNATIONAL COUNCIL

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

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

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

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

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

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

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

З М І С Т

ГЕОЛОГІЯ

<i>Александрович Вадим, Гаврилюк Ольга, Сухов Валерій</i> ВПЛИВ СКЛАДНИХ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ ПОЛІМЕРНОГО ТРУБОПРОВОДУ	8
<i>Levoniuk Serhii, Udalov Ihor</i> VULNERABILITY ASSESSMENT OF DRINKING GROUNDWATER OF BUCHAK-KANIV AQUIFER UNDER THE CONDITIONS OF QUALITY COMPOSITION LONG-TERM TRANSFORMATION	17
<i>Суярко Василь, Сасмаз Ахмет, Бартащук Олексій, Сердюкова Ольга, Манюк Володимир</i> ГЕОХІМІЯ ФТОРУ У ОРЕОЛЬНИХ ВОДАХ РУДНИХ ПОЛІВ ПІВДЕННО-СХІДНОЇ ЧАСТИНИ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОГО АВЛАКОГЕНУ ...	28

ГЕОГРАФІЯ

<i>Agayar Ellina, Semerhei-Chumachenko Alina, Zubkovych Svitlana</i> CHARACTERISTICS OF FORECASTING METEOROLOGICAL CONDITIONS OF AIR POLLUTION OVER ODESA	38
<i>Байтеряков Олег, Арсененко Ірина, Донченко Лариса</i> ПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМИ РОЗСЕЛЕННЯ ЗАПОРІЗЬКОЇ ОБЛАСТІ	48
<i>Volovyk Volodymyr, Lavryk Oleksandr, Yatsentyuk Yuriy, Maksiytov Andrii</i> POLISH ETHNOCULTURAL LANDSCAPE OF PODILLYA: STRUCTURE, USE, PROTECTION OF CULTURAL HERITAGE	68
<i>Гончарова Людмила, Прокоф'єв Олег, Решетченко Світлана</i> ОСОБЛИВОСТІ КЛІМАТО-ГЕОГРАФІЧНОГО РОЗПОДІЛУ АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ НА ПІВДНІ УКРАЇНИ	81
<i>Гребінь Василь, Лук'янець Ольга</i> ХАРАКТЕР СУЧАСНИХ ТА ОЦІНКА МОЖЛИВИХ МАЙБУТНІХ ЗМІН У ВОДНОМУ РЕЖИМІ оз. ЛЕБЕДИНЕ (СУМСЬКА ОБЛАСТЬ)	95
<i>Zapototskyi Sergii, Provotar Nataliia, Trusii Oksana, Zapototska Victoriia</i> AGRARIAN POTENTIAL OF UKRAINE UNDER POST-MAIDAN CRISIS AND ARMED CONFLICT: FACTORS AND PATTERNS OF REGIONAL UNEVENNESS	103
<i>Зубик Андрій</i> УКРАЇНЦІ В СЛОВАЧЧИНІ: РОЗСЕЛЕННЯ І МОВА	121
<i>Lushchuk Mariya, Matchur Olha</i> OPPORTUNITIES FOR THE DEVELOPMENT OF DARK TOURISM IN UKRAINE	134
<i>Немець Людмила, Кравченко Катерина, Сегіда Катерина, Телебенева Євгенія, Ключко Людмила</i> ІНФОРМАЦІЙНО-СИНЕРГЕТИЧНА СКЛАДОВА СУСПІЛЬНО-ГЕОГРАФІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У НАУКОВІЙ СПАДЩИНІ КОСТЯНТИНА НЕМЦЯ	153

Поливач Катерина

КУЛЬТУРНО-ЛАНДШАФТНЕ РАЙОНУВАННЯ УКРАЇНИ 173

Popovych Nataliia, Sinna Olena, Nazarko Liudmyla

EXPERIENCE AND PROSPECTS OF MOBILE GIS USE
FOR PRACTICAL TRAINING OF GEOGRAPHY STUDENTS 184

Savenets Mykhailo, Oreshchenko Andrii, Nadtochii Liudmyla

THE SYSTEM FOR NEAR-REAL TIME AIR POLLUTION MONITORING
OVER CITIES BASED ON THE SENTINEL-5P SATELLITE DATA 195

Семенова Інна, Мансарлійський Валерій, Міщенко Наталя, Коваль Руслан

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ПОЖЕЖОНЕБЕЗПЕЧНОЇ ПОГОДИ
В ПЕРІОДИ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ В УКРАЇНІ В 2020 РОЦІ 206

Серьогін Денис

ПРИНЦИПИ ОБРОБКИ ТА ТРИВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЧЕРЕЗ ЛІДАРНІ
ДАНІ ДЛЯ ПРИКЛАДНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА 218

Udovychenko Viktoriia, Udovychenko Iryna

LEAN-LOGISTICS IN CONSTRUCTIVE GEOGRAPHY:
THEORETICAL AND METHODOLOGICAL FOUNDATIONS 234

Шакірманова Жаннетта, Овчарук Валерія, Докус Ангеліна, Куценко Лілія, Тимко Олена

ЙМОВІРНІСНО-ПРОГНОСТИЧНИЙ МЕТОД ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ
МЕЖЕННИХ ВИТРАТ ВОДИ РІЧОК ПІВДЕННОГО БУГУ,
ПРИЧОРНОМОР'Я ТА НИЖНЬОГО ДНІПРА 251

ЕКОЛОГІЯ

Безсонний Віталій, Третьяков Олег, Шерстюк Микола, Некос Алла

ТЕРМОДИНАМІЧНІ АСПЕКТИ СИСТЕМОГО ПІДХОДУ В ЕКОЛОГІЇ 268

Hranovska Liudmyla, Morozov Oleksy, Pisarenko Pavlo, Vozhegov Sergiy

ECOLOGICAL PROBLEMS OF IRRIGATED SOILS IN THE SOUTH OF UKRAINE ... 282

Крайнюков Олексій, Мірошниченко Інна, Сябрук Олеся, Гладкіх Євгенія

ВПЛИВ НАФТОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ НА ПЕРЕБІГ
ЗМІН ВЛАСТИВОСТЕЙ ЧОРНОЗЕМУ ТА ЙОГО ФІТОТОКСИЧНІСТЬ 296

Rybalova Olha, Korobkova Hanna, Chynchyk Oleksandr, Stryzhak Tatyana, Bondar Oleksandr

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT
OF SOIL CONTAMINATION BY TRACE METALS 307

**ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ,
ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО «ВІСНИКА ХАРКІВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ» 321**

CONTENT

GEOLOGY

- Aleksandrovych Vadym, Havryliuk Olha, Suhov Valeriy*
THE IMPACT OF COMPLEX ENGINEERING AND GEOLOGICAL
CONDITIONS ON THE DURABILITY OF THE POLYMER PIPELINE 8
- Levoniuk Serhii, Udalov Ihor*
VULNERABILITY ASSESSMENT OF DRINKING GROUNDWATER
OF BUCHAK-KANIV AQUIFER UNDER THE CONDITIONS
OF QUALITY COMPOSITION LONG-TERM TRANSFORMATION 17
- Suyarko Vasyl, Sasmaz Ahmet, Bartaschuk Oleksii, Serdiukova Olga, Manyuk Volodymyr*
GEOCHEMISTRY OF FLUORINE IN HALO WATERS OF ORE FIELDS
OF THE SOUTHEASTERN PART OF THE DNIPRO-DONETSK AVLAKOGEN 28

GEOGRAPHY

- Agayar Ellina, Semerhei-Chumachenko Alina, Zubkovych Svitlana*
CHARACTERISTICS OF FORECASTING
METEOROLOGICAL CONDITIONS OF AIR POLLUTION OVER ODESA 38
- Baiteriakov Oleg, Arsenenko Iryna, Donchenko Larisa*
SPATIAL ANALYSIS OF THE SETTLEMENT SYSTEM OF ZAPORIZHIA REGION 48
- Volovyk Volodymyr, Lavryk Oleksandr, Yatsentyuk Yuriy, Maksiytov Andrii*
POLISH ETHNOCULTURAL LANDSCAPE OF PODILLYA:
STRUCTURE, USE, PROTECTION OF CULTURAL HERITAGE 68
- Goncharova Liudmyla, Prokofiev Oleg, Reshetchenko Svitlana*
FEATURES OF CLIMATE AND GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION
OF ATMOSPHERIC PRECIPITATIONS IN THE SOUTH OF UKRAINE 81
- Grebin Vasiliy, Lukianets Olga*
NATURE OF CURRENT AND ASSESSMENT OF POSSIBLE FUTURE CHANGES
IN THE WATER REGIME OF LAKE LEBEDYNE (SUMY REGION) 95
- Zapototskyi Sergii, Provotar Nataliia, Trusii Oksana, Zapototska Victoriia*
AGRARIAN POTENTIAL OF UKRAINE UNDER POST-MAIDAN CRISIS AND
ARMED CONFLICT: FACTORS AND PATTERNS OF REGIONAL UNEVENNESS 103
- Zubyk Andrii*
UKRAINIANS IN SLOVAKIA: SETTLEMENT AND LANGUAGE 121
- Lushchyk Mariya, Mamchur Olha*
OPPORTUNITIES FOR THE DEVELOPMENT OF DARK TOURISM IN UKRAINE 134
- Niemets Liudmyla, Kravchenko Kateryna, Sehida Kateryna,
Telebienieva Ievgeniia, Kliuchko Liudmyla*
INFORMATIONAL AND SYNERGETIC COMPONENT OF SOCIO-GEOGRAPHICAL
RESEARCH IN THE SCIENTIFIC HERITAGE OF KOSTYANTYN NIEMETS 153

Polyvach Kateryna

CULTURAL LANDSCAPE ZONING OF UKRAINE 173

Popovych Nataliia, Sinna Olena, Nazarko Liudmyla

EXPERIENCE AND PROSPECTS OF MOBILE GIS
USE FOR PRACTICAL TRAINING OF GEOGRAPHY STUDENTS 184

Savenets Mykhailo, Oreshchenko Andrii, Nadtochii Liudmyla

THE SYSTEM FOR NEAR-REAL TIME AIR POLLUTION MONITORING
OVER CITIES BASED ON THE SENTINEL-5P SATELLITE DATA 195

Semenova Inna, Mansarliysky Valery, Mishchenko Natalia, Koval Ruslan

EXPERIMENTAL EVALUATION OF FIRE WEATHER CONDITIONS
DURING PERIODS OF WILDFIRES IN UKRAINE IN 2020 206

Serohin Denys

PRINCIPLES OF PROCESSING AND THREE-DIMENSIONAL
MODELING THROUGH LIDAR DATA FOR APPLIED RESEARCH
OF THE URBAN ENVIRONMENT 218

Udovychenko Viktoriia, Udovychenko Iryna

LEAN-LOGISTICS IN CONSTRUCTIVE GEOGRAPHY:
THEORETICAL AND METHODOLOGICAL FOUNDATIONS 234

Shakirzanova Zhannetta, Ovcharuk Valeriya, Dokus Anhelina,

Kushchenko Liliia, Tymko Olena

PROBABILISTIC-FORECASTING METHOD FOR DETERMINATION
OF LOW FLOW DISCHARGE OF PIVDENNYI BUH,
BLACK SEA AREA, AND LOWER DNIEPER RIVERS 251

ECOLOGY

Bezsonnyi Vitalii, Tretyakov Oleg, Sherstyuk Mykola, Nekos Alla

THERMODYNAMIC ASPECTS OF THE SYSTEMS APPROACH IN ECOLOGY 268

Hranovska Liudmyla, Morozov Oleksy, Pisarenko Pavlo, Vozhegov Sergiy

ECOLOGICAL PROBLEMS OF IRRIGATED SOILS IN THE SOUTH OF UKRAINE 282

Krainiukov Olekcii, Miroshnychenko Inna, Siabruk Olesia, Hladkikh Yevheniia

EFFECT OF OIL CONTAMINATION ON THE COURSE OF CHANGES
IN CHERNOZEM PROPERTIES AND PHYTOTOXICITY 296

Rybalova Olha, Korobkova Hanna, Chynchyk Oleksandr, Stryzhak Tatyana, Bondar Oleksandr
ENVIRONMENTAL ASSESSMENT

OF SOIL CONTAMINATION BY TRACE METALS 307

**REQUIREMENTS TO THE MATERIALS SUBMITTED TO
THE “VISNYK OF V. N. KARAZIN KHARKIV NATIONAL UNIVERSITY” 321**

ГЕОЛОГІЯ

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-01>
УДК 624.131.155

Надійшла 27 червня 2022 р.
Прийнята 7 липня 2022 р.

Вплив складних інженерно-геологічних умов на довговічність полімерного трубопроводу

Вадим Александрович¹,

к. техн. н., доцент, зав. кафедри механіки ґрунтів, фундаментів та інженерної геології,
¹Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, м. Харків, 61002, Україна,
e-mail: v.a.aleksandrovych@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-3406-2408>;

Ольга Гаврилюк¹,

ст. викл. кафедри механіки ґрунтів, фундаментів та інженерної геології,
e-mail: gavrilyk.o.v@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7057-2499>;

Валерій Сухов²,

к. геол. н., в.о. завідувача кафедри фундаментальної та прикладної геології,
²Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна,
e-mail: valery.sukhov@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0001-5784-5248>

Дослідження проводилися на ділянці розташування склопластикового нафтозбірною трубопроводу Анастасівського родовища Роменський р-н, Сумська область, Україна. Актуальність дослідження ґрунтової основи та інженерно-геологічних процесів на ділянці досліджень викликана повторюючимися розгерметизаціями стиків склопластикового нафтозбірною колектору. Розгерметизація стиків нафтозбірною колектору спостерігається у весняний та осінній періоди і в основному зосереджена на ділянці проходження трубопроводу по схилу. Метою дослідження було вивчення геолого-геоморфологічної будови ділянки вздовж траси розташування склопластикового колектору та визначення фізико-механічних характеристик ґрунтів для оцінки особливостей впливу ґрунтового масиву на полімерний трубопровід. Згідно з геологічною будовою для території дослідження характерне залягання з поверхні товщі делювіальних лесовидних суглинків твердої консистенції, що проявляють просідні властивості. Майже по всій території ці відклади підстилаються четвертинними лесоподібними суглинками тугопластичної консистенції, що не проявляють просідних властивостей. Ці суглинки є водотривом для ґрунтових вод. Така будова зумовила появу першого горизонту ґрунтових вод саме у нижній частині лесових відкладів. Живлення цього горизонту в природних умовах відбувалось в основному за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, а розвантаження ґрунтових вод відбувається на схилах річкових долин та балок. Наявність на схилах шарів глинистих ґрунтів обумовлює формування зон деформованих горизонтів та зміщення по них вищерозташованих мас ґрунтів або видавлювання цих ґрунтів із основ схилів. Обстеження розгерметизації склопластикового трубопроводу відбувалося у березні 2021 року. Було встановлено наступні негативні та потенційно негативні фактори впливу інженерно-геологічних умов на прокладений в них склопластиковий колектор котрі можуть приводити до розвитку понаднормових напружень: невідповідність фактичної схеми укладки труби проектним рішенням - відсутність піщаної подушки, що могла призвести до нерівномірного вкладання трубопроводу, виникнення ділянок його «провисання»; реалізація просідних властивостей суглинку після укладання трубопроводу в робоче положення та виконання зворотної засипки траншеї, що призводить до виникнення додаткових непроєктних напружень у трубопроводі; потенційна зсувна активність схилу на даній ділянці, що підтверджується розрахунками.

Ключові слова: зсуви, просідні явища, складні інженерно-геологічні умови, стійкість схилів, склопластикові колектори.

Як цитувати: Александрович Вадим. Вплив складних інженерно-геологічних умов на довговічність полімерного трубопроводу / Вадим Александрович, Ольга Гаврилюк, Валерій Сухов // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 57. – С. 8-16. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-01>

In cites: Aleksandrovych Vadym, Havryliuk Olha, Suhov Valeriy (2022). Influence of complex engineering and geological conditions on the durability of the polymer pipeline. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (57), 8-16. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-01> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. На території Роменського району Сумської області України внаслідок погіршення технічного стану діючих сталевих нафтозбірних колекторів (по причині корозії) виникла необхідність в будівництві нового нафтозбірною колектору для забезпечення безперебій-

ного транспортування продукції. Проектним рішенням передбачалось прокладання промислового нафтозбірною колектору з склопластикових труб (полімерний трубопровід). Виконано прокладку промислового нафтозбірною колектору від ГЗУ-3 до ГЗУ-2 Анастасівського родовища

для транспортування по ньому нафтогазоводяної суміші в системі збору продукції від ГЗУ до ЦППС Анастасівського родовища.

Надійність та безпека експлуатації трубопроводних систем є одним з пріоритетних напрямків будь-якої держави. Завдання полягає у забезпеченні довготривалої механічної стійкості, надійності та безпеки експлуатації трубопроводних мереж. Вирішення поставленої задачі можливе тільки при проведенні необхідного аналізу щодо оцінки тих чинників, які здійснюють безпосередній негативний вплив на досліджувані об'єкти контролю та можуть призводити до виникнення аварійних ситуацій [1, 5].

Згідно проектним рішенням склопластикові труби приєднуються до відповідних сталевих технологічних трубопроводів, що створює закінчений комплекс для транспорту нафтогазоводяної суміші від ГЗУ на ЦППС Анастасівського родовища. На ділянці досліджень виникла повторювана розгерметизація стиків склопластикового нафтозбірного колектору. Тому для встановлення причин виникнення розгерметизації стиків між сталевими та склопластиковими трубами запропоновано обстеження ґрунтової основи та інженерно-геологічних процесів на ділянці розташування склопластикової труби Анастасівського родовища НГВУ «Охтирканафтогаз» від ГЗУ-3 до ГЗУ-2.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Внаслідок багаторічної експлуатації значної частини нафтогазопроводів України зростає ризик їх руйнування через виникнення аварійно-небезпечних дефектів, що спричинить надзвичайну ситуацію зі значними наслідками. Загалом, на трубопроводному транспорті, близько 80% від загальної кількості аварій виникає через дефекти зварних з'єднань та інші дефекти, закладені під час виконання будівельно-монтажних робіт, механічні втручання та корозію металу [1-3].

Згідно роботам [6-8] в результаті проведених теоретичних досліджень було розроблено методологію оцінки напружено-деформованого стану підземних ділянок з магістральних нафтогазопроводів, що передбачає математичне моделювання процесу деформування трубопроводів за даними про зміну їх просторової конфігурації, котра відрізняється тим, що рівень напружень визначається шляхом розрахунку на основі математичної моделі з урахуванням параметрів трубопроводу та умов експлуатації, а основний параметр, переміщення осі підземного трубопроводу відносно планового положення, вимірюються безконтактно [7].

Поняття «ремонт магістрального газопроводу» на державному рівні не встановлене та, відповідно, не стандартизоване. Дотепер загальна

оцінка стану безпеки магістральних трубопроводів в Україні відсутня, існує лише практика оцінки небезпеки їх дефектів [4, 5].

Експертно-технічні центри та експлуатуючі організації досі користуються нормами, які регламентують якість виготовлення труб або нормами допуску дефектів під час будівництва трубопроводів [4]. Такі документи жодним чином не пов'язані з реальним станом конструкційних матеріалів магістральних трубопроводів і рівнем навантаженості конструкції.

На етапі експлуатації використання таких документів призводить до прийняття необґрунтованих рішень щодо виду ремонту магістральних трубопроводів та, як наслідок, появи невіправданих затрат на ремонтні роботи [5].

Майже єдиним реалізованим намаганням України у площині стандартизації на Державному рівні підходу до визначення залишкової міцності магістральних трубопроводів є Державний стандарт України ДСТУ-Н Б В.2.3-21-2008 «Наставова. Визначення залишкової міцності магістральних трубопроводів з дефектами» [11, 12]. Однак, ДСТУ-Н Б В.2.3-21-2008 не націлений на визначення ризиків, хоча і має значно ширші межі застосування, у порівнянні з ВБН В.2.3-00018201.04-2000 «Розрахунки на міцність діючих магістральних трубопроводів з дефектами». ДСТУ-Н Б В.2.3-21-2008 безумовно сприяє більш якісній оцінці залишкової міцності дефектомістких ділянок магістральних трубопроводів, але без його постійної актуалізації та без впровадження на Державному рівні «Системи управління цілісністю трубопроводів» або тотожної системи цей стандарт залишається лише однією з методичних ланок неіснуючої системи [5].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Застосування полімерних трубопроводів в якості магістральних мереж на території нашої держави є досить новою і перспективною тенденцією, але відсутність достатнього досвіду та державних стандартів з їх прокладання приводить до виникнення певних проблем з їх довговічністю, особливо на ділянках зі складними інженерно-геологічними умовами.

Формулювання мети статті. На прикладі промислового нафтозбірного колектору з склопластикових труб Анастасівського родовища, що розташовано на території Роменського району Сумської області України проаналізовано вплив складних інженерно-геологічних умов на довговічність полімерного трубопроводу.

Виклад основного матеріалу досліджень. В геологічній будові території до розвідувальної глибини (4 м) беруть участь неоген-палеогенові та четвертинні відклади. Четвертинні відклади представлені суглинками та лісоподібними суглин-

ками, що залягають незгідно на глинисто-піщаних відкладах неоген-палеогенового віку. Озерно-болотні відклади зустрічаються лише в знижених ділянках рельєфу та разом з делювіальними відкладами мають локальне розповсюдження.

В розрізі товщі на площі інженерно-геологічних вишукувань виділено 6 інженерно-геологічних елементів (ІГЕ):

ІГЕ 1 – насипний ґрунт автодоріг (асфальтове покриття, щебінь, гравій, пісок) потужністю більше 1,0 м;

ІГЕ №2 – ґрунтово-чорноземний шар, суглинистий, в заболочених низинах – слабозаторфований, потужністю від 0,6 м до 1,7 м;

ІГЕ №3а – мул чорний, суглинистий, текучої консистенції. Потужність шару становить 0,8 – 1,3 м, має локальне розповсюдження;

ІГЕ №3 Суглинок озерно-болотного походження, чорний, коричнево-чорний, замулений, з рештками не розкладених рослин, м'язкопластичний. Має локальне розповсюдження. Потужність шару становить від 1,0 до 1,7 м;

ІГЕ №4 Суглинок делювіальний, сірий, тугопластичний, легкий. Максимально пройдена потужність становить 2,5 м;

ІГЕ №5 Суглинок лесоподібний, просідний, твердий, палево-жовтий, жовтий. Максимально пройдена потужність становить 3,0 м. При інтенсивному перезволоженні внаслідок розмокання відбувається зменшення несучих властивостей;

ІГЕ №6 – суглинок лесоподібний, коричневий, коричнево-жовтий, тугопластичної та напівтвердої консистенції, непросідний. Максимально пройдена потужність становить 2,6 м.

Згідно з геолого-геоморфологічними умовами на ділянці дослідження можливі прояви суфозійних та просідних явищ, зсувних процесів, абразія, ерозія та дефляція ґрунту.

Під час візуального обстеження вздовж території, де прокладено нафтопровід з склопластикової труби суфозійних явищ не виявлено. Але спостерігаються ерозійні процеси на схилах, що обумовлюють розвиток зсувних процесів. Відповідно до ДБН В. 1.1 - 46:2017 за механізмом зміщення ґрунтових мас на території можливий розвиток зсувів ковзання, в'язкопластичних зсувів та просідних зсувів. Також може відбуватися зсув рослинного шару по поверхні шарів глинистого ґрунту [9]. Тобто зсувні процеси різні за генезисом, але можуть поєднуватися та переходити з одних типів в інші.

Згідно з геологічною будовою на території дослідження спостерігається залягання з поверхні товщі делювіальних лесовидних суглинок твердої консистенції, що проявляють просідні властивості. Ці відклади майже по всій території підстилаються четвертинними лесоподібними

суглинками тугопластичної консистенції, що не проявляють просідних властивостей. Ці суглинки є водотривом для ґрунтових вод. Така будова зумовила появу першого горизонту ґрунтових вод саме у нижній частині лесових відкладів. Живлення цього горизонту в природних умовах відбувалось в основному за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, а розвантаження ґрунтових вод відбувається на схилах річкових долин та балок.

Наявність на схилах шарів глинистих ґрунтів обумовлює формування зон деформованих горизонтів та зміщення по них вищерозташованих мас ґрунтів або видавлювання цих ґрунтів із основ схилів.

Такі особливості геологічної будови схилів зумовлюють розвиток зсувних процесів. До причин виникнення зсувів можна віднести просадочні деформації, що є результатом замочування лесових товщ. Внаслідок інфільтрації поверхневих вод, підняття рівня ґрунтових вод відбувається нерівномірне замочування товщ просадних лесових ґрунтів, що, в свою чергу, призводить до розвитку нерівномірного просідання.

В природних умовах на території прокладання склопластикового колектору рівень ґрунтових вод займає досить високе положення, досягаючи місцями до 3,2 м. Природний режим ґрунтових вод був порушений при прокладанні трубопроводу.

Оскільки під ґрунтово-рослинним шаром майже повсюдно залягають лісоподібні суглинки, які відносяться до водоупорних порід, а рівень ґрунтових вод займає високе положення, то води, інфільтруючись через рослинно-ґрунтовий шар, не проникають до нищезалягаючих шарів ґрунту, а фільтруються по границі розділу між рослинно-ґрунтовим шаром та суглинком. В природних умовах надалі ця вода на схилах сходила до знижених ділянок рельєфу. Але на території дослідження при прокладці склопластикового колектору виконана підрізка схилу, що спричинила також порушення природного режиму підземних вод.

В ході обстеження ділянки промислового нафтозбірного колектору з склопластикових труб Анастасівського родовища встановлено, що територія дослідження відноситься до складних інженерно-геологічних умов на якій фіксуються активні схилі процеси та відбувається реалізація просідних властивостей ґрунту ІГЕ 5 після укладання трубопроводу в робоче положення.

Для більш детального вивчення ґрунтових умов на місці поточної розгерметизації стику сталевих та склопластикових труб було відібрано проби ґрунту з інженерно-геологічних елементів, що відкрилися під час розкопки трубопроводу для усунення пошкодження (рис. 1).

Після визначалися фізико-механічні характеристики ґрунтів в лабораторії Механіки ґрунтів, фундаментів та інженерної геології Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова. Лабораторія сертифікова-

на на відповідність системи вимірювання вимогам ДСТУ ISO 20012:2005 у сфері визначення фізико-механічних характеристик ґрунтів згідно діючим ДСТУ.

Визначення фізико-механічних характерис-



Рис. 1. Розгерметизація стику полімерного трубопроводу на Анастасівському родовищі /
Fig. 1. Depressurization of the joint of the polymer pipeline at the Anastasivsk field

тик ґрунтів виконувалося відповідно до діючих нормативних документів ДСТУ Б В.2.1-17:2009 Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей, ДСТУ Б В.2.1-19:2009 основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення гранулометричного (зернового) та мікроагрегатного складу, ДСТУ Б В.2.1-4:96 Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості.

Лабораторне моделювання напруженого стану ґрунтового масиву виконувалося за двома схемами на приладі ПСГ-2М та приладах системи І. І. Литвинова. Згідно першої схеми – зсув прискорений, дренаваний, ґрунтів природної вологості в умовах незавершеної консолідації; друга схема – зсув прискорений, дренаваний, водонасичених ґрунтів в умовах незавершеної консолідації.

Визначені просідні властивості ґрунтів основи трубопроводу було порівняно з даними інженерно-геологічних вишукувань, що виконувалися для робочого проекту для встановлення можливої реалізації просадки ґрунтової основи.

Відібрані проби ґрунту на ділянці розгерметизації стику сталеві та склопластикові труб згідно лабораторним дослідженням належать до належності до ІГЕ №2 – ґрунтово-чорноземний шар, суглинистий та ІГЕ №5 – суглинок лесопо-

дібний, просідний, палево-жовтого, жовтого кольору.

Основні розрахункові фізико-механічні характеристики визначені в лабораторії наведено у таблиці 1.

Характерною особливістю, котра була відзначена при лабораторних дослідженнях ґрунтів, підстилаючого шару ІГЕ 5 стало значення початкового просідного тиску $P_{st}=0,2$ МПа.

Порівнюючи дані початкового просідного тиску для ІГЕ 5, виявлено, що станом на 2017 рік при проведенні інженерно-геологічних досліджень для ІГЕ 5 було визначено $P_{st}=0,045$ МПа.

Такі дані свідчать про реалізацію просідних властивостей ґрунту ІГЕ 5 під тиском ґрунту зворотної засипки, котрий на глибині злягання покрівлі ІГЕ 5 (1,0-1,5м) становить $\gamma \approx 0,17 - 0,255$ МПа.

Оскільки без додаткового тиску на ІГЕ 5 просідання не могло реалізуватися, то вбачається реалізація просідних властивостей ґрунту після укладання трубопроводу та виконання зворотної засипки траншеї. Така ситуація могла скластися внаслідок розпушування ґрунту зворотної засипки траншеї і інфільтрація через неї атмосферних опадів до ІГЕ 5. Також могла мати місце ситуація виконання зворотної засипки і як наслідок навантаження замоченого ґрунту ІГЕ 5, котрий отримав

Фізико-механічні характеристики ґрунту / Physical and mechanical characteristics of soil

№ п/п	Характеристика ґрунту	Значення
<i>ІГЕ – 2</i>		
1	Природна вологість, ч.о.	0,30
2	Питома вага ґрунту, кН/м ³	17,1
3	Питома вага часок ґрунту, кН/м ³	25,0
4	Питома вага сухого ґрунту, кН/м ³	13,1
5	Коефіцієнт пористості, ч.о.	0,90
6	Пористість, %	47,44
7	Ступень вологості, ч.о.	0,83
8	Кут внутрішнього тертя, φ^0	16,7
9	Питоме зчеплення, кПа	10
10	Модуль деформації E, МПа	1,32
<i>ІГЕ – 5</i>		
1	Природна вологість, ч.о.	0,26
2	Число пластичності	8,32
3	Показник текучості	0,54
4	Питома вага ґрунту, кН/м ³	18,8
5	Питома вага часток ґрунту, кН/м ³	27,1
6	Питома вага сухого ґрунту, кН/м ³	14,9
7	Коефіцієнт пористості, ч.о.	0,81
8	Пористість, %	45
9	Ступень вологості, ч.о.	0,86
10	Кут внутрішнього тертя, $\phi 0$	21,8
11	Питоме зчеплення, кПа	10
12	Модуль деформації E, МПа	3,57
	<i>Водонасичений стан</i>	
13	Початковий просідний тиск Psl, МПа	0,2
14	Кут внутрішнього тертя, ϕ^0	17,35
15	Питоме зчеплення, кПа	5

зволоження атмосферними опадами під час відкритої траншеї, або сукупність обох факторів.

Ділянки та глибина реалізації просадки ІГЕ 5 не може бути досліджена через відсутність доцільності відібрати проби вздовж усього трубопроводу (вздовж колишньої траншеї) з певним інтервалом по довжині та глибині, тож розрахувати абсолютну величину просідання та напруження в трубопроводі, що виникли внаслідок даного явища не є можливим. Але з огляду на значну розцентровку ділянок трубопроводів після їх розрізання такий вплив є досить істотним.

Оцінка стійкості схилу відбувалася шляхом моделювання потенційно активного та нестійкого схилу. Інженерно-геологічний розріз схилу було побудовано у напрямку максимального укосу – перпендикулярно до горизонталей.

Розрахунок виконувався за допомогою модуля «Откос» програмного комплексу SCAD Office. Програма призначена для визначення коефіцієнта запасу стійкості укосів і схилів. У якості механізму втрати стійкості приймається механізм ковзання масиву, що оповзає, щодо нерухомої частини укосу. Опір зрушенню по поверхні ковзан-

ня розраховується для статичних умов. Уздовж усієї поверхні витримується критерій руйнування ґрунту, прийнятий у вигляді закону Кулона.

Реальне зрушуюче напруження, одержане за розрахунками, зіставляється із граничним опором зрушенню і результат цього порівняння виражається у вигляді коефіцієнта запасу стійкості K. Коефіцієнт запасу стійкості схилу (укосу) – це мінімальний з коефіцієнтів запасу стійкості по всіх можливих поверхнях ковзання, що задовольняють заданим обмеженням, закладеним у методі розрахунків [14, 15].

Моделювання та розрахунок стійкості укосу з використанням фізико-механічних характеристик ґрунтів отримані в результаті лабораторних досліджень зразків ґрунтів відібраних під час обстеження розгерметизації стику трубопроводу.

Відповідно до ДБН В.1.1-46:2017 одними з основних причин втрати стійкості схилів, котрі мають місце на ділянці обстеження є:

- підрізання схилу;
- зміна внутрішніх сил (збільшення питомої ваги ґрунту при зростанні його вологості);
- зниження опору ґрунту зсуву (утримую-

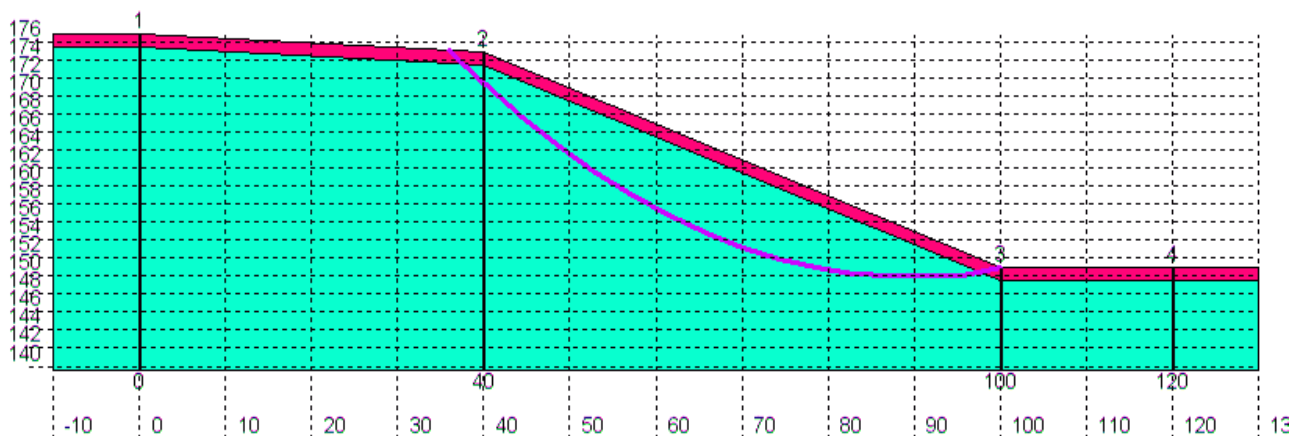


Рис. 2. Інженерно-геологічний розріз та розрахункова лінія ковзання /
Fig. 2. Engineering and geological survey and forging line

чих сил тертя та структурного зчеплення) за рахунок підвищення їх вологості;

- наявність у схилах шарів глинистих ґрунтів з показником консистенції більше 0,4, через що може виникати формування в глинистих ґрунтах зон деформованих горизонтів та зміщення по них.

Результати розрахунку стійкості показали, що основними факторами, котрі визначають стан відкосів є міцність порід і вологісний режим [16].

При повному водонасиченні ґрунтів (екстремальними атмосферними опадами у паводковий період) їх запас стійкості значно зменшується навіть без урахування такого погіршуючого фактору як підрізання схилу під час прокладання трубопроводу. Коефіцієнт стійкості відкосів знижується на 35% і переходить через межу критичної рівноваги ($K_{ст}^{кр}=1,0$). При цьому дотичні напруження перевищують сили опору. В результаті може формуватися поверхня зсуву [17, 19].

У випадку активізації зсувних явищ ($K_{ст}^{кр}<1,0$) на прокладений трубопровід починає діяти навантаження від переміщуючогося ґрунтового масиву. З огляду на нормовану ДБН В.1.1-46:2017 потенційну схильність ділянки обстеження до зсувів котра підтверджується розрахунками та незважаючи на те, що на момент обстеження зсувних ділянок візуально визначено не було – все ж вбачається наявність певної активності схилу уздовж профілю. Погіршуючими факторами в даному випадку є підрізка схилу при прокладенні трубопроводу та прокладка його уздовж активного схилу [20-22].

Одним з додаткових факторів може бути прокладення трубопроводу по покрівлі ІГЕ 5. У разі інтенсивного водонасичення схилу ІГЕ 5 може слугувати водоупором, у такому випадку можуть розвиватися деформації ковзання ІГЕ 2 по ІГЕ 5. При зміщенні ІГЕ 2 він буде впливати

на прокладений трубопровід.

Висновки. Обстеження розгерметизації склопластикового трубопроводу відбувалося у березні 2021 року. Під час обстеження було відібрано зразки ґрунту на вказаній ділянці порушеної та непорушеної структури з природною вологістю відповідно до ДСТУ Б В.2.1-8-2001 «Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Відбирання, упакування, транспортування і зберігання зразків». Зразки було досліджено в атестованій лабораторії Механіки ґрунтів, фундаментів та інженерної геології Харківського національного університету імені О. М. Бекетова.

Було встановлено наступні негативні та потенційно негативні фактори впливу інженерно-геологічних умов на прокладений в них склопластиковий колектор котрі можуть приводити до розвитку понаднормових напружень:

1. Невідповідність фактичної схеми укладки труби проектним рішенням – відсутність піщаної подушки, що могла призвести до нерівномірного вкладання трубопроводу, виникнення ділянок його «провисання» і як наслідок збільшенню напружень у трубопроводі від навантаження зворотною засипкою траншеї.

2. Реалізація просідних властивостей ґрунту ІГЕ 5 після укладання трубопроводу в робоче положення та виконання зворотної засипки траншеї, що призводить до виникнення додаткових неprojektних напружень у трубопроводі внаслідок нерівномірного осідання ділянок трубопроводу та навантаження вищерозміщеними шарами ґрунту.

3. Аналіз геологічної будови, інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов на даній ділянці вказує на потенційну зсувну активність схилу на даній ділянці. Розрахунками стійкості схилу підтверджено, що в умовах повного водонасичення його ґрунтів схил переходить межу критич-

ної рівноваги ($K_{ст}^{кр} < 1,0$) зсувні зусилля перевищують утримуючі.

Наявність у схилі просідних ґрунтів ПГЕ 5 у сукупності з показником консистенції більше 0,4 можуть давати додаткові зміщення та напруження внаслідок деформування ґрунтового горизонту як у нормальному так і дотичному напрямку.

Додатковими факторами котрі погіршують стійкість схилу стало його підрізання при прокладанні трубопроводу вздовж схилу та прокладення трубопроводу по покрівлі ПГЕ 5. При можливому зміщенні ПГЕ 2 по ПГЕ 5 він буде впливати на прокладений полімерних трубопровід.

Список використаної літератури

1. Ревазов А.М. Анализ чрезвычайных и аварийных ситуаций на объектах магистрального газопроводного транспорта и меры по предупреждению их возникновения и снижению последствий [Текст] / А. М. Ревазов // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. – 2010. – №1. – С. 68-70.
2. Жовтуля Л.Я. Геопросторове прогнозне моделювання в процесі оцінки ризиків експлуатації магистральних трубопроводів [Текст] / Л. Я. Жовтуля // Международный научный журнал Acta Universitatis Pontica Euxinus. Специальный выпуск. – Варна, 2015. – С. 399-403.
3. Жовтуля Л.Я. Методика определения наличия рисков эксплуатации подземных трубопроводов с учетом влияния параметров окружающего грунта [Текст] / Л. Я. Жовтуля, С. П. Вацшиак, В. С. Цих, Л. Я. Побережний, А. В. Яворський // Научни известия на НТСМ. Міжнародний журнал «Scientific Proceedings». – Созополь, 2016. – №1(187). – С. 329- 332. – Режим доступу: <https://www.ndt.net/article/NDTDays2016/papers/89.pdf>
4. Жовтуля Л.Я. Анализ підходів до виявлення та запобігання ризикам виникнення аварій при експлуатації магистральних трубопроводів [Текст] / Л. Я. Жовтуля, О. М. Карпаш // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2015. – № 2. – С. 28-34. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/rngr_2015_2_4.
5. Хрутьба В. О. Аналіз екологічних небезпек під час експлуатації та ремонту магистральних трубопроводів [Текст] / В. О. Хрутьба, Г. О. Вайганг, О. М. Стегній // Екологічна безпека. – 2017. – Вип. 2. – С. 75-82. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ekbez_2017_2_14
6. Крижанівський Є.І. Оцінка допустимих навантажень на трубопровід у зоні сповзання ґрунту [Текст] / Є. І. Крижанівський, В. П. Рудко, І. П. Шацький // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2004. – №4. – С. 98-100.
7. Крижанівський Є. І. Інновації при забезпеченні надійної експлуатації газопроводів у зсувнебезпечних гірських умовах [Текст] / Є.І. Крижанівський // Наука та інновації. – 2005. — Т. 1, № 5. — С. 101-106. – Режим доступу: <https://doi.org/10.15407/scin1.05.101>
8. Крижанівський Є. І. Захист довкілля від аварій і катастроф трубопровідних систем в складних умовах експлуатації [Текст] / Є. І. Крижанівський, Л. Я. Побережний, Л. Є. Шкіца // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2007. – № 1 (22). – С. 77–82.
9. Гошовський С. В. Екологічна безпека техно-природних геосистем у зв'язку з катастрофічним розвитком геологічних процесів [Текст] / С. В. Гошовський, Г. І. Рудько, Б. М. Преснер. – К.: ЗАТ «Нічлава», 2002. – 624 с.
10. Oil and Natural Gas Industry Methane Emissions: Worldwide - Top 5 Emitting Countries. – Режим доступу: <http://www.epa.gov/gasstar/basicinformation/index.html#sources>
11. Струк А. Б. Напруження у підземному трубопроводі від пошкодження основи поблизу анкерного кріплення [Текст] / А. Б. Струк // Нафтогазова енергетика. – 2019. – №2. – С. 53-60. DOI: [https://doi.org/10.31471/1993-9868-2019-2\(32\)-53-60](https://doi.org/10.31471/1993-9868-2019-2(32)-53-60)
12. Савинов О.А. Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет [Текст] / О.А. Савинов. – Л.: Стройиздат, 1979. – 200 с.
13. Кудрявцев И. А. Влияние вибрации на основания сооружений [Текст] / И.А. Кудрявцев. – Гомель: БелГУТ, 1999. – 274 с.
14. Винников, Ю.Л. Вплив вібраційного режиму котків на ущільнення малозв'язних розкритих порід [Текст] / Ю.Л. Винников та ін. // Зб. наук. праць (Галузеве машинобуд., буд-во). – Полтава: ПНТУ, 2009. – Вип. 25. – С. 40–49.
15. Sawicki A. Some effects of intrinsic cyclic loading in saturated sands [Текст] / A. Sawicki, J. Mierczynski // Journal of theoretical and applied mechanics. – Warszawa, 2015. – Vol. 53. Issue –2 – P. 285-293. DOI: <https://doi.org/10.15632/jtam-pl.53.2.285>
16. Sawicki A. Structure and Calibration of Constitutive Equations for Granular Soils [Текст] / A. Sawicki, J. Mierczynski, J. Sławińska // Studia Geotechnica et Mechanica –Warszawa, 2015. –Vol. 36. Issue –4 – P. 35-46. DOI: <https://doi.org/10.2478/sgem-2014-0034>
17. Aleksandrovych V. Structure-soil massifs system behavior features under static and dynamic loads [Текст] / V. Aleksandrovych at al. // Proc. of the 18th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Paris. – 2013. – P. 1627 – 1629.
18. Aleksandrovych V. A. Investigation of the Influence of Dynamic Loads of Industrial Equipment on the Occurrence of Prolonged Yielding of their Foundation Soils [Текст] / V. A. Aleksandrovych, O. V. Havryliuk // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2021. – Vol. 1021(1) 012010. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1021/1/012010>

19. Levenko H. M. *Reconstruction of Shallow Foundations Using Peracetic Silicate Solutions [Текст] / H. M. Levenko, V. A. Aleksandrovych // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2021. – Vol. 1021(1) 012010. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1021/1/012020>*
20. Lange D. *Comparing Vibratory and Impact Laboratory Compaction Methods [Текст] / D. Lange, G. Fanourakis // Proc. of 17th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Olexandria, 2009. – Amsterdam: IOS Press, 2009. – P. 93 – 96. DOI: <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-031-5-93>*
21. Kim S.I. *Effects of irregular dynamic loads on soil liquefaction [Текст] / S.I. Kim at al. // Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Osaka: IOS Press, 2005. – P. 2673–2676. DOI: <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-656-9-2673>*
22. Areshkovych O. *Determination of the stress strain state of soil base for the structures at static and dynamic loads [Текст] / O. Areshkovych, I. Boyko, V. Sakharov // Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Osaka: IOS Press, 2005. – P. 1225–1230. DOI: <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-801-4-1225>*

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

The impact of complex engineering and geological conditions on the durability of the polymer pipeline

*Vadym Aleksandrovych*¹,

PhD (Technics), Associate Professor, Department of Soil Mechanics, Foundations and Engineering Geology

¹O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv,

17 Marshal Bazhanov St., Kharkiv, 61002, Ukraine;

*Olha Havryliuk*¹,

Senior Lecturer, Department of Soil Mechanics, Foundations and Engineering Geology;

*Valeriy Sukhov*²,

PhD (Geology), Head of the Department of Fundamental and Applied Geology,

²V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

ABSTRACT

Formulation of the problem. During the construction of the oil collector, in order to ensure uninterrupted transportation of products, it was planned to lay an industrial oil collector made of fiberglass pipes. In some areas, repeated depressurization of the joints of the fiberglass oil collector occurred. In this regard, there was a need for a comprehensive approach to establishing the causes of the aerial situations.

The purpose of the article is to analyze the impact of complex engineering and geological conditions on the durability of the polymer pipeline using the example of an industrial oil collector made of fiberglass pipes of the Anastasiv deposit, located in the territory of the Romen district of the Sumy region of Ukraine.

Materials and methods. To achieve the goal, a visual survey of the geological and geomorphological structure was performed, as well as the analysis of the engineering and geological conditions of the territory where the fiberglass pipeline is laid. Soil samples were taken from the place of depressurization of the polymer pipeline joint, and their physical and mechanical characteristics were determined. Modeling and calculation of the stability of the slope on which the depressurization of the joint of the polymer pipeline occurs, were carried out by the finite element method.

Results. During the examination of the fiberglass pipeline, negative and potentially negative factors of the engineering and geological conditions influence on the laying and operation of fiberglass collectors were established. It was revealed that there was a discrepancy between the design decision and the actual layout of the fiberglass pipes, which could lead to the occurrence of areas of "sag" and, as a result, an increase in the stresses in the pipeline from the backfill load. At the same time, the realization of subsidence phenomena of IGE 5 after laying the pipeline also led to additional non-design stresses. The analysis of engineering-geological and hydrogeological conditions indicates the possible activity of slope processes in the study area, which leads to a violation of the stability of the slope and, consequently, the occurrence of additional displacement and stresses due to deformation of the soil massif.

Scientific novelty and practical significance. The necessity of conducting engineering-geological surveys to assess the impact of complex engineering and geological conditions on the durability of a polymer pipeline is substantiated. The main negative processes and phenomena that led to emergency situations on the territory of laying the polymer pipeline were identified.

Keywords: *landslides, subsidence phenomena, complex engineering and geological conditions, stability of slopes, fiberglass collectors.*

References

1. Revazov, A. (2010). Analysis of emergencies and emergencies at the facilities of the main gas pipeline transport and measures to prevent their occurrence and reduce the consequences. *Quality management in the oil and gas complex*, 1, 68-70 [in Russian]
2. Zhovtulya, L. (2015). Geospatial predictive modeling in the process of assessing the risks of operation of main pipelines. *Acta Universitatis Pontica Euxinus. Special issue*, 399-403 [in Ukrainian]
3. Zhovtulya, L., Vashchishak, S., Tsikh, V., Cich L., Yavorsky A. (2016). Methodology for determining the presence of risks in the operation of underground pipelines, taking into account the influence of the parameters of the surrounding soil. *Scientific Proceedings*, 1(187), 329-332 [in Russian]
4. Zhovtulya, L.Ya., Karpash, O.M. (2015). Analysis of approaches to identifying and preventing the risks of accidents in the operation of main pipelines. *Exploration and development of oil and gas deposits*, 2, 28-34 [in Ukrainian]
5. Khrutba, V., Vaigang, G., Stegnii, O. (2017). Analysis of environmental hazards during the operation and repair of main pipelines. *Ecological safety*, 2, 75-82 [in Ukrainian]
6. Kryzhanivskiy, E., Rudko, V., Shatskiy, I. (2004). Assessment of permissible loads on the pipeline in the zone of soil slippage. *Physical and chemical mechanics of materials*, 4, 98-100 [in Ukrainian]
7. Kryzhanivskiy, E., (2005). Innovations in ensuring the reliable operation of gas pipelines in landslide-prone mountain conditions. *Science and innovation*, 1(5), 101-106 [in Ukrainian]
8. Kryzhanivskiy, E., Poberezhny, L., Shkitsa, L. (2007). Protection of the environment from accidents and catastrophes of pipeline systems in difficult operating conditions. *Exploration and development of oil and gas deposits*, 1 (22), 77–82 [in Ukrainian]
9. Goshovsky, S., Rudko, G., Presner, B. (2002). Environmental safety of techno-natural geosystems in connection with the catastrophic development of geological processes. *Kyiv: Nichlava*, 624 [in Ukrainian]
10. Oil and Natural Gas Industry Methane Emissions: Worldwide - Top 5 Emitting Countries. Available at: <http://www.epa.gov/gasstar/basicinformation/index.html#sources>
11. Struk, A. (2019). Stresses in the underground pipeline from foundation damage near the anchorage. *Oil and gas energy*, 2, 53-60. doi: [https://doi.org/10.31471/1993-9868-2019-2\(32\)-53-60](https://doi.org/10.31471/1993-9868-2019-2(32)-53-60) [in Ukrainian]
12. Savinov, O. (1979). *Modern designs of foundations for machines and their calculation*. Leningrad: Stroyizdat, 200 [in Russian]
13. Kudryavtsev, I. (1999). *Influence of vibration on the foundations of structures*. Gomel: BelGUT, 274 [in Russian]
14. Vinnikov, Yu (2009). The influence of the vibration mode of rollers on the compaction of low-cohesive overburden rocks. *Coll. of science works (Industrial machine building, building)*. Poltava: PNTU, 25, 40 – 49 [in Ukrainian]
15. Sawicki, A., Mierczynski, J. (2015). Some effects of intrinsic cyclic loading in saturated sands. *Journal of theoretical and applied mechanics*, 53 (2), 285-293. doi: <https://doi.org/10.15632/jtam-pl.53.2.285>
16. Sawicki, A., Mierczynski, J., Sławińska, J. (2015). Structure and Calibration of Constitutive Equations for Granular Soils. *Studia Geotechnical et Mechanical*, 36(4), 35-46. doi: <https://doi.org/10.2478/sgem-2014-0034>
17. Aleksandrovych, V. (2013). Structure-soil massif system behavior features under static and dynamic loads. *Proc. of the 18th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Paris)*, 1627–1629.
18. Aleksandrovych, V., Havryliuk, O. (2021). Investigation of the Influence of Dynamic Loads of Industrial Equipment on the Occurrence of Prolonged Yielding of their Foundation Soils. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 1021(1) 012010. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1021/1/012010>
19. Levenko, H., Aleksandrovych, V. (2021). Reconstruction of Shallow Foundations Using Peracetic Silicate Solutions. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 1021 (1) 012010. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1021/1/012020>
20. Lange, D. (2009). Comparing Vibratory and Impact Laboratory Compaction Methods. *Proc. of 17th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Alexandria, Amsterdam)*, 93 – 96. doi: <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-031-5-93>
21. Kim, S. (2005). Effects of irregular dynamic loads on soil liquefaction. *Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Osaka)*, 2673 – 2676. doi: <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-656-9-2673>
22. Areshkovych, O. (2005). Determination of the stress strain state of soil base for the structures at static and dynamic loads. *Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Osaka)*, 1225–1230. doi: <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-801-4-1225>

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 27 June 2022

Accepted 7 July 2022

Vulnerability assessment of drinking groundwater of buchak-kaniv aquifer under the conditions of quality composition long-term transformation

*Serhii Levoniuk*¹,

Senior Researcher, ¹Ukrainian Research Institute for Natural Gases,
20 Himnasiina Emb., Kharkiv, 61010,

e-mail: sergii.levonyuk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4073-8152>;

*Ihor Udalov*²,

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

²V.N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022,

e-mail: igorudalov8@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3844-6481>

ABSTRACT

Problems Statement and Purpose. This article is a continuation of the authors' previous publications on improving the methodical approach to assessing the vulnerability (protection) of drinking groundwater within the Dnipro-Donetsk artesian basin (DDAB) and is a practical component of these studies. In order to find and develop optimal forms of ecological safety management of drinking water supply for the region population, the authors' improved approach to assessing the vulnerability (protection) of drinking groundwater in the strategically important waters of buchak-kaniv aquifer (BKA) was tested.

The purpose of article is the ecological and hydrogeological zoning of research area according to the danger of quality transformation of BKA groundwaters and the determination of zones of increased ecological danger of these waters quality reduction due to elements of surface and deep genesis.

Data & Methods. The research is based on the analysis of results of drilling more than 950 wells in this region, as well as about 500 measurements of piezometric levels of BKA and the first interlayer aquifer during 1960-2020.

Results. Complex systems of ecological and hydrogeological zoning of the territory of DDAB central part have been developed according to the degree of ecological danger of lowering the quality of BKA drinking groundwater.

Zoning of the territory was carried out according to the danger of deterioration of these waters quality by man-made pollutants that enter the waters in the process of downward vertical filtration and migration from the earth surface. Ecologically dangerous areas with a potential decrease in the quality of BKA drinking groundwater due to elements of surface genesis (water intakes of Poltava, Lubny, Myrhorod, Velyka Bagachka, Krasnograd cities and some others) have been identified.

Zoning of the territory was carried out according to the danger of deterioration of the BKA groundwater quality due to the upward migration of natural deep substandard waters. Ecologically dangerous areas with a potential decrease in groundwater quality due to elements of deep genesis (water intakes of Poltava, Romodan, Myrhorod, Shyshaky, Opishnia, Gadyach, Krasnograd, Karlivka cities and some others) have been identified.

It is recommended to develop measures to increase the ecological safety of the population's drinking water supply: hydrogeochemical monitoring of characteristic indicators of water quality composition and optimization of the powerful water intakes operating modes (within ecologically dangerous territories); creation of new water intakes (within ecologically safe territories).

Keywords: *groundwater, vulnerability, protection, methodical approach, deterioration of quality, environmental safety.*

In cites: Levoniuk Serhii, Udalov Ihor (2022). Vulnerability assessment of drinking groundwater of buchak-kaniv aquifer under the conditions of quality composition long-term transformation. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (57), 17-27. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-02>

Introduction. Creating conditions for reliable safety of people's lives and activities in terms of providing the population with high-quality drinking water is one of the priority environmental problems for Ukraine. It is especially acute in the eastern regions of country, where under the complex influence of significant man-made pressure on the geological environment (GE) and natural factors, significant quality and resource changes of surface and drinking groundwater are observed.

The peculiarity of Dnipro-Donetsk depression is its complex tectonic structure together with the modern geodynamic activity of the earth's crust. Along with this, the urbanized areas of region are characterized by significant technogenic pressure on ground-

water due to the intensification of water withdrawal and the expansion of water intakes network. Within Eastern Ukraine, one of the main sources of drinking water supply for the population is groundwaters of buchak-kaniv aquifer (BKA), which are vulnerable to both man-made and natural pollution. This is manifested recently in the deterioration of these waters quality at many city water intakes against the background of modern technogenesis and natural processes.

In the conditions of finding and developing optimal forms of managing the ecological safety of drinking water supply for the population, it is urgent to determine the zones of increased ecological danger of lowering the BKA groundwater quality by ele-

ments of surface and deep genesis due to the appropriate ecological and hydrogeological zoning of research area.

Analysis of previous studies and publications.

Important publications in which the ways of pollutants migration of natural and technogenic genesis into groundwater were investigated are the papers of Ukrainian and foreign researchers A.S. Boguslavskyi (2007), V. N. Bublasi (2007), V. M. Goldberg (1983, 1987), S. M. Yelokhina (1983), T. V. Yemchuk (2011), I.S. Zektser (2004), A. V. Kononenko (2017), O. E. Koshliakov (2014), V. A. Myronenko (1990), M. S. Ognianyuk (2001, 2013), N. P. Osokina (2016), O. A. Ostroukh (2013), L. M. Rogachevska (2002), N. V. Rogovska (1976)), D. F. Chomko (2000), V. M. Shestopalov (2007), M. Civita (2004), M. De Maio (2004), S. S. D. Foster (1987), J. Margat (1968, 1970), M. Olmer (1974), V. Rezac (1974), M. Vrana (1968), J. Vrba (1994), A. Zaporozec (1994) and others.

Thanks to these studies, a modern methodological base for assessing the vulnerability (protection) of drinking groundwater was developed, a classification of hydrogeological "windows" was created for various technogenic and geological conditions, vertical and lateral migration paths of pollutants to drinking groundwater were determined, etc.

The modern methodological base for assessing the vulnerability (protection) of drinking groundwater is sufficiently wide and diverse. Table 1 shows the analysis of publications with the most used of existing methods, taking into account ecological and hydrogeological factors of vulnerability (protection) of these waters.

Highlighting previously unresolved parts of the overall problem. The authors of article in previous publications [4, 6] improved the methodical approach to assessing the vulnerability (protection) of Dnipro-Donetsk artesian basin (DDAB) groundwater. These papers involved the rational integration of existing methodological base, highlighting its strengths and weaknesses, and improving the latter.

This article is a continuation of these studies and is a practical component of them. The buchak-kaniv aquifer groundwaters are one of strategic reserves of drinking water within Eastern Ukraine. However, BKA is locally vulnerable to both man-made and natural pollution. Against the background of modern technogenesis and natural processes, the chemical composition of these waters has recently undergone significant changes. Currently, these waters are partially or completely unsuitable for drinking purposes at about 20 powerful urban water intakes in the region. In order to develop appropriate measures to improve the ecological safety of drinking water supply for the population of this territory, it was necessary to identify areas with groundwater that are vulnerable to technogenic and natural factors of pollution. The

authors tried to solve this problem by conducting an approbation of developed approach to vulnerability assessment in the BKA waters.

The purpose of article is the ecological and hydrogeological zoning of research area according to the danger of quality transformation of BKA groundwaters and the determination of zones of increased ecological danger of these waters quality reduction due to elements of surface and deep genesis.

Scientific novelty of conducted research:

- for the first time, complex systems of ecological and hydrogeological zoning of research area according to the danger of groundwater qualitative composition transformation were developed on the basis of protection point assessment of these waters from pollutants;

- received further development of the use of multifactorial analysis in ecological and hydrogeological mapping for the selection of zones of increased ecological danger of drinking groundwater quality reduction by elements of surface and deep genesis.

Practical significance is the ecological and hydrogeological zoning of studied territory, which allows for the development of effective measures to improve the ecological safety of population's drinking water supply within each of the zones (hydrogeochemical monitoring, optimization of water intake operation modes, creation of new water intakes).

Data and research methods. These studies are based on the analysis of results of drilling more than 450 wells, which were drilled for BKA, and more than 500 for the overlying aquifers, as well as about 500 measurements of piezometric levels of nearby target and first interlayer aquifers during 1960-2020 (according to the reported materials of "Pivdenukrgeology" and fund materials of "Geoinform of Ukraine").

In previous publications [4, 6], to develop an approach to assessing the vulnerability (protection) of groundwater in the studied area, the authors used index-rating assessment methods as the basis. These methods were improved on the basis of a rational integration of various indicators characterizing the modern natural and technogenic conditions of the territory (lithological, hydrogeological and neotectonic conditions), and the selection of the most representative of them. The paper presents the results of approbation of this approach on BKA drinking groundwater.

Research results and their analysis. As was established by the authors in previous papers [5, 14], in modern ecological and hydrogeological conditions, there is a transformation of BKA groundwater chemical composition towards the quality deterioration within researched area. The general ecological conditions of BKA groundwater at large water intakes of Eastern Ukraine during the period of active GE techno-

Table 1

Analysis of the most used methods for assessing the vulnerability (protection) of drinking groundwater

Method	Who developed and/or used methods	Advantages of methods	Disadvantages of methods
Hydrogeological zoning	Foreign: M. Albine in France, M. Vrana and M. Olmer in the Czech Republic, O. Sililo and others in South Africa [20], D. Ball et al. in Scotland [18]. Ukrainian: V. M. Shestopalov and others [15].	<ul style="list-style-type: none"> - Versatility, which is manifested in possibility of choosing ecological and hydrogeological parameters that are necessary for the given hydrogeological conditions of studied territory; - possibility of taking into account both the lithologic and filtration factors of vulnerability (protection), and changes in intensity of man-made pressure on the GE; - clarity and ease of use in presence of powerful GIS systems. 	<ul style="list-style-type: none"> - It is necessary to have a very significant volume of actual geological and hydrogeological data for the research region, which is very difficult to find in the conditions of modern limited monitoring; - in case of lack of above data, the method may have a significant error.
Index-rating	Foreign: Aller et al. in the USA, Canada and South Africa [17], I. S. Zektser and others in Italy, M. Civita and others in Italy [19], S. Foster for Great Britain conditions, A. Zaporozec within the state of Wisconsin, USA. Ukrainian: T. V. Yemchuk within Chernivtsi region, Ukraine [2].	<ul style="list-style-type: none"> - Promptness in assessing the groundwater pollution danger; - versatility of methods, which is manifested in the possibility of choosing ecological and hydrogeological parameters that are necessary precisely for the given hydrogeological conditions of research region; - the methods make it possible to take into account the lithologic-filtration factor of vulnerability (protection), as well as changes in the intensity of technogenic pressure on the geological environment of studied territory; - clarity and ease of use in presence of powerful GIS systems. 	<ul style="list-style-type: none"> - The presence of a significant subjective factor in determining rating scales of assessment; - as a consequence of the previous one – the methods may have a significant error.
Parametric	Ukrainian: V. M. Goldberg [1], V. S. Pashkovskiy [9], O. E. Koshliakov [3], O. A. Ostroukh [8], L. M. Rogachevska [11], O. V. Shcherbak [16], V. A. Myronenko, K. E. Pitieva and others. Foreign: AVI method [21].	<ul style="list-style-type: none"> - Versatility and adaptability to different geological and hydrogeological conditions of territory. 	<ul style="list-style-type: none"> - The methods do not sufficiently take into account the intensity of technogenesis of territory and its changes; - sufficiently weak consideration of lithological and filtration factor of assessment, namely, filtration differences across the territory; - as a result of previous disadvantages, there may be a significant error in the methods.
Methods using modeling	Foreign: R. Zhang [22], K. Loag and others. Ukrainian: V. M. Shestopalov and others [15], O. A. Potapov.	<ul style="list-style-type: none"> - Minimal error, which is ensured by the use of significant volume of ecological and hydrogeological information and powerful GIS systems; - taking into account the lithology-filtration factor of vulnerability assessment; - the flexibility of assessment, which is associated with the lack of binding to a specific territory, as well as greater reliability of the forecast when taking into account the intensity of man-made pressure and its changes. 	<ul style="list-style-type: none"> - When assessing within significant territories, methods become overloaded with large volume of ecological and hydrogeological information and become quite time-consuming and costly; - currently, the problem for all of Ukraine is lack of sufficient amount of up-to-date ecological and hydrogeological information and its operative processing. Therefore, another disadvantage is difficulty, and in some cases, impossibility of finding the necessary volume of data for research; - as a result of previous disadvantages – such important factors as the efficiency of assessment and the speed of making management decisions based on them are lost.

genesis (1960-2020) were investigated. In the process of work, the main pollutant elements of groundwater, which have systematically increased (accor-

ding to DSanPiN 2.2.4-171-10) values at the investigated water intakes, were traced (Table 2). They are organized into 2 groups:

Table 2

Components of the BKA groundwater chemical composition of researched area, for which systematic exceedances of the current standards have been established

Indicator, units of measurement	Value within the territory of research	Current standard (DSanPiN 2.2.4-171-10)	City water intakes, on which systematic exceedances of current standards are established
Surface genesis			
NH ₄ ⁺ , mg/dm ³	0,0-2,1	≤ 0,5	Poltava, Khorol, Krasnograd
NO ₂ ⁻ , mg/dm ³	0,0-2,0	≤ 0,1	Poltava, Khorol, Krasnograd
Deep genesis			
Mineralization, mg/dm ³	260,0-5400,0	≤ 1000	Karlivka, Poltava, Kotelva, Shyshaky, Lokhvytsa, Myrhorod, Khorol, Lubny, Velyka Bagachka, Reshetylivka, Chutove, Krasnograd, Bogoduhiv
Cl ⁻ , mg/dm ³	31,2-1110,0	≤ 250	Poltava, Karlivka, Kotelva, Lokhvytsa, Myrhorod, Khorol, Lubny, Velyka Bagachka, Reshetylivka, Chutove, Krasnograd
Fe _{total} , mg/dm ³	0,0-5,4	≤ 0,2	Karlivka, Poltava, Dykanka, Opishnya, Reshetylivka, Zinkiv, Gadyach, Lohvytsia, Khorol, Lubny, Pyryatyn, Chornuhy, Chutove, Krasnograd, Bogoduhiv
Na ⁺ +K ⁺ , mg/dm ³	25,6-652,3	≤ 200	Karlivka, Poltava, Myrhorod, Khorol, Lubny, Reshetylivka, Chutove, Gadyach, Krasnograd
F ⁻ , mg/dm ³	0,2-7,4	≤ 1,5	Karlivka, Poltava, Dykanka, Kotelva, Reshetylivka, Khorol, Shyshaky, Myrhorod, Lubny, Pyryatyn, Chornuhy, Velyka Bagachka, Chutove, Krasnograd, Bogoduhiv
Br ⁻ +B ³⁺ +J ⁻ (total), mg/dm ³	0,0-3,0	≤ 0,55	Karlivka, Poltava, Dykanka, Kotelva, Reshetylivka, Gadyach, Myrhorod, Khorol, Lubny, Pyryatyn, Krasnograd
Mixed genesis			
pH, units	6,6-9,2	6,5-8,5	Poltava, Krasnograd
Si, mg/dm ³	2,0-18,7	≤ 10	Poltava, Krasnograd

- elements-pollutants of surface genesis (NH₄⁺, NO₂⁻), which are not characterized by a wide distribution (detected only at 3 large water intakes, such as Poltava, Khorol, Krasnograd);

- pollutant elements of deep genesis (Cl⁻, Na⁺+K⁺, F⁻, Fe_{3ar.}, Br⁻, B³⁺, J⁻, as a result – increased mineralization of waters). It was established that these pollutants are the predominant factor in the deterioration of the target groundwater quality, as they were detected at most of large water intakes in the study region (Poltava, Karlivka, Kotelva, Dykanka, Opishnya, Zinkiv, Gadyach, Pyryatyn, Chornukhy, Shyshaky, Lohvytsia, Myrhorod, Khorol, Lubny, Velyka Bagachka, Reshetylivka, Chutove, Krasnograd, Bogoduhiv and some other less powerful).

According to the papers of various researchers [7, 10, 12, 13], the increased content of Cl⁻, F⁻, Fe_{3ar.}, Br⁻, B³⁺, J⁻ in drinking water has a colossal effect on the human body. This can be expressed in a number of serious diseases of the population that systematically consumes this water, namely: endemic fluorosis, hypoplasia of tooth enamel, caries, diseases of the circulatory system, problems with the secretory activity of digestive system, chronic digestive problems, a negative effect on the permeability of cell membranes and many others.

The above-mentioned groundwater pollution occurs as a result of influence of a whole complex of factors. One of the key factors is the local insufficient natural protection of target aquifer waters from man-

made and natural pollution factors. Therefore, the authors faced the task of creating an effective and rational approach to predicting changes in the ecological state of groundwater at the water intakes operating BKA of this territory, in modern natural and man-made conditions. For this, it was necessary to identify areas where groundwater is vulnerable to technogenic and natural factors of pollution.

At the first stage, the territory was zoned according to the risk of quality deterioration of target groundwater by man-made pollutants that enter these waters in the process of downward vertical filtration and migration from the surface of the earth. The following ecological and hydrogeological indicators were studied:

1) the intensity of technogenic pressure on the geological environment and its changes within the territory;

2) the nature of complex barrier function of the upper part of GE, which is determined by the litho-

logic-filtering protective capacity of sediments that lie between the earth's surface and target water-bearing aquifer, into which filtering of contaminated surface water is possible;

3) the filtration parameter through a regional separate layer of poorly permeable sediments of kyiv age, which lies in the top of target aquifer.

The general distribution of indicators for assessing the protection (vulnerability) of groundwater from surface pollution and the weight of each of them are shown in Table 3. After determining all the assessment components, the obtained points were calculated for each block of territory using GIS tools. The prevalence of vulnerability categories for hydrodynamic conditions in 2020 was calculated (Table 4). The resulting map-scheme of groundwater vulnerability categories for hydrodynamic conditions in 2020 was also constructed (Fig. 1), which clearly shows the distribution of these categories.

About 25% of the research area is occupied by

Table 4

Prevalence of categories of BKA groundwater vulnerability to surface pollution in the central part of DDAB for hydrodynamic conditions in 2020

Groundwater vulnerability category	Prevalence, % of the total area
low	75
middle	16
high	9

areas within which there is a danger of quality deterioration of BKA groundwater due to polluting elements of surface genesis. These are the southern and, partly, the western parts of territory, which include the water intakes of Poltava, Lubny, Myrhorod, Velyka Bagachka, Krasnograd, Lohvytsia cities and some others. Along with the low geological protection of these territories, the reason for this is also the dynamic component of the protection assessment – the intensity of filtration through a separate layer of poorly permeable sediments of kyiv age, which lies in the top of target aquifer. The obtained gradations of change in the current (as of 2020) rate of vertical filtration within the studied area are quite wide and vary (not including areas of upflow) from 0 to 1460 mm/year. This is due to the presence of operating water intakes in the area of Poltava city, as well as the largest cities of region (Myrhorod, Lubny, Krasnograd, Lohvytsia and some others), which actively exploit the target buchak-kaniv and lower-lying cenomanian-Lower Cretaceous aquifers and form depression funnels with significant components of downward migration into the target aquifer [6].

At the second stage, the territory was zoned according to the danger of quality deterioration of BKA groundwater due to the upward migration of natural deep substandard waters. The authors established that

the maximum changes in the BKA waters composition are characteristic for the areas of "overlap" of zones of intensive man-made pressure on groundwater (zones of powerful water intakes influence) on the territory, in the subsoil section of which salt diapirs and related tectonic faults lie. It is here that the aquifers of active water exchange zone are fed by hydraulic connection with deep, highly mineralized waters [14].

The following ecological and hydrogeological indicators were studied:

1) influence of natural neotectonic factors on the target aquifer groundwater quality. The size of territory, within which the maximum deterioration of BKA groundwater quality, was observed. These are areas within a radius of 5 km around tectonic faults. Having analyzed all similar cases within the research region, the territory was conditionally divided into blocks of equal size – 5x5 km;

2) modern geodynamic activity of the earth's crust within the region. The authors believe that this parameter has an influence on the hydrogeomigratory processes through tectonic faults. The indicator was calculated by using study of total amplitudes of the earth's crust Neogene-Quaternary movements within the researched territory.

Fig. 2 shows a map-scheme of intensity of the earth's crust modern movements as a factor affecting

Table 3

General distribution of indicators for groundwater protection assessing from surface pollution

No.	Indicator name	Parameter to be defined and unit of measurement	Interval of values	Indicator of protection category, points	Weight factor
1	Lithology of the upper (near-surface) part of section	Determination of characteristic lithological composition of sediments of the section upper part according to typical areas	Areas of the 1st type	1	1,5
			Areas of the 2nd type	2	
			Areas of the 3rd type	5	
2	Inherent geological protection of the first interlayer aquifer	Specific permeability of poorly permeable rocks in the top and directly in the first interlayer aquifer, day ⁻¹	$>6,7 \times 10^{-5}$	1	5
			$6,7 \times 10^{-5} - 5 \times 10^{-5}$	2	
			$5 \times 10^{-5} - 3,3 \times 10^{-5}$	3	
			$3,3 \times 10^{-5} - 2,5 \times 10^{-5}$	4	
			$<2,5 \times 10^{-5}$	5	
3	Permeability of sediments of the first interlayer aquifer	Specific permeability of permeable rocks in the first interlayer aquifer, day ⁻¹	$>0,3$	1	1,5
			0,3-0,15	2	
			0,15-0,1	3	
			0,1-0,075	4	
			$<0,075$	5	
4	Permeability of the separating layer	Specific permeability of the regional separate layer of poorly permeable rocks, which lies in the top of target aquifer, day ⁻¹	$>5 \times 10^{-6}$	1	10
			$5 \times 10^{-6} - 4 \times 10^{-6}$	2	
			$4 \times 10^{-6} - 3,3 \times 10^{-6}$	3	
			$3,3 \times 10^{-6} - 2,9 \times 10^{-6}$	4	
			$<2,9 \times 10^{-6}$	5	
5	Velocity of vertical flow through the separation layer	Velocity of vertical flow through a regional separation layer of poorly permeable rocks in the top of target aquifer, m/day	$>10^{-4}$	1	10
			$10^{-4} - 5 \times 10^{-5}$	2	
			$5 \times 10^{-5} - 10^{-5}$	3	
			$10^{-5} - 10^{-7}$	4	
			$10^{-7} - 0$	5	
			<0	Conditionally protected from surface contamination	

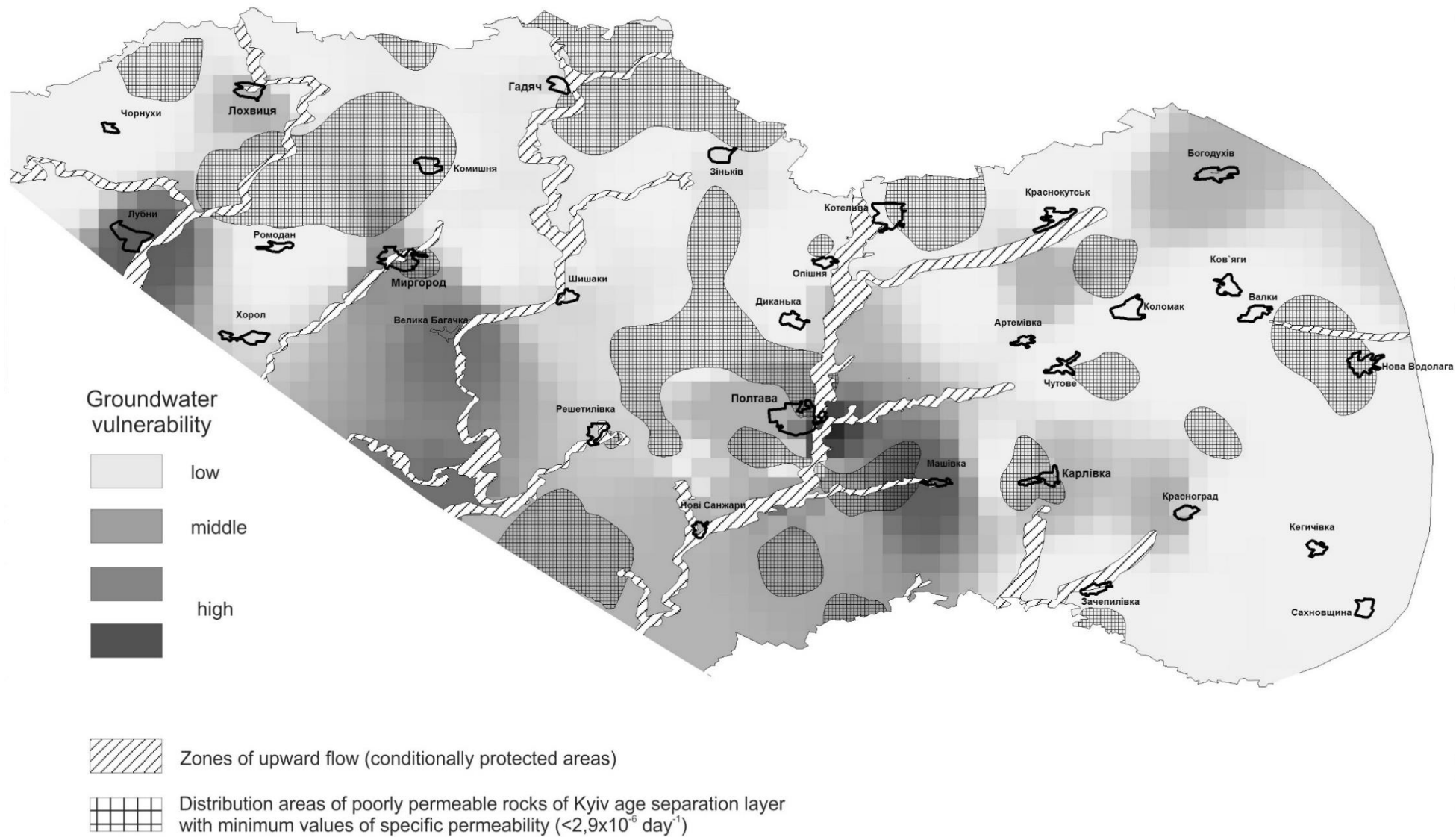


Fig. 1. Map-scheme of categories of BKA groundwater vulnerability to surface pollution in the central part of DDAB for hydrodynamic conditions in 2020

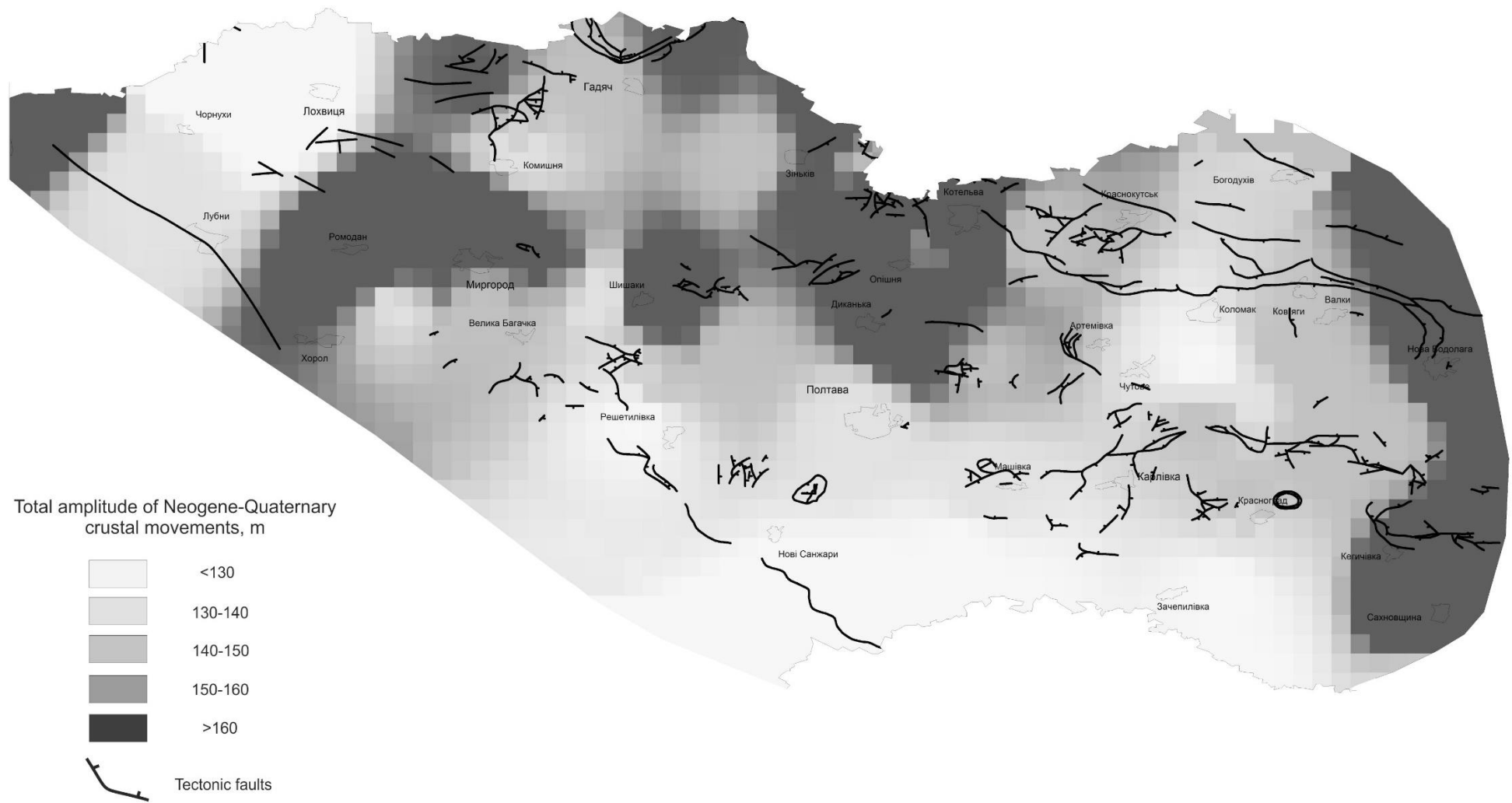


Fig. 2. Map-scheme of intensity of the earth's crust modern movements as a factor affecting the vulnerability (protection) of BKA groundwater to natural neotectonic factors of its quality reduction in the central part of DDAB due to the permeability of tectonic faults

the vulnerability (protection) of BKA groundwater to natural neotectonic factors of its quality reduction in the central part of DDAB due to the permeability of tectonic faults.

With the help of a rational integration of all the above factors, the zones of increased ecological danger of quality reduction of BKA drinking groundwater due to elements of deep genesis have been determined. These are the northern, central and eastern parts of the territory, which include the water intakes of Poltava, Lubny, Myrhorod, Shyshaky, Opishnia, Gadyach, Krasnograd, Karlivka cities and some others.

Conclusions. The article is a continuation of the authors' previous papers on improving the methodical approach to assessing the vulnerability (protection) of drinking groundwater within the Dnipro-Donetsk artesian basin and is a practical component of these studies.

Complex zoning systems of the territory of DDAB central part have been developed according to the degree of ecological danger of lowering the drinking groundwater quality of buchak-kaniv aquifer, which is one of the strategic reserves of drinking water within the Eastern Ukraine. It has been established that this is an effective tool for forecasting changes in

the ecological state of groundwater at water intakes in the researched area under modern natural and technogenic conditions.

Zones of increased ecological danger of the quality reduction for BKA drinking groundwater due to elements of the surface (southern and, partly, the western parts of territory – water intakes of Poltava, Lubny, Myrhorod, Velyka Bagachka, Krasnograd cities and some others) and deep (northern, central, eastern parts – water intakes of Poltava, Romodan, Myrhorod, Shyshaky, Opishnia, Gadyach, Krasnograd, Karlivka cities and some others) genesis were established.

It is recommended to develop measures within these territories to increase the ecological safety of the population's drinking water supply. This is, first of all, hydrogeochemical monitoring of characteristic indicators of the water qualitative composition and optimization of operating modes for powerful water intakes. Within the territories with a potentially lower risk of groundwater quality deterioration, it is recommended to create new water intakes to gradually replace the current population's water supply of urban agglomerations with high-quality groundwater.

Bibliography

1. Гольдберг В. М. Природные и техногенные факторы защищенности грунтовых вод / В. М. Гольдберг // Бюллетень МОИП. – 1983. – № 2. – С. 103–110.
2. Ємчук Т. В. Оцінка захищеності підземних вод: методологічні аспекти і практичне застосування вод / Т. В. Ємчук // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2011. – Т. 1. № 22. – С. 45–50.
3. Кошляков О. Є. До питання вразливості питних підземних вод в межах Київської міської агломерації з урахуванням природної захищеності / О. Є. Кошляков, О. В. Диняк, І. Є. Кошлякова // Вісник Одеського національного університету. Серія «Географічні та геологічні науки». – 2014. – Т. 19. № 3 (22). – С. 269–273.
4. Левонюк С. М. Геоекологічні критерії удосконалення методики оцінки ризику забруднення підземних вод / С. М. Левонюк, І. В. Удалов // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення : матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції, 10-14 вересня 2018 р., Харків, 2018. – С. 203–208.
5. Левонюк С. М. Еколого-гідрохімічні особливості трансформації якості питних підземних вод під впливом техногенних та неотектонічних факторів (на прикладі бучацько-канівських водозаборів Східної України) / С. М. Левонюк, І. В. Удалов // Пошукова та екологічна геохімія. – 2018. – № 1 (19). – С. 30–40.
6. Левонюк С. М. Комплексна геоекологічна оцінка захищеності питних підземних вод / С. М. Левонюк, І. В. Удалов // Вісник Одеського національного університету. Серія «Географічні та геологічні науки». – 2018. – Т. 23, вип. 2 (33). – С. 111–133.
7. Назаренко Е. А. Оцінка стану здоров'я населення, що проживає в межах території біогеохімічної провінції з підвищеним вмістом фторидів / Е. А. Назаренко, Ю. Б. Нікозять, О. Д. Іващенко // Науково-технічний журнал. – 2015. – № 2 (12). – С. 80–84.
8. Остроух О. А. Якісна оцінка природної захищеності підземних вод засобами ГІС / О. А. Остроух // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія». – 2013. – Вип. 38. № 1049. – С. 34–38.
9. Пашковський І. С. Принципы оценки защищенности подземных вод от загрязнения / И. С. Пашковський // Современные проблемы гидрогеологии и гидромеханики. – 2002. – С. 122–131.
10. Попов О. И. Воздействие фтора и его производных на окружающую среду и организм человека / О. И. Попов, Л. В. Подригало, Г. Н. Даниленко, Н. Г. Семко // Врачебная практика. – 2000. – № 1. – С. 87–89.
11. Рогачевская Л. М. Региональная оценка уязвимости грунтовых вод восточной части Днепровского артезианского бассейна к радионуклидному загрязнению : автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук / Л. М. Рогачевская. – Москва, 2002. – 23 с.
12. Сердюкова О. О. Гідрогеохімічні особливості фтора у зоні гіпергенезу Донбасу та деякі аспекти його впливу на організм людини / О. О. Сердюкова // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія». – 2013. – № 1084. – С. 243–246.

13. Смоляр В. І. Надлишок фтору в питній воді і фториста інтоксикація / В. І. Смоляр, Г. І. Петрашенко // *Проблеми харчування*. – 2007. – № 1. – С. 15–17.
14. Удалов І. В. Трансформація якісного складу питних підземних вод центральної частини ДДАБ / І. В. Удалов, С. М. Левонюк // *Геохімія техногенезу*. – 2019. – Вип. 2 (30). – С. 46–55.
15. Шестопалов В. М. Оценка защищенности и уязвимости подземных вод с учетом зон быстрой миграции / В. М. Шестопалов, А. С. Богуславский, В. Н. Бублясь. – Киев : Ин-т геол. наук НАН Украины, 2007. – 120 с.
16. Щербак О. В. Зміна природної захищеності підземних вод в умовах підтоплення на території Херсонської області / О. В. Щербак // *Вісник Одеського національного університету. Серія «Географічні та геологічні науки»*. – 2013. – Т. 18, вип. 1 (17). – С. 249–253.
17. Aller L. DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings / L. Aller, T. Bennet, J. H. Lehr, R. Petty. – Washington : U. S. Environmental Protection Agency. 1987. – EPA/600/2-85-018.
18. Ball D. Development of a groundwater vulnerability screening methodology for the Water Framework Directive. Final report. Project WFD28 / D. Ball, A. MacDonald, B. Dochartaigh, M. del Rio. – Edinburgh : SNIFFER, 2004. – 52 p.
19. Civita M. Assessing and mapping groundwater vulnerability to contamination: The Italian «combined» approach / M. Civita, M. De Maio // *Geofisica Internacional*. – 2004. – Vol. 43, № 4. – P. 513–532.
20. Sililo O. T. N. A procedure for deriving qualitative contaminant attenuation maps from land type data / O. T. N. Sililo, J. E. Conrad, T. E. Dohse, G. Tredoux // *Journal of Hydrology*. – 2001. – Vol. 241. – P. 104–109. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00375-9](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00375-9)
21. Van Stempvoort D. A method for groundwater protection mapping in the Praire Province of Canada. PPWB Report No. 114 / D. Van Stempvoort, L. Ewert, L. Wassenaar. – Saskatoon, Saskatchewan : National Hydrogeology Research Institute, 1995. – 145 p.
22. Zhang R. Determination of nonpoint-source pollution using GIS and numerical models / R. Zhang, J. D. Hamerlinck, S. P. Gloss, L. Munn // *Journal of Environmental Quality*. – 1996. – Vol. 25 (3). – P. 411–418. <https://doi.org/10.2134/jeq1996.00472425002500030005x>

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

References

1. Goldberg, V. M. (1983). Natural and technogenic factors of groundwater protection. *Bulletin MOIP*. № 2, 103–110. [in Russian].
2. Yemchuk, T. V. (2011). Assessment of groundwater protection: methodological aspects and practical application. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*. Iss. 1, № 22, 45–50. [in Ukrainian].
3. Koshliakov, O. Ye., Dyniak, O. V., Koshliakova, I. Ye. (2014). To the question of vulnerability of drinking groundwater within the boundaries of Kyiv city agglomeration, taking into account natural protection. *Bulletin of Odessa National University. Series "Geographical and geological sciences"*. Iss. 19, № 3 (22), 269–273. [in Ukrainian].
4. Levoniuk, S. M., Udalov, I. V. (2018). Geoecological criteria for improving the methodology for assessing the risk of groundwater pollution. *Environmental safety: problems and solutions : materials of XIV International Scientific and Practical Conference*. Kharkiv, Ukraine, 203–208. [in Ukrainian].
5. Levoniuk, S. M., Udalov, I. V. (2018). Ecological and hydrochemical features of the transformation of drinking groundwater quality under the influence of technogenic and neotectonic factors (on the example of buchak-kaniv water intakes of Eastern Ukraine. *Research and environmental geochemistry*. № 1 (19), 30–40. [in Ukrainian].
6. Levoniuk, S. M., Udalov, I. V. (2018). Comprehensive geoecological assessment of drinking groundwater protection. *Bulletin of Odessa National University. Series "Geographical and geological sciences"*. Iss. 2 (33), 111–133. [in Ukrainian].
7. Nazarenko, E. A., Nikoziat, Yu. B., Ivashchenko, O. D. (2015). Assessment of health state of population living within the territory of biogeochemical province with high fluoride content. *Scientific and technical journal*. Kyiv. 2 (12). 80–84. [in Ukrainian].
8. Ostroukh, O. A. (2013). Qualitative assessment of the groundwater natural protection by using GIS. *Bulletin of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series "Geology. Geography. Ecology"*. Iss. 38, № 1049, 34–38. [in Ukrainian].
9. Pashkovskiy, I. S. (2002). Principles for assessing the groundwater protection from pollution. *Modern problems of hydrogeology and hydromechanics*. 1, 122–131. [in Russian].
10. Popov, O. I., Podryhalo, L. V., Danylenko, H. N., Semko, N. H. (2000). The impact of fluorine and its derivatives on the environment and the human body. *Medical practice*. Kyiv. 1. 87–89. [in Russian].
11. Rogachevskaya, L. M. (2002). Regional assessment of vulnerability of groundwater in the eastern part of Dnipro artesian basin to radionuclide contamination : PhD thesis. Moscow, 23. [in Russian].
12. Serdiukova, O. O. (2013). Hydrogeochemical features of fluorine in the hypergenesis zone of Donbas and some aspects of its influence on the human body. *Bulletin of V. N. Karazin Kharkiv National University. The series "Geology. Geography. Ecology"*. Kharkiv. 1084. 243–246. [in Ukrainian].
13. Smoliar, V. I., Petrashenko, H. I. (2007). Excess fluoride in drinking water and fluoride intoxication. *Nutritional problems*. Kyiv. 1. 15–17. [in Ukrainian].

14. Udalov, I. V., Levoniuk, S. M. (2019). Transformation of the qualitative composition of drinking groundwater in the central part of DDAB. *Geochemistry of technogenesis. Iss. 2* (30), 46–55. [in Ukrainian].
15. Shestopalov, V. M., Boguslavskiy, A. S., Bublias, V. N. (2007). Assessment of the protection and vulnerability of groundwater, taking into account the zones of rapid migration. Kyiv, 120. [in Russian].
16. Shcherbak, O. V. (2013). Changes in the groundwater natural protection in conditions of flooding in the territory of Kherson region. *Bulletin of Odessa National University. Series "Geographical and geological sciences". Iss. 18, № 1* (17), 249–253. [in Ukrainian].
17. Aller, L., Bennet, T., Lehr, J. H., Petty, R. (1987). DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. Washington: U. S. Environmental Protection Agency. EPA/600/2-85-018.
18. Ball, D., MacDonald, A., Dochartaigh, B., del Rio, M. (2004). Development of a groundwater vulnerability screening methodology for the Water Framework Directive. Final report. Project WFD28. Edinburgh: SNIFFER, 52.
19. Civita, M., De Maio, M. (2004). Assessing and mapping groundwater vulnerability to contamination: The Italian «combined» approach. *Geofisica Internacional. Vol. 43, № 4*, 513–532.
20. Sililo, O. T. N., Conrad, J. E., Dohse, T. E., Tredoux, G. (2001). A procedure for deriving qualitative contaminant attenuation maps from land type data. *Journal of Hydrology. Vol. 241*, 104–109. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00375-9](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00375-9)
21. Van Stempvoort, D., Ewert, L., Wassenaar, L. (1995). A method for groundwater protection mapping in the Praire Province of Canada. PPWB Report No. 114. Saskatoon, Saskatchewan: National Hydrogeology Research Institute, 145.
22. Zhang, R., Hamerlinck, J. D., Gloss, S. P., Munn, L. (1996). Determination of nonpoint-source pollution using GIS and numerical models. *Journal of Environmental Quality. Vol. 25* (3), 411–418. <https://doi.org/10.2134/jeq1996.00472425002500030005x>.

Оцінка вразливості питних підземних вод бучацько-канівського водоносного комплексу в умовах довгострокової трансформації їх якісного складу

Сергій Левонюк¹,

ст. наук. співробітник, ¹Український науково-дослідний інститут природних газів,
Гімназійна наб., 20, Харків, 61010, Україна,

Ігор Удалов²,

доктор геол. наук, проф.,

²Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,
майдан Свободи, 4, Харків, 61022, Україна

Дана робота є продовженням попередніх публікацій авторів з удосконалення методичного підходу до оцінки вразливості (захищеності) питних підземних вод у межах Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну (ДДАБ) та є практичною складовою цих досліджень. Задля пошуку та розробки оптимальних форм управління екологічною безпекою питного водопостачання населення регіону, апробовано удосконалений авторами підхід до оцінки вразливості (захищеності) питних підземних вод на стратегічно важливих водах бучацько-канівського водоносного комплексу (БКВК). Розроблено комплексні системи еколого-гідрогеологічного районування території центральної частини ДДАБ за ступенем екологічної небезпеки зниження якості питних підземних вод БКВК. Проведено районування території згідно небезпеки погіршення якості цих вод техногенними забруднювачами, які надходять у води у процесі низхідної вертикальної фільтрації та міграції із поверхні землі. Встановлено екологічно небезпечні території із потенційним зниженням якості питних підземних вод БКВК за рахунок елементів поверхневого генезису (водозабори міст Полтава, Лубни, Миргород, Велика Багачка, Красноград та деякі ін.). Проведено районування території згідно небезпеки погіршення якості підземних вод БКВК за рахунок висхідної міграції природних глибинних некондиційних вод. Встановлено екологічно небезпечні території із потенційним зниженням якості підземних вод за рахунок елементів глибинного генезису (водозабори міст Полтава, Ромодан, Миргород, Шишаки, Опішня, Гадяч, Красноград, Карлівка та деякі ін.). Практично доведено, що удосконалений авторами підхід до оцінки вразливості (захищеності) питних підземних вод є ефективним інструментом для прогнозування змін екологічного стану підземних вод на водозаборах території робіт у сучасних природних і техногенних умовах.

Ключові слова: підземні води, вразливість, захищеність, методичний підхід, погіршення якості, екологічна безпека.

Геохімія фтору у ореольних водах рудних полів південно-східної частини Дніпровсько-Донецького авлакогену

Василь Суярко¹,

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

¹Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, майд. Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна,

e-mail: vgস্যুরকো@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3693-4767>;

Ахмет Сасмаз²,

д. геології, професор, кафедра геохімії родовищ корисних копалин,

²Фіратський університет, м. Елязиг, 23119, Туреччина,

e-mail: asasmaz@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1154-732X>;

Олексій Барташук³,

д. геол. н., ст. науковий співробітник, ³Український науково-дослідний інститут природних газів,

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

e-mail: alekseybart@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-7831-6134>;

Ольга Сердюкова¹,

ст. викладач, кафедра фундаментальної та прикладної геології,

e-mail: serd.64@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0002-8946-0243>;

Володимир Манюк⁴,

к. геол.-мін. н., доцент, кафедра наук про Землю,

⁴Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,

просп. Гагаріна, 72, м. Дніпро, 49000 Україна,

e-mail: vgeoman@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-1511-7079>

Розглянуто геохімічні особливості фтору та можливі його джерела в ореольних водах гідротермальних рудних полів Дніпровсько-Донецького авлакогену (ДДА). Встановлено, що формування ореольних вод відбувається за рахунок взаємодії інфільтраційних вод зони вільного водообміну та вод глибокого формування, що розвантажуються по зонах глибинних розломів. Обґрунтовано, що водна міграція фтору обумовлюється геохімічним типом підземних вод, величиною їх мінералізації, кислотно-лужного (рН) та окислювально-відновлювального (Eh) потенціалів, присутністю елементів – комплексуютьовувачів, з якими фтор утворює рухливі комплексні сполуки, тощо. Фтор є типоморфним хімічним елементом підземних вод регіону, широко представленим у водах регіонального фону. Він утворює великі за площею, контрастні гідрогеохімічні аномалії у різних типах гідротермальних рудних полів, які контролюються зонами глибинних розломів – флюоритових, ртутних, поліметалічних та інших. Аномалії елемента формуються і на тих ділянках розломів, де спостерігається процеси сучасного тепломасоперенесення, що проявляються у розвантаженні ендегенних флюїдів і вод на фоні підвищеної напруженості геотермічного поля. Це вказує на вірогідне надходження фтору у ендегенних флюїдних потоках, які супроводжують води глибокого формування на шляху їх висхідної міграції. Найконтрастніші ореоли розсіювання фтору встановлено в зоні гіпергенного вивітрювання флюориту Покрово-Киревського родовища та в ореольних водах Микитівського ртутного родовища, в породах якого флюоритова мінералізація відсутня. В ореольних водах останнього фтор разом з іншими мікроелементами формує полікомпонентні аномалії і входить до складу гідрогеохімічної асоціації елементів-індикаторів захованого ртутного зруденіння – Hg, As, V, F, (Sb). Зазначені особливості ореольних вод гідротермальних родовищ різних типів можуть свідчити про різні джерела надходження фтору у підземну гідросферу, які пов'язані з генетично протилежними та різноспрямованими процесами: а) гіпергенним геологічним вивітрюванням (вилугуванням та розчиненням) флюориту інфільтраційними водами – у горизонтальній площині; б) гіпогенним висхідним розвантаженням гіпогенних флюїдів і вод глибокого формування, та – у вертикальному напрямку; в) катіонним обміном у геохімічній системі «порода–вода» за рахунок захованих порових розчинів осадових порід, які сформувалися у палеозойських та мезозойських морських басейнах і часто вміщують підвищені концентрації фтору.

Ключові слова: фтор, ореольні води, зони розломів, гідротермальні рудні поля, гідрогеохімічні аномалії, флюїдні потоки, тепломасоперенесення, водна міграція.

Як цитувати: Суярко Василь. Геохімія фтору у ореольних водах рудних полів південно-східної частини Дніпровсько-Донецького авлакогену / Василь Суярко, Ахмет Сасмаз, Олексій Барташук та ін. // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 57. – С. 28-37. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-03>

In cites: Suyarko Vasyi, Sasmaz Ahmet, Bartaschuk Oleksii, Serdiukova Olga, Manyuk Volodymyr. (2022). Geochemistry of fluorine in halo waters of ore fields of the southeastern part of the Dnipro-Donetsk avlakogen. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (57), 28-37. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-03> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. Фтор – одновалентний аніоногенний неметал, що є дуже сильним окислювачем. Елемент належить до групи галогенів і є найлегшим у ній, маючи атомну вагу 18,5. За нормальних умов фтор – двоатомний газ (F₂). Найбільші природні концентрації його у мінералі

флюориті – CaF_2 . Існує 1 стабільний ізотоп фтору – ^{19}F та 17 радіоактивних ізотопів. У водному середовищі елемент дуже рухливий. Це один з найактивніших лігандів. Ендогенні флюїдні потоки вміщують фтор у газовій та водорозчинній формах. Підвищені концентрації його встановлені у водах регіонального фону (до $0,85 \text{ мг/дм}^3$), і аномально-високі (від $1,5$ до $9,0 \text{ мг/дм}^3$) – у ореольних водах гідротермальних рудних полів та в напірних водах зон розломів. При цьому максимальні вмісти спостерігаються не в ореольних водах Покрово-Киреєвського флюоритового родовища, що формуються, в основному, за рахунок гіпергенного вивітрювання флюориту (CaF_2), а в ореольних водах Микитівського та Дружківсько-Костянтинівського ртутних рудних полів, в породах яких практично відсутні мінерали фтору.

Ці факти, на нашу думку, потребують пояснень щодо джерел фтору у підземній гідросфері регіону.

Мета дослідження – визначити джерела фтору в підземних та ореольних водах Дніпровсько – Донецького авлакогену.

Об'єкт дослідження – геохімія фтору в підземній гідросфері регіону.

Предмет дослідження – джерела фтору в ореольних водах гідротермальних рудних полів регіону.

Методи дослідження, результати якого наведені у статті, ґрунтуються на методиці гідрогеохімічних пошуків, яка включає відбір, аналіз та інтерпретацію результатів [7]. Визначення хімічного складу вод виконувалося хіміко-аналітичними та спектрометричними (включно з мас-спектрометричними) методами. Фонові та аномальні концентрації фтору розраховувалися методами математичної статистики. В окремих випадках для визначення природи F у флюориті (CaF_2) аналізувалися співвідношення ізотопів вуглецю – $\delta \text{C}^{12}/\delta \text{C}^{13}$ за SMOW. Для формування висновків широко застосовувалися як результати власних досліджень, так і опублікованих джерел.

Огляд попередніх досліджень. Проблемі геохімії фтора в підземних водах та пов'язаних з нею питанням - гідротермального мінералоутворення і геологічного вивітрювання флюориту присвячено багато робіт українських та зарубіжних дослідників.

Серед українських геологів і геохіміків це роботи Б. Панова, Е. Жовинського, В. Калюжного, В. Суярка, Б. Захи, О. Зарицького, Н. Крюченко, О. Сердюкової, В. Тригуба та ін. Велику увагу цій проблемі приділяли і зарубіжні вчені: В. Jardley, Х. Hocks, R. Perhas, D. Banks (США); К. Turekian (Канада); Gao J., Z. Zang, G. Li (КНР); Н. Khademi (Іспанія); I. Stober, K. Bucher (Німеччина); F. Castorina, U. Masi (Italy); A. Sasmaz, D. Akgul (Туреч-

чина); J. Bertaux (Швейцарія); E. Gonzales-Partida, A. Carillo-Chavez (Мексика); A. Rashid, S. Zahir (Пакистан) та багато інших дослідників з різних країн світу.

Геохімію фтора у природних розчинах в різних країнах детально почали досліджувати з 1950-х років, що було пов'язане з потребою в нових родовищах фтору, розвитком і удосконаленням геохімічних методів пошуку корисних копалин та вдосконаленням технологій лабораторних робіт. Завдяки вивченню мінералогії, геохімії та гідрогеології рудних родовищ було сформульовано поняття «ореольні води», яке сьогодні широко використовується у теорії та практиці геохімічних досліджень. Основні роботи з геохімії фтора у водах гідротермальних рудних родовищ, присвячені формуванню їх хімічного складу, геохімічним особливостям мінералоутворюючих гідротерм, ореолам розсіювання флюоритових та інших типів зруденіння в гірських породах, а також формуванню ореольних вод, як важливого генетичного критерія пошуку захованого зруденіння. Проте, проблему можливих природних джерел фтора у підземній гідросфері і, зокрема, в ореольних водах рудних полів, остаточно не вирішено. Через це тема статті є *актуальною*, а результати дослідження авторів мають не лише теоретичне, а й практичне значення.

1965 р. Н. Holland (США) та М. Borcsik (Чехословаччина) охарактеризували геохімію карбонатних розчинів у гідротермальних системах. Цього ж року G. Strübel (Німеччина) запропонував модель гідротермального утворення флюориту.

1966 р. О. Зарицький, Б. Захи та А. Стремівський (Україна) за результатами геолого-геохімічних і термодинамічних досліджень флюорита Покрово-Киреєвського родовища прийшли до висновку про підкорове походження вміщених фтор флюїдів.

1975 р. Є. Гавриленко (Україна) описала зони глибинних розломів як стабільні канали розвантаження ендогенних флюїдів (He, Hg, ΣTR , галогенів – Br, I, F тощо) з водами глибокого формування.

1978 р. Б. Пановим (Україна) та О. Лідером (Німеччина) за результатами геолого-геохімічних досліджень описано умови формування та генезису флюоритової мінералізації.

1979 р. Е. Жовинський (Україна) дослідив геохімію фтору в осадових формаціях південного заходу Східно-Європейської платформи. Пізніше, 1985 р. він же запропонував методику проведення фторометричних методів як для пошуку родовищ корисних копалин, так і для трасування розривних тектонічних порушень.

1988 р. В. Суярко та О. Отрешко (Україна) об-

грунтували роль підземних вод у руйнуванні флюоритової мінералізації Покрово-Киреевського родовища та запропонували використовувати гідрогеохімічну зональність як критерій пошуку захованої рудної мінералізації флюорита у породах Південного Донбасу.

1990 р. Б. Панов та В. Суярко (Україна) дослідили процеси геологічного вивітрювання Покрово-Киреевського родовища флюорита.

B. Jardley, D. Banks та L. Munz (США) у 1992 р. як доказ ендегенного походження фтору, використовували присутність елемента у газово-рідинних включеннях в гідротермальних мінералах.

2002 р. I. Stober, J. Zhu та K. Bucher (Німеччина) вивчаючи ореольні води флюоритового родовища, прийшли до висновку про різні за генезисом джерела їх формування.

2004 р. A. Sasmaz, A. Sagioglu, F. Yavuz, B. Akgul (Туреччина) дослідили вміст рідкісних земель (REE) у флюориті Центральної Туреччини.

2006 р. В. Суярко (Україна) розглянув процеси формування та руйнування природними водами Покрово-Киреевського родовища флюориту та інших гідротермальних родовищ Південного Донбасу

2007 р. J. Bertaux, A. Vandaell, O. Korablev та інші (Швейцарія) за результатами досліджень термальних джерел з HF, HCl та DHO прийшли до висновку про ендегенне походження фтору.

2012 О. Сердюкова (Україна) дослідила геохімічні особливості фтора у підземних водах Донецької складчастої споруди, а у 2013 р. автор визначила особливості розподілу фтора у водах зони гіпергенезу Донбасу.

2018 р. V. Suyarko, L. Ischenko, O. Gavriluk (Україна) вивчаючи флюїдний режим та ореольні води бітумо-гідротермальних мінеральних асоціацій Західно-Донецького грабену, прийшли до висновку, що фтор разом з іншими елементами переноситься висхідними флюїдними потоками та водами глибокого формування.

2018р. A. Sasmaz, N. Kruchenko, E. Zhovinsky, N. Kopaksi, B. Akgul (Туреччина, Україна) визначили залежність кольорів флюориту Бобринського родовища від вмісту рідкісних земель.

2019 р. E. Gonzales-Partida, A. Carillo-Chavez, A. Camprubi (Мексика) за даними ізотопного аналізу Са з флюориту флюоритового родовища у Центральній Мексиці зробили висновок про полігенну природу флюоритоутворюючих гідротерм.

У 2019 р. A. Rachid, S. Khan, S. Zahir, S. Jehan (Пакистан) описали формування ореольних вод флюоритового родовища River Swat.

В 2021р. Z. Zand, G. Li, X. Su та ін. (КНР) запропонували модель формування ореольних вод родовища флюориту Шендонгської рудної зони.

У цих та інших роботах наведено результати досліджень мінералогенеруючих розчинів, газово-рідинних включень у флюориті та ореольних вод зон флюоритової мінералізації у різних регіонах світу. Спираючись на них автори сподівалися підвищити вірогідність власних висновків, сформульованих у даній роботі.

Викладення основного матеріалу. Дніпровсько-Донецький авлакоген (ДДА) утворився в герцинському палеорифті, що з північного заходу на південний схід розтинає Східно-Європейську платформу. На протязі геологічної історії розвитку палеорифт заповнювався осадовими породами палеозойського, мезозойського та кайнозойського віку, що визначає структурно-тектонічні, геологічні, гідрогеологічні, геохімічні та інші особливості регіону [7, 14]. Формування палеорифту пов'язане з геодинамічними напруженнями в докембрійському кристалічному щиті, що призвели до різноспрямованого руху тектонічних плит – спредінгу [18]. Ложе авлакогену, яке на південному сході представлене континентальною корою, у північно-західному напрямку поступово заміщується змішаною і ще далі – субокеанічною корою, що, на нашу думку, обумовлює розвиток розривних і складчастих структур, закономірності розповсюдження гідротермальної мінералізації в породах, особливості нафтогазоагромадження, формування гідрогеологічної і газової зональності та інших проявів ендегенної активізації земної кори.

Внаслідок фаз альпійського тектогенезу, найважливішу роль серед яких відігравали ларамійська і аттична, осадова товща авлакогену була розбита розривними і складчастими структурами, що простягаються вздовж зон регіональних глибинних розломів. Це призвело до перетворення авлакогену в синклінорій, у центрі якого утворилася молода антекліза з палеозойським ядром [14]. Колізійна тектонічна інверсія, яка стала основою розвитку регіону в мезо-кайнозої, була поштовхом до формування у зонах розломів стабільних осередків тепломасоперенесення, одним з проявів якого була кіммерійська гідротермальна діяльність, наслідком якої є флюоритова мінералізація регіону [6, 16]. З нею, вірогідно, пов'язані і флюоритові руди інших родовищ України, а також США, Мексики, Великої Британії, Німеччини, Франції, Іспанії, Китаю, Пакистану, Казахстану, Монголії тощо. Рудна мінералізація флюориту часто залягає у палеозойських, рідше – у мезозойських породах і перекрита молодшими за віком відкладами, які слугували флюїдонепроникним екраном для мінералогенеруючих гідротерм. Приурочена до глибинних (крайових) розломів, що обмежують окремі літосферні блоки, вона часто є парагенетично пов'язаною з іншими типами

середньо- та низькотемпературної гідротермальної мінералізації [5, 14, 16, 19, 21, 22].

Флюорит з різних родовищ вміщує ендегенні акцесорні (ΣTR), включно з рідкісноземельними елементами [20, 24, 25, 28], які також присутні і у газово-рідинних включеннях у флюориті [17, 22]. Це, безперечно, вказує на гіпогенні джерела фторогенеруючих гідротерм.

Характер структурної локалізації гідротермальної рудної мінералізації флюорита в породах, її, переважно, кайнозойській вік, а також близькі за змістом комплекси акцесорних елементів у мінералоутворюючих флюїдних потоках, вказують на певну ідентичність умов утворення флюоритової мінералізації у різних геологічних регіонах. Це явище можна пояснити одночасними загальнопланетарними кимерійськими (I_3-K_1) геодинамічними напруженнями, які супроводжувалися в ДДА та інших регіонах однотипною диференціацією мантіїної речовини, лужним магнетизмом та одночасним вивільненням з астеносфери величезних мас уміщуючих фтор ендегенних флюїдів. Останні стали основою флюоритогенеруючих гідротерм, які на карбонатному геохімічному бар'єрі – крейдяних породах – відклали $Ca F_2$.

Фтор – один з найкращих мігрантів у підземних водах. У водоносних горизонтах різного віку ДДА елемент присутній у концентраціях, що перевищують $0,1 \text{ мг/дм}^3$ у 63 % проб води. Найконтрастніші гідрогеохімічні аномалії елемента формуються в ореольних водах гідротермальних рудних полів та в напірних водах зон глибинних розломів. У підземних водах регіонального фону фтор утворює ореоли розсіювання великих розмірів з концентраціями $0,5-0,85 \text{ мг/дм}^3$. Це може пояснюватися присутністю елемента у порових розчинах порід морських осадових комплексів авлакогену, у яких вміст фтору, за результатами наших досліджень, досягає $1,5 \text{ мг/дм}^3$.

Міграція фтора в підземних водах відбувається у різних комплексних сполуках: з металами – AlF_2^+ , AlF_3^0 , FeF_2^+ , FeF_3^0 , HgF_2^0 , HgF^+ , тощо; кремнієм – $Si F_2^{2+}$, $Si F_6^{2+}$; марганцем – MnF^{2+} , MnF_3^+ . У високомінералізованих хлоридних натрієвих водах глибокого формування особливого значення набувають його сполуки з бором – BF_4^0 , $BF_3(OH)^0$, $BF_2(OH)^-$. Для термальних вод зон розломів характерними є комплексні сполуки з воднем – HF^0 , які можуть утворюватися внаслідок реакції газової форми фтору з водою [14, 19]: $2F_2 + 2H_2O = 4HF + O_2 \uparrow$.

Найкращі міграційні умови для фтору існують у лужних водах хлоридного натрієвого складу з високою мінералізацією, у яких йони Cl^- та Na^+ не лише є елементами-комплексуювачами, а й забезпечують високу йонну силу водного розчину. Це, відповідно, впливає на знижен-

ня коефіцієнтів активності йонів Ca^{2+} [17]. Ще кращими є умови міграції елемента у лужних гідрокарбонатних натрієвих водах, бо саме ці води, окрім йонів Na^+ , вміщують також високі концентрації йонів OH^- та CO_3^{2-} , які сприяють міграційній активності фтору [10].

Розглянемо геохімічні особливості фтору у ореольних водах двох типів різних за рудною спеціалізацією гідротермальних полів регіону – флюоритового (Покрово-Киреевського) та ртутних (Микитівського і Дружківсько-Костянтинівського)).

Покрово-Киреевське родовище флюориту знаходиться на південному заході ДДА, в зоні зчленування Донецької складчастої споруди з Приазовським блоком Українського кристалічного щита. Воно приурочене до грабена на перетині субширотного крайового Прип'ятсько-Маницького та субмеридіального Єланчик-Ровеньківського розломів. Флюоритове зруденіння, що зосереджене у візейських (C_1^5) вапняках, у місцях виходу на денну поверхню є вивітрилим та дезінтегрованим [12]. Генезис зруденіння пов'язаний з кимерійською тектонічною активізацією, що супроводжувалася дайковим магматизмом лампрофірів Міуського комплексу. Внаслідок постмагматичної гідротермальної діяльності утворилися рудні тіла флюориту. Формування захищеного зруденіння було «зсунуто в часі» аж до крейдяного періоду через довготривале (до 30 млн. років) охолодження магматичних мас і супроводжувалося висхідним розвантаженням постмагматичних гідротерм, одним з основних хімічних елементів у яких був фтор у газовій та водорозчинній формах [14].

Гідротермально-метасоматична мінералізація представлена карбонатно-флюоритовим типом. У вміщуючих зруденіння породах карбонатної товщі нижнього карбону окрім флюоритизації чітко прослідковуються інші гідротермальні процеси: кальцитизація, силікатизація та сульфідизація. Флюорит часто зустрічається у парагенезисі з кальцитом, кварцем, серицитом, піритом, галенітом, халькопіритом. Ці мінерали у порівнянні з флюоритом є більш високотемпературними, що свідчить про формування його покладів у заключну, новокимерійську фазу постмагматичної гідротермальної діяльності (135–120 млн. років тому). Мінералоутворюючі розчини з фтором надходили у зону розуцільнення Покрово-Киреевського грабена і, гублячи енергію, ставали менш рухливими, остигаючи до температури флюоритоутворення – $180-120^{\circ}C$. Цьому процесу сприяла трансгресія крейдяного моря, завдяки якій у приповерхневій зоні гіпергенезу утворилися стабільні геохімічні бар'єри, на яких відбувалися процеси утворення флюоритових руд [9].

Результати досліджень свідчать про те, що

ореольні води родовища формуються внаслідок як гіпергенного розчинення та вилуговування флюориту інфільтраційними водами, так і сучасного надходження фтору у висхідних флюїдних та водних потоках по древніх каналах фільтрації гідротерм. Процес відбувається за класичною схемою «винесення–привнесення» елемента в системі «порода–вода». Через високі швидкості фільтрації підземних вод у зоні гіпергенезу система постійно має неурівноважений стан, що призводить до безперервного видалення із флюоритового зруденіння продуктів геологічного вивітрювання та формування навколо нього гідрогеохімічного ореола з максимальними концентраціями фтору. Цей процес – гіпергенного геологічного вивітрювання флюориту відбувається у субгоризонтальній площині і найбільше впливає на насичення фтором вод зони вільного водообміну [12].

Інфільтрація морських вод спричинила утворення стабільного фізико-хімічного бар'єра, на якому відбувалася кристалізація високотемпературного темно-фіолетового флюориту (перша фаза мінералоутворення). Крейдові осади, що частково закальматували канали руху флюїдів, зробили гідротермальну систему «напівзакритою», внаслідок чого процеси першої фази флюоритового мінералоутворення відбувалися у метастабільному режимі [8].

Альпійський етап розвитку гідротермальної системи Покрово-Киреєвського рудного поля почався ларамійською фазою на рубежі крейди та палеогену (близько 80 млн. років тому), яка супроводжувалася розвантаженням низькотемпературних гідротерм (120–80°C), що обумовили відкладення світлозабарвленого флюориту (друга фаза мінералоутворення) [14].

Ореольні води родовища за хімічним складом є різноманітними. На ділянках сучасної активізації розломів, до яких приурочені заляжі флюорита, відбувається висхідне розвантаження напірних, лужних (рН 7,8–8,0) вод глибоких горизонтів, що мають хлоридно-сульфатний натрієвий, гідрокарбонатно-хлоридний натрієвий та хлоридний натрієвий склад і мінералізацію 10,0–14,0 г/дм³. Окрім фтора, вміст якого – 4,0–7,5 мг/дм³, у цих водах спостерігаються високі концентрації ртуті, арсену, бору, а також ендегенних газів: пари Hg, He та інших – CO₂, CH₄, N₂ [12].

Микитівське та Дружківсько-Костянтинівська гідротермальні ртутні рудні поля контролюються зоною центрально-Донецького розлому. Вони характеризуються новітньою тектонічною активністю, напруженістю геотермального поля та сучасним висхідним розвантаженням ендегенних флюїдів та вод глибокого формування з гелієм, воднем, парою ртуті, рідкісними лугами (Li, Rb, Cs), галогенами (Br, I, F) тощо [13, 14, 15].

В межах цих рудних полів її прояви спостерігаються вигляді [27]:

1) зростання існуючих антиклінальних та появи нових купольних структур зі швидкістю від 4,0–5,0 до 10,0 мм/рік;

2) високої напруженості геотермічного поля, яка на глибинах до 1 км у 2 рази перевищує фонові показники (40–50°C за фонових 25–30°C);

3) активних осередків розвантаження вод глибоких горизонтів – лужних (рН 7,8–9,2), хлоридних натрієвих, з мінералізацією до 16,0 г/дм³ та гідрокарбонатних хлоридних – з мінералізацією 1,0–2,0 г/дм³. Разом з високим вмістом ртуті, бора, арсену, рідкісних лугів в них встановлено і аномально-підвищені концентрації фтору – до 6,0–9,0 мг/дм³. Вони у 10–15 разів перевищують фонові значення і навіть є більшими за максимальні вмісти елемента в ореольних водах Покрово-Киреєвського родовища флюорита [14].

У проблемі насичення ореольних вод йонами F⁻ існує питання, пов'язане з визначенням джерел та особливостями міграції цього елемента на постгідротермальному етапі активізації гідротермальних систем [13, 14]. Летучість фтору у порівнянні з іншими галогенами в умовах невисоких температур і тисків є надто низькою, щоб вважати перенесення його у вигляді пари F⁻ або F⁰ суттєвим фактором насичення елементом сучасних ореольних вод гідротермальних родовищ [28]. Проте, висока хімічна активність фтору, та його здатність до утворення сполук з металами, визначає важливу роль фтору в перенесенні багатьох рудних елементів у вигляді металогалогідних комплексів на різних стадіях гідротермального процесу [38]. Аналіз проведених експериментальних досліджень свідчить про те, що існує два реально існуючих джерела формування аномалій фтору у ореольних водах гідротермальних рудних полів регіону – його мінерали (флюорит – CaF₂) у зоні вивітрювання та води і розсоли глибоких горизонтів палеозою, що розвантажуються по зонах розломів.

Розглянемо деякі аспекти надходження фтору до ореольних вод в процесі їх формування.

Флюорит (CaF₂) належить до тих гідротермальних мінералів, які характеризуються помірною розчинністю. У водних розчинах флюорит частково знаходиться в іонізованому стані, оскільки на його зовнішньому шарі під впливом води постійно утворюється оболонка, на якій відбуваються обмінні реакції у системі «мінерал–вода». До того ж, розчинність флюориту суттєво залежить від присутності інших електролітів і газів (як, наприклад CO₂). Кількість розчиненого фтору і того, що випав у осад, буде функцією не лише температури, тиску і йонної сили розчину, а й залежатиме від співвідношення концентрації каль-

цію до концентрації фтору у розчині [14, 21].

Розчинність флюориту за кімнатної температури (від 20⁰C) свідчить про те, що вона коливається в межах 7,0–40,0 мг/дм³. Суттєвий вплив на розчинність мінералу має присутність у розчині NaCl і значно менший – вугільної кислоти (H₂CO₃), що в природі відповідає хлоридним натрієвим водам та розчиненого двооксиду карбону. Менша роль CO₂ в процесі вилуговування та розчинення CaF₂ обумовлюється досить слабкою дисоціацією карбонової кислоти [23, 26]. Експериментально встановлено, що розчинність флюориту у чистій воді збільшується за підвищення температури і сягає максимальних значень за температури точки кипіння (90–100⁰C), а за подальшого її збільшення розчинність знову різко зменшується. У розчині NaCl з концентрацією вже до 2n розчинність CaF₂ є набагато вищою, ніж у воді HCO₃–Ca складу. Особливо це спостерігається за низьких температур, що обумовлено, головним чином, зменшенням коефіцієнтів активності розчину [26].

Надходження до флюоритового зруденіння у висхідних флюїдних потоках, вірогідно метаморфогенних оксиду (CO) та двооксиду (CO₂) карбону, пришвидшує процес вилуговування і розчинення CaF₂. Ці гази не лише перешкоджають вирівнюванню хімічних потенціалів обмінних реакцій у системі «флюорит–вода», а й сприяють (за рахунок взаємодії з кальцитом) вивільненню фтору з флюориту у вигляді комплексного йона HF⁰ за схемою: CaF₂+CO₂+H₂O→CaCO₂ + 2HF⁰ [14, 19].

У зоні гіпергенезу видалення продуктів фізико-хімічного руйнування флюориту відбувається за рахунок інфільтраційних тріщинних вод, швидкості фільтрації яких досягають 10,0–120,0 м на добу [14]. Це забезпечує підтримку постійного нерівноважного стану в системі «флюорит–вода» і призводить до безперервного видалення продуктів розчинення CaF₂ [9, 12].

Таким чином, формування ореольних вод Покрово-Киреевського родовища флюориту відбувається за взаємодії підземних вод двох різних генетичних типів – інфільтрогенних – зони вільного водообміну, динаміка яких визначається субгоризонтальним переміщенням у тріщинно-карстових колекторах та напірних вод глибокого формування, висхідне розвантаження яких відбувається по каналах надходження гідротерм, що сформували рудні тіла флюориту.

Аномально-підвищені концентрації фтору в ореольних водах ртутних родовищ можуть бути обумовлені надходженням елемента у мантіїно-корових або метаморфогенних флюїдних потоках разом з водами глибоких горизонтів палеозою та ніяк не пов'язані з флюоритовою мінералізацією [27].

Ще одним важливим джерелом фтору у підземних водах є порові розчини морських осадових товщ, концентрації елемента в яких досягають 1,0–1,5 мг/дм³. В процесі взаємодії з водними розчинами різного генезису вони насичують їх фтором в концентраціях, достатніх лише для формування в зоні вільного водообміну фонових вмістів елемента. Хоча цей фактор не є суттєвим він, певною мірою, також впливає на вміст фтору в ореольних водах родовищ різних типів.

Висновки.

Аналіз результатів дослідження дозволяє зробити наступні висновки:

1. Геохімічні особливості фтора в процесах гідротермального мінералоутворення та формування ореольних вод визначаються як гіпогенними, так і гіпергенними факторами його міграції та концентрації в гідролітосфері Дніпровсько-Донецького авлакогену.

2. Висока міграційна активність фтору у флюїдних системах і, зокрема, у підземних водах, обумовлюється чисельними рухливими формами елемента в різних геохімічних умовах – у вигляді газу, простих аніонів, комплексних сполук з металами, кремнієм, марганцем, бором та іншими хімічними елементами.

Найкраще фтор мігрує у лужних гідрокарбонатних натрієвих та хлоридних натрієвих водах, у яких йони Cl⁻, Na⁺ та OH⁻ не лише виконують роль комплексоутворювачів, а й забезпечують високу йонну силу водних розчинів.

3. Високий вміст фтору в ореольних водах Покрово-Киреевського родовища флюориту забезпечується двома різними геохімічними процесами:

а) гіпергенним фізико-хімічним руйнуванням CaF₂ гравітаційними інфільтраційними водами зони вільного водообміну;

б) надходженням фтору у водах глибокого формування та ендегенних флюїдах, що розвантажуються по розломних структурах на постгідротермальному етапі їх тектонічної активізації.

4. Аномально-підвищені концентрації фтору в ореольних водах гідротермальних ртутних рудних полів регіону – Микитівського та Дружківсько-Костянтинівського, в породах яких практично відсутня мінералізація флюорита, обумовлюються надходженням елемента до зон зруденіння з глибинними флюїдними потоками та водами глибокого формування.

5. Основними природними джерелами фтору у підземних і, зокрема, ореольних водах гідротермальних родовищ регіону, є: а) гіпергенне геологічне вивітрювання гідротермальної мінералізації флюориту; б) високонапірні води глибоких горизонтів палеозою та ендегенні флюїдні потоки; в) порові розчини осадових порід морського генезису.

Список використаної літератури

1. Гавриленко Е. С. Гидрогеология тектоносферы – К.: Наук. думка, 1975. – 195 с.
2. Горайнов С. В. Кайнозойские тектонические движения Восточной Европы / С. В. Горайнов // Геология и полезные ископаемые мирового океана. – № 3, 2013. – С. 55–56.
3. Горайнов С. В. Альпійські тектонічні рухи і соляна тектоніка Східної України / С. В. Горайнов // Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія». – Вип. 56, 2022. – С. 67–75. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-04>
4. Жовинский Э. Я. Геохимия фтора в осадочных формациях юго-запада Восточно-Европейской платформы / Э. Я. Жовинский – Киев: Наук. думка, 1979. – 200 с.
5. Жовинський Е. Я. Подільська флюоритова зона (середнє Придністров'я) / Е. Я. Жовинський, Н. О. Крюченко. – К.: ФОРМ Кравченко Я. О., 2020. – 212 с.
6. Жулид В. А. Фазы тектогенеза и минерализации Донбаса по геолого-геохимическим (изотопным) данным / В. А. Жулид // Геология и геохимия рудопроявлений Донбаса и северного склона Украинского щита – К.: Наукова думка, 1978. – С. 81–87.
7. Методические рекомендации по применению гидрогеохимического метода поисков скрытого оруденения в Донбасе и Днепровско-Донецкой впадине / В. Г. Суярко – Симферополь: МГ УССР, 1985. – 92 с.
8. Панов Б. С. Генетические особенности и поисковые критерии флюоритовой минерализации Донбасса и Приазовья / Б. С. Панов // Флюорит Украины (критерии поисков). – К.: Наук. думка, 1981. – С. 20–41.
9. Панов Б. С. Условия образования и особенности выветривания скрытого флюоритового оруденения Покрово-Киреевского месторождения в Южном Донбасе / Б. С. Панов, В. Г. Суярко // Известия вузов. Геология и разведка, 1990. – № 5. – С. 70–77.
10. Сердюкова О. О. Геохімія фтору у підземних водах Донецької складчастої споруди / О. О. Сердюкова // Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна, – 2012. – № 1033. – Вип. 37. – С. 104–107.
11. Сердюкова О. О. Гідрогеохімічні особливості фтору у зоні гіпергенезу Донбасу та деякі аспекти його впливу на організм людини / О. О. Сердюкова // Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія». – № 39 (1084), 2013. – С. 243–246.
12. Суярко В. Г. Гидрогеохимическая зональность как критерий локального прогнозирования флюоритового оруденения в Южном Донбасе / В. Г. Суярко, А. И. Отрешко // Геологич. журнал, 1988. – № 1. – С. 46–49.
13. Суярко В. Г. Геохимические особенности подземных вод Донбасса / В. Г. Суярко // Геохимия. – 1988. – № 5. – С. 738–747.
14. Суярко В. Г. Геохимия подземных вод восточной части Днепровско-Донецкого авлакогена / В. Г. Суярко – Харьков: ХНУ имени В. Н. Каразіна, 2006. – 225 с.
15. Суярко В. Г. Геохімічні особливості ореольних вод основних типів гідротермального зруденіння Донецької складчастої споруди / В. Г. Суярко, Л. В. Іценко, О. О. Сердюкова // Пошукова та екологічна геохімія. – 2017. – Вип. 1. – С. 44–51.
16. Шумлянський В. А. Киммерійська металлогенічна епоха на території України / В. А. Шумлянський. – К.: Наук. думка, 1983. – 220 с.
17. Barnes H. L. Solubilities of the ore minerals in Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits / H. L. Barnes – 3 th. (ed. H. L. Barnes). – New York: Wiley – Interscience, 1997. – 405 p.
18. Bartaschuk O. Geodynamics of formation of the transition zone between the Dniper-Donets basin and the Donbas foldbelt / O. Bartaschuk, V. Suyarko // Geodynamics, 1 (30), 2021. – P. 25–35. <https://doi.org/10.23939/jgd2021.02.053>
19. Bertaux J. L. A warm layer in Uenus cryosphere and high–altitude measurements of HF, HCL, H₂O and HDO / J. L. Bertaux, A. C. Vandaele, O. Korabbe et al. // Nature, 2007. – V. 450. – P. 646–649. <https://doi.org/10.1038/nature05974>
20. Castorina F. Rare earth element and Sr–Nd isotopic evidence for the origin of fluorite from the Silins vein deposit (southeastern Sardinia, Italy) / Francesca Castorina, Umberto Masi, Ilaria Gorello // Journal of Geochemical Exploration, №. 215. – 2020. – P. 535–552. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2008.04.005>
21. Gonzalez Partida – E. Giant Fluorite Mineralization in Central Mexico by Means of Exceptionally Low, Salinity Fluids: An Unusual Style among MVT Deposits / E. Gonzalez – Partida, A. Camprubi, A. Carillo–Chavez et al. // Minerals, 2019, 9 (3). – P 142–151.
22. Jardley B.W.D. Halogen composition of fluid inclusion as tracers of crustal fluid behavior / B.W.D. Jardley, O. A. Banks, L. A. Munz – Water. – Rock interaction, Kharaka and Maest (edc.), 1992. – P. 1137–1140.
23. Rashid A. Fluoride prevalence in groundwater around a fluorite mining area in the flood plain of the River, Swat, Pakistan / Abdur Rashid, Salman Khan, Salman Zahir, Shah Jehan // Science of The Total Environent, 2018. – Vol. 635. – P. 203–205. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.064>
24. Sasmaz A. Geochemical patterns of the Akdagmadeni (Jozgat, Central Turkey) fluorite deposits and implications / A. Sasmaz, A. Sagiroglu, F. Javuz, B. Akgul // Journal of Earth Sciences. – V. 24 (4), 2005. – P. 469–479. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2004.01.003>
25. Sasmaz A. Major, trace and rare earth elements (REE) geochemistry of different colored fluorites in the Bobrynets region, Ukraine / A. Sasmaz, N. Konakci, B. Akgul // Ore Geology Reviews, 2018. – V. 102. – P. 338–350. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.09.014>

26. Stober I. *Water – Rock Reactions in a Barite – Fluorite Underground Mine, Black Forest (Germany)* / Ingrid Stober, Jinian Zhu, Kurt Bucher // *Water Science and Technology Library, book series (Germany)*, 2002. – P. 171–187.
27. Suyarko V. G. *Fluid regime and ore water of bitumo-hydrothermal mineral associations in the conditions of Western Donetsk graben* / V. G. Suyarko, L. V. Ishchenko, O. V. Gavrylyuk // *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography, Ecology»*. – 2018, № 48. – С. 113–123. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-48-09>
28. Williams-Jones A. E. *The genesis of Hydrothermal Fluorite – REE Deposits in the Gallinas Mountains, New Mexico* / A. E. Williams-Jones, I. M. Samson, G. Olivo // *Economic Geology*. – 95 (2). – 2000. – P. 327–341. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.95.2.327>
29. Zandg Z. *Geochemical controls on the enrichment of fluorite in the mine water of the Shendong mining area China* / Z. Zang, G. Li, X. Su, X. Zhuang et al. // *Chemosphere*, 2021. – P. 131388. Epub.2021, Jun 30. – PMID:34225109. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131388>

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Geochemistry of fluorine in halo waters of ore fields of the southeastern part of the Dnipro-Donetsk avlakogen

Vasyl Suyarko¹,

DSc (Geology and Mineralogy), Professor, Department of Fundamental and Applied Geology,
¹V.N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine;

Ahmet Sasmaz²,

DSc (Geology), Professor, Faculty of Environmental Geochemistry and Mining Deposits,
²Firat University, 23119, Merkez/Elazığ, Turkey;

Oleksii Bartaschuk³,

DSc (Geology), Leading Researcher, Department of Natural Gas Resources,
³Ukrainian Scientific Research Institute for Natural Gases,
20 Gimnaziyna Emb., Kharkiv, 61010, Ukraine;

Olga Serdiukova¹,

Senior Lecturer, Department of Fundamental and Applied Geology,

Volodymyr Manyuk⁴,

PhD (Geology and Mineralogy), Associate Professor, Department of Geology and Hydrogeology,
Director of the Research Institute of Geology,

⁴Oles Honchar Dnipro National University, 72 Gagarina Av., Dnipro, 49000, Ukraine

The geochemical features of fluorine and its possible sources in the waters of the hydrothermal ore fields of the Dnipro-Donetsk avlakogen (DDA) are considered. It was established that the formation of anomalies occurs due to the interaction of infiltration waters of the zone of free water exchange and waters of deep formation, which are unloaded along the zones of deep faults. It is substantiated that the water migration of fluorine is determined by the geochemical type of groundwater, the degree of its mineralization, acid-base (pH) and oxidation-reduction (Eh) potentials, the presence of complex-forming elements with which fluorine forms mobile complex compounds, etc.

Formulation of the problem. Fluorine is a typomorphic chemical element that is widely present in groundwater. It forms large-scale, contrasting hydrogeochemical anomalies in various types of hydrothermal ore fields, which are controlled by zones of deep faults - fluorite, mercury, polymetallic, and others.

Presenting main material. Anomalies of the element are also formed in those fault zones, where the processes of modern heat and mass transfer are observed, manifested in the upward discharge of endogenous fluids against the background of increased intensity of the geothermal field. This indicates the probable arrival of fluorine in endogenous fluid flows, which are mixed with formation waters during their upward migration. The most contrasting aureoles of fluorine scattering are established in the zone of hypergenic weathering of fluorite of the Pokrovo-Kyreevsky deposit and in the aureole waters of the Mykytiv mercury ore field, in the rocks of which fluorite mineralization is absent. In them, fluorine, together with other trace elements, forms multicomponent anomalies and is part of the hydrogeochemical association of elements-indicators of hidden mercury mineralization - Hg, As, B, F, (Sb).

Conclusions. 1. Geochemical features of fluorine in the processes of hydrothermal mineralization are caused by both hypogenic and hypergenic factors of its migration and concentration in the hydrolithosphere of the Dnipro-Donetsk avlakogen.

2. The high migration activity of fluorine in fluid systems and, in particular, in groundwater, is determined by numerous mobile forms of the element that exist under different geochemical conditions - in the form of gas, simple anions, complex compounds with metals, silicon, manganese, boron and other chemical elements Fluorine migrates best in

alkaline sodium bicarbonate and sodium chloride waters, in which Cl^- , Na^+ and OH^- ions not only act as a complexing agent, but also provide high ionic strength of aqueous solutions.

3. The high content of fluorine in the waters of the Pokrovo-Kyreivsky fluorite deposit is provided by two different geochemical processes: a) hypergenic physicochemical destruction of CaF_2 by gravitational infiltration waters of the zone of free water exchange; b) the influx of fluorine into deep formation waters together with endogenous fluids that are discharged along fault structures at the post-hydrothermal stage of their tectonic activation.

4. Abnormally high concentrations of fluorine in the hydrothermal mercury ore fields of the Mykytivskiy and Druzhkivsko-Kostiantynivskiy deposits, in the rocks of which there is practically no fluorite mineralization, are due to the influx of the element into the mineralization zones from deep fluid flows and underground waters of deep horizons.

5. The main natural sources of fluorine in the waters of hydrothermal deposits of the region are: a) products of hypergenic weathering of hydrothermal mineralization of fluorite; b) flows of endogenous postheterothermal fluids; c) pore solutions of sedimentary rocks of marine origin.

Keywords: fluorine, halo waters, fault zones, hydrothermal ore fields, hydrogeochemical anomalies, fluid flows, heat and mass transfer, water migration.

References

- Gavrilenko E.S. (1975). *Hydrogeology of the tectonosphere*. K., Nauk. Dumka, 195 [in Russian].
- Goryainov S.V. (2013). *Cenozoic tectonic movements of Eastern Europe*. *Geology and minerals of the world ocean*, 3, 55–56 [in Russian].
- Goryainov S.V. (2022). *Alpine tectonic movements and salt tectonics of Eastern Ukraine*. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (56), 67–75 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-04>
- Zhovinsky E.Ya. (1979). *Geochemistry of fluorine in sedimentary formations of the southwest of the East European Platform*. Kyiv, Nauk. Dumka, 200 [in Russian].
- Zhovynskiy E.Ya., Kryuchenko N.O. (2020). *Podilsk fluorite zone (middle Transnistria)*. K., FOP Kravchenko Y.O., 212 [in Ukrainian].
- Zhulid V.A. (1978). *Phases of tectogenesis and mineralization of the Donbass according to geological and geochemical (isotope) data*. *Geology and geochemistry of ore occurrences of the Donbass and the northern slope of the Ukrainian Shield*. K., Naukova Dumka, 81–87 [in Russian].
- Suyarko V.G. (1985). *Guidelines for the application of the hydrogeochemical method of prospecting for hidden mineralization in the Donbass and the Dnieper-Donetsk depression*. Simferopol, MG Ukrainian SSR, 92 [in Russian].
- Panov B.S. (1981). *Genetic features and search criteria for fluorite mineralization of the Donbass and the Sea of Azov*. *Fluorite of Ukraine (search criteria)*. K., Nauk. Dumka, 20–41 [in Russian].
- Panov B.S., Suyarko V.G. (1990). *Conditions of formation and weathering features of hidden fluorite mineralization of the Pokrovo-Kireevskoye deposit in the Southern Donbass*. *Geology and exploration*, 5, 70–77 [in Russian].
- Serdiukova O.O. (2012). *Geochemistry of fluorine in underground waters of the Donetsk folded structure*. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 1033(37), 104–107 [in Ukrainian].
- Serdiukova O.O. (2013). *Hydrogeochemical features of fluorine in the zone of hypergenesis of Donbas and some aspects of its influence on the human body*. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 1084(39), 243–246 [in Ukrainian].
- Suyarko V.G., Otreshko A.I. (1988). *Hydrogeochemical zoning as a criterion for local forecasting of fluorite mineralization in the Southern Donbas*. *Geological Journal*, 1, 46–49 [in Russian].
- Suyarko V.G. (1988). *Geochemical features of underground waters of Donbass*. *Geochemistry*, 5, 738–747 [in Russian].
- Suyarko V.G. (2006). *Groundwater geochemistry of the eastern part of the Dnieper-Donetsk aulacogen*. Kharkiv, V.N. Karazin KhNU, 225 [in Russian].
- Suyarko V.G., Ishchenko L.V., Serdiukova O.O. (2017). *Geochemical features of halo waters of the main types of hydrothermal mineralization of the Donetsk folded structure*. *Exploration and environmental geochemistry*, 1, 44–51 [in Ukrainian].
- Shumlyansky V.A. (1983). *Cimmerian metallogenic epoch on the territory of Ukraine*. K., Naukova Dumka, 220 [in Russian].
- Barnes H.L. (1997). *Solubilities of the ore minerals in Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. 3 th. (ed. H.L. Barnes). New York, Wiley-Interscience, 405.
- Bartaschuk O., Suyarko V. (2021). *Geodynamics of formation of the transition zone between the Dnieper-Donets basin and the Donbas foldbelt*. *Geodynamics*, 1 (30), 25–35. <https://doi.org/10.23939/jgd2021.02.053>
- Bertaux J. L., Vandaele A.C., Korabbeev O. et al. (2007). *A warm layer in Uenus cryosphere and high-altitude measurements of HF, HCL, H₂O and HDO*. *Nature*, 450, 646–649. <https://doi.org/10.1038/nature05974>
- Castorina F., Masi U., Gorello I. (2020). *Rare earth element and Sr–Nd isotopic evidence for the origin of fluorite from the Silins vein deposit (southeastern Sardinia, Italy)*. *Journal of Geochemical Exploration*, 215, 535–552. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2008.04.005>
- Gonzalez-Partida E., Camprubi A., Carillo-Chavez A. et al. (2019). *Giant Fluorite Mineralization in Central Mexico by Means of Exceptionally Low, Salinity Fluids: An Unusual Style among MVT Deposits*. *Minerals*, 9 (3), 142–151. <https://doi.org/10.3390/min9010035>

22. Jardley B.W.D., Banks O.A., Munz L.A. (1992). Halogen composition of fluid inclusion as tracers of crustal fluid behavior. *Water. Rock interaction, Kharaka and Maest (edc.)*, 1137–1140.
23. Rashid A., Khan S., Zahir S., Jehan S. (2018). Fluoride prevalence in groundwater around a fluorite mining area in the flood plain of the River; Swat, Pakistan. *Science of The Total Environment*, 635, 203-215. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.064>
24. Sasmaz A., Sagiroglu A., Javuz F., Akgul B. (2005). Geochemical patterns of the Akdagmadeni (Jozgat, Central Turkey) fluorite deposits and implications. *Journal of Earth Sciences*. 24 (4), 469-479. <https://doi.org/10.1016/j.jse-aes.2004.01.003>
25. Sasmaz A., Kryuchenko N., Zhovinsky E. et al. (2018). Major, trace and rare earth elements (REE) geochemistry of different colored fluorites in the Bobrynets region, Ukraine. *Ore Geology Reviews*, 102, 338–350. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.09.014>
26. Stober I., Zhu J., Bucher K. (2002). *Water–Rock Reactions in a Barite–Fluorite Underground Mine, Black Forest (Germany)*. *Water Science and Technology Library, book series (Germany)*, 40, 171–187.
27. Suyarko V.G., Ishchenko L.V., Gavrilyuk O.V. (2018). Fluid regime and ore water of bitumo-hydrothermal mineral associations in the conditions of Western Donetsk graben. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography, Ecology»*, 48, 113–123. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-48-09>
28. Williams-Jones A.E., Samson I.M., Olivo G. (2000). The genesis of Hydrothermal Fluorite – REE Deposits in the Gallinas Mountains, New Mexico. *Economic Geology*, 95 (2), 327–341. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.95.2.327>
29. Zandg Z., Li G., Su X., Zhuang X. et al. (2021). Geochemical controls on the enrichment of fluorite in the mine water of the Shendong mining area China. *Chemosphere*, 284, 131388. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131388>

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 27 June 2022
Accepted 7 July 2022

ГЕОГРАФІЯ

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-04>

UDC 551.509.5

Received 3 February 2022

Accepted 11 November 2022

Characteristics of forecasting meteorological conditions of air pollution over Odesa

*Ellina Agayar*¹,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Meteorology and Climatology,

¹Odesa State Environmental University, 15 Lvivska St., 65016, Odesa, Ukraine,

e-mail: agayarellina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3914-6288>;

*Alina Semerhei-Chumachenko*¹,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Meteorology and Climatology,

e-mail: asemerhey2016@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8718-4073>;

*Svitlana Zubkovych*²,

PhD (Geography), Associate Professor,

Department of Geoinformation technologies and space monitoring of the Earth,

²Kharkiv National Aerospace University, 17 Chkalov St., 61070, Kharkiv, Ukraine,

e-mail: szubkovych@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6839-7572>

ABSTRACT

Formulation of the problem. The level of atmospheric air pollution in large cities is influenced by a number of factors, among which the most important are the emissions of pollutants into the air, the characteristics of the sources of admixtures, the landscape features, synoptic and meteorological conditions (Vystavnaya, Zubkovych 2014). The influence of the latter is associated with the scattering, washing out and transformation of harmful substances in the atmosphere, as well as the significant variability of their concentrations in space and time. The characteristics of the wind regime (wind direction and velocity), temperature inversions, and formation of low-troposphere currents are among the meteorological factors that most influence the concentrations of contaminants in the layer of atmosphere near the surface (Ivus 2017), (Agayar 2018) Shevchenko 2020).

The purpose of the article is to develop and improve methods of forecasting meteorological conditions of atmospheric pollution over industrial areas of Odesa, as well as characterize the variability of meteorological values over the Northwest Black Sea.

Methods. the data of four-time observations (01, 07, 13, 19 hours) for the main pollutants on the network of eight stationary posts for the February, April, July and October of 2011 are used as the initial materials. The catalog of typical synoptic processes over the territory of Ukraine for the period of 2011-2015 is compiled at the Department of Meteorology and Climatology of the OSENU. To clarify specific synoptic situations, synoptic maps of all levels (ground-level, AT-925, AT-850, AT-700 and AT-500) from the archive of the ARMSin ('automatic forecaster workstation'- program for processing synoptic maps that is applied in Ukraine).

Results. 1. CO concentrations in the city of Odesa increase with distance from the coastal strip in to the depth of land with maximum values in places with high traffic load, regardless of the season; 2. Absence of industrial facilities and meteorological conditions contribute to the low level of air pollution around post N 8. Exceedance of the maximum allowable concentrations of carbon monoxide is observed in 6 out of 8 observation posts; 3. Favorable conditions for the accumulation of admixtures are formed in peripheral processes with low-gradient pressure fields, in front parts of cyclones and in low-motion and small cyclones with the same air mass; 4. Temperature inversions almost always accompanied the accumulation of harmful admixtures in the ground layer of air above Odesa.

Scientific novelty and practical significance. In this article we have analyzed influence of meteorological conditions on the level of atmospheric air pollution in Odesa region. For these purposes the more nuanced-based method of forecasting was adapted. We have demonstrated that its use has efficiency at the present time for improvement of operative prognostic units work for the Northwest Black Sea region. Such conclusions may be identified as a result of empirical findings.

Keywords: *maximum allowable concentration, air pollution, delay layer, light wind, synoptic processes, inversion, alternative method of forecasting atmospheric air pollution.*

In cites: Agayar Ellina, Semerhei-Chumachenko Alina, Zubkovych Svitlana. (2022). Characteristics of forecasting meteorological conditions of air pollution over Odesa. Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (57), 38-47. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-04>

Formulation of the problem. The level of atmospheric air pollution in large cities is influenced by a number of factors, among which the most important are the emissions of pollutants into the air, the characteristics of the sources of admixtures, the land-

scape features, synoptic and meteorological conditions (Vystavnaya, Zubkovych 2014) [21], [3,4,14,15]. The influence of the latter is associated with the scattering, washing out and transformation of harmful substances in the atmosphere, as well as the signifi-

cant variability of their concentrations in space and time. The characteristics of the wind regime (wind direction and velocity), temperature inversions, and formation of low-troposphere currents are among the meteorological factors that most influence the concentrations of contaminants in the layer of atmosphere near the surface (Ivus 2017), [8, 9, 10], (Agayar 2018) [1], [6, 7] Shevchenko 2020) [18, 20].

The relevance of the problem is determined by the fact that atmospheric air is the most important natural resource for all living beings, and human health, to a large extent, depends on its quality.

That is why scientific research on the assessment of anthropogenic load on the air basin of large industrial cities, as well as the development of methods for forecasting and regulating it, taking into account legal and regulatory aspects, are relevant problems of our time.

Purpose of the work is to develop and improve methods of forecasting meteorological conditions of atmospheric pollution over industrial areas of Odesa, as well as characterize the variability of meteorological values over the Northwest Black Sea.

Aim of this work is to develop and improve methods for forecasting meteorological conditions of air pollution over the industrial areas of Odesa, as well as to characterize the variability of meteorological values over the North-Western black sea region.

Materials and research methods. Materials and method of research: the data of four-time observations (01, 07, 13, 19 hours) for the main pollutants on the network of eight stationary posts for the February, April, July and October of 2011 are used as the initial materials. The catalog of typical synoptic processes over the territory of Ukraine for the period of 2011-2015 is compiled at the Department of Meteorology and Climatology of the OSENU (Ivus 2015). To clarify specific synoptic situations, synoptic maps of all levels (ground-level, AT-925, AT-850, AT-700 and AT-500) from the archive of the ARMSin ('automatic forecaster workstation'- program for processing synoptic maps that is applied in Ukraine. The Department and radiosonde data for the same period were also applied to clarify specific synoptic situations.

Empirical findings.

1.1. Air pollution monitoring stations description

To characterize the influence of meteorological conditions on atmospheric air quality over the North-Western Black Sea region, we used the data of the Black and Azov Seas Hydrometeorological Center on the content of atmospheric air pollutants of carbon monoxide (CO) in Odesa, wind characteristics and air temperature at eight pollution monitoring stations for the period from June to December, 2011. The posts are located in different parts of Odesa and characterized by varying degrees of air pollution within the

city (Fig. 1) Further research was based on identifying the repeatability of increased levels of air pollution. Carbon monoxide (CO) concentration data were used as a characteristic of air pollution. Although this impurity belongs to class of hazard of air pollution, it is a major marker of contamination. The concentration limit for CO is 5.0 mg/m^3 .

At all stations, both in winter and summer seasons, the highest excess of the short-term exposure limit/ maximum permissible concentration (MPC) of carbon monoxide in Odesa was 8 mg/m^3 single dose. For the whole period, there was no double altitude of MPC (Table 1). As can be seen from the table, high carbon dioxide concentrations were observed at six of eight pollution monitoring posts. However, their distribution over time was rather uneven. In most cases, high CO concentration was recorded in June (9 cases) at posts N16 and 19, in July (9 cases) - at posts N10 and 15. These 2 months were characterized by the highest number of cases of exceeding the MPC of carbon monoxide.

Summer months in the south of Ukraine have high temperatures and there is no precipitation for a long time. Such weather processes contribute to the accumulation of pollutants in the air. In other months, only single cases of high concentrations were observed. Post number 8, located in the resort area of Odesa, and also recorded the concentration of CO at 7 mg/m^3 in October and November, which is rather the exception for this observation post.

October, November and December proved to be the most quite in terms of air pollution. This can be explained by the increased ability of the atmosphere to disperse admixtures due to the activation of cyclone processes during this period, which determines the formation of strong winds and precipitation. At the same time, the maximum permissible concentrations have never been exceeded at more than two monitoring stations.

An important role in the formation of the level of air pollution during the year is among other played by ground and elevated inversions of air temperature (Ivus 2012, Kipenko 2002, Snizhko 2011). The inversion is characterized by the height of the lower boundary of the inversion layer, its thickness and the so-called inversion depth, that is, the temperature difference at the upper and lower boundaries of the layer (Vystavnaya, Zubkovych 2014).

For cases of exceedance of the MPC of carbon monoxide, the vertical structure of the atmosphere was examined using radio sounding data at 00 UTC at Odesa Hydrometeorological observatory. Radiosounding is carried out once per day in Ukraine and alternative data on radiosounding does not exist. Therefore synoptic analysis is using the available existing data. The inversion parameters for the study period are given in Table 2.

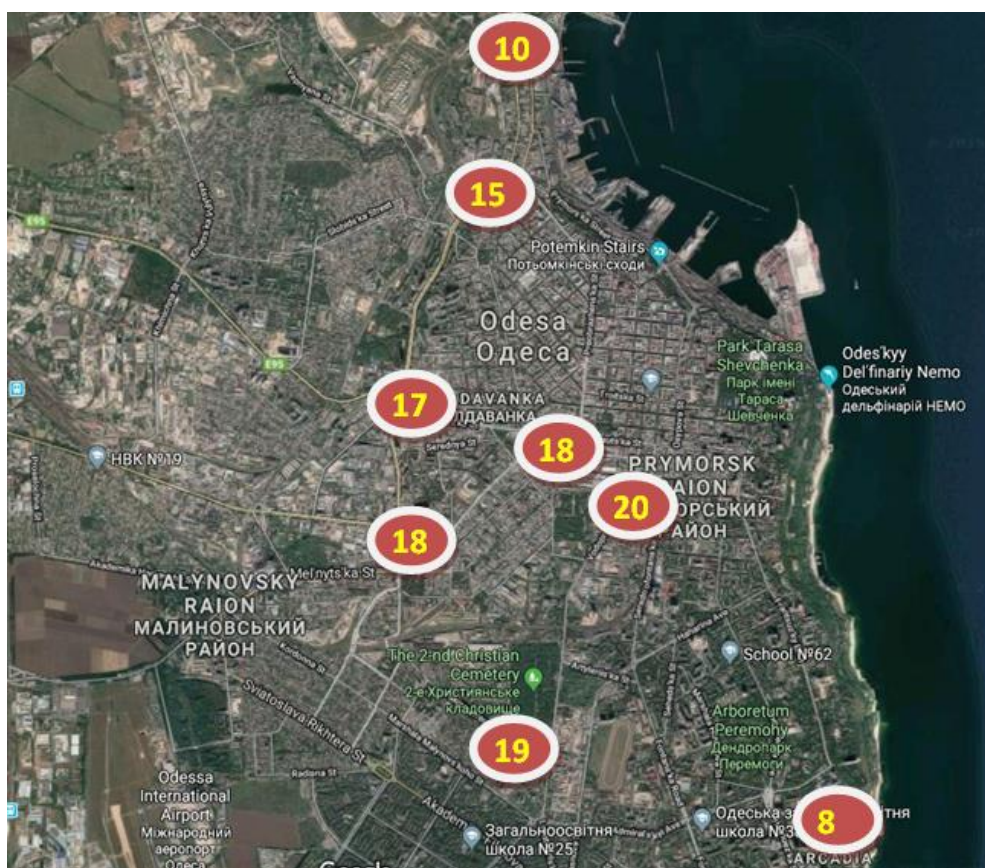


Fig. 1. Schematic representation of air pollution monitoring stations location in Odessa by numbers.

Table 1

Observation dates and values of excess carbon monoxide content (mg/m^3) at monitoring stations N8, 10, 15, 16, 18 and 19 (Odessa, 2011)

Post	month														
	VI		VII		VIII		IX		X		XI		XII		
	date	mg/m ³	date	mg/m ³	date	mg/m ³	date	mg/m ³	date	mg/m ³	date	mg/m ³	date	mg/m ³	
№8									18	7	10	7			
№10	29	6	1	5											
			4	5											
			6	6											
			12	5											
			25	7											
			27	6											
			28	5											
29	5														
№15	29	6	1	5				7	7						
			4	5											
			6	6	26	5			8	5					
			12	5											
			25	7											
			27	6	27	8			21	5					
			28	5											
29	5														
№16	1	5													
	6	5	26	5									5	5	
	7	5													
	15	6													
№18													2	5	
													5	5	
№19	3	5													
	20	5					19	7							
	21	5							13	5					
	30	5					28	7							

It should be noted that the ground inversion layer was observed at all days with a high content of contaminants in the air over Odesa, with the exception of several. Ground inversions, whose depth ranged from 200 m to 400 m, prevailed, only on December 5, 2011, the inversion expanded to an altitude of 600 m, an altitude inversion of 500 m was observed, and the change of temperature varied from 0.2 °C. to 4.1 °C.

Inversions were formed in different baric fields. Atmospheric dynamic processes have a significant effect on both the local concentration values and the total CO content in the atmosphere. In many cases,

the origin of the air mass explains the observed changes in the gas composition of the atmosphere (Snizhko, 2011). Complex synoptic methods (physical and statistical methods and other) are used for the analysis of the atmospheric pollution conditions, which take into account the complex of meteorological conditions and synoptic situations that determine the distribution and accumulation of admixtures (Ivus, 2012). With the low activity development of processes and stagnant phenomena (weak wind), the conditions that most contribute to pollution are created. If the atmospheric processes are active, the surface air layers are quickly cleared.

Table 2

Characteristics of temperature inversions determined from radiosoundings at 00 UTC over Odesa in 2011

Date	Type of inversion	Parameters of inversion			Characteristics of wind near the ground
		ΔH , m	ΔT , °C	γ , °C	S
03.06	ground	380	4,1	-1,1	315 / 1
07.06	ground	180	2,9	-1,6	270 / 2
15.06	ground	210	2,2	-1,0	315 / 2
20.06	ground	210	2,4	-1,1	270 / 1
	elevated	240	0,2	-0,1	
21.06	ground	210	0,8	-0,4	300 / 3
29.06	ground	410	0,5	-0,1	180 / 1
30.06	ground	250	0,4	-0,2	Calm
01.07	ground	190	2,3	-1,2	225 / 2
06.07	ground	390	1,6	-0,4	180 / 2
12.07	ground	200	0,9	-0,5	Calm
14.07	ground	210	2,0	-0,9	360 / 1
15.07	ground	410	2,4	-0,6	320 / 1
25.07	ground	360	1,7	-0,5	Calm
26.07	ground	200	3,6	-1,8	360 / 1
27.07	ground	200	0,4	-0,2	Calm
	elevated	360	1,6	-0,5	
29.07	ground	190	1,0	-0,6	360 / 1
30.07	ground	220	0,0	-0,0	20 / 3
26.08	ground	340	2,3	-0,7	340 / 3
30.08	ground	230	1,1	-0,5	45 / 1
19.09	ground	230	0,8	-0,3	90 / 1
02.12	ground	230	0,8	-0,3	275 / 2
	elevated	350	2,7	-0,8	
	high-altitude	340	1,4	-0,4	
5.12	ground	600	3,9	-0,7	250 / 4
	high-altitude	500	0,1	-0,7	

Considering the circulation of air masses near the surface (Table 3), it can be noted that the conditions for the accumulation of admixtures mainly created low-gradient baric fields and peripheral processes.

1.2. Main emission sources and air pollution problems

The characteristics of the wind regime (direction and velocity) are related to the meteorological factors

that most influence the concentrations of contaminants in the surface atmosphere. The effect of wind direction on the content of admixtures in the air of large cities is best traced when the sources of harmful substances are concentrated within one or more industrial zones located outside the city (Ivus 2012,

Snezhko 2011, Glushkov 2017, Landsberg 1981, etc.) In Odesa, a large part of the pollutants get into the air from mobile sources, motor transport, which are dispersed all over the city, so finding the dangerous wind directions for the city is a difficult task.

Table 3

Identification of synoptic processes at high levels of carbon monoxide concentration over Odesa in 2011

Date	The nature of the baric field
03.06; 15.06 26.08; 19.09	Southwestern periphery of the anticyclone
07.06; 26.07 02.12; 29.07	Crest
21.06	eastern periphery of the anticyclone
14.07; 15.07	low pressure gradient field
20.06; 25.07; 30.08; 30.06	Anticline
01.07; 06.07; 27.07; 30.07; 5.12	Basin
29.06; 12.07	low pressure gradient field

In the paper wind speeds at observation posts № 8 and № 20 are compared. As can be seen from Fig. 1, post № 20 locates near a very complex traffic intersection and urban development. The impact of wind direction on urban air pollution is determined not only by the location of the emission sources, but also by the terrain and local circulation. It is worth noting that city streets with dense high-rise buildings cause changes in wind speed and direction and cause local circulation. Therefore, irrespective of the season, the wind speed at post № 20 (red line, Fig. 2) is much lower than the wind speed at post № 8 (blue line), except some cases. So during the period from June to September at post №20, the average daily wind speed did not exceed 2 m/s, with the onset of the autumn season the wind speed increased slightly and reached up to 3 m/s, and only in several days of October the wind was 5-6 m/s.

Therefore, there is no clear relationship between wind speed and concentrations of carbon monoxide in the atmosphere of Odesa. The absence of such dependence is the result of a large number of mobile sources of pollution in the city. Urban streets with dense high-rise buildings cause changes in wind speed and direction, and cause local circulation and calm conditions (Wapler, 2013). Wind speed at post № 20 is characterized by a large number of calm conditions and weak wind speeds of up to 2-3 m/s. The content of carbon monoxide in the air increases at calm and speed of 1 m/s (Fig. 2).

Exceedance of the maximum permissible concentrations of carbon monoxide is observed at 6 out of 8 observation posts, but their distribution in time and space is rather uneven. The autumn season compared to the summer is characterized by a smaller

number of such cases, which is explained by the activation of the atmospheric circulation processes and, as a result, the increased ventilation of the atmosphere.

1.3. Forecasting method of meteorological conditions of atmospheric pollution

Considering the circulation of air masses near the earth's surface, it can be noted that the predominantly low-gradient baric fields and peripheral processes created the conditions for the accumulation of admixtures.

Therefore, for short-term forecasting the meteorological conditions of atmospheric pollution over Odesa, a more nuanced-based method was proposed. It may be expedient for its operational use and for the use of predictors of different class, including those that can only be described qualitatively. It also allows to assess the essence of the influence of individual factors such as wind, types of synoptic circulation, inversions and other. Also, it takes into consideration complex of factors that influence on air pollution objectively, i.e. in this case the empirical-statistical relationship between the presence of inversion and different predictors is revealed by the method of discriminant analysis. Based on the results of the calculations of the discriminant functions and based on physical considerations, a list of 8 potential forecasts that influence the formation of stagnant air over the city is formed:

1. ΔP_0 – Laplacian pressure near the earth's surface (hPa) to determine the nature of the surface baric field ($\Delta P_0 > 0$ - cyclone, $\Delta P_0 < 0$ - anticyclone) and to account for the sign of vertical motions;

2. p' - concentration values ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) of pollutants in the previous day;

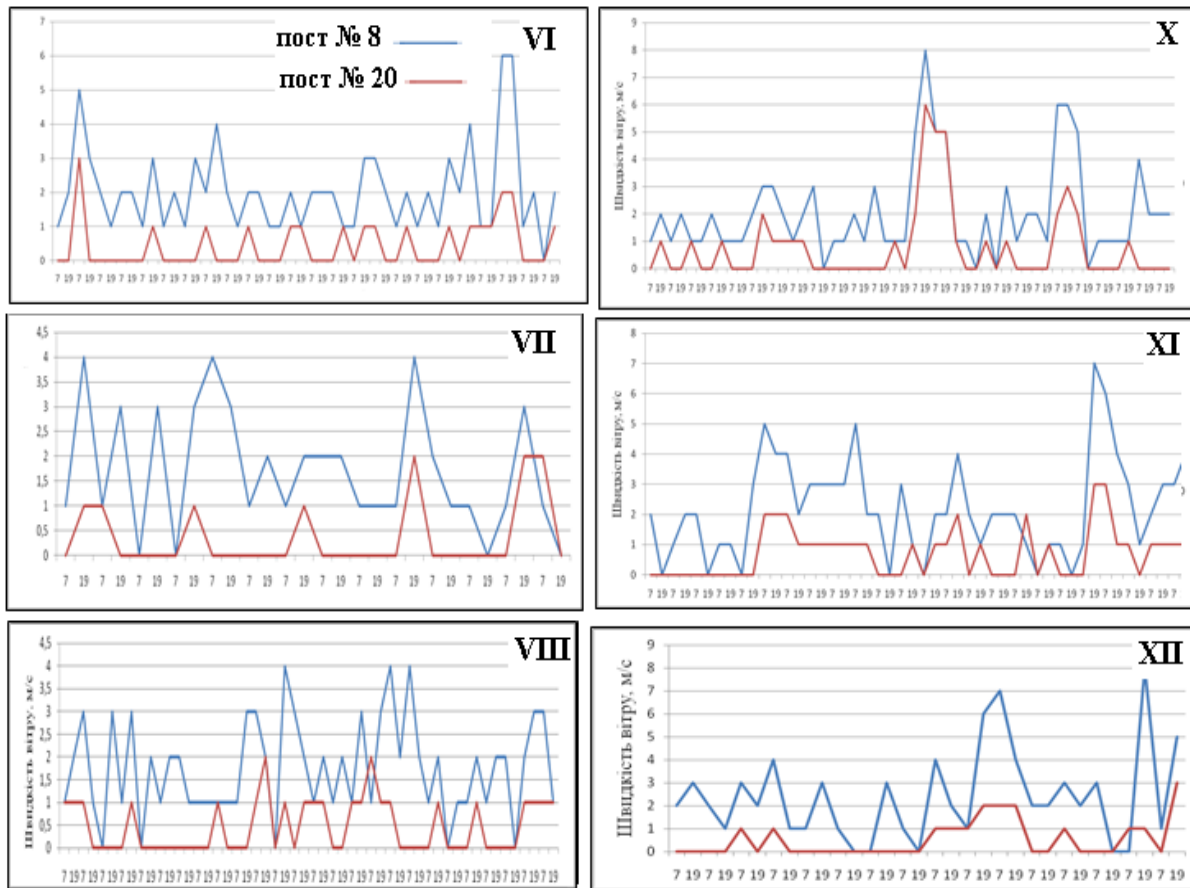


Fig. 2. Graph of daily wind speed change (7 and 19 UTC) at air pollution monitoring posts № 8 and № 20 in Odesa, June-August, October-December, 2011

3. V_0 і V_{925} – wind speed ($m \cdot s^{-1}$) near the earth's surface and at 925 hPa;

4. dd_0 і dd_{925} – wind direction (hail) near the earth's surface and at 925 hPa;

5. $dd_0 - dd_{925}$ – the difference between wind directions (hail) near the earth's surface and at the level of 925 hPa;

6. ΔV - wind speed difference ($m \cdot s^{-1}$) at 925 hPa and near the earth's surface;

7. ΔT - difference in air temperature ($^{\circ}C$) near the earth's surface and at the level of 925 hPa.

8. $\bar{\gamma}$ - average vertical temperature gradient in the layer 0-500 m ($^{\circ}C / 100$ m);

The predictor ΔP_0 is calculated according to the prognostic charts with a time of 24 hours, the predictors $\bar{\gamma}$, V_{925} , dd_{925} , ΔV , ΔT – are determined according to radio sounding over Odesa at the time 00 UTC, and the predictors V_0 , dd_0 and p' – according to the observation post # 15, which is located in Kherson Square, that is, in the area of the main emission sources of harmful substances.

The set of predictors should more fully describe the initial state of the atmosphere, so only the most basic, physically sound and strongly related to the

predictor should be selected, since increasing the number of predictors may reduce the predictive efficiency of given method.

Before constructing discriminant functions, the selection of the most informative predictors by the Mahalanobis's parameter (Δ^2) was made. Thus, the final list included 14 predictors, which were used in the construction of all discriminatory functions regardless of the type of inversions, season, synoptic situation and timing of the forecast.

$$\Delta^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m d_{ij} \sum_k^g n_k (\bar{x}_{ik} - \bar{x}_i)(\bar{x}_{jk} - \bar{x}_j) -$$

Mahalanobis's distance, (1)

\bar{x}_{ik} – average value of the i -th predictor in the k -th group.

Here m is the number of variables; n_k is the volume of the k -th sample; d_{ij} is the element of the inverse covariance matrix $\|k\|$, which is calculated as follows:

$$K = \frac{\sum_{k=1}^g S_k}{\sum_{k=1}^g n_{k-g}}, \quad (2)$$

where $S_k = \{S_{jl}^k\} = \sum (x_{ijk} - \bar{x}_{ik}) \cdot (x_{ilk} - \bar{x}_{ik})$ ($j=L=1, m; k$ – group number).

Next, find the regression coefficients b_i and the free term a :

$$b_i = \sum_{j=1}^m d_{ij} \cdot \bar{x}_{jk}; a = -\frac{1}{2} \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^m d_{jl} \cdot \bar{x}_{jk} \cdot \bar{x}_{lk} \quad (3)$$

and construct the discriminant function in the final form:

$$\text{January: } F = 3,6 \cdot 10^{-4} p' - 1,8 \cdot 10^{-4} V_0 - 1,1 \cdot 10^{-5} \bar{\gamma} + 4,8 \cdot 10^{-5}; \quad (5)$$

$$\text{April: } F = 5,2 \cdot 10^{-4} p' - 2,5 \cdot 10^{-4} V_0 + 2,3 \cdot 10^{-5} \Delta V + 3,2 \cdot 10^{-5}; \quad (6)$$

$$\text{July: } F = 3,5 \cdot 10^{-4} p' - 3,3 \cdot 10^{-4} V_0 - 8,7 \cdot 10^{-5} \Delta P_0 - 5,1 \cdot 10^{-5}; \quad (7)$$

$$\text{October: } F = 4,1 \cdot 10^{-4} p' - 2,9 \cdot 10^{-4} V_0 - 3,8 \cdot 10^{-5} \Delta P_0 + 4,3 \cdot 10^{-5}; \quad (8)$$

where, if $F > 0$, admixtures are expected to accumulate, and if $F < 0$, dispersion is expected.

In order to improve the prognostic capabilities of the alternative method, the discriminant equations (9) and (10) are obtained, taking into account the type of synoptic process at which admixtures accumulate. Thus, to predict the conditions of air pollution in July in the presence of the anticyclone field (type 3) and peripheral processes (type 1) use the formulas:

$$F = 5,2 \cdot 10^{-4} p' - 4,3 \cdot 10^{-4} \Delta P_0 + 2,9 \cdot 10^{-5}; \quad (9)$$

$$F = 6,1 \cdot 10^{-4} p' - 7,1 \cdot 10^{-4} V + 4,1 \cdot 10^{-5}; \quad (10)$$

where if $F > 0$, admixtures accumulation is predicted, and if $F < 0$, dispersing is predicted.

The effectiveness of the alternative method of forecasting meteorological conditions of pollution was tested on dependent (July 2011-2015) and independent (July 2009) material. The results obtained indicate that the effectiveness of the proposed method is at the level of current regional forecasts (Kiptenko 2012, Glushkov 2017).

Here are some general recommendations for applying this method:

1. The proposed method can be used to forecast the weather conditions for 24 hours during all seasons.

2. In the alternative forecast, it is possible to apply the pollutants concentration data of previous day, not only at post N 15.

3. The procedure of inversion prediction by this method should be preceded by an assessment of the macro-synoptic situation, because in the case of sharply marked active fronts and significant baric gradients (more than 2-3 hPa/100 km), the calculation of discriminant functions is not performed.

The main criteria for January, April, July and October 2011-2015 are calculated to evaluate the quality of the alternative forecast of meteorological pollution conditions over Odesa on the modern meteorological and synoptic material. All information about the success of the forecast method is presented in Table 4.

$$F_k = \sum_{j=1}^m b_i x_{ijk} + a \quad (k = 1,2). \quad (4)$$

The discriminant functions (5) - (8), obtained for the forecast of meteorological conditions of atmospheric pollution (exceeding the MPC level at the post # 15) over the industrial zone of Odesa with a duration of 24 h depending on the season, have the form:

On the whole, the overall validity ($U, \%$) of the alternative method of forecasting the meteorological conditions of pollution over Odesa was high, amounting to 87% in January, 80% in April, 92% in July and 85% in October, i.e. the prognostic technique works well on independent material throughout the last decade.

As can be seen from table 4, the validity of forecasting the presence of pollution conditions ($U_{ph}, \%$) is higher than the general one and reached 88-94%. The validity of forecasting the absence of meteorological conditions of pollution ($U_{no ph}, \%$) in July and October was almost equal to U_{ph} , but it was lower by 5% in July.

The prediction of meteorological conditions ($P_{ph}, \%$) during all study periods exceeded 80%. The absence of admixture accumulation conditions ($P_{no ph}, \%$) was best predicted in July (93%).

M.O. Bagrov's (Ivus, 2012) calculations of the reliability criterion showed that he accepted the minimum value (0.71) in October, and in the remaining months it ranged from 0.77 to 0.88, i.e. the prognostic technique is reliable.

The use of the Piercy-Obukhov's (T) forecast quality criterion for the estimation of the meteorological conditions of pollution over Odesa revealed that he took only positive values (from 0.70 to 0.83), that is, the phenomenon prediction (P_{ph}) exceeded the ratio of false forecasts of the phenomenon to the actual number of days without phenomena (Ivus 2012).

Conclusions

In this article we have analyzed influence of meteorological conditions on the level of atmospheric air pollution in Odesa region. For these purposes the more nuanced-based method of forecasting was adapted. We have demonstrated that its use has efficiency at the present time for improvement of operative prognostic units work for the Northwest Black Sea region. Such conclusions may be identified as a result of empirical findings:

1. CO concentrations in the city of Odesa increase with distance from the coastal strip into the depth of land with maximum values in places with

Table 4

Quality criteria of the alternative forecast the meteorological conditions of pollution over Odesa (2011-2015)

Forecast	Observed		Sum	U	U + P
	Phenomenon	No phenomena			
January					
Phenomenon	72	10	82	88	177
No phenomena	9	60	69	87	173
Sum	81	70	151		
P	89	86	T=0,75	H=0,77	
April					
Phenomenon	69	9	78	88	176
No phenomena	10	62	72	86	173
Sum	79	71	150		
P	87	87	T=0,75	H=0,78	
July					
Phenomenon	75	5	80	94	184
No phenomena	8	67	75	89	182
Sum	83	72	155		
P	90	93	T=0,83	H=0,88	
October					
Phenomenon	65	12	77	84	170
No phenomena	11	67	78	86	171
Sum	76	79	155		
P	86	85	T=0,70	H=0,71	

high traffic load, regardless of the season;

2. Absence of industrial facilities and meteorological conditions contribute to the low level of air pollution around post N 8. Exceedance of the maximum allowable concentrations of carbon monoxide is observed in 6 out of 8 observation posts

3. Favorable conditions for the accumulation of

admixtures are formed in peripheral processes with low-gradient pressure fields, in front parts of cyclones and in low-motion and small cyclones with the same air mass;

4. Temperature inversions almost always accompanied the accumulation of harmful admixtures in the ground layer of air above Odesa.

Bibliography

1. Агайар, Е. В. Струйные течения нижнего уровня атмосферы при слабом ветре у поверхности земли [Текст] / Е. В. Агайар // *Український гідрометеорологічний журнал*. – 2014. – № 15. – С. 37–42.
2. European Environment Agency: Air quality in Europe report, European Environment Agency, Publications Office of the European Union, Copenhagen, Denmark, available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report> (last access: July 2021), 2020.
3. Rahman, M. A. Spatial and temporal changes of outdoor thermal stress: influence of urban land cover types [Text] / M. A. Rakhman, E. Franceschi, N. Pattnaik, A. Moser-Reischl, C. Hartmann, H. Paeth, H. Pretzsch, T. Rötzer, S. Pauleit // *Scientific Reports*. – 2022. – Article number: 671. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04669-8>.
4. Von Schneidmesser, Erika. Global comparison of VOC and CO observations in urban areas [Text] / Erika Von Schneidmesser, Paul S. Monks, Christian Plass-Duelmer // *Atmospheric Environment*. – December 2010. – Volume 44. – Issue 39. – P. 5053–5064. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.09.010>.
5. Glushkov, A. V. Modelling dynamics of atmosphere ventilation and industrial city's air pollution analysis [Text] / A. V. Glushkov, O. Yu. Khetselius, E. V. Agayar, V. V. Buyadzhi, A. V. Romanova, V. F. Mansarliysky // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – November 2017. – Volume 92. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/92/1/012014>.
6. Gómara, I. Rossby wave-breaking analysis of explosive cyclones in the Euro-Atlantic sector [Text] / I. Gómara, J.G. Pinto, T. Woollings, G. Masato, P. Zurita-Gotor and B. Rodríguez-Fonseca // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. – 2014. – Volume 140. – Issue 680. – P. 738–753. <https://doi.org/10.1002/qj.2190>.
7. Sakieh, Yousef. Green and calm: Modeling the relationships between noise pollution propagation and spatial patterns of urban structures and green covers [Text] / Yousef Sakieh, Shirkou Jaafari, Mohsen Ahmadi, Mohsen Ahmadi, Afshin Danehkar // *Urban Forestry & Urban Greening*. – 2017. – Volume 24. – P. 195–211. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2017.04.008>

8. Ivus, G. P. To the question about typification of synoptic processes over the territory of Ukraine [Text] / G. P. Ivus, S. O. Zubkovych, E. V. Agayar, L. M. Gurskaya // *International Journal of Research In Earth & Environmental Sciences*. – 2015. – Volume 3. – No. 01. – P. 21–27.
9. Івус, Г. П. Спеціалізовані прогнози погоди [Текст] / Г. П. Івус. – Одеса: ТЕС. – 2012. – 400 с.
10. Івус, Г. П. Метеорологічні та синоптичні умови забруднення атмосферного повітря міста Одеса [Текст] / Г. П. Івус, А. Б. Семергей-Чумаченко, Г. В. Хоменко, Л. М. Гурська // *Український гідрометеорологічний журнал*. – 2012. – Вип. 10. – С. 28–35.
11. Кіптенко, Є. М. Вплив метеорологічних умов забруднення повітря у промислових містах України [Текст] / Є. М. Кіптенко, Т. В. Козленко // *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. – 2007. – № 13. – С. 208–216.
12. Кіптенко, Є. М. Прогнозування рівнів високого забруднення атмосферного повітря у містах України [Текст] / Є. М. Кіптенко, Т. В. Козленко // *Праці УкрНДІГМ*. – 2002. – Вип. 250. – С. 288–297.
13. Kobus, D. The conception of decision support system for assessment and management of ambient air quality [Text] / D. Kobus, K. Skotak // *Information System in Management*. – 2012. – №4. – С. 305–317.
14. Landsberg, H. E. The Urban Climate [Text] / H. E. Landsberg // *International Geophysics Series, New York*. – 1981. – Vol. 28. – P. 769–779.
15. Liao, T. Air stagnation and its impact on air quality during winter in Sichuan and Chongqing, southwestern China [Text] / T. Liao, K. Gui, W. Jiang, S. Wang, B. Wang, Z. Zeng, H. Che, Y. Wang and Y. Sun // *Science of The Total Environment*. – 2018. – Vol. 635. – P. 576–585. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.122>
16. РД 34.02.305-98. Методика визначення валових викидів забруднюючих речовин у атмосфері від котельних установок ТЕЦ [Текст]. – АООТ «ВТІ». – 1998. – 38 с.
17. Шевченко, О. Г. Уривень загрязнення атмосферного воздуха города Киева формальдегидом [Текст] / О. Г. Шевченко, М. І. Кульбида, С. І. Сніжко, Л. С. Щербуха, Н. О. Данилова // *Український гідрометеорологічний журнал*. – 2014. – Вип. 14. С. 5–15.
18. Сніжко, С. І. Урбометеорологічні аспекти забруднення атмосферного повітря великого міста [Текст] / С. І. Сніжко, О. Г. Шевченко. – Київ: Видавництво географічної літератури "Обрії". – 2011. – 297 с.
19. Webber, C. P. The dynamical impact of Rossby wave breaking upon UK PM10 concentration [Text] / C. P. Webber, H. F. Dacre, W. J. Collins and G. Masato // *Atmos. Chem. Phys.* – 2017. – Vol. 17. – P. 867–881. <https://doi.org/10.5194/acp-17-867-2017>
20. World Health Organization:(2011). Air: when breathing is a threat. https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0011/147656/WHY_Newsletter4.pdf?ua=1 (last access: July 2021)
21. Air: when breathing is a threat [Electronic resource] // Why Newsletter World Health Organization. – Issue 4. – July 2011, (last access: July 2021). https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0011/147656/WHY_Newsletter4.pdf?ua=1
22. Виставна, Ю. Ю. Аспекти вітрового режиму урбанізованого міста [Текст] / Ю. Ю. Виставна, С. О. Зубкович // *Вісник ХНУ ім. Каразіна*. – 2014. – № 1140 (11). – Серія «Екологія». – С. 70–74.

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

References

1. Agayar, E. V. (2014). Struynyye techeniya nizhnego urovnya atmosfery pri slabom vetre u poverkhnosti zemli [Low level Jets of the atmosphere with a weak surface wind]. *Ukrainian hydrometeorological journal*, 15, 37–42. [in Russian]
2. European Environment Agency: Air quality in Europe (2020). Report, European Environment Agency, Publications Office of the European Union, Copenhagen, Denmark, available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report> (last access: July 2021)
3. Rahman, M. A., Franceschi, E., Pattnaik, N., Moser-Reischl, A., Hartmann, C., Paeth, H., Pretzsch, H., Rötzer, T., Pauleit, S. (2022). Spatial and temporal changes of outdoor thermal stress: influence of urban land cover types. *Scientific Reports*, article number: 671. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04669-8>
4. Von Schneidemesser, Erika, Monks, P. S., Plass-Duelmer, C. (2010). Atmospheric Environment Global comparison of VOC and CO observations in urban areas. 44 (39), 5053–5064. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.09.010>
5. Glushkov, A. V., Khetselius, O. Yu, Agayar, E. V., Buyadzi, V. V., Romanova, A. V., Mansarliysky, V. F. (2017). Modelling dynamics of atmosphere ventilation and industrial city's air pollution analysis. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 92, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/92/1/012014>
6. Gómará, I., Pinto, J. G., Woollings, T., Masato, G., Zurita-Gotor, P., and Rodríguez-Fonseca, B. (2014). Rossby wave-breaking analysis of explosive cyclones in the Euro-Atlantic sector, *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, 140 (680), 738–753. <https://doi.org/10.1002/qj.2190>
7. Sakieh, Y., Jaafari, S., Ahmadi M., Danehkar A. (2022). Green and calm: Modeling the relationships between noise pollution propagation and spatial patterns of urban structures and green covers. *Urban Forestry & Urban Greening*, 24, 195–211. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2017.04.008>
8. Ivus, G. P., Zubkovych, S. A., Agayar, E. V., Gurskaya, L. M. (2015). To the question about typification of synoptic processes over the territory of Ukraine. *International Journal of Research In Earth & Environmental Sciences*, 3 (01), 21–27.
9. Ivus, G. P. (2012) Spetsializovani prohnozy pohody [Specialized weather forecasts]. Odessa: TES, 407. [in Ukrainian]
10. Ivus, G. P., Semerгей-Chumachenko, A. B., Khomenko, G. V., Gurska, L. M. (2012). Meteorologichni ta synoptychni umovy zabrudnennya atmosfernoho povitrya mista Odesa [Meteorological and synoptic conditions of atmospheric air pollution in Odessa]. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 10, 28–35. [in Ukrainian]
11. Kiptenko, E. M., Kozlenko, T. V. (2007). Vplyv meteorologichnykh umov zabrudnennya povitrya u promyslovykh mistakh Ukrayiny [Influence of meteorological conditions on air pollution in industrial cities of Ukraine]. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 13, 208–216. [in Ukrainian]

12. Kiptenko, E. M., Kozlenko, T. V. (2002). *Prohnozuvannya rivniv vysokoho zabrudnennya atmosferного povitrya u mistakh Ukrainy [Forecast of a high level of atmospheric air pollution in the cities of Ukraine]*. Proceedings of UkrNDGMI, 250, 288–297. [in Ukrainian]
13. Kobus, D., Skotak, K. (2017). *The conception of decision support system for assessment and management of ambient air quality*. Information System in Management, 4, 305–317.
14. Landsberg, H. E. (1981). *The Urban Climate*. International Geophysics Series. New York, 28, 769–779.
15. Liao, T., Gui, K., Jiang, W., Wang, S., Wang, B., Zeng, Z., Che, H., Wang, Y., and Sun, Y. (2018). *Air stagnation and its impact on air quality during winter in Sichuan and Chongqing, southwestern China*. Science of The Total Environment, 635, 576–585. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.122>
16. *Metodika vyznachennya valovykh vykydiv zabrudnyuyuchovykh rehovyn u atmosferu vid kotel'nykh ustanovok TETS [Methodology for determining gross emissions of pollutants into the atmosphere from CHP boiler installations]*. (1998). Guidance document RD 34.02.305-9, 305–98.
17. Shevchenko, O. G., Kulbida, M. I., Snizhko, S. I., Shcherbuha, L. S., Danilova, N. O. (2014). *Uroven' zagryazneniya atmosferного vozdukhа goroda Kiyeva formal'degidom [The level of atmospheric air pollution in Kyiv by formaldehyde]*. Ukrainian Hydrometeorological Journal, 14, 5–15. [in Russian]
18. Snizhko, S. I., Shevchenko, O. G. (2011). *Urbometeorologichni aspekty zabrudnennya atmosferного povitrya velykoho mista [Urbometeorological aspects of atmospheric air pollution of a big city]*. Kyiv: Publishing House of Geographical Literature "Obriya", 297. [in Ukrainian]
19. Webber, C. P., Dacre, H. F., Collins, W. J. and Masato, G. (2017). *The dynamical impact of Rossby wave breaking upon UK PM10 concentration*. Atmos. Chem. Phys., 17, 867–881, <https://doi.org/10.5194/acp-17-867-2017>
20. World Health Organization:(2011). *Air: when breathing is a threat*, https://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0011/147656/WHY_Newsletter4.pdf?ua=1 (last access: July 2021)
21. *Air: when breathing is a threat* (2011). *Why Newsletter World Health Organization*, 4. https://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0011/147656/WHY_Newsletter4.pdf?ua=1
22. Vystavna, Y. Y., Zubkovych, S. O. (2014). *Aspects of the wind regime of an urbanized city*. Bulletin of KhNU Karazina, 1140 (11), 70–74.

Використання та основні рекомендації прогнозу метеорологічних умов забруднення повітря над Одесою

Еліна Агайар¹,

к. геогр. н., доцент кафедри метеорології та кліматології,

¹Одеський державний екологічний університет, м. Одеса, вул. Львівська, 15, 61016, Україна;

Аліна Семергей-Чумаченко¹,

к. геогр. н., доцент кафедри метеорології та кліматології;

Світлана Зубкович²,

доцент кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, Харківський національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», вул. Чкалова, 17, 61070, м. Харків, Україна

Однією з важливих ланок в системі моніторингу охорони чистоти атмосфери повітря є дослідження режиму формування шкідливих домішок і прогнозування рівня забруднення залежно від характеру макромасштабної циркуляції, стану граничного шару атмосфери і місцевих фізико-географічних умов, що особливо актуально для районів з великою кількістю промислових підприємств, які є постійним джерелом забруднення атмосфери. У статті розглянути результати дослідження метеорологічних та синоптичних умов забруднення атмосферного повітря в різних районах Одеси, та запропонований альтернативний метод прогнозу метеорологічних умов забруднення для промислових районів Одеси при різних типах синоптичних процесів. Для аналізу умов забруднення атмосфери застосовують такі синоптичні методи, що враховують комплекс метеорологічних умов та синоптичних ситуацій, які визначають розповсюдження та накопичення домішок. Особливу увагу приділено малоактивному розвитку процесів й застійних явищ (слабкий вітер), при яких створюються умови, що найбільш сприяють забрудненню. Якщо ж атмосферні процеси активні, то приземні шари повітря швидко очищаються. В статті розглядається альтернативний метод, який може бути доцільним для оперативного використання через його зручність та можливість застосування предикторів різного класу, в тому числі таких, які можна описати лише якісно. Він дозволяє також об'єктивним шляхом оцінити сутність впливу окремих факторів та їх комплексу на забруднення повітря, тобто у даному випадку методом дискримінантного аналізу виявлена емпірико-статистична залежність між наявністю інверсії та різними предикторами. За результатами розрахунків дискримінантних функцій та виходячи з фізичних міркувань, сформовано перелік 8 потенційних предикторів, які впливають на утворення застоїв повітря над містом.

Ключові слова: гранично допустима концентрація (ГДК), забруднення повітря, затримуючий шар, слабкий вітер, синоптичні процеси, інверсія, альтернативний метод прогнозу забруднення атмосферного повітря.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 2 лютого 2022 р.
Прийнята 11 листопада 2022 р.

Просторовий аналіз системи розселення Запорізької області

Олег Байтеріяков¹,

к. геогр. н., доцент кафедри географії та туризму,

¹Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького,

вул. Наукового містечка, 59, м. Запоріжжя, 69000, Україна,

e-mail: o.baiteriakov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7449-693X>;

Ірина Арсененко¹,

к. геогр. н., доцент кафедри географії та туризму,

e-mail: irina_arsenenko@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-7763-5720>;

Лариса Донченко¹,

к. геогр. н., доцент кафедри географії та туризму,

e-mail: donchenko66@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-2867-7502>

Проаналізовано систему розселення території Запорізької області після реформи адміністративно-територіального устрою з використанням різних кількісних показників і урахуванням особливостей розташування населення станом на 01.01.2021 р. Розраховано для кожного нового району області щільність населення, індекс концентрації населення, середню людність поселень, середню густоту поселень, середню відстань між ними, індекс лідерства адміністративних центрів районів, рівень урбанізації території за часткою міського населення, за ієрархічним методом О.В. Терещенка, за підходом Е. Арріага. За даними показниками виявлено просторові відмінності системи розселення адміністративних районів області. Диференціація системи міських поселень адміністративних районів області значно перевищує контрастність середніх загальних показників системи розселення районів. Особливо це виявляється при застосуванні ієрархічних підходів для визначення рівня урбанізації. Районні системи сільських поселень Запорізької області мають більш згладжені відмінності за аналогічними показниками системи міського розселення, що свідчить про відносну раціональність нового адміністративно-територіального устрою. На підставі проведених розрахунків було здійснено типологічне групування нових адміністративних районів Запорізької області за сучасною структурою розселення. Внаслідок такого групування виділено 2 типи районів: 1) райони з моноцентричною системою розселення, до них належать Запорізький, Мелітопольський і Бердянський райони (в них чітко визначаються за розмірами, функціями, що виконують та впливом на систему розселення багатофункціональні районні центри); 2) райони з поліцентрично-дисперсною системою розселення, до них відносяться Василівський і Пологівський райони (в цих районах відсутні центри з яскраво вираженими лідируючими позиціями як за людністю, так і за функціями, що вони виконують).

Ключові слова: система розселення, статеві-вікова структура населення, адміністративний район, щільність населення, індекс концентрації населення, густина поселень території, людність поселень, індекс лідерства адміністративних центрів, рівень урбанізації.

Як цитувати: Байтеріяков Олег. Просторовий аналіз системи розселення Запорізької області / Олег Байтеріяков, Ірина Арсененко, Лариса Донченко // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 57. – С. 48-67. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-05>

In cites: Baiteriakov Oleg, Arsenenko Iryna, Donchenko Larisa (2022). Spatial analysis of the settlement system of Zaporizhia region. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (57), 48-67. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-05> [in Ukrainian]

Вступ. Постановою Верховної Ради України № 807-ХІ від 17.07.2020 р. було встановлено новий адміністративно-територіальний поділ території України, згідно з яким змінено кількість адміністративних районів по всіх областях і принцип їх утворення. Ці зміни торкнулись і території Запорізької області, де замість 20 попередніх утворено 5 нових адміністративних районів. Утворення нових районів відбувалось у напрямку їх укрупнення на підставі об'єднання територіальних громад, що в свою чергу впливає на структуру їх системи розселення. В умовах російської військової агресії важливим є усвідомлення основних соціально-географічних реалій, що склались до її початку для подальшої відбудови системи розселення території у повоєнний час з урахуванням особливостей і проблем, що мали місце. Тому

постає питання про дослідження системи розселення адміністративних районів Запорізької області.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Важливим чинником соціально-економічного розвитку регіону, в тому числі і для розвитку туристичної галузі, є наявність і специфіка його системи розселення. Саме вона впливає на розподіл і концентрацію населення по території, на ступінь комфорту життя, на розвиток виробництва, на доступність туристичних, соціальних, побутових, культурних та інших послуг, на ступінь господарського опанування території, на формування туристичних потоків і т.д.

Дослідженню поняття «система розселення» присвячено численні роботи таких провідних фахівців як: А.І. Доценко [7], Л.Б. Заставецька [10],

К.А. Немец, Л.М. Немец, К.Ю. Сегіда [33; 34], І.О. Пилипенко [13], У.Я. Садова та Л.Т. Шевчук [14], О.І. Шаблій [20], О.Г. Топчів [17] та ін.

Підсумовуючи підходи до визначення терміну «система розселення», можна визначити основні риси його дефініції:

- це сукупність населених пунктів певної території;
- населені пункти системи обов'язково взаємопов'язані між собою функціональними зв'язками;
- зв'язки між населеними пунктами системи відносяться до горизонтальних (однорангових) та вертикальних (ієрархічно супідрядних) типів;
- населені пункти системи неоднорідні за кількістю жителів та рангами і типами;
- населені пункти системи неоднорідні за функціями;
- один чи кілька населених пунктів системи розселення виконують функції адміністративного або системоформуючого центру.

Оскільки основою системи розселення є населені пункти, виникає питання про їх дослідження. Різноманітні питання функціонування сучасних населених пунктів висвітлено у багатьох закордонних та вітчизняних публікаціях. Наприклад, особливості розвитку міських поселень і вплив урбанізації на сучасне суспільство висвітлено в працях Paul L. Knox, Linda M. McCarthy [27; 28], B. Ofori-Amoah [35], Michael J. Shapiro [41] та ін. Проблеми оцінки щільності міського населення і її впливу на розвиток міст відображено у публікаціях K. Fee та D. Hartley [23]; B.H. Roberts (на прикладі Австралійських міст) [39]; Peng Luo, Xianfeng Zhang, Junyi Cheng і Quan Sun [29]; H. Ren, W. Guo, Z. Zhang, L.M. Kisovi, P. Das (на прикладі міст Кенії) [38]; G. Polinesi, M.C. Recchioni, R. Turco, L. Salvati, K. Rontos, J. Rodrigo-Comino, F. Benassi (на прикладі Греції) [36]; Y. Qiang, J.W. Xu, G.H. Zhang (на прикладі міст США) [37]; F.J. Gallego (на прикладі населення Європейського союзу) [26] та ін. Питання просторово-часового аналізу розвитку міських поселень і їх населення останнім часом розглядалися у працях J. Feng, Y. Chen [25]; A.S. Moghadam, A. Soltani, B. Parolin, M. Alidadi [32]; Xiaoqing Song, Qi Feng, Fangzhou Xia, Xinyi Li, Jürgen Scheffrand (на прикладі китайських міст) [42]; X.M. Man, Y.G. Chen [30] та ін. Дослідження просторової структури міських поселень відображено у наробках F. Mariani, H. Zambon, L. Salvati [31]; J. Feng, F.H. Wang, Y.X. Zhou [24]; H.D. Rozenfeld, D. Rybski, X. Gabaix, H.A. Makse [40]; N. Dong, X. Yang, H. Cai, L. Wang [22] та багатьох інших. Цікаве дослідження еволюції закону Ципфа стосовно розвитку міст міститься у дос-

лідженні Y.G. Chen [21]. Особливості розвитку населених пунктів в Україні досліджували І.В. Гукалова, К.В. Мезенцев, К.А. Немець, Л.М. Немець, Я.Б. Олійник, Н.В. Омельченко, К.Ю. Сегіда, Ю.О. Сімагін, О.Г. Топчів та ін. Таким чином, можна побачити, що дослідженню різноманітних аспектів систем розселення в Україні і в світі останнім часом приділяється багато уваги.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Проблеми формування і розвитку системи розселення безпосередньо Запорізької області розглядалися в працях українських дослідників. Так, Є.І. Благова вивчала питання формування системи розселення Запорізької області в умовах інтенсивного розвитку суспільного виробництва [4], М.Л. Сажнев розглядав функціональний взаєморозвиток сільських та міських місцевостей Мелітопольського суспільно-географічного регіону, К.Г. Неліпа здійснювала суспільно-географічне дослідження трансформації системи розселення Запорізької області [12]. В рекреаційно-туристичній площині територіальну організацію рекреаційної системи розселення на прикладі Запорізького Приазов'я досліджувала Л.М. Донченко [6]. Однак в 2020 р. відбулись корінні зміни адміністративно-територіального устрою Запорізької області, внаслідок яких на її території замість 20 попередніх адміністративних районів було створено 5 нових, це суттєво вплинуло на структуру системи розселення області. Тому постає питання про дослідження системи розселення області в нових суспільно-географічних реаліях.

Мета і завдання дослідження. Мета – виявити стан і просторові відмінності системи розселення території Запорізької області після реформи адміністративно-територіального устрою напередодні російської військової агресії. Для досягнення мети дослідження було поставлено такі завдання:

- розрахувати основні показники, що відображають стан системи розселення Запорізької області та її адміністративних районів;
- провести порівняльний аналіз стану систем міського та сільського розселення адміністративних районів області;
- виявити типізацію адміністративних районів Запорізької області за структурою системи розселення.

Матеріали і методи досліджень. У сучасній географії запропоновано цілу низку різноманітних методичних підходів до аналізу і оцінювання системи розселення. Тому, на підставі виявлення їхніх переваг та недоліків, було обрано показники, що характеризують щільність населення території, середню людність поселень, середню

густоту поселень території, середні відстані між ними, індекс лідерства адміністративних центрів районів, рівень урбанізації території за різними показниками.

Кількісна складова системи розселення інтегрується різними способами, через різні за змістом показники, кожен з яких характеризує деякий визначений бік процесу.

Щільність населення території визначається за формулою:

$$M = \frac{N}{S}, \quad (1)$$

де: M – щільність населення (осіб/км²); N – кількість населення території; S – площа території.

Важливим кількісним показником є середня людність поселень, що визначається за формулою:

$$T = \frac{N}{P}, \quad (2)$$

де: T – середня людність поселень (осіб/пос.); N – кількість населення території; P – кількість поселень території.

Розподіл поселень по території ілюструє показник середньої густоти поселень території, що розраховується за формулою:

$$K = \frac{P}{S}, \quad (3)$$

де: K – середня густота поселень території (пос./тис.км²); P – кількість поселень території; S – площа території (тис.км²).

Розташування населених пунктів регіону також яскраво відображає показник середньої відстані між ними. Для його розрахунку застосовано формулу [8]:

$$R = \sqrt{\frac{S}{P}}, \quad (4)$$

де: R – середня відстань між поселеннями (км); P – кількість поселень території; S – площа території (км²).

Ступінь нерівномірності розміщення населення по території характеризує індекс концентрації населення, який розраховується за формулою [13]:

$$IKH = \frac{\sum |X_i - Y_i|}{2}, \quad (5)$$

де: IKH – індекс концентрації населення; X_i – частка населення i -го району до всього населення території (в %); Y_i – частка площі i -го району до площі всієї території (в %). Ця формула, звичайно, використовується для характеристики розміщення населення на території обласного або вищого рангу.

Для визначення показників нерівномірності

розселення адміністративних районів застосовується спрощена формула індексу концентрації населення, що являє тільки різницю між часткою населення адміністративної одиниці в населенні обласного регіону та відповідною часткою її площі [13]. При цьому, при обчисленні індексу обласного і вище рангів (формула 5) для визначається обирається модуль різниці показників частки населення і площі, але для виявлення районного і нижче індексів виявляється доцільніше враховувати числове значення цього показника саме зі знаком. Тому додатне значення показника свідчить про підвищений рівень концентрації населення, а його від'ємне значення – про знижений рівень. Таким чином, індекс концентрації населення території районного рівня визначається за формулою:

$$IKH_i = X_i - Y_i, \quad (6)$$

де: IKH_i – індекс концентрації населення i -го адміністративного району; X_i – частка населення i -го району до всього населення території (в %); Y_i – частка площі i -го району до площі всієї території (в %).

Як альтернативний варіант відображення ступеню нерівномірності розміщення населення адміністративних районів можна використовувати індекс розселення, який доцільно розраховувати як співвідношення частки населення району до частки його площі в межах області, тобто за формулою:

$$IP = \frac{X_i}{Y_i}, \quad (7)$$

де: IP – індекс розселення; X_i – частка населення i -го району до всього населення території (в %); Y_i – частка площі i -го району до площі всієї території (в %). Значення цього індексу вище 1 означає підвищену концентрацію населення території за теоретично рівномірну, при цьому наочно зрозуміло наскільки вона підвищена. Відповідно показник індексу менший за 1 свідчить про знижений рівень концентрації населення.

Для характеристики системи міських поселень і порівняння їх за регіонами доцільно розраховувати рівень урбанізації території. Для цього також можна застосувати кілька підходів і формул. Класичною є оцінка рівня урбанізації за часткою міського населення від загальної численності населення регіону – цей підхід є офіційним підходом, проте він не завжди показує внутрішні особливості міського населення та його способу життя, рівень складності міських систем розселення регіону, тобто він не враховує розподіл міського населення по типам поселень.

Цікавими варіантами оцінювання урбанізованості регіону є ієрархічні підходи, що врахову-

ють значення поділу міських поселень за людністю. Наприклад, О.В. Терещенко [16] пропонує формулу «рівня урбанізації», яка має такий вигляд:

$$PY = 0,25X_1 + 0,5X_2 + 0,75X_3 + X_4$$

$$\text{або } PY = C_i \cdot X_i, \quad (8)$$

де: C_i - являє собою фіксовану, умовно задану частку кожного типу міського поселення заданого в даній класифікації, тобто c для невеликих міст буде 0,25; для середніх – 0,5; для великих – 0,75; для найбільших – 1, при частці міського населення, що проживає в містах з численністю жителів x_1 - до 50 тис. осіб; x_2 - від 50 до 100 тис. осіб; x_3 - від 100 до 500 тис. осіб; x_4 - понад 500 тис. осіб. Звідси слідує, що процес концентрації населення у великих та найбільших містах, являє собою найбільш чітко виділені урбанізовані центри, спосіб життя населення яких в значній мірі відрізняється від способу життя в невеликих, середніх, малих містах і населених пунктах міського типу, домінує більш високий рівень урбанізації [5].

До ієрархічного типу відноситься також підхід Е. Арріага [5; 11], який розглянувши негативні сторони показника «частка міського населення» запропонував для вимірювання рівня урбанізованості індекс, що розраховується за формулою:

$$U_j = \frac{\sum_{i=1}^n c_i^2}{P_j}, \quad (9)$$

де: U_j – індекс урбанізованості j -го регіону; c_i – людність i -го міста, тис. осіб; P_j – загальна чисельність населення j -го регіону, тис. осіб.

Цей індекс (завдяки піднесенню до квадрату численності населення міських поселень) дозволяє в більшій мірі враховувати роль великих і найбільших міст, що безумовно являються головними носіями процесу урбанізації. Аналіз рівня урбанізації з використанням індексу Е. Арріага в порівнянні із «часткою міського населення» дозволяє не тільки враховувати одну із важливих особливостей урбанізації – розвиток великих міст, але і виявляти в значно більшій мірі регіональні відмінності рівня урбанізації. Отже, ідея цього показника полягає в контрастуванні розмірів міст завдяки піднесенню до квадрата людності міста, тому різко зростає значення остаточної оцінки великих і найбільших міст [5; 11].

Універсальним і водночас простим є площинний (територіальний) коефіцієнт урбанізованості, який коригує індекс урбанізованості Е. Арріага з урахуванням площі територій адміністративних одиниць. Площинний коефіцієнт урбанізованості території розраховується за такою формулою:

$$I_T = \frac{\sum_{i=1}^n c_i^2}{PS}, \quad (10)$$

де C_i – людність i -того міста досліджуваної території, тис. жителів; P – загальна численність населення досліджуваної території, тис. жителів; S – площа досліджуваної території, тис. км²; n – число міських поселень [11].

Інформативним для характеристики системи розселення регіонів представляється виявлення значення адміністративних центрів. Його можна оцінити індексом лідерства, який визначається відношенням кількості населення адміністративного центру до суми кількості населення чотирьох наступних за рангом міських поселень досліджуваної території [11]. Однак, на наш погляд, для мікрорегіонального рівня доцільним буде визначення індексу лідерства адміністративних центрів у вигляді відношення населення адміністративного центру до суми кількості населення всіх інших населених пунктів району. Такий показник дозволяє уявити вплив адміністративного центру на систему розселення району.

Результати досліджень. Запорізька область – адміністративна одиниця на півдні України. Утворена 10 січня 1939 року шляхом поділу Дніпропетровської області. Розташована на південному сході України, займає переважно лівобережну частину басейну нижньої течії Дніпра. Центр – місто Запоріжжя.

Територія області займає 27,18 тис. км², що становить 4,5 % території України. Протяжність із півночі на південь складає 208 км, а зі сходу на захід – 235 км. На півночі і північному заході межує з Дніпропетровською, на заході з Херсонською, на сході з Донецькою областями, а на півдні її узбережжя омиває Азовське море [18].

Природні передумови у вигляді рівнинного рельєфу, наявності корисних копалин, сприятливого клімату і наявності родючих ґрунтів, а також міцного потенціалу рекреаційно-туристичних (природних і культурно-історичних) ресурсів, курортів сприяли інтенсивному опануванню території області і формуванню тут розгалуженої системи розселення.

В 2020 р. внаслідок адміністративно-територіальної реформи на території Запорізької області замість 20 попередніх утворено 5 нових адміністративних районів – Бердянський, Василівський, Запорізький, Мелітопольський та Пологівський. Однак повного балансу за показниками площі і населення у нових районах досягти не вдалось. За площею два райони – Мелітопольський (6,96 тис. км²) та Пологівський (6,76 тис. км²) приблизно в 1,5 рази перевищують інші, площа яких коливається в межах 4,3-4,7 тис. км². За населенням також спостерігається яскрава диференціація, так станом на 01.01.2021 р. Запорізький район з населенням 855 297 осіб у майже в 5 разів перевищує кількість населення в таких районах як Бердян-

ський (179 118 осіб), Василівський (184 224 особи), Пологівський (167 060 осіб). Населення Мелітопольського району – 280 816 осіб значно поступається Запорізькому, але дещо перевищує інші [1; 9; 19].

Населення Запорізької області станом на 01.01.2021 р. складає 1 666,5 тис. осіб, з яких 1 291,1 тис. осіб відносяться до міського населення, а 375,4 тис. осіб – сільське населення [19]. Тобто рівень урбанізації дорівнює 77,5 %, він на 8 % перевищує середній по Україні (69,6 %). Протягом останніх трьох десятиліть попри загальне скорочення населення області рівень урбанізації незначно знизився лише в 90-ті рр. ХХ ст. з 75,6 % в 1989 р. до 75,4 % в 2001 р., але з початку 2000-х рр. спостерігалась тенденція до його повільного зростання до 77 %.

У віковій структурі населення області можна побачити певний дисбаланс, що виявляється у значному переважанні людей середнього і старшого віку (рис. 1). При цьому звертає увагу не лише відносно незначна кількість дітей та юнацтва віком до 19 років, але і молоді у віці 20-29 років. Також спостерігається доволі значна частка населення пенсійного віку – старше 60 років. Такий стан призводить до старіння населення, депопуляції та нестачі трудових ресурсів.

Що стосується статеві структури населення області, то можна констатувати, що серед дітей та молоді спостерігається незначне переважання хлопчиків і чоловіків. У віковій категорії 30-44 років співвідношення чоловіків і жінок приблизно вирівнюється, але після 45 років можна побачити стрімке збільшення частки жінок.

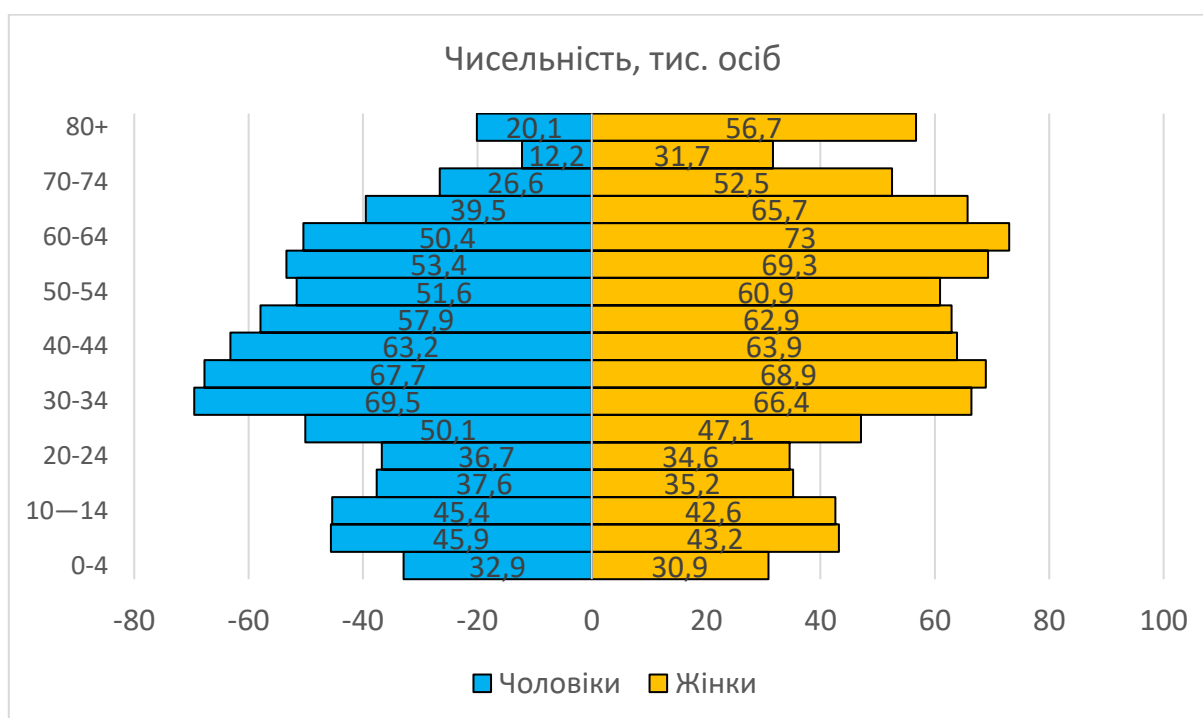


Рис. 1. Статеві-вікова піраміда населення Запорізької області станом на 01.01.2021 р. (за даними [15]) / Fig. 1. Sex-age pyramid of the population of Zaporizhzhia region as of January 1, 2021 (according to [15])

Середня щільність населення на території області станом на 01.01.2021 р. складає 61,3 осіб/км². Але у розрізі районів цей показник коливається у широких межах від 24,6 до 183 осіб/км² (табл. 1). На це впливає наявність на території районів міських поселень з різною концентрацією населення. Так, найбільша щільність – 183 осіб/км² характерна для Запорізького району, де розташовано місто Запоріжжя, населення якого складає 722,7 тис. осіб. В Мелітопольському, Бердянському та Василівському районах щільність помітно менша – 39,7-43 осіб/км², що пояснюється наявністю на їх територіях значно менших за людністю міст – Мелітополь (150,8 тис. осіб), Бердянськ (107,9 тис. осіб), Енергодар

(52,9 тис. осіб) відповідно, інші міста цих районів взагалі відносяться до категорії малих. Найменша щільність населення – лише 24,7 осіб/км², спостерігається в Пологівському районі, де розташовано п'ять міст, але їх людність коливається від 6,2 до 18,4 тис. осіб (рис. 2).

На території області розташовано 950 населених пунктів з яких 36 міського типу, а саме 14 міст, з них 5 міст обласного і 9 міст районного значення, а також 22 селища міського типу. В області нараховується 914 населених пунктів сільського типу [1; 9; 19].

У розподілі населених пунктів по адміністративним районам області спостерігається яскраво виражена диференціація. Найбільша їх кількість

– 283 пункти, притаманна Запорізькому району, дещо відстають від нього Пологівський (240 пунктів) і Мелітопольський (208 пунктів) райони.

Найменша кількість поселень виявляється в Бердянському і Василівському районах, де розташовано лише 113 і 106 населених пунктів (табл. 1).

Таблиця 1 / Table 1

Показники системи розселення Запорізької області станом на 01.01.2021 р. /
Zaporizhzhia region resettlement system indicators as of January 1, 2021

Район	К-сть населених пунктів	Щільність населення (осіб/км ²)	Середня густина поселень (пос./тис. км ²)	Середня відстань між поселеннями (км)	Індекс лідерства адміністративних центрів
Бердянський	113	40,1	25,1	6,3	1,5
Василівський	106	43	24,6	6,4	0,08
Запорізький	283	183	60,2	4	5,5
Мелітопольський	208	39,7	29,7	5,8	1,1
Пологівський	240	24,7	35,8	5,3	0,1
Запорізька область	950	61,3	34,9	5,4	

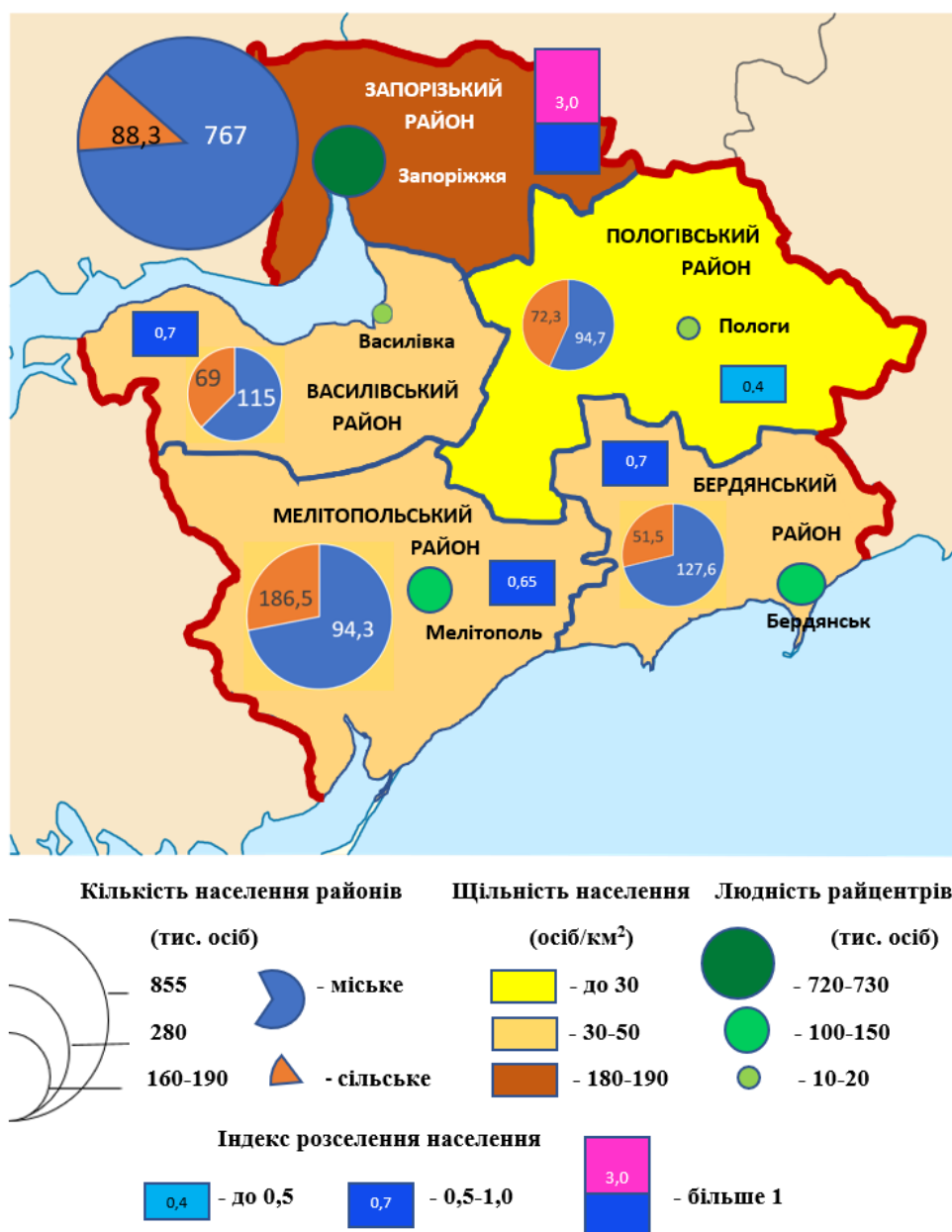


Рис. 2. Щільність населення адміністративних районів Запорізької області станом на 01.01.2021 р. /
Fig. 2. Population density of administrative districts of Zaporizhzhia region as of January 1, 2021

Розташування населених пунктів по території відображає показник середньої густоти поселень. Для Запорізької області він складає 34,9 пос./тис.км². При цьому для окремих районів області характерно значне коливання даного показника (табл. 1). Найбільша середня густина поселень – 60,2 пос./тис.км² спостерігається в Запорізькому районі, де при відносно незначній площі нараховується найбільша кількість населених пунктів (283 пункти) серед районів області. Значно відстають від нього Пологівський, з показником – 35,8 пос./тис.км² та Мелітопольський – 29,7 пос./тис.км² райони. Найменшу середню густоту поселень виявлено в Бердянському – 25,1 пос./тис.км² і Василівському – 24,6 пос./тис.км² районах.

Показник середньої відстані між поселеннями також наочно демонструє особливості розподілу населених пунктів по території. Середня відстань між населеними пунктами в Запорізькій області дорівнює 5,4 км. Цей показник по районам області коливається від 4 до 6,4 км (табл. 1). Найменша середня відстань – 4 км спостерігається між поселеннями Запорізького району, для якого характерна й їх найбільша густина. Проміжне положення за цим показником займають Пологівський (5,3 км) і Мелітопольський (5,8 км) райони. Найбільші середні відстані між населеними пунктами мають Бердянський (6,3 км) і Василівський (6,4) райони, в яких і найменша густина поселень.

Важливим показником розташування поселень регіону можна вважати доступність його адміністративного центру. Вона демонструє можливість отримання населенням додаткових туристичних, медичних, освітніх, соціальних, побутових та інших послуг. Дану доступність можна визначити за відповідною відстанню. Для центрів територіальних громад Запорізької області доступність районного адміністративного центру коливається в межах 12-128 ум. км. При цьому, відстань вимірювалась за автомобільними шляхами в умовних км, що враховують умови пересування, такі як швидкість, час і комфортність руху. Ці умови залежать від категорії автомобільного шляху – кількості полос для руху, їх ширини та обладнання. Для визначення відстані в ум. км застосовувались відповідні коефіцієнти на які помножувалась реальна відстань. Так, для шляхів першої категорії застосовано коефіцієнт 1, для другої категорії – 1,2, для третьої – 1,3, для четвертої – 1,4, для п'ятої – 1,5.

За середнім показником доступності адміністративного центру найкраще положення мають Запорізький (46 ум. км) і Мелітопольський (49 ум. км) райони. Цьому сприяє розташування районів у середині радіальної транспортної мережі. Проміжне положення займає Бердянський

район (54 ум. км) і найбільші показники в Пологівського (61 ум. км) і Василівського (69 ум. км) районів з їх значними відстанями центрів громад від райцентру [2].

Важливим для характеристики системи розселення регіонів представляється виявлення значення адміністративних центрів. Його можна оцінити індексом лідерства, який визначається відношенням кількості населення адміністративного центру до суми кількості населення чотирьох наступних за рангом міських поселень досліджуваної території [10]. Однак, на наш погляд, для мікрорегіонального рівня доцільним буде визначення індексу лідерства адміністративних центрів у вигляді відношення населення адміністративного центру до суми кількості населення всіх інших населених пунктів району. Такий показник дозволяє уявити вплив адміністративного центру на урбанізаційні процеси району.

Розрахунки індексу лідерства адміністративних центрів Запорізької області свідчать, що цей показник по районах коливається в досить широких межах від 0,08 до 5,5 (табл. 1). Найвищий показник цього індексу, звичайно, характерний для Запорізького району. Інші райони значно відстають від нього, так лише два з них мають індекс дещо вище за одиницю – Мелітопольський (1,1) і Бердянський (1,5). Дуже низькі показники індексу виявляються в Василівського (0,08) та Пологівського (0,1) районів. Таке положення пояснюється як невеликою людністю їх адміністративних центрів, так і відносно великою кількістю населення районів.

Ступінь рівномірності розподілу населення по території достатньо яскраво відображає індекс концентрації населення, що відображає співвідношення частки населення з часткою площі (формула 5). При цьому його значення більше 20 % свідчить про нерівномірність розміщення населення. Для Запорізької області індекс концентрації населення складає 34 %, це виявляє значну нерівномірність розташування населення по території, що пояснюється та підтверджується також індексами концентрації населення (формула 6) його адміністративних районів (табл. 2).

Як свідчать розрахунки (табл. 2), на території Запорізької області лише Запорізький район має додатний показник індексу концентрації населення, який складає 34 %. Тобто його населення значно перевищує теоретично ідеальний рівномірний розподіл населення, коли на 1 % площі приходить 1 % населення. Таке перевищення пояснюється розташуванням тут обласного центру, в якому мешкає 43 % жителів області.

Найменший показник індексу концентрації населення (-15 %) характерний для Пологівського району, це пов'язано зі значною площею району

Індекс концентрації населення адміністративних районів Запорізької області станом на 01.01.2021 р. /
Population concentration index of administrative districts of Zaporizhzhia region as of January 1, 2021

Район	Площа (тис. км ²)	Населення (тис. осіб)	Частка площі (%)	Частка на- селення (%)	Індекс концен- трації насе- лення (%)	Індекс розсе- лення на- селення
Бердянський	4,46	179,1	16	11	-5	0,7
Василівський	4,39	184,2	16	11	-5	0,7
Запорізький	4,6	855,3	17	51	34	3
Мелітопольський	6,96	280,8	26	17	-9	0,65
Пологівський	6,76	167,1	25	10	-15	0,4

(друге місце в області) і найменшою кількістю населення у зв'язку з відсутністю тут значних за людністю міських поселень. Дещо вищі, але також від'ємні, значення цього індексу спостерігаються в Бердянського (-5 %), Василівського (-5 %) і Мелітопольського (-9 %) районів, що обумовлено наявністю в кожному з них одного середнього або великого міста. Однак людність цих міст значно поступається Запоріжжю, тому у порівнянні з площею районів їх загальний індекс концентрації населення нижчий за теоретично ідеальний рівномірний розподіл населення.

Розрахунки індексу розселення (формула 7) надають схожі результати. Запорізький район з показником індексу 3 у тричі перевищує теоретично рівномірний характер розселення населення (табл. 2). Індекс інших районів, нижчий за одиницю, свідчить про концентрацію населення нижче рівномірного. Так, індекси Бердянського (0,7), Василівського (0,7) та Мелітопольського (0,65) районів позначають відносно незначне зниження концентрації населення, доволі близьке до теоретично рівномірного. Натомість індекс розселення Пологівського району (0,4) виявляє дуже знижену концентрацію населення на його території.

На території Запорізької області розташовано 36 населених пунктів міського типу, тобто вони складають лише 3,8 % від загальної кількості населених пунктів області.

Найбільшими містами Запорізької області є обласний центр – Запоріжжя (722 713 осіб), Мелітополь (150 768 осіб) і Бердянськ (107 928 осіб). До категорії середніх за людністю міст відносяться лише Енергодар (52 887 осіб). Групу малих складають 10 міст, з яких більше 30 тис. жителів має лише Токмак (30 132 особи); вісім міст нараховують від 10 до 20 тис. жителів, а саме – Василівка (12 771 особа), Дніпрорудне (18 036 осіб), Вільнянськ (14 583 осіб), Гуляйполе (13 070 особи), Кам'янка-Дніпровська (12 332 особи), Орхів (14 136 осіб), Пологи (18 396 осіб), Приморськ (11 397 осіб); в одному місті мешкає навіть менш 10 тис. жителів – Молочанськ (6 224 особи) [19].

Розподіл міських поселень по території області демонструє їх нерівномірність. Так, в Запорізькому районі розташовано 9 міських поселень, зокрема тут знаходиться адміністративний центр області – м. Запоріжжя, що за людністю відноситься до категорії найбільших, одне невелике місто та сім СМТ. В Пологівському районі також налічується 9 міських поселень, але з них п'ять невеликих міст і чотири СМТ, внаслідок чого загальна кількість міського населення у п'ять разів менша за Запорізький район.

В Мелітопольському районі знаходиться 7 міських поселень, з яких одне велике місто та шість СМТ. У Василівському районі теж розташовано 7 міських поселень – чотири міста, з яких одне з категорії середніх за людністю і три малих та три СМТ, але його міське населення в 1,6 разів менше за Мелітопольський район. Найменшою кількістю міських поселень відрізняється Бердянський район, де знаходиться одне велике і одне мале місто та два СМТ. При цьому за рахунок наявності великого міста кількість міського населення тут перевищує і Василівський і Пологівський райони.

Міське населення області станом на 01.01.2021 р. складає 1 291,1 тис. осіб, тобто рівень урбанізації дорівнює 77,4 %, він майже на 8 % перевищує середній по Україні (69,6 %).

Якщо роздивлятися урбанізованість за класичним підходом, що визначається відсотком або часткою міських жителів у населенні району, то можна спостерігати певну диференціацію районів Запорізької області. Виявляються райони з високим відсотком міських жителів, а саме Запорізький, Бердянський, Мелітопольський (табл. 3), де він коливається від 66,4 до 89,7 %, що в порівнянні з даним показником по Запорізької області в цілому – 77,4 %, наближається або перевищує його середнє значення. Однак порівнюючи ці райони між собою виявляється недостатня репрезентативність рівня урбанізації за часткою міських жителів. А саме різниця між Запорізьким районом (89,7 %) з найбільшим містом – обласним центром і Бердянським (71,3 %), з містом Бер-

дьянськ, яке за численністю знаходиться на нижчій межі великих міст, сягає лише 19,4 %.

Також, згідно з показником частки міського населення різниця між Мелітопольським (66,4 %), де розташоване місто Мелітополь (150,7 осіб), яке відноситься до категорії великих і Василівським (62,5 %) складає лише 4 %. Хоча з чотирьох міст Василівського району лише м. Енергодар відноситься до середніх за численністю міст, населення інших не перевищує 20 тис. осіб (табл. 3, рис. 3).

Районом з найменшим показником частки міських жителів є Пологівський (56,7 %). Міські населені пункти даного району представлені

п'ятьма дуже маленькими містами, населення яких не перевищує 20 тис. осіб і чотири СМТ. Взагалі, не зважаючи на те, що кількість населених пунктів міського типу (9 пунктів) тут одна з найвищих в області, загальна кількість міського населення в цьому районі (94,7 тис. осіб) найнижча в області. При цьому, кількість міського населення Пологівського району майже вдвічі менша за Мелітопольський район, однак показник урбанізованості між ними відрізняється лише на 10 %.

Результати розрахунків визначення рівня урбанізованості районів Запорізької області за іншими підходами контрастують з класичною методикою. Вони відрізняються значно більшою, іноді

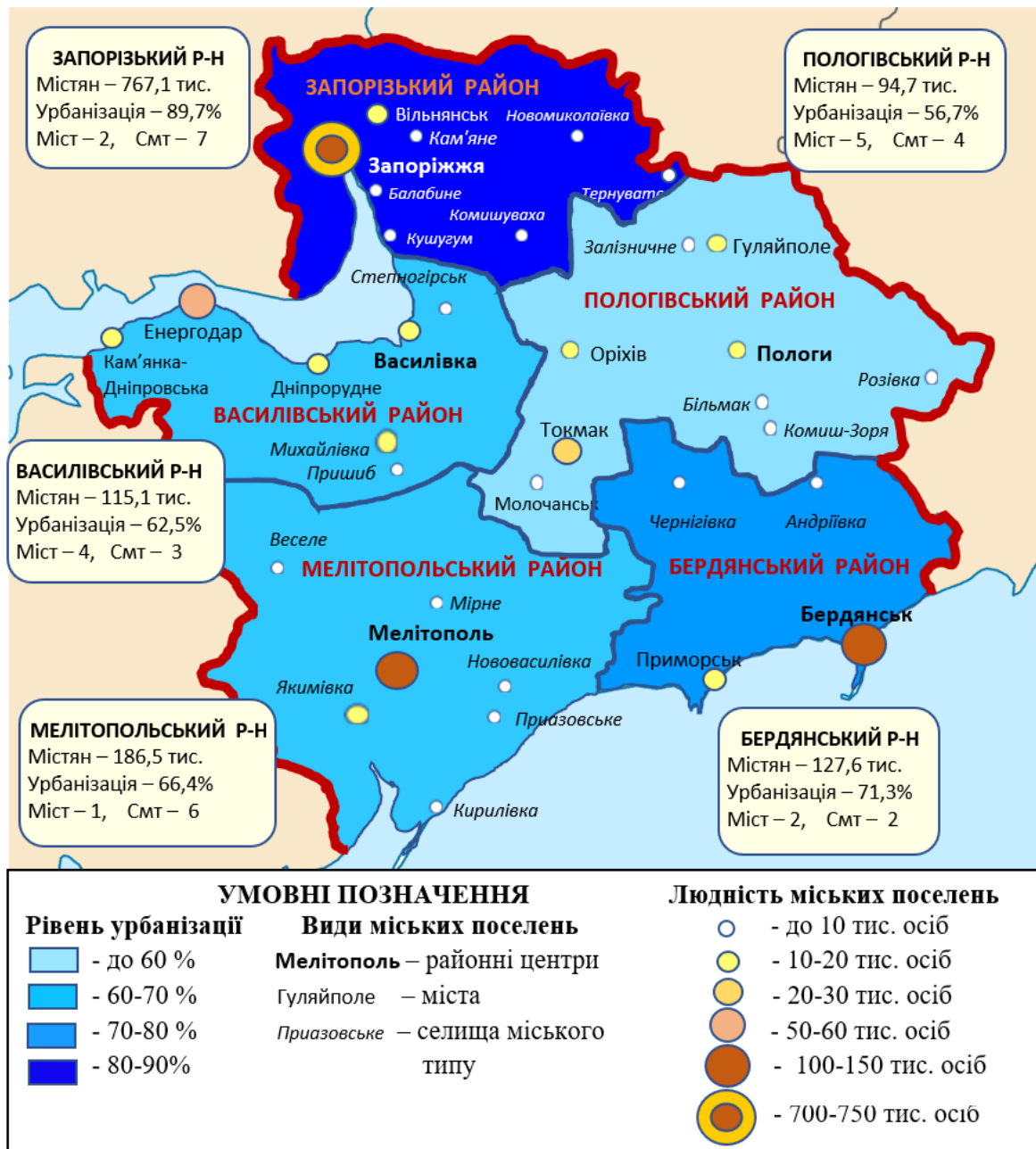


Рис. 3. Рівень урбанізації адміністративних районів Запорізької області за часткою населення станом на 01.01.2021 р. /

Fig. 3. Urbanization level of administrative districts of Zaporizhzhia region by share of the population as of January 1, 2021

Показники міської системи розселення Запорізької області станом на 01.01.2021 р /
Indicators of the urban resettlement system of Zaporizhzhia region as of January 1, 2021

Район	Міське населення (тис. осіб)	Рівень урбанізації за часткою населення	Рівень урбанізації за ф-лою Терещенка	Рівень урбанізації за ф-лою Арріага	Площинний коефіцієнт урбаніз.
Бердянський	127,6	71,3%	0,47	92,9	20,82
Василівський	115,1	62,5%	0,24	73	17,02
Запорізький	767,1	89,7%	0,85	703,3	150,45
Мелітопольський	186,5	66,4%	0,43	125,4	17,7
Пологівський	94,7	56,7%	0,13	55,1	8,15

навіть гіпертрофованою, диференціацією і поляризацією районів.

Високою контрастністю відрізняються показники рівня урбанізації за методикою О. Терещенка (формула 8). Ця методика за рахунок використання вагових коефіцієнтів надає класичному підходу ієрархічну змістовність. Вона диференціює значення для оцінки урбанізованості регіону міських поселень за людністю, що впливає на їх соціально-економічний та культурно-політичний потенціал.

Лідруюче положення за формулою О. Терещенка залишаються за Запорізьким районом з показником 0,85. Проміжне положення належить Бердянському (0,47) і Мелітопольському (0,43) районам. При цьому, показник Запорізького району перевищує Мелітопольський майже у 2 рази, а Бердянського – в 1,9 рази, тоді як за класичним підходом різниця між ними дорівнює лише 1,3 та 1,2 рази відповідно. Тобто цей підхід збільшує значення найбільшого за численністю міста (Запоріжжя) порівняно з великими містами (Мелітополь і Бердянськ), але такими, що знаходяться близько до нижчої межі цієї групи міст (табл. 3, рис. 4).

До районів з найнижчими показниками рівня урбанізації за формулою О. Терещенка відносяться Василівський (0,24) і Пологівський (0,13) райони. Розбіжність мінімального показника Пологівського району з максимальним Запорізького складає 6,9 разів на відміну від аналогічної різниці за класичним підходом в 1,6 рази. Також більш адекватною видається розбіжність Пологівського району з районами з проміжними показниками, що складає 3,6 рази з Бердянським і 3,3 рази з Мелітопольським районами на відміну від різниці в 1,2 рази за часткою населення (табл. 3, рис. 4).

За розрахунками індексу урбанізованості Арріага (формула 9) в Запорізькій області лідер залишається незмінним – Запорізький район з найбільшим містом (табл. 3). Спостерігається дуже великий відрив індексу урбанізованості Запорізького району від найближчих до нього Меліто-

польського та Бердянського, він перевищує їх відповідно у 5,6 і 7,6 рази (табл. 3).

Проміжне місто за індексом урбанізованості Арріага посідають Мелітопольський і Бердянський райони. При цьому, показник Мелітопольського району приблизно в 1,3 рази перевищує Бердянський район, хоча за часткою міського населення він навпаки відставав. Це пояснюється різницею в численності населення головних міст районів. В порівнянні з класичним підходом різниця між Мелітопольським і Василівським районами збільшилась до 1,7 рази. За класичним підходом ця різниця складає лише 4 %.

Найнижчі показники індексу урбанізованості Арріага в Запорізькій області характерні для Василівського і Пологівського районів. Також спостерігається їхня величезна розбіжність порівняно з районом лідером, перевищення максимального показника над мінімальним сягає 12,8 разів, що порівняно з класичним підходом – в 1,6 разів, відрізняється значно більшою контрастністю відображення існуючих реалій урбанізації.

Для відображення територіальних аспектів системи міського розселення районів області доцільно використовувати площинний (територіальний) коефіцієнт урбанізованості, який коригує індекс урбанізованості Арріага з урахуванням площі території адміністративних одиниць (формула 10).

Розрахунки площинного коефіцієнту урбанізованості для Запорізької області показали, що його значення по районах коливається від 8,15 до 150,45 (табл. 3). Найнижчий показник характерний для Пологівського району з його великою площею і найменшою кількістю міського населення в області.

Проміжні показники від 17,02 до 20,82 мають Бердянський, Мелітопольський і Василівський райони. Близькість показників Мелітопольського (17,7) і Василівського (17,02) районів пояснюється значно меншою площею Василівського району і, відповідно, зростанням концентрації його відносно меншого міського населення.

Аналіз міської системи розселення Запорізь-

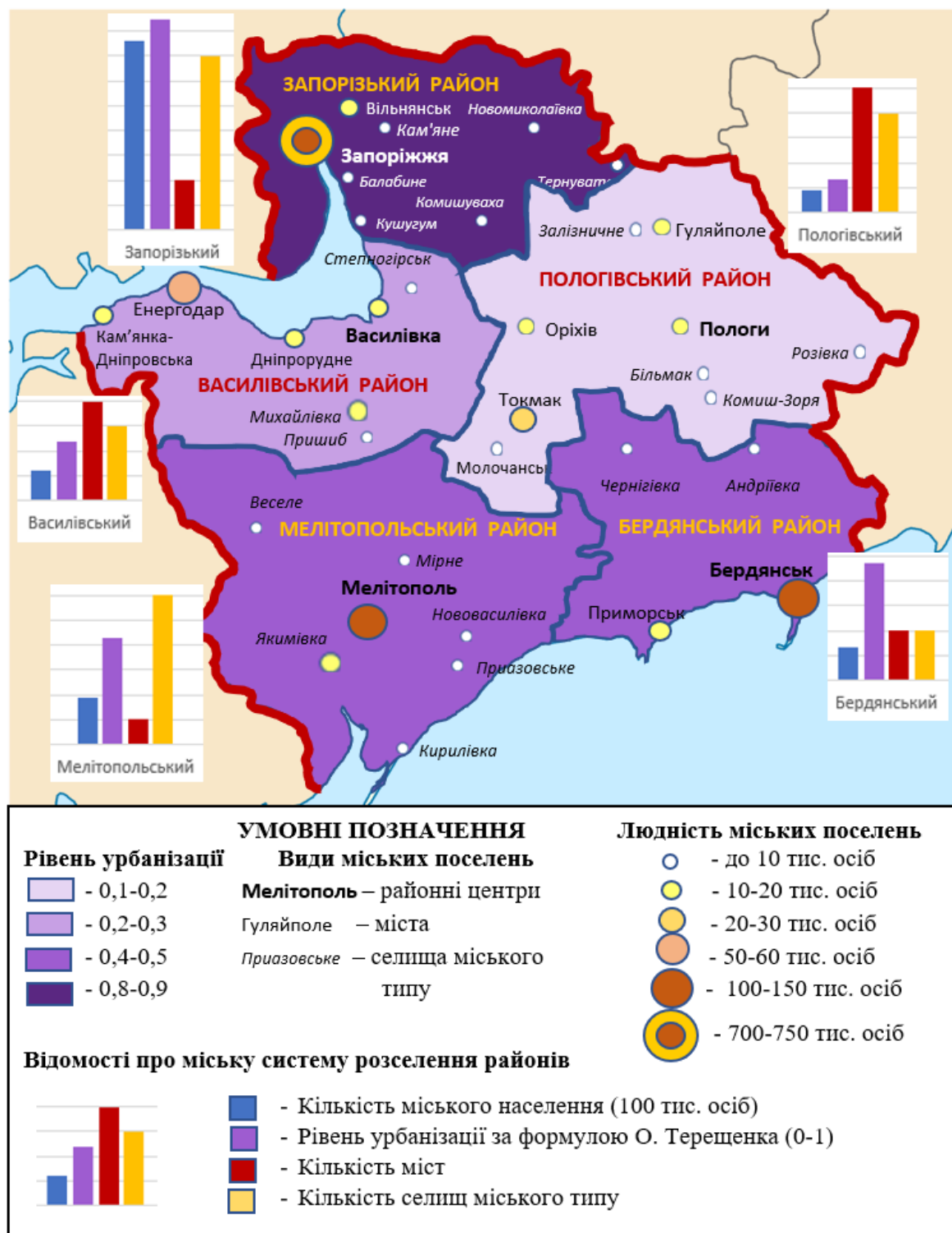


Рис. 4. Рівень урбанізації адміністративних районів Запорізької області за формулою О. Терещенка станом на 01.01.2021 р. /

Fig. 4. Urbanization level of administrative districts of Zaporizhzhia region according to O. Tereshchenko's formula as of January 1, 2021

кої області з використанням ієрархічних підходів в порівнянні із «часткою міського населення» дозволяє не тільки враховувати одну із важливих її особливостей – диференційований вплив міст за людністю, але і виявляти в значно більшій мірі регіональні відмінності рівня урбанізації. Це пов'язано з тим, що кардинально зростає контрастність

показників регіонів за даними підходами відносно класичного показника (рис. 5).

На території Запорізької області розташовано 914 населених пунктів сільського типу. Це переважаючий за кількістю тип поселень області. Вони складають 96,2 % від загальної кількості населених пунктів. Розподіл сільських поселень по

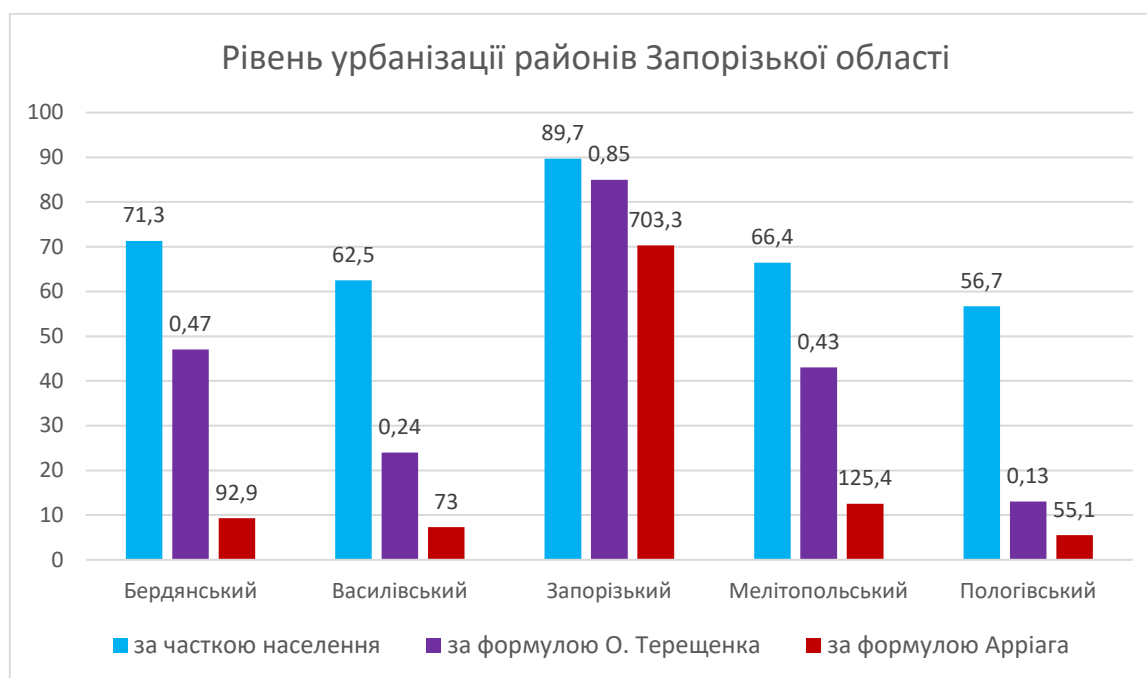


Рис. 5. Рівень урбанізації адміністративних районів Запорізької області за часткою населення, за формулою О. Терещенка, за формулою Е. Арріага станом на 01.01.2021 р. /

Fig. 5. Urbanization level of the administrative districts of Zaporizhzhia region by the share of the population, according to the formula of O. Tereshchenko, according to the formula of E. Arriaga, as of January 1, 2021

адміністративним районам області відрізняється значною нерівномірністю. Найбільша їх кількість розташована на території Запорізького (274 поселення) і Пологівського (231 поселення) районів. В той же час в Василівському районі знаходиться лише 99 сільських поселень та в Бердянському – 109. Тобто їх максимальна і мінімальна кількість за районами відрізняється у 2,8 рази. Мелітопольський район з показником у 201 сільське поселен-

ня займає проміжне положення.

Сільське населення області станом на 01.01.2021 р. дорівнює 375,4 тис. осіб, що складає лише 22,5 % від загального населення області (табл. 4). Тобто незважаючи на велику кількість сільських поселень в області в них мешкає менше за одну чверть населення. При цьому, розподіл сільського населення по районах області досить нерівномірний.

Таблиця 4

Показники сільської системи розселення Запорізької області станом на 01.01.2021 р.
Indicators of the rural resettlement system of Zaporizhzhia region as of January 1, 2021

Район	Сільське населення (тис. осіб)	Частка сільського населення	Щільність сільського населення (осіб/км ²)	Середня людність сільських поселень (осіб)	Середня густота сільських поселень (пос./тис. км ²)	Середня відстань між сільськими поселеннями (км)
Бердянський	51,5	28,7%	11,5	472	24,2	6,4
Василівський	69	37,5%	16,1	698	23	6,6
Запорізький	88,2	10,3%	19	322	58,3	4,1
Мелітопольський	94,3	33,6%	13,3	469	28,7	5,9
Пологівський	72,4	43,3%	10,7	313	34	5,4
Запорізька область	375,4	22,5%	13,8	411	33,6	5,5

Найбільшою кількістю сільського населення з показником 94,3 тис. осіб відрізняється Мелітопольський район, що складає 33,8 % від загальної кількості населення району. Наближається до нього Запорізький район де мешкає 88,2 тис. селян, однак завдяки наявності на його території дуже великого міста вони складають лише 10,3 %

від населення району. Найменший в області показник численності сільського населення має Бердянський район, тут у сільських поселеннях мешкає лише 51,5 тис. осіб, що відповідає 28,7 % від населення району. Проміжне положення за цим показником займають Василівський (69 тис. осіб) і Пологівський (72,4 тис. осіб) райони. Однак

завдяки відносно невеликій кількості містян в цих районах частка їх сільського населення найбільша в області і дорівнює 37,5 та 43,3 % відповідно (табл. 4, рис. 6).

Середня щільність сільського населення Запорізької області дорівнює 13,8 осіб/км². Цей показник значно поступається показнику загальної щільності населення області (61,3 осіб/км²), однак він точніше відображає реальний розподіл населення по території на відміну від сконцентрованого на обмежених площах міського населення. Оскільки переважна частина сільського населення області зайнята у рослинництві (а не в туристичні галузі), а природні умови на її території приблизно однакові, то і щільність сільського населення за районами відрізняється відносно незначною мірою. Найменша щільність сільського

населення спостерігається в Пологівському (10,7 осіб/км²) і Бердянському (11,5 осіб/км²) районах. Найбільша щільність відмічається у Василівському (16,1 осіб/км²) і Запорізькому (19 осіб/км²) районах. Мелітопольський район (13,3 осіб/км²) за цим показником займає проміжне положення (табл. 4, рис. 6).

Середня людність сільських поселень області складає 411 осіб (табл. 3). Однак їх людність дуже варіює за районами. Найбільша середня людність – 698 осіб, відмічається в сільських поселеннях Василівського району. Значно відстають за цим показником Бердянський (472 особи) і Мелітопольський (469 осіб) райони. Найменшою середньою людністю відрізняються селища Запорізького (322 особи) і Пологівського (313 осіб) районів (рис. 4, рис. 6).

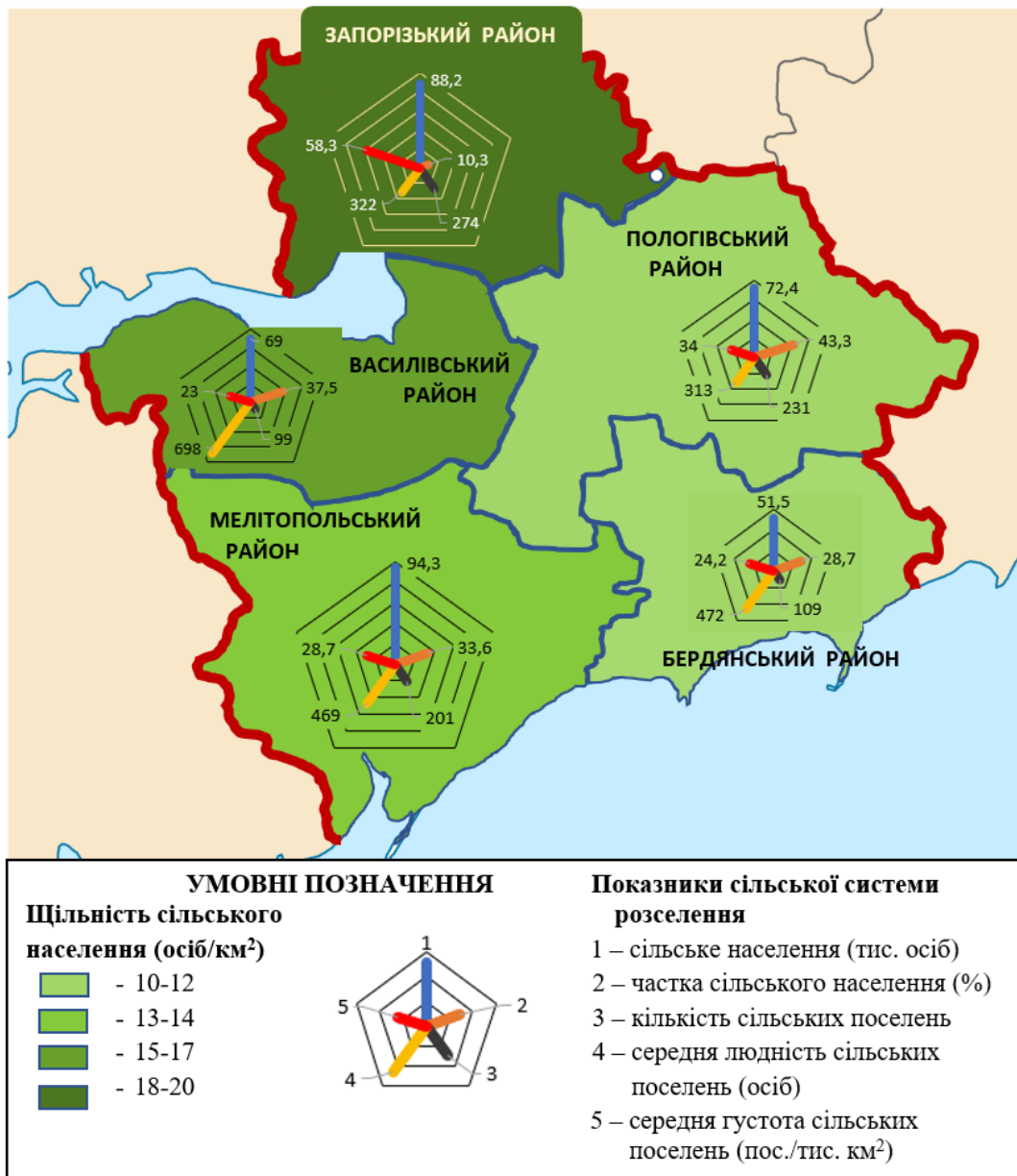


Рис. 6. Сільські системи розселення адміністративних районів Запорізької області станом на 01.01.2021 р. /

Fig. 6. Rural resettlement systems of administrative districts of Zaporizhzhia region as of January 1, 2021

Розташування сільських поселень по території області відображається за показником їх густоти. Внаслідок переважання сільських поселень у загальній кількості населених пунктів їх середня густота мало відрізняється від загального показника. Середня густота сільських поселень Запорізької області складає 33,6 пос./тис. км². Їх розподіл по районах демонструє значну диференціацію. Найбільша густота сільських поселень – 58,3 пос./тис. км² спостерігається в Запорізькому районі. Значно відстає від нього Пологівський район з показником 34 пос./тис. км². Найменша їх густота характерна для Мелітопольського (28,7 пос./тис. км²), Бердянського (24,2 пос./тис. км²) і Василівського (23 пос./тис. км²) районів (рис. 6).

Порівнюючи показники середньої людності і густоти сільських поселень, можна побачити їх зворотну відповідність і взаємозалежність. В Запорізькому і Пологівському районах найменші показники середньої людності сіл, і при цьому найбільша їх кількість і густота. Тобто тут переважають невеликі села. У Василівському районі найбільший показник середньої людності сільських поселень, і відповідно найменший показник їх густоти. Це свідчить про значно більші їх розміри.

Одним з показників, що характеризує особливості розташування поселень, є середня відстань між ними. Для Запорізької області середня відстань між сільськими поселеннями складає 5,5 км (табл. 4). В адміністративних районах області цей показник коливається в межах 4,1-6,6 км, тобто відрізняється на 2,5 км або в 1,6 рази.

Найменша середня відстань між сільськими поселеннями – 4,1 км, спостерігається в Запорізькому районі, де, відповідно, і найбільша їх густота. Найбільші показники середньої відстані характерні для сільських поселень Бердянського (6,4 км) і Василівського (6,6 км) районів. Саме тут відмічається найменша густота сільських населених пунктів. Мелітопольський і Пологівський райони за цим показником займають проміжне положення зі значеннями 5,9 км і 5,4 км відповідно, з якими корелюють їх проміжні показники густоти поселень (табл. 4).

Проведений аналіз свідчить, що районні системи сільських поселень Запорізької області відрізняються достатньо вираженою диференціацією за показниками кількості поселень, їхньої людності і густоти, кількості сільського населення. В той же час різниця між середньою щільністю сільського населення районів, а також відстанню між сільськими поселеннями не на стільки значна. В цілому основні показники сільського розселення районів області мають більш згладжені відмінності ніж аналогічні показники системи міського розселення, що свідчить про відносно

раціональність нового адміністративно-територіального устрою.

На підставі проведених розрахунків можна здійснити типологічне групування нових адміністративних районів Запорізької області за структурою розселення (Рис. 7). Внаслідок такого групування було виділено 2 типи районів: 1) райони з моноцентричною системою розселення; 2) райони з поліцентрично-дисперсною системою розселення [3].

1 тип – райони з моноцентричною системою розселення. До даного типу належать Запорізький, Мелітопольський і Бердянський райони. В них чітко визначаються за розмірами, функціями, що виконують та впливом на систему розселення багатофункціональні районні центри. Даніми центрами є найбільше за людністю місто області – Запоріжжя (722 713 осіб) та великі міста Мелітополь (150 768 осіб) і Бердянськ (107 928 осіб). Тобто в цих райцентрах мешкає більша частина або майже половина населення районів, зокрема в Запоріжжі – 84 % населення району, в Бердянську – 60 %, в Мелітополі – 54 %. Значення даних райцентрів підтверджується і розрахованим індексом лідерства, що має дуже великий показник для Запоріжжя – 5,5 і достатньо значні показники для Бердянська – 1,5 та Мелітополя – 1,1 [3].

Адміністративні центри Запорізького, Бердянського та Мелітопольського районів є головними промисловими центрами та транспортними вузлами не лише районів, але і всієї області. Саме тут зосереджено найбільш потужні промислові підприємства, що визначають спеціалізацію області. Важливими є освітні, медичні та культурні функції зазначених райцентрів. Послугами розташованих в них закладів вищої освіти та медичних закладів користуються не лише мешканці Запорізької області, але і суміжних регіонів.

2 тип – райони з поліцентрично-дисперсною системою розселення. До даного типу відносяться Василівський і Пологівський райони. В цих районах відсутні центри з яскраво вираженими лідируючими позиціями як за людністю, так і за функціями, що вони виконують. Міські поселення цих районів, що є місцевими центрами розселення, переважно відносяться до категорії малих міст, їх населення не перевищує 20 тис. осіб. Виключення складає лише м. Енергодар (52 887 осіб), яке знаходиться на нижній межі середніх за людністю міст [3].

Ці райони не вирізняються наявністю значного промислового потенціалу. Це викликає певні проблеми з зайнятістю населення. Виключення складає лише м. Енергодар, де розташована найбільша атомна електростанція в Україні і потужна теплова електростанція. Заклади вищої освіти в цих районах представлені лише кількома колед-



Рис. 7. Типізація адміністративних районів Запорізької області за структурою системи розселення /

Fig. 7. Typification of administrative districts of Zaporizhzhia region according to the structure of the settlement system

жами. Тому для отримання освітніх послуг мешканці районів виїжджають до інших райцентрів або за межі області. Теж в більшості стосується і наявності розважальних і культурних закладів [3].

Можна констатувати, що адміністративні центри Василівського і Пологівського районів виконують лише адміністративно-управлінські функції, роль яких в умовах децентралізації помітно знижується. Це підтверджується і дуже низькими індексами лідерства райцентрів, що для Полог складає 0,1, а для Василівки дорівнює лише 0,08. Місцевими центрами розселення можна вважати в Василівському районі м. Василівка, м. Дніпро-

рудне і м. Энергодар, в Пологівському районі – м. Пологі, м. Токмак, м. Оріхів, м. Гуляйполе [3].

Висновки та перспективи подальших досліджень. Проведені розрахунки демонструють, що системи розселення адміністративних районів Запорізької області мають виражену просторову диференціацію за основними показниками. Вони суттєво відрізняються за кількістю мешканців, щільністю населення, кількістю населених пунктів, їх густотою, середньою відстанню між ними, щільністю населення, середньою людністю поселень, індексом лідерства адміністративних центрів районів, рівнем урбанізації території за част-

кою міського населення, за ієрархічним методом О.В. Терещенка, за підходом Е. Арріага – як за кількісними показниками населення, так і за особливостями його розташування. Це дещо суперечить задекларованим принципам адміністративно-територіальної реформи.

Виходячи з сучасної структури розселення Запорізької області було здійснено типологічне групування нових адміністративних районів та виділено райони з моноцентричною системою

розселення (Запорізький, Мелітопольський, Бердянський) і райони з поліцентрично-дисперсною системою розселення (Василівський і Пологівський).

Перспективи подальших досліджень пов'язані з більш глибоким суспільно-географічним аналізом і прогнозом процесів розвитку системи розселення в окремих районах і в цілому в Запорізької області після російської агресії і деокупації цієї території.

Список використаної літератури

1. Атлас адміністративно-територіального устрою України. Новий районний поділ та територіальні громади: 2020 / П. Остапенко, Р. Перхалюк, О. Бончковський, С. Остапенко. – Київ, 2020. – 56 с.
2. Байтеряков О. З., Топологічний аналіз автомобільної транспортної доступності території Запорізької області [Текст] / О. З. Байтеряков, В. В. Воронова // Актуальні наукові дослідження в сучасному світі. Журнал. Випуск 12(68). Частина 4. Грудень 2020 р. – Переяслав, 2020. – С. 6-11.
3. Байтеряков О. З. Типізація адміністративних районів Запорізької області за структурою системи розселення [Текст] / О. З. Байтеряков, С. С. Василець // Пріоритети фінансово-економічного управління: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (Одеса, 15 січня 2021 р.). – Одеса: Східноєвропейський центр наукових досліджень, 2020. – С. 13-15.
4. Благова Е. И. Формирование системы расселения субрегионального уровня в условиях интенсивного развития общественного производства (на примере Запорожской обл.): автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геогр. наук: спец. 11.00.02 «Економічна і соціальна географія» [Текст] / Е. И. Благова; Киевский ин-т народного хозяйства. – К., 1990. – 22 с.
5. Гаврилюк О. К. Аналіз підходів оцінки рівня урбанізації: кейс північно-східного макрорегіону України [Текст] / О. К. Гаврилюк // Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: Географічні науки. – Херсон, 2018. Вип. 8. – С. 21-31.
6. Донченко Л. М. Територіальна організація Приморської рекреаційної системи розселення (на прикладі Запорізького Приазов'я): автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геогр. наук: спец. 11.00.02 «Економічна і соціальна географія» [Текст] / Л. М. Донченко; Одеський національний ун-т ім. І.Мечникова. – Одеса, 2002. – 22 с.
7. Доценко А. І. Територіальна організація розселення (теорія та практика: монографія) [Текст] / А. І. Доценко. – К.: Фенікс, 2010. – 529 с.
8. Заваріка Г. М. Трансформація розселення Луганської області: монографія [Текст] / Г. М. Заваріка. – Луганськ: Вид-во «Ноулідж», 2012. – 180 с.
9. Запорізька область. Атлас Адміністративно-територіального устрою області. Управління містобудування та архітектури Запорізької обласної державної адміністрації, 2020 р. – 14 с.
10. Заставецька Л. Б. Системи розселення і геопросторові проблеми вдосконалення адміністративно-територіального устрою України: монографія [Текст] / Л. Б. Заставецька. – Тернопіль: ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2013. – 332 с.
11. Лажнік В. Особливості розвитку сучасних урбанізаційних процесів у Чеській Республіці [Текст] / В. Лажнік, Я. Вовчук // Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Географічні науки. 2013. №16. – С. 101-112.
12. Неліпа К. Г. Трансформація системи розселення запорізької області (суспільно-географічне дослідження): автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геогр. наук: спец. 11.00.02 «Економічна і соціальна географія» [Текст] / К. Г. Неліпа; Київський національний університет імені Тараса Шевченка. – Київ, 2019. – 22 с.
13. Пилипенко І.О. Методи та прийоми розподілу геопростору за ознаками «центр–периферія» [Текст] / І.О. Пилипенко // Економічна та соціальна географія. – 2010. – Вип. 60. – С. 29–37.
14. Регіональні суспільні системи [Текст] / відп. ред. Л.К. Семів. – Львів, 2007. – 496 с.
15. Розподіл постійного населення України за статтю та віком на 1 січня 2021 року [Текст]. – К.: Державна служба статистики України, 2020. 344 с. – Режим доступу: <http://surl.li/acayn>
16. Терещенко О. В. Потенціал городів (методи статистического изучения): монографія [Текст] / О. В. Терещенко. – Новосибірськ: Новосиб. університет, 1991. – 174 с.
17. Топчієв О. Г. Основи суспільної географії [Текст] / О. Г. Топчієв. Одеса: Астропринт, 2001. – 560 с.
18. Фізична географія Запорізької області: Хрестоматія [Текст] / Відп. ред. Л.М. Даценко. – Мелітополь: Вид-во МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2014. – 200 с.
19. Численність наявного населення України на 1 січня 2021 року. Статистичний збірник [Текст]. – К.: Державна служба статистики України, 2020. – 48 с. – Режим доступу: <http://surl.li/acayr>
20. Шаблій О. І. Суспільна географія: теорія, історія, українознавчі студії [Текст] / О. І. Шаблій. – Львів: Львівський національний університет ім. І. Франка, 2001. – 744 с.

21. Chen Y.G. The evolution of Zipf's law indicative of city development / Y.G. Chen // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* – 2016 – 44 – P. 555–567. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2015.09.083>
22. Dong N. A novel method for simulating urban population potential based on urban patches: A case study in Jiangsu Province, China / N. Dong, X. Yang, H. Cai, L. Wang // *Sustainability* – 2015 – 7 (4) – P. 3984–4003. <https://doi.org/10.3390/su7043984>
23. Fee K. *Urban Growth and Decline: The Role of Population Density at the City Core* / K. Fee, D. Hartley. – Cleveland, OH: Federal Reserve Bank of Cleveland, 2011. – Режим доступу: <http://surl.li/blyrd>
24. Feng J. Spatial Restructuring of Population in Beijing Metropolitan Area towards Polycentricity in the Post-Reform Era / J. Feng, F.H. Wang, Y.X. Zhou // *Urban Geography* – 2009 – 30 – P. 779–802. <https://doi.org/10.2747/0272-3638.30.7.779>
25. Feng J. Modeling. Urban Growth and Socio-Spatial Dynamics of Hangzhou, China: 1964–2010. / J. Feng, Y. Chen // *Sustainability* – 2021 – 13 – 463. <https://doi.org/su13020463>
26. Gallego F.J. A population density grid of the European Union / F.J. Gallego // *Popul. Environ.* – 2010. – 31 – P. 460–473. – Режим доступу: <https://www.jstor.org/stable/40666610>
27. Knox Paul L. *Urban social geography: an introduction* [Текст] / Paul Knox, Steven Pinch. 6th ed., 2009. – 392 p.
28. Knox Paul L. *Urbanization: an introduction to urban geography* [Текст] / Paul L. Knox, Linda M. McCarthy. – Pearson; 3rd edition, 2011. – 480 p.
29. Luo P. Modeling population density using a new index derived from Multi-Sensor Image Data / P. Luo, X.F. Zhang, J.Y. Cheng, Q. Sun. // *Remote Sens* – 2019 – 11(22) – 2620. <https://doi.org/10.3390/rs11222620>
30. Man X.M. Fractal-based modeling and spatial analysis of urban form and growth: A case study of Shenzhen in China / X.M. Man, Y.G. Chen // *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* – 2020 – 9 (11) – 672. <https://doi.org/10.3390/ijgi9110672>
31. Mariani F. Population Matters: Identifying Metropolitan Sub-Centers from Diachronic Density-Distance Curves, 1960–2010 / F. Mariani, H. Zambon, L. Salvati // *Sustainability* – 2018 – 10 – 4653. <https://doi.org/10.3390/su10124653>
32. Moghadam A.S. Analysing the space-time dynamics of urban structure change using employment density and distribution data. / A.S. Moghadam, A. Soltani, B. Parolin, M. Alidadi // *Cities* – 2018 – 81 – P. 203–213. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.04.009>
33. Niemets L. Demographic situation as an indicator of socio-economic development (on example of Volyn and Kharkiv regions of Ukraine) [Текст] / L. Niemets, M. Melniichuk, K. Segida, T. Pogrebyski // *Acta Geographica Silesiana*, 22. WNoZ UŚ, Sosnowiec, 2016 – P. 43-57.
34. Niemets L. Regional settlement system as a factor of distribution of health care institutions (on example of Volyn region of Ukraine) [Текст] / L. Niemets, K. Niemets, K. Segida, T. Pogrebyski // *Canadian Journal of Science, Education and Culture*. – № 1. (5) (January-June). – Volume II. – Toronto: «Toronto Press», 2014. – P. 185-190.
35. Ofori-Amoah Benjamin. Beyond the Metropolis: Urban Geography as if Small Cities Mattered [Текст] / Benjamin Ofori-Amoah. – UPA, 2006. – 378 p.
36. Polinesi G. Population trends and urbanization: Simulating density effects using a local regression approach / G. Polinesi, M.C. Recchioni, R. Turco, L. Salvati, K. Rontos, J. Rodrigo-Comino, F. Benassi // *Int. J. Geo-Inf.* – 2020 – 9 – 454. <https://doi.org/10.3390/ijgi9070454>
37. Qiang Y. The shapes of US cities: Revisiting the classic population density functions using crowdsourced geospatial data / Y. Qiang, J.W. Xu, G.H. Zhang // *Urban Stud.* – 2020 – 57 – P. 2147–2162. <https://doi.org/10.1177/0042098019871191>
38. Ren H. Population Density and Spatial Patterns of Informal Settlements in Nairobi, Kenya / H. Ren, W. Guo, Z. Zhang, L.M. Kisovi, P. Das // *Sustainability* 2020 – 12 – 7717. <https://doi.org/10.3390/su12187717>
39. Roberts B.H. *Changes in Urban Density: Its Implications on the Sustainable Development of Australian Cities* / B.H. Roberts // *SOAC* – 2007. – Режим доступу: <http://surl.li/blvsa>
40. Rozenfeld H.D. The area and population of cities: New insights from a different perspective on cities / H.D. Rozenfeld, D. Rybski, X. Gabaix, H.A. Makse // *American Economic Review* – 2011 – 101 (5) – P. 2205–2225. – Режим доступу: <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/aer.101.5.2205>
41. Shapiro Michael J. *The time of the city: politics, philosophy and genre* [Текст] / Michael J. Shapiro. – Routledge; 1st edition, 2010. – 232 p.
42. Song X. Impacts of changing urban land-use structure on sustainable city growth in China: A population-density dynamics perspective / X. Song, Q. Feng, F. Xia, X. Li, J. Scheffrand // *Habitat International* – Volume 107 – January 2021 – 102296. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2020.102296>

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Spatial analysis of the settlement system of Zaporizhia region

Oleg Baiteriakov¹,

PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Geography and Tourism,
¹Bohdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University,
59 Naukove mistechko, Zaporizhzhia, 69000, Ukraine;

Iryna Arsenenko¹,

PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Geography and Tourism;

Larisa Donchenko¹,

PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Geography and Tourism

ABSTRACT

Formulation of the problem. In 2020, there were some radical changes that took place in the administrative and territorial structure of Zaporizhia region; as a result, 5 new administrative districts were created on its territory instead of 20 previous ones, which significantly affected the structure of the regional settlement system. Therefore, the question arises about the study of the settlement system of the region in the new socio-geographical realities.

The purpose of the article. The purpose of the article consists in identification of the current state and spatial differences of the system of settlement of the territory of Zaporizhia region after the reform of the administrative and territorial structure.

Methods. The study used methods for calculating quantitative and relative indicators of the state of urban and rural settlement systems, the comparative analysis of the assessment results, as well as methods for typing administrative districts according to the structure of the settlement system.

Results. For each new district of the region, there were calculated the following indicators: the population density, population concentration index, the average population density of settlements, the average density of settlements, the average distance between them, the leadership index of the administrative centers of the districts, the level of urbanization of the territory by the share of the urban population, according to the hierarchical method of O. Tereshchenko and according to E. Arriaga's approach. According to these indicators, the spatial differences in the settlement system of the administrative districts of the region were revealed. Differentiation of the system of urban settlements of the administrative districts of the region significantly exceeds the contrast of the average general indicators of the system of settlement of districts. This is especially evident when using hierarchical approaches to determine the level of urbanization. The district systems of rural settlements in Zaporizhia region have smoother differences in terms of similar indicators in comparison with the systems of urban settlement, which indicates the relative rationality of the new administrative-territorial structure. Based on the calculations, a typological grouping of the new administrative districts of Zaporizhia region according to the modern structure of settlement was carried out. As a result of this grouping, 2 types of districts were singled out: 1) districts with a monocentric settlement system; these include Zaporizhia, Melitopol and Berdyansk districts (they are clearly distinguished by the size, functions performed and the impact on the settlement system of multifunctional regional centers); 2) districts with a polycentric dispersed settlement system, these include Vasilievsky and Pologovsky districts (in these districts there are no centers with strongly marked leading positions both in terms of population and functions performed).

Scientific novelty and practical significance. For the first time, there was carried out an assessment of the settlement system of the new administrative districts of Zaporizhia region; the spatial differences of the settlement system were revealed according to various indicators.

The data obtained can be used to optimize the territorial management of the region, to predict its further development and to work out strategies for socio-economic development.

Keywords: settlement system, gender and age structure of the population, administrative region, population density, population density of the territory, population size of settlements, leadership index of administrative centers, level of urbanization.

References

1. Ostapenko, P., Perkhaliuk, R., Bonchkovskiy O., & Ostapenko, S. (2020). *Atlas administratyvno-terytorialnoho ustroiu Ukrainy. Novyi raionnyi podil ta terytorialni hromady: 2020*. [Atlas of administrative-territorial organization of Ukraine. New district division and territorial communities: 2020]. Kyiv, Ukraine. [in Ukrainian].
2. Baiteriakov, O. Z., & Voronova, V. V. (2020). *Topolohichnyi analiz avtomobilnoi transportnoi dostupnosti terytorii Zaporizkoi oblasti*. [Topological analysis of road transport accessibility of the territory of Zaporizhia region]. *Aktualni naukovi doslidzhennia v suchasnomu sviti. Zhurnal*. 12(68). Pereiaslav, Ukraine, 6-11. [in Ukrainian].
3. Baiteriakov, O. Z., & Vasylets, Ye. S. (2020). *Typizatsiia administratyvnykh raioniv Zaporizkoi oblasti za strukturoiu systemy rozselennia*. [Typification of administrative districts of Zaporizhia region according to the structure of the settlement system]. *Priorytety finansovo-ekonomichnoho upravlinnia: Materialy Mizhnarodnoi naukovykh doslidzhen konferentsii (13-15)*. Odesa, Ukraine: *Skhidnoievropeyskyi tsentr naukovykh doslidzhen*. [in Ukrainian].
4. Blahova, E. Y. (1990). *Formyrovanye systemy rasseleniya subrehyonalnoho urovnia v uslovyiakh yntensyvnogo rozvytyia obshchestvennoho proyzvodstva (na prymere Zaporozhskoi obl.)*. [Formation of the system of settlement of the subregional level in the conditions of intensive development of social production (on the example of Zaporizhia

- region)]. (Extended abstract of PhD dissertation). Kyevskiy universytet narodnoho khoziaistva, Kyiv, Ukraine. [in Russian].
5. Havryliuk, O. K. (2018). *Analiz pidkhodiv otsinky rivnia urbanizatsii : keis pivnichno-skhidnoho makrorehionu Ukrainy*. [Analysis of approaches to assessing the level of urbanization: the case of the north-eastern macro-region of Ukraine]. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu. Seriya: Heohrafichni nauky*, 8, 21-31.
 6. Donchenko, L. M. (2002). *Terytorialna orhanizatsiia Prymorskoï rekreatsiinoï systemy rozselennia (na prykladi Zaporizkoho Pryazovia)*. [Territorial organization of the Primorye recreational settlement system (on the example of Zaporizhia Priazovye)]. (Extended abstract of PhD dissertation). *Odeskyyi natsionalnyi universytet imeni I. Mechnykova, Odesa, Ukraine*. [in Ukrainian].
 7. Dotsenko, A. I. (2010). *Terytorialna orhanizatsiia rozselennia (teoriia ta praktyka: monohrafiia)*. [Territorial organization of settlement (theory and practice: monograph)]. Kyiv, Ukraine. [in Ukrainian].
 8. Zavarika, H. M. (2012). *Transformatsiia rozselennia Luhanskoï oblasti: monohrafiia*. [Transformation of settlement of Luhansk region: monograph] Luhansk, Ukraine: Noulidzh. [in Ukrainian].
 9. Zaporizka oblast (2020). *Atlas Administratyvno-terytorialnoho ustroiu oblasti*. [Zaporizhia region. Atlas of the Administrative and Territorial System of the region]. *Upravlinnia mistobuduvannia ta arkhitektury Zaporizkoi oblasnoi derzhavnoi administratsii*. [in Ukrainian].
 10. Zastavetska, L. B. (2013). *Systemy rozselennia i heoprostorovi problemy vdoskonalennia administratyvno-terytorialnoho ustroiu Ukrainy: monohrafiia*. [Settlement systems and geospatial problems of improving the administrative-territorial structure of Ukraine: monograph]. Ternopil, Ukraine: TNPU im. V. Hnatiuka. [in Ukrainian].
 11. Lazhnik, V., & Vovchuk, Ya. (2013). *Osoblyvosti rozvytku suchasnykh urbanizatsiinykh protsesiv u Cheskii Respublitsi*. [Peculiarities of development of modern urbanization processes in the Czech Republic]. *Naukovyi visnyk Skhidnoevropeiskoho natsionalnoho universytetu imeni Lesi Ukrainky. Heohrafichni nauky*, 16, 101-112.
 12. Nelipa, K. H. (2019). *Transformatsiia systemy rozselennia Zaporizkoï oblasti (suspilno-heohrafichne doslidzhennia)*. [Transformation of the settlement system of Zaporizhia region (socio-geographical study)]. (Extended abstract of PhD dissertation). *Kyivskyyi natsionalnyi universytet imeni Tarasa Shevchenka*. Kyiv, Ukraine. [in Ukrainian].
 13. Pylypenko, I. O. (2010). *Metody ta pryiony rozpodilu heoprostoru za oznakamy «tsentr-peryferiia»*. [Methods and techniques of geospatial distribution on the grounds of «center-periphery»]. *Ekonomichna ta sotsialna heohrafiia*, 60, 29–37. [in Ukrainian].
 14. Semiv, L. K. (Eds.). (2007). *Rehionalni suspilni systemy*. [Regional social systems]. Lviv, Ukraine. [in Ukrainian].
 15. *Rozpodil postinoho naseleння Ukrainy za stattiu ta vikom na 1 sichnia 2021 roku*. [Distribution of the permanent population of Ukraine by sex and age as of January 1, 2021]. Kyiv, Ukraine: *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy*. Retrieved from <http://surl.li/acayn> [in Ukrainian].
 16. Tereshchenko, O. V. (1991). *Potentsyal horodov (metody statystycheskoho yzuchennia): monohrafiia*. [Potential of cities (methods of statistical study): monograph]. Novosybyrsk: Novosyb. unyversytet. [In Russian].
 17. Topchiiev, O. H. (2001). *Osnovy suspilnoi heohrafiï*. [Fundamentals of social geography]. Odesa, Ukraine: *Astroprynt*. [in Ukrainian].
 18. Datsenko, L. M. (Eds.). (2014). *Fizychna heohrafiia Zaporizkoï oblasti: Khrestomatiia*. [Physical geography of Zaporizhia region]. Melitopol, Ukraine: *Vyd-vo MDPU im. B. Khmelnytskoho*. [in Ukrainian].
 19. *Chyslennist naiavnoho naseleння Ukrainy na 1 sichnia 2021 roku*. *Statystychnyi zbirnyk*. [The current population of Ukraine as of January 1, 2021]. Kyiv, Ukraine: *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy*. Retrieved from <http://surl.li/acayr>
 20. Shablii, O. I. (2001). *Suspilna heohrafiia: teoriia, istoriia, ukrainoznavchi studii*. [Social geography: theory, history, Ukrainian studies]. Lviv, Ukraine: *Lvivskyyi natsionalnyi universytet im. I. Franka*. [in Ukrainian].
 21. Chen Y.G. (2016). *The evolution of Zipf's law indicative of city development*. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 44. 555–567. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2015.09.083>
 22. Dong, N., Yang, X., Cai, H. & Wang, L. (2015). *A novel method for simulating urban population potential based on urban patches: A case study in Jiangsu Province, China*. *Sustainability*. 7(4). 3984–4003. <https://doi.org/10.3390/su7043984>
 23. Fee, K. & Hartley, D. (2011). *Urban Growth and Decline: The Role of Population Density at the City Core*. Cleveland, OH: *Federal Reserve Bank of Cleveland*. <http://surl.li/blyrd>
 24. Feng, J., Wang, F.H. & Zhou, Y.X. (2009). *Spatial Restructuring of Population in Beijing Metropolitan Area towards Polycentricity in the Post-Reform Era*. *Urban Geography*. 30. 779–802. <https://doi.org/10.2747/0272-3638.30.7.779>
 25. Feng, J. & Chen, Y. (2021). *Modeling Urban Growth and Socio-Spatial Dynamics of Hangzhou, China: 1964–2010*. *Sustainability*. 13. 463. <https://doi.org/su13020463>
 26. Gallego, F.J. (2010). *A population density grid of the European Union*. *Popul. Environ*. 31. 460–473. <https://www.jstor.org/stable/40666610>
 27. Knox, Paul L., & Pinch, Steven (2009). *Urban social geography: an introduction*. 6th ed.
 28. Knox, Paul L., & McCarthy, Linda M. (2011). *Urbanization: an introduction to urban geography*. Pearson; 3rd edition.
 29. Luo, P., Zhang, X.F., Cheng, J.Y. & Sun Q. *Modeling population density using a new index derived from Multi-Sensor Image Data*. *Remote Sens*. 11(22). 2620. <https://doi.org/10.3390/rs11222620>
 30. Man, X.M. & Chen, Y.G. (2020). *Fractal-based modeling and spatial analysis of urban form and growth: A case study of Shenzhen in China*. *ISPRS Int. J. Geo-Inf*. 9 (11). 672. <https://doi.org/10.3390/ijgi9110672>

31. Mariani, F., Zambon, H. & Salvati, L. (2018). Population Matters: Identifying Metropolitan Sub-Centers from Diachronic Density-Distance Curves, 1960–2010. *Sustainability*. 10, 4653. <https://doi.org/10.3390/su10124653>
32. Moghadam, A.S., Soltani, A., Parolin, B. & Alidadi, M. (2018). Analysing the space-time dynamics of urban structure change using employment density and distribution data. *Cities*. 81, 203–213. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.04.009>
33. Niemets, L., Melniichuk, M., Segida, K., & Pogrebnskyi, T. (2016). Demographic situation as an indicator of socio-economic development (on example of Volyn and Kharkiv regions of Ukraine). *Acta Geographica Silesiana*, 22. WNoZ UŚ, Sosnowiec. 43-57.
34. Niemets, L., Niemets, K., Segida, K., & Pogrebnskyi, T. (2014). Regional settlement system as a factor of distribution of health care institutions (on example of Volyn region of Ukraine). *Canadian Journal of Science, Education and Culture*. 1 (5) (January-June). Volume II. Toronto: «Toronto Press». 85-190.
35. Ofori-Amoah, Benjamin. (2006). *Beyond the Metropolis: Urban Geography as if Small Cities Mattered*. UPA.
36. Polinesi, G., Recchioni, M.C., Turco, R., Salvati, L., Rontos, K., Rodrigo-Comino, J. & Benassi, F. (2020). Population trends and urbanization: Simulating density effects using a local regression approach. *Int. J. Geo-Inf.* 9. 454. <https://doi.org/10.3390/ijgi9070454>
37. Qiang, Y., Xu, J.W. & Zhang, G.H. (2020). The shapes of US cities: Revisiting the classic population density functions using crowdsourced geospatial data. *Urban Stud.* 57. 2147–2162. <https://doi.org/10.1177/0042098019871191>
38. Ren, H., Guo, W., Zhang, Z., Kisovi, L.M. & Das P. (2020). Population Density and Spatial Patterns of Informal Settlements in Nairobi, Kenya. *Sustainability*. 12. 7717. <https://doi.org/10.3390/su12187717>
39. Roberts, B.H. (2007). *Changes in Urban Density: Its Implications on the Sustainable Development of Australian Cities*. SOAC. <http://surl.li/blysa>
40. Rozenfeld, H.D., Rybski, D., Gabaix, X. & Makse, H.A. (2011). The area and population of cities: New insights from a different perspective on cities. *American Economic Review*. 101(5), 2205–2225. <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/aer.101.5.2205>
41. Shapiro, Michael J. (2010). *The time of the city: politics, philosophy and genre*. Routledge; 1st edition.
42. Song, X., Feng, Q., Xia, F., Li, X. & Scheffrand, J. (2021). Impacts of changing urban land-use structure on sustainable city growth in China: A population-density dynamics perspective. *Habitat International*. 107, 102296. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2020.102296>

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 29 November 2021

Accepted 16 January 2022

Polish ethnocultural landscape of Podillya: structure, use, protection of cultural heritage

Volodymyr Volovyk¹,

DSc (Geography), Professor of the Department of Geography,
¹Vinnitsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University,
32 Ostrozhskogo St., Vinnitsia, 21001, Ukraine,

e-mail: wolowyk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8663-0342>;

Oleksandr Lavryk²,

DSc (Geography), Professor at the Department of Ecology and Geography,
²Zhytomyr Ivan Franko State University,

7a Ivan Bohun Side St., Ap. 139, Cherkasy Region, Uman, 20302, Ukraine,

e-mail: slavrik1979@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2604-2500>;

Yuriy Yatsentyuk¹,

DSc (Geography), Professor of the Department of Geography,

e-mail: yatsentyuk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2906-4828>;

Andrii Maksiytov³,

PhD (Pedagogy), Associate Professor at the Geography teaching techniques subdepartment,

³Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University,

16 Prolataska St., Ap. 54, Cherkasy Region, Uman, 20304, Ukraine,

e-mail: andriy.maksyutov@udpu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-5486-634X>

ABSTRACT

Introduction. The study of the structure and features of the ethnocultural heritage functioning is an important scientific problem, which is especially important for the implementation of regional and national strategies for sustainable development and optimization of the quality of the country's environment. It is also important to solve the problem of traditional natural resource management of Podillya as a part of Eastern Europe, where a retrospective polyethnic development vector was formed, which has manifested in the formation of the Polish ethnocultural heritage.

Problem formulation. The importance of professional analysis of assessment and assessment of ethnocultural landscape resource potential is based on justification of its future effective use, particularly, in the design of a regional network of ethnocultural protected areas, which aligns with the concept of sustainable development of Ukraine.

Analysis of recent research and publications. Eastern European geographers have been developing the concept of the ethnocultural landscape since the end of the XX century and the following directions have been formed: 1) ethnocultural landscape is analyzed as cultural landscape; 2) ethnocultural landscape in anthropogenic landscape studies; 3) protection of ethnocultural artifacts; 4) as a part of humanistic geography.

Highlighting previously unsolved parts of the overall problem. These studies will make it possible to evaluate the degree of Polish ethnocultural heritage influence on tourism development in Eastern Europe. This will allow to development of practical recommendations for the preservation and use of ethnocultural heritage in modern socio-economic conditions, the implementation of targeted programs involving EU funds.

Formulating the purpose of the paper. The study aims to study the problem field of individual components of regional ethnocultural landscape science, its theoretical and practical potential, and its use in solving problems of nature management, namely Polish ethnocultural landscapes and relevant cultural heritage.

Presentation of the main research material. The general regularities of formation of the estate, fortification and industrial landscapes, their ethnocultural features, and features of management are allocated. Proposals for optimization and intensification of nature use of Polish ethnocultural landscapes through protection and museification (regional landscape parks, open-air museums) of Polish historical and cultural artifacts of the region have been formed. Polish ethnocultural landscapes of Podillya are analyzed as an object of ethnocultural tourism. Thus, they will preserve biodiversity, create a basis for a harmonious combination of environmental and educational activities with the opportunity to get acquainted with the Polish historical and cultural heritage of the region.

Conclusions. The unification of Polish ethnocultural artifacts in the villages and small towns of the region contributes to the transformation of heritage into a tourist product, which leads to interest in the preservation of monuments, increases the number of visitors. Given the number and spatial distribution of Polish heritage sites in the region, the creation of a landscape cadastre is one of the top priorities in addressing their protection and monitoring. Ethnocultural objects of Polish origin are usually the core of the planning structure of small towns or villages in the region. When attracting funds from Polish and Ukrainian investors, a profit that will significantly exceed the invested funds is possible. Ethnocultural heritage is one of the priorities of international tourism in the world's leading countries.

Keywords: *ethnoculture, ethnocultural landscape, Polish, village, small town, Podillya.*

In cites: Volovyk Volodymyr, Lavryk Oleksandr, Yatsentyuk Yuriy, Maksiytov Andrii (2022). Polish ethnocultural landscape of Podillya: structure, use, protection of cultural heritage. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (57), 68-80.* <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-06>

Introduction. The study of the structure and features of the ethnocultural heritage functioning is an important scientific problem, which is especially important for the implementation of regional and national strategies for sustainable development and optimization of the quality of the country's environment. Based on this approach, ethnocultural landscape studies fall into the cohort of important applied geographical disciplines, which contributes to the expansion of the methodological apparatus, both geography in general, and regional landscape studies in particular. This research is devoted to the extremely important issue because it is aimed at solving regional problems of ethnocultural landscape heritage protection and is associated with the predominant direction of scientific research – constructive geography and rational natural resource management. It is also important to solve the problem of traditional natural resource management of Podillya as a part of Eastern Europe, where a retrospective polyethnic development vector was formed, which has manifested in the formation of the Polish ethnocultural heritage.

Formulation of the problem. Scientific and applied support of activities in the field of ethnocultural heritage development and functioning, which determines the optimal interaction of society with the natural environment, is becoming extremely important. The importance of professional analysis of assessment and assessment of ethnocultural landscape resource potential is based on justification of its future effective use, particularly, in the design of a regional network of ethnocultural protected areas, which aligns with the concept of sustainable development of Ukraine.

This research is related to the "Convention for the Protection of the World Cultural and Natural Heritage" [1], the European program "European Union Prize for Cultural Heritage / Europa Nostra Awards" [1]; state budget theme "Anthropogenic landscape science: new directions of development" (2018-2022).

Analysis of recent research and publications.

The concept of ethnocultural landscape is based on the humanitarian-ecological orientation and landscape approach. Ethnocultural landscapes are the landscapes where cultural and natural heritage are equal components, and ethnic groups function in the historical landscape environment. Eastern European geographers have been developing the concept of the ethnocultural landscape since the end of the XX century and the following directions have been formed: 1) ethnocultural landscape is analyzed as cultural landscape (G.I. Denysyk [11, 12, 22], U. Myga-Piątek [23]); 2) ethnocultural landscape in anthropogenic landscape studies (V.M. Volovyk [1, 3, 4], M.D. Grodzinsky, S.P. Romanchuk [1]); 3) protection of ethnocultural artifacts (V.M. Volovyk [1],

Y.G. Tyutyunnyk); 4) as a part of humanistic geography (V.M. Pashchenko) [1].

In English language sources the concept of "ethnocultural landscape" is almost absent. The evaluation of the Polish ethnocultural landscapes of Podillia by modern European geographers is not carried out.

According to studies, the ethnocultural landscape as a spatial formation has a topical and choral structure. The vertical component uses a component approach, which allows distinguishing ethnocultural and natural layers, which are divided into relevant components. The scheme of the spatial organization of ethnocultural landscape uses a model of the polarized landscape, which is based on residential [5-10] and road frame landscapes [1].

The study of Polish ethnocultural landscapes of Podillya in the late XX – early XXI century is devoted to the study of estates and small towns in the articles of V.B. Atamanenko, I.O. Voronchuk, Yu.V. Ovshinsky, O.S. Petrenko, N.S. Sosnova [1]; the history of the formation of palace and park complexes in the Khmelnytsky region under the influence of Polish ethnoculture is covered by B.O. Pazhymsky [1]; special attention was paid to these structures by the study of V.M. Volovyk [2].

The study of the Polish ethnocultural heritage of the region's towns in the XX century is described in publications of R. Aftanazy "Dzieje rezydencji na dawnych kresach Rzeczypospolitej", where the author gave a historical, architectural, cultural, and park assessment of estates and mentions. At the end of the XX century, I. Romanyuk, R. Aftanazy, O.M. Pazhymsky, and B.O. Pazhymsky studied the historical and culturological aspects of the functioning of garden and park complexes; the history of the formation of small towns under the influence of Polish ethnoculture – L.T. Olivinsky; I.D. Rodichkin described the estates of Tulchin and Nemirov; estate in Pyatnychany, palace in Murovany Kurylivtsi, parks in Obodov, Stepanivtsi, Stryzhavka, Kovalivka, Makiv, Serebrynka. V.M. Volovyk reviewed the specifics of the structure of Polish ethnocultural landscapes in small towns of Podillya [5-10] and highlighted the general patterns of formation of an estate, fortification, and industrial landscapes, their ethnocultural features, and management specifics [2].

However, despite the significant theoretical and methodological achievements in the field of heritage, there are very few theoretical and applied studies in modern geography at the regional level.

Highlighting previously unsolved parts of the overall problem. These studies will make it possible to evaluate the degree of Polish ethnocultural heritage influence on tourism development in Eastern Europe. This will allow to development of practical recommendations for the preservation and use of ethnocultural heritage in modern socio-economic condi-

tions, the implementation of targeted programs involving EU funds. The ethnocultural and natural diversity of Podillya provides it with real opportunities for socio-economic growth.

The following approaches are used: component, landscape, system and structural (ethnocultural artifacts as an integral part of Europe's cultural heritage). The research scheme uses the following principles:

- consideration of ethnocultural and natural heritage as a complex formation – ethnocultural landscape;
- analysis of ethnocultural and natural heritage as part of a complex of ecological, sociocultural, ethnological processes;
- territorial approach to ethnocultural landscapes, with the protection of historical settlements (small towns) and ethnic quarters, gardens, and estate landscapes.

In ethnocultural research, the following blocks have been improved: landscape, historical and ethnocultural. These information blocks are provided with information and materials on the subregions of the Podillya region, which is the study site. These blocks are functionally different:

- landscape testifies to the evolution of landscapes in natural landscape strata and the formation of a favorable basis for the management of the Polish ethnic group in the region;
- historical and ethnocultural, based on historical processes since the early Middle Ages, allows us to judge the number of strata of ethnochronotope, the location of places that are distinguished by ethnographical criteria.

Formulating the purpose of the paper. The study aims to study the problem field of individual components of regional ethnocultural landscape science, its theoretical and practical potential, and its use in solving problems of nature management, namely Polish ethnocultural landscapes and relevant cultural heritage.

Presentation of the main research material. The Polish ethnic group in Podillya dates back to the early Middle Ages. Researchers note the extremely strong influence of Polish culture on Ukrainian, which is expressed in the formation of ethnocultural landscapes of the region: small towns, castles, fortresses, churches, palaces, gardens and parks landscape. The dominant Polish ethnocultural landscapes of the region are rural and small town landscapes.

Polish rural ethnocultural landscapes. Rural ethnocultural landscapes are landscape complexes that include the core (rural settlements) and the peripheral resource zone (agricultural, forest, and water landscapes), which reflect the historically formed economic, landscape, aesthetic priorities of their indigenous ethnic groups. The beginning of the influence of Polish ethnoculture dates back to the XV-

XVI centuries. In the XVIII century, Polish magnates Lubomyrski, Potocki, Jablonowski, Czartoryski, Sangushky and Branycki became the largest landowners in Right-Bank Ukraine. Near the villages, small towns and estates with palace and park complexes are formed (Fig. 1). The land in the estates was divided into peasant (Ukrainian, partly Polish) and manor and folwark (mostly Polish).

Landscape structure of estates. In Poland, Lithuania, Ukraine, and Belarus in the XIV-XIX centuries it is a diversified economy, based on the labor of peasants and focused on the production of grain for sale. In Ukraine, small towns first appeared in Galicia in the XV century. In most of the Ukrainian lands that were part of the Grand Duchy of Lithuania, the folwark management system has been introduced in the middle of the XVI century. Some small towns specialize in agricultural industries: potash, boarding, plowing. In the XIX century due to unprofitability began to decline. In Galicia, small towns were called lordly (noble) households and survived until 1917.

The estates – palace and park ensembles – are a unique ethnocultural phenomenon, they have significantly influenced the development of historical and cultural processes. The estates of the XVIII-XIX centuries were centers of Polish culture and intensive agriculture. Due to the predominance of subsistence farming, the functioning of the Polish small town in the early XIX century had very little difference from the countryside.

According to the inventory, the classic small town of the XVII century had two parts: the courtyard of the folwark (manor) and the folwark arable land. The yard, which was fenced with a fence, consisted of living quarters (1-3 houses), a complex of outbuildings: kitchens and bakeries, baths, cellars, malt houses, breweries, wineries, stables, barns. Large fish ponds, apiaries, and mills were located in the yard or nearby.

At the end of the XIX century, there were 250-350 mortuaries (150-200 ha) of arable land per farm. The farms of 960-1110 mortuaries (550-650 ha) were considered large. In Eastern Galicia, the number of folwarks grew, folwarks appeared in neighboring villages, which were united in the key, and individual folwarks and keys – in the economy, which included 10-15 folwarks [13].

Extensive grain farming predominated in the structure of the magnate's estate of Podillya Voivodeship in the 1930s and 1970s. In general, this method of production was accompanied by insufficient fertilization of arable soils, significant sowing volumes per unit area of spring and winter grain. In Podillya, rye and oat crops predominated, and buckwheat, barley, and wheat occupied a smaller area. Millet and peas were sown in small quantities. In Eastern Galicia, the distribution of crops took place as follows (in



Fig. 1. Modern structure of Polish ethnocultural landscapes of the central part of the village of Ivaniv (Yaniv), Vinnytsia region.

Palace and park landscapes. Floodplain terrace. Tracts: 1 - embankment surface (2-3 m) of the palace courtyard, covered with soil mixtures under pine, chestnut, and shrub plantations; 2 - a system of the building of Count Kholon-evsky's palace on a horizontal bulk surface from soil mixes; 3 - a system of castle towers on a horizontal bulk surface of soil mixtures; 4 - sloping forest slope (5-7°), covered with soil mixtures under poplar and herbaceous associations; 5 - the horizontal surface of the first floodplain terrace under grassy associations and farm buildings; 6 - the horizontal surface of the first floodplain terrace, with dark gray soils under the park complex (pyramidal poplar, edible chestnut, hanging birch); 7 - the horizontal surface of the first floodplain terrace, with dark gray soils under weeds.

Sacred landscapes. Floodplain terrace. Tracts: 8 - horizontal embankment surface (1-2 m) of the churchyard under herbaceous associations; 9 - a system of the church building on a horizontal embankment surface made of soil mixtures.

Residential landscapes. Floodplain terrace. Tracts: 10 - a low-rise type of landscapes of the small towns of Ivaniv on the horizontal surface of the 1st floodplain terrace, with dark gray soils; 11 - a garden landscape on dark gray soils.

Road landscapes. Floodplain terrace. Landscape-technical systems: 12 - road embankments with asphalt roads (3-5 m wide) in the village of Ivaniv; 13 - bridge over the river Snivoda; 14 - asphalt paths with borders. Tracts: 15 - soil paths of the park (1-1,5 m wide).

Agricultural landscapes. Tracts: 16 - field landscapes on the leveled section of the 1st floodplain terrace with dark gray weakly washed away forest soils; 17 - meadow landscapes on the leveled section of the 1st floodplain terrace, with dark gray slightly washed away soils.

Water and recreational landscapes. Floodplain. Tracts: 18 - Snivoda river, 3-5 m wide; 19 - floodplain with alluvial black soil with sedge-reed associations and willow thickets. *Other marks.* 20 - the direction of the Snivoda river.

descending order): oats, rye, barley, buckwheat, wheat [16, p. 14].

In the XIX century, the core of the estate included a manor house or palace, garden landscapes, parks, greenhouses, vineyards, ponds. M.V. Symashkevych analyzes the English park in the village of Holodky of the landowner Sarnetsky; park of the village of Gushchyntsi of Count A.I. Kholonevsky; reveals the landscape features of the area "Marynka", which was part of the estate of Count A. Krasitsky in the village [20, p. 265].

In central Podillya, Polish manor houses were dominated by English landscape parks with a palace in the center. For example, in the village of Ilyashivka, where the owners of the estate were T. Dorozhynsky (XVIII century), S. Bukar (XIX century), I. Dorozhynsky (XIX century), the structure has a palace, landscape park, outbuilding, greenhouse and more. The palace is made of brick, in front of the facade there is a round lawn-ground floor; the park descends on a slope to ponds; on the south side of the palace was a large flower garden with ornamental shrubs. Now the park is abandoned, part of it is used for the estate of the head of the collective farm [18].

In the landscape structure of manor parks, a significant share is occupied by orchards. Their formation begins in the late XVIII – early XIX centuries. The owners wrote out fruit trees, more than 500 varieties of pears and apples were acclimatized. Large arrays of garden landscapes were: Kamyanets'kyi district (village of Kalyna) – landowner Humetsky; Novo-Ushytsky district (village Dashkivtsi) – landowner Chernetsky, Minkivsky estate of Count Markhotsky; Proskuriv district (village of Mykhalkivtsi) – landowner Gavronsky; Lityn district (village of Holodky) – landowner Sarnetsky, Mohyliv district (village Verkhivka) – landowner Mykhalsky; Vinnytsia County (the village of Gushchyntsi) – the estate of Count Kholonevsky, (the village of Sidlishche) – the landowners of Shcheniovsky Haisyn County (the village of Nyzhnia Kropyvna) – the landowners of Lonchynsky [1]. The species composition of the garden was dominated by apple trees, pears, plums, cherries, apricots, grapes.

Another landscape complex characteristic of the estate is a pond where carp, pike, crucian carp, bream, tench, perch, and gossyp were bred. Landlords, owners of mills, ponds, and rivers were faced with a choice: to lower the water and catch fish, or to keep the water running so that the mills would work and to fish without discharging the water.

In the peripheral resource zone of the folwark of the XIX century, European agricultural technologies and machines dominated. By 1862, Polish landowners in Podillya province owned 90% of all land, where 1194 estates were located [17, p. 68]. Polish landowners paid considerable attention to beekeeping,

and apiaries were located in farms. For example, in 1778 there were 915 hives in the apiaries of Starokostiantynivsky Klyuch. Agricultural processing enterprises were set up in the estates: wind and water mills, which ground grain, millet, buckwheat, rolled wool, and beat oil. In the estates, they smoked alcohol, wove cloth, made bricks, potash. In 1862, there were 251 distilleries in the Podillya province [11]. The mills were placed at the ponds, at the side of the dam, so that the mill would not destroy the dam by vibration and it would be easier to approach it. At the end of the XIX century in large estates, the development of the economy took place through the intensification of the economy, the introduction of scientific achievements.

One of the examples of Polish rural ethnocultural landscapes is the Dobrovolsky estate in the village of Fedorivka. The estate consists of a manor house, farm buildings, and a farm, separated from rural residential landscapes by roads (Fig. 2). The satisfactorily preserved manor house of the middle of the XIX century and the park with the preserved planning structure form a single whole with the adjacent landscapes. A Catholic children's recreation camp is organized in the estate.

The peculiarity of the landscape structure of the estate is the presence of a gentle slope with an arboretum and a steep one with a forest-park part, a cascade of ponds in the inter-strand saddle. A representative part of the estate is formed by an arboretum, where groups with exotics and decorative forms predominate (Canadian hemlock, prickly spruce, pedunculate oak). The coast is planted with groups of white poplar, ash, marsh oak. Fragments of alleys made of horse chestnut and small-leaved linden have been preserved. The estate has landscape and dendrological value is subject to restoration with elements of adaptation to modern needs. Individual specimens of exotics must be protected, architectural structures must be restored and modified.

At the beginning of the twentieth century, the number of farmsteads decreased sharply, and after 1917, due to the change of ownership, the ethnocultural component had a minimal impact on the functioning of estates and farmsteads. The functional use of estates is changing, they usually have the management of collective farms, village councils, schools, and colleges. In the 1930s, the influence of Polish ethnoculture was observed only in villages with a numerical predominance of Poles.

Polish ethnocultural landscapes of small towns. The small towns of Podillya are the result of the evolution of medieval urbanization and its specifics. The nature of the landscape structure of Podillya towns reflected the ethnographic features of the urbanized area. The small towns are the result of internal colonization of the region, expansion, and strengthening

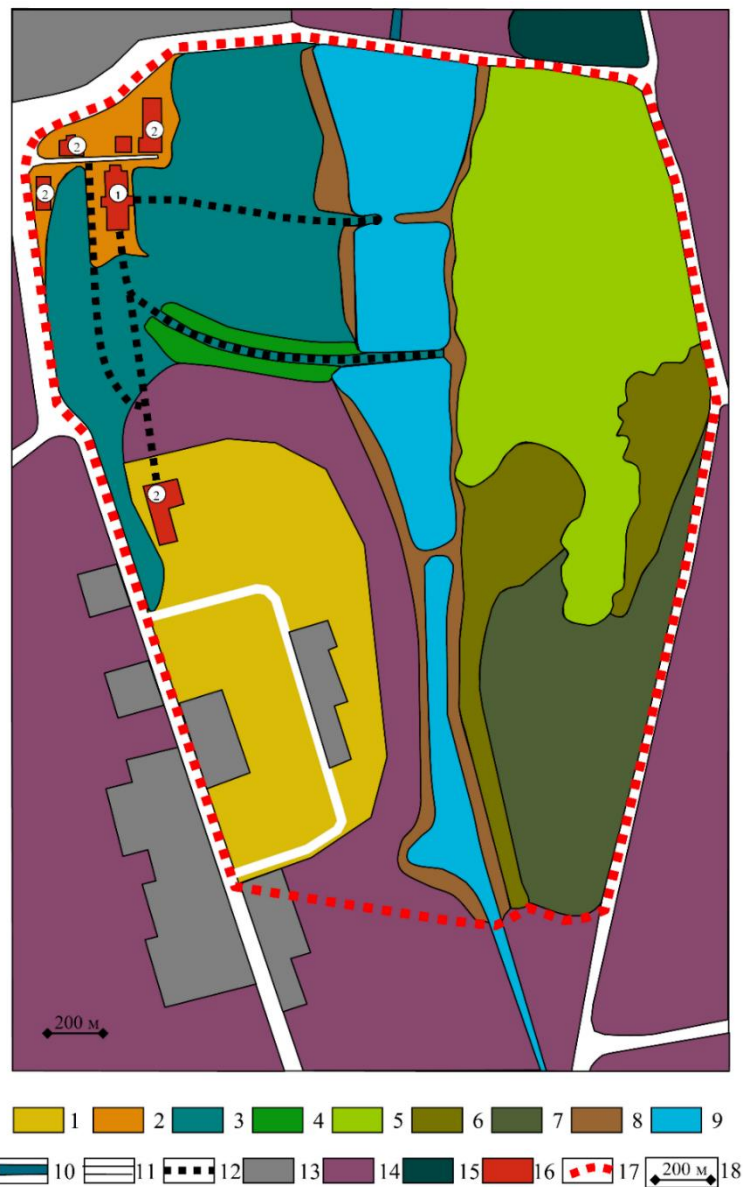


Fig. 2. The structure of modern ethnocultural landscapes of the estate the village of Fedorivka, Sharhorod district, Vinnytsia region.

Ethnocultural landscapes of the estate. Slope type. Tracts: 1 - gentle forest slope (3-5°), covered with gray forest podzolic soils under agricultural crops folwark; 2 - sloping forest slope (3-5°), covered with gray forest podzolic soils under the farmyard; 3 - sloping forest slope (5-7°), covered with gray podzolic weakly washed soils under the arboretum (Canadian hemlock, prickly spruce, pedunculate oak); 4 - gentle forest slope (5-7°), covered with gray forest podzolic slightly washed soils under the alley of horse chestnut and small-leaved linden; 5 - strongly sloping forest slope (15-20°), covered with gray forest podzolic moderately washed away soils under the forest park; 6 - steep forest slope (12-15°), covered with gray forest podzolic moderately washed soils under grassy vegetation; 7 - strongly sloping forest slope (12-15°), covered with gray forest podzolic moderately washed soils under young silvicultural landscapes; 8 - sloping forest slope (5-7°), covered with gray forest podzolic wet soils under Canadian poplar, ash, marsh oak.

Floodplain-channel type. Tracts: 9 - ponds in the interbreed saddle, 1-2 m deep, with a swampy bottom; 10 - streambed, 0,5-1,0 m deep, with a swampy bottom.

Road landscapes. Slope type. Landscape technical complexes: 11 - asphalt road; 12 - paths and alleys of the estate.

Residential landscapes. Slope type. Tracts: 13 - a low-rise type of rural landscape of the village of Fedorivka on a gentle forest slope.

Agricultural landscapes. Slope type. Tracts: 14 - field landscapes on a gentle forest slope (3-5°), covered with gray forest podzolic soils under field crops; 14 - field landscapes on a very sloping slope (10-15°), covered with gray forest podzolic poorly washed soils under field crops.

Forest anthropogenic landscapes. Slope type. Tracts: 15 - silvicultural landscapes on a strongly sloping forest slope (10-15°), covered with gray forest podzolic soils with oak-hornbeam plantations with an admixture of ash, maple, linden.

Other marks. 16 - landscape and technical systems of the estate (1 - manor house, 2 - technical structures of the farmyard); 17 - the boundaries of the estate.

of the feudal system at the regional and local levels: "The Polish-Jewish city, with its dilapidated life, a parody of trade and fishing – in place of the former intense urban life of Russian times – was one of the most characteristic gifts. Cultural mission of Poland to Russia" [10, p. 261]. Under the "small town" is understood a residential landscape, with quarterly buildings and a pronounced ethnocultural (mono- or poly-) core, which is the carrier of local culture.

Landscape structure of small towns. The landscape structure of the small towns of the XIV-XVI centuries was the result of their location in the relief relative to water and forest landscapes, as well as the result of previous economic development of the region. Rural features of small towns are not only a Ukrainian phenomenon. "Rural" cities predominate in Eastern Europe: in Poland, Slovakia, Bulgaria. At the beginning of the XX century in the typical structure of the small town were: "Town hall, shopping malls, individual benches, entrances, houses, industrial buildings, and then, of course – cult – churches, synagogues, churches, chapels, and finally, sometimes a fortress to protect the whole town" [16, p. 193].

The central element in the structure was a quadrangular market square, where fairs were held, with a large building of trade rows; in Eastern Galicia, the house of the magistrate was mandatory, which was built like a town hall in a shopping area: "Around the square, there is a tight square of houses with the main narrow sides facing the square" [16, p. 193]. Part of the town hall was built on the principle of arrival, with a wide passage through the whole building (Ozaryntsi), sometimes combined with trade rows (Zaslavl). However, the towns were not only agricultural but also agricultural and handicraft. Galicia is characterized by a dispersed structure of small towns when there are no clear Polish, Jewish and Ukrainian quarters. This is noticeable on the landscape map of Ternopil, although the general features remain little changed: the castle (1540) – market square – magistrate – synagogue – church, which form the historic center of the small town [24, p. 306]. The small towns of the region formed a residential network, which simultaneously performed a deliberative function.

In the small towns of Eastern Galicia from the XVI century, under the influence of Polish ethnoculture, manor landscapes also appeared, where simple landscape compositions prevailed, in which residential landscapes were organically combined with harmonious natural landscapes (hillsides, river valleys). Typical structure of the estate: a manor house with outbuildings, landscaped park (or garden landscapes), greenhouses, vineyards, orchards, ponds, pools (Fig. 3), which created landscape technical systems: waterfalls, water cascades. The estates, as a rule, had a pond or an exit to the river, where carp, pike, crucian carp, bream, tench, perch, and gossip

were bred.

In the XIX century, the construction of mansions did not stop, but became more modest and at the same time acquired other features due to changes in architectural solutions. One of the most interesting is the Komar estate in Murovani Kurylivtsi in Vinnytsia region, which, in addition to the palace, included an outbuilding, stables, and a bridge located in a landscaped park, built-in 1805, had a three-story palace in the central part.

The structure of fortification landscapes. There are a large number of ethnocultural artifacts of Polish defense architecture in Podillya. The structure of deliberative landscapes is represented by a system of fortified castles, which included a system of walls with towers and living quarters for both the owner and his family and the garrison. The residential buildings on the castle grounds were mostly wooden.

Fortifications of the XVI-XVIII centuries were divided into castles and fortresses, city fortifications; monasteries-fortresses; temples with a defensive function. The main purpose of Podillya castles is the defense of local territories. Fortifications of Podillya were of two types: a) castles, in which defense was the main goal, and residence – a secondary; b) castles that combined residential and defensive functions. Castles of the first type are typical for Vinnytsia and Khmelnytsky regions, the second – for Ternopil.

The government recognized a lot of sediment on the Podillya border as cities, taking into account the presence of a castle. The western part of the settlements included the territory of the modern Khmelnytsky region and the Middle Pobuzhya. The ancient siege of Riv (Bar) was like a castle in the early XV century, and the city of Bar appeared a century after the destruction of the town of Riv. The Polish lands of Western Podillya are also expanding: they are inhabited by poor gentry, who build and rebuild old fortresses and castles, inhabit wastelands, and establish churches. Based on Magdeburg law (1448-50), the towns of Chortkiv (1522), Berezhany (1530), Ternopil (1550), Husiatyn (1550) gained independence [20].

From the middle of the XVI century, the Medzybizh castle passed into the possession of the Polish Senyavsky family. The new owners turned it into one of the strongest private defensive castles in Podillya. The increase in the number of castles dates back to the 60s of the XVI century. In 1550 built fortifications in Ploskyriv, the structure of which was preserved until the middle of the XIX century.

In the XV-XVI centuries, Podillya small towns acquired the features of integral fortresses. The choice of location for deliberative landscapes meets clear requirements: only the highest place (high rock, plateau, upper part of the river valley slope) near the town was suitable for the castle. For example, in 1570



Fig. 3 Modern structure of ethnocultural landscapes town of Tyvriv, Vinnytsia region.

Palace and park landscapes. Sloping. Tracts: 1 - bulk surface (1-2 m) of the palace courtyard, covered with soil mixtures under the plantations of hornbeam, spruce, and shrubs; 2 - the palace building on the bulk surface of soil mixtures; 3 - slightly sloping forest slope (3-5°), with gray forest soils under the park complex (maple, hornbeam); 4 - slightly sloping surface of the forest slope (3-5°) with gray forest soils under weeds; 5 - stadium on a horizontal bulk surface at the bottom of the beam; 6 - soil paths of the park 1-1,5 m wide. Landscape technical systems: 7 - asphalted paths of the park up to 2 m wide; 8 - buildings (warehouses, garages); 9 - stone gate.

Sacred landscapes. Sloping. Tracts: 10 - the loose leveled surface of the churchyard under the grassy associations. Landscape technical systems: 11 - church building; 12 - stone fence with barns.

Residential landscapes. Sloping. Tracts: 13 - a low-rise type of landscape on a slightly sloping surface of the slope with threaded and bulk terraces. Watersheds. Tracts: 14 - a low-rise type of landscape on the leveled surface of the watershed.

Road landscapes. Tracts: 15 - dirt roads up to 2 m wide with inclusions of stone paving. Landscape technical systems: 16 - road embankments covered with asphalt and stone pavement up to 3 m wide; 17 - wooden bridge on concrete supports.

Agricultural landscapes. Sloping. Tracts: 18 - field landscapes on a slightly sloping surface of the forest slope (3-7°) with gray forest soils under gardens, orchards, hayfields. Watersheds. Tracts: 19 - field landscapes on the leveled surface of the flat interfluvium (1-2°) with gray forest soils under gardens, orchards, hayfields.

Water and recreational landscapes. Floodplain-river. Tracts: 20 - the riverbed of the Southern Bug 20-30 m wide; 21 - granite thresholds up to 1 m high; 22 - floodplain with alluvial black earths with sedge-reed associations and thickets of willow and alder.

Floodplain terrace. Tracts: 23 - leveled slightly hilly surface of the terrace with alluvial black earths under herbaceous associations and tree thickets. Landscape technical systems: 24 - hydroelectric power plant building. Sloping. Tracts: 25 - beam with slightly sloping slopes with gray forest soils under tree-shrub thickets and a stream bed 0,5-1 m wide. *Other marks.* Other: 26 - direction of the Southern Bug river; 27 - the boundaries of the palace and park complex

the castle in Ulanov was built "na kopcu sypanym" (on a mound) [21, p. 70]. Sometimes the ramparts of the old settlement were used as a basis for the creation of the castle; castles and fortresses were built taking into account water obstacles. Their typology can be traced on the map of Ukraine by Guillaume de Boplan. Most urban and deliberative landscapes are located at the confluence of two or more rivers, on islands in the riverbed, on the slope of the meander, next to a lake or a large pond. Ulaniv's lustration of 1615 mentions "...ponds that embrace the city and the castle on three sides..." [21, p. 71].

Almost 500 medieval fortifications of Polish origin have been preserved in eastern Galicia: fortresses, castles, defensive churches. Due to their size, castles and fortresses are still the ethnocultural cores of small towns in the region.

Industrial landscapes formed under the influence of Polish ethnoculture are represented by such enterprises as oil and candle factories, brick, sugar factories, breweries, distilleries, cloth factories, and tobacco factories. Part of the factories and factories Polish landlords leased to the Jews. At the turn of the XVIII-XIX centuries, cloth factories functioned in the towns of Mynkivtsi (landowner Markhotsky), Pylyava (landowner Chernetsky), Yarmolyntsi (landowner Orlovsky), and Tulchyn (S. Potocki).

In Polish estates, there were distilleries and breweries. At the end of the XVIII century, there were 52 kilns in Medzhibozhsky Klyuch, 20 of them in the town of Medzhibozhi (18 of them were leased to Jews); in Letychiv eldership – 29 burial mounds, 17 of them – in Letychiv [15]. In general, the concentration of industrial landscapes of Polish origin in the estates influenced the general structure of ethnocultural landscapes of the towns of Podillya.

Protection of Polish ethnocultural landscape heritage. Rural ethnocultural landscapes, in contrast to the ethnocultural landscapes of small towns, have a specific structure. And not all components characteristic of a classical landscape will dominate. In the first place are the components of perceptual nature: a) vegetation – forests, fields, meadows, gardens, orchards; b) water bodies – springs, streams, rivers, ponds, lakes, canals, ditches; c) roads – streets, intersections, field roads; d) residential objects – farms, estates, palaces, castles; e) sacred and tafal (burial places) artifacts – temples, monasteries, cemeteries, historical sites; f) landscape engineering systems – fortifications, dams, locks, water mills, windmills.

Polish ethnocultural landscapes of Podillya small towns are significantly transformed and subject to degradation. The spatial development of existing residential landscapes often leads to the destruction of historic settlement structures, especially the construction of ethnic neighborhoods, the deformation of the historical layout of small towns, and the loss of

valuable landscape features.

To preserve the Polish ethnocultural landscapes of the region, it is necessary to introduce a change of ownership and method of nature use for recreational use. Then the spatial structure of historical and cultural monuments will be filled with new content, new cultural landscapes will appear, which will either change the existing small towns or at least improve those modern spatial and architecturally clumsy solutions that spoil the aesthetic appearance of towns (such as temporary buildings), small plots – "chessboards" etc.).

Meanwhile, the traditional construction of small towns is subject to destruction. Abandoned old houses, destroyed yards, outbuildings in farmsteads, objects of industrial agricultural (mills, sugar factories) processing, and local industry (brick factories, potash) are turned into ruins. Sometimes they get new owners who adapt them to new functions, but not always in the appropriate way.

Ethnoculture needs to play a strategic role in reviving Polish monuments in Podillya. The general program of the revival of separate small towns should be realized in the following aspects: before the beginning of researches to carry out the detailed analysis of local ethnocultural resources and to form the detailed report; on the map of each small town indicate the objects of landscape ethnocultural heritage; having received the results of the analysis of local cultural resources, it is necessary to start creating a strategy for preserving the Polish ethnocultural heritage of the small towns.

It is necessary to define priorities in the will of different types of cultural heritage. The priority should include manor, sacred, burial places, deliberative artifacts of Polish origin. Therefore, the implementation of security measures will be effective in terms of international cooperation with the relevant Polish services and administrations.

Proper preservation of ethnocultural heritage can guarantee the adaptation of monuments to modern needs. For example, the most common way to preserve and use fortifications, manors, and sacred landscapes is their modification. But this method can be applied only to well-preserved ethnocultural landscapes, instead, most of them have come down to us in the form of ruins. Such monuments are practically not subject to reconstruction and therefore there is only one type of use for them – justification, which involves the preservation of the remains with their inclusion in tourist routes.

Landscape cadastre and monitoring of Polish ethnocultural monuments at the regional level require the formation of a database of relevant facilities. It is advisable to create registers, electronic databases. The authors have studied more than 250 existing Polish ethnocultural monuments of the region, which

allowed to trace the patterns of their spatial location [14]. In most cases, we state the fact that information about ethnocultural monuments is fragmentary, databases are in the process of formation, their logical structuring needs to be completed, and maybe the subject of a separate study.

Conclusions. The research is of great practical importance for: 1) preservation of Polish cultural and historical artifacts of the region, and on the most effective – landscape basis (integrated approach); 2) development of adaptive systems of land use and organic farming (taking into account ethnic traditions and approaches in nature management methods); 3) preservation and increase of ethnolandscape diversity; 4) optimization of the network of recreational nature management and development of the tourist industry of the region. All these aspects of the practical use of research results are urgent and relevant to the historical and socio-economic conditions of modern Ukraine and Poland.

The diversity of Polish rural landscapes is due to two ways of their development: 1) from the end of the XVIII century there was a reconstruction of complexes of defensive type and their transformation into a type of representative estate and, accordingly, the formation of the landscape; 2) from the first half of the XIX century the manor landscape was created as a new type of Polish rural ethnocultural landscapes. Polish estates consisted of three parts: residential, commercial (folwark), and landscape (park), where the framework was a natural landscape. For towns of the XVI – early XX centuries is the formation of a transitional subclass of residential landscapes, which can be called semi-urban, determined by the dominant influence of ethnoculture when the core had the characteristics of the urban subclass, and the peripheral part – rural. Preservation of ethnocultural heritage will contribute to the development of tourism, as well as the preservation or enhancement of the natural benefits of the landscape.

The unification of Polish ethnocultural artifacts in the villages and small towns of the region contributes to the transformation of heritage into a tourist product, which leads to interest in the preservation of monuments, increases the number of visitors. The geographical features of justification, restoration, and bequest of the Polish ethnocultural heritage of

Podillya are related to the location of ethnocultural artifacts (mainly in villages and towns), where a large number of objects are located in remote, inaccessible places and do not meet the conditions of excursion service. There is an opportunity to create new tourist routes that would cover most of the region's heritage sites, regardless of their location and state of preservation.

Given the number and spatial distribution of Polish heritage sites in the region, the creation of a landscape cadastre is one of the top priorities in addressing their protection and monitoring. Ethnocultural objects of Polish origin are usually the core of the planning structure of small towns or villages in the region.

For conservation and modification of the ethnocultural heritage of small towns of the region, it is expedient to form a network of regional landscape parks based on already existing systems; the protection of rural ethnocultural landscapes requires the creation of open-air museums. This will allow the development of the tourism industry in economically backward regions while preserving the heritage of ethnocultural heritage.

The results of the research can be used in the development and justification of plans, projects, and schemes for the protection of landscape ethnocultural heritage, district planning of Podillya; formation of modern tourist infrastructure of the regional level, optimization of socio-economic organization of the territory; making scientifically sound decisions on the rational management of the natural resources of the region. The created source base in the form of maps and the catalog of "ethnocultural landscapes" of the territory of Podillya will enable detailing of the available data at any stage, an opportunity to improve and control data accumulation; generalize and analyze the social, environmental, economic situation in the market, develop measures for the development of the market of tourist services; develop and implement a system of regional tourism monitoring, covering both the region as a whole and local subsystems of monitoring and management at the city or district level. Based on Polish-Ukrainian public associations, it is possible to create an organization that would deal with the revival of the rich and diverse Polish ethnocultural heritage within Podillya.

Bibliography

1. Воловик В.М. Етнокультурні ландшафти: регіональні структури і природокористування [Текст] / В.М. Воловик. – Вінниця: ТОВ «Вінницька міська друкарня», 2013. – 464 с.
2. Воловик В.М. Історія дослідження польської етнокультури у містечках Поділля [Текст] / В.М. Воловик // Історія української географії: Всеукраїнський науково-теоретичний часопис. – Тернопіль, 2011. – Вип. 23. – С. 32-36.
3. Воловик В.М. Польські сільські етнокультурні ландшафти Поділля [Текст] / В.М. Воловик // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, № 1147. – Серія «Екологія». Випуск 12. – Харків, 2015. – С. 41-47.
4. Воловик В.М. Формування польських культурних ландшафтів містечок Поділля [Текст] / В.М. Воловик //

- Географія та туризм: Наук. зб. – К. : Альтерпрес, 2011. – Вип. 15. – С. 242-248.
5. Воловик В.М. Етнокультурні ландшафти Брацлава [Текст] / В.М. Воловик, І.А. Балинський // Науковий журнал «Молодий вчений». – № 4 (56) квітень 2018 р. – С. 404-409. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://molodyvcheny.in.ua/files/journal/2018/4/93.pdf>
 6. Воловик В.М. Польські етнокультурні ландшафти містечка Браїлів [Текст] / В.М. Воловик, Т.Ю. Михайленко // Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія: Географія. – Вінниця, 2016. – Вип. 28, № 1-2. – С. 26-31.
 7. Воловик В.М. Етнокультурні ландшафти містечка Браїлів [Текст] / В.М. Воловик, Б.В. Павличко // Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія: Географія. – Вінниця, 2017. – Вип. 29, № 3-4. – С. 38-44.
 8. Воловик В.М. Етнокультурні каркасні ландшафти містечка Хмільник Вінницької області [Текст] / В.М. Воловик, А.С. Слівінська // Науковий журнал «Молодий вчений». – № 5 (69) травень 2019 р. – С. 287-291 [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://molodyvcheny.in.ua/files/journal/2019/5/63.pdf>
 9. Гордуновський О. М. Розвиток промислового виробництва у поміщицьких господарствах Правобережної України першої половини XIX ст. [Текст] / О. М. Гордуновський // Український історичний журнал. – 2000. – № 1. – С. 61-71.
 10. Грушевський М. С. Історія України-Руси: в 11 т., 12 кн. / М.С. Грушевський. – К.: Наук. думка, 1991. – (Пам'ятки іст. думки України). – Т. 5. – 1994. – 704 с.
 11. Денисик Г.І. Каркасні антропогенні ландшафти: монографія [Текст] / Г.І. Денисик, О.В. Браславська, В.М. Воловик, О.М. Вальчук-Оркуша, І.О. Буряк-Габрись, Л.Л. Стефанков. – Вінниця: ТВОРИ, 2021. – 316 с. (Серія «Антропогенні ландшафти Поділля»).
 12. Денисик Г.І. Антропогенізація ландшафтів Поділля: монографія [Текст] / Г.І. Денисик, Т.Ю. Фадєєва, В.М. Воловик. – Вінниця: Твори, 2019. – 288 с. (Серія «Антропогенні ландшафти Поділля»).
 13. Економічна історія України: Історико-економічне дослідження: в 2 т. [Текст]. – К.: Ніка-Центр, 2011. – Т. 1. – 696 с.
 14. Задорожний В. Є. Товарне виробництво і торгівля на західноукраїнських землях [Текст] / В. Є. Задорожний. – Львів: Вища школа, 1989. – 152 с.
 15. Задорожнюк А. Б. Доля міського виробництва в економічному житті Подільської губернії наприкінці XVIII – на початку XX ст. [Текст] / А. Б. Задорожнюк // Наукові праці Кам'янець-Подільського державного педагогічного університету: історичні науки. – Кам'янець-Подільський: Оіюм, 2006. – Т. 16: На пошану професора А. О. Копилова. – С. 205-219.
 16. Короткі звідомлення Всеукраїнського археологічного комітету (далі – КЗ ВУАК) за 1926 [Текст]. – Б.в., 1926. – С. 193-207.
 17. Кушнір Л. Б. Польське населення на терені Хмельниччини: сторінки історії [Текст] / Л. Б. Кушнір // Поляки на Хмельниччині: Погляд крізь віки: зб. наук. праць за матеріалами міжн. наук. конференції (23-24 червня 1999 р.). – Хмельницький, 1999. – С. 64-71.
 18. Пажимський О.М. Садибні ансамблі Подільської Волині [Текст] / Олександр Пажимський. – Самчики-Хмельницький, 1997. – 216 с.
 19. Поділля: Історико-етнографічні дослідження [Текст]. – К.: Доля, 1994. – 504 с.
 20. Симашикевич М. Историко-географический и этнографический очерк Подолии [Текст] / М. Симашикевич // Подольские епархиальные ведомости. – 1875. – № 4. – С. 126, 137; № 6. – С. 189-190; № 8. – С. 250.
 21. Adamczyk J. L. Fortyfikacje stale na polskim przedmurzu od połowy XV do końca XVIII wieku [Text] / Jan Leszek Adamczyk. – Kielce: Politechnika Świętokryska, 2004. – 249 s.
 22. Denysyk G. Miasteczka Wschodniego Podola: różnorodność i specyfikacja struktur krajobrazowych, klasyfikacja [Text] / G. Denysyk, V. Volovyk, I. Buriak-Habrys, V. Kikavets, K. Skowron // Periodyk Naukowy Akademii Polonijnej, Częstochowa, 2020, 40 (2020), nr 3. – S. 192-204. <https://doi.org/10.23856/4025>
 23. Myga-Piątek U. Krajobrazy kulturowe: aspekty ewolucyjne i typologiczne [Text] / Urszula Myga-Piątek. – Katowice: Uniwersytet Śląski, 2012. – 382 s.
 24. Przewodnik po Polsce w 4 tomach. Tom II. Polska Południowo-Wschodnia [Text] / Redaktor: Stanisław Lenartowicz. 19 map i 8 planów miast. Wydanie pierwsze. – Warszawa, 1937. – 540 s.

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

References

1. Volovyk V.M. (2013). Ethnocultural landscapes: regional structures and nature management. Vinnytsia, Vinnytsia City Printing House LLC, 464 [in Ukrainian].
2. Volovyk V.M. (2011). History of the study of Polish ethnoculture in the small towns of Podillya. History of Ukrainian geography: All-Ukrainian scientific-theoretical journal, issue 23, 32-36 [in Ukrainian].
3. Volovyk V.M. (2015). Polish rural ethnocultural landscapes of Podillya. Bulletin of Kharkiv National University named after V.N. Karazina, 1147, series "Ecology", issue 12, 41-47 [in Ukrainian].

4. Volovyk V.M. (2011). Formation of Polish cultural landscapes of Podillya towns. *Geography and tourism: a scientific collection. Issue 15*, 242-248 [in Ukrainian].
5. Volovyk V.M., Balinsky I.A. (2018). Ethnocultural landscapes of Bratslav. *Scientific journal "Young Scientist"*, 4 (56), 404-409. [Electronic resource]. Available at: <http://molodyvcheny.in.ua/files/journal/2018/4/93.pdf>. [in Ukrainian].
6. Volovyk V.M., Mykhailenko T.Yu. (2016). Polish ethnocultural landscapes of the small town of Brailiv. *Scientific notes of Vinnytsia State Pedagogical University named after Mykhailo Kotsyubynsky. Series: Geography, Issue 28, 1-2*, 26-31 [in Ukrainian].
7. Volovyk V.M., Pavlichko B.V. (2017). Ethnocultural landscapes of the small town of Brailov. *Scientific notes of Vinnytsia State Pedagogical University named after Mykhailo Kotsyubynsky. Series: Geography, Issue 29, 3-4*, 38-44 [in Ukrainian].
8. Volovyk V.M., Slivinska A.S. (2019). Ethnocultural frame landscapes of the town of Khmilnyk, Vinnytsia region. *Scientific journal "Young Scientist"*, 5 (69), 287-291 [Electronic resource]. Available at: <http://molodyvcheny.in.ua/files/journal/2019/5/63.pdf>. [in Ukrainian].
9. Gordunovsky O.M. (2000). Development of industrial production in the landed estates of the Right Bank of Ukraine in the first half of the XIX century. *Ukrainian Historical Journal*, 2000, 1, 61-71 [in Ukrainian].
10. Hrushevsky M.S. (1991). *History of Ukraine-Russia: in 11 volumes, 12 books*. K., Nauk. dumka, Vol. 5, 704 [in Ukrainian].
11. Denysyk G.I., Braslavskaya O.V., Volovyk V.M., Valchuk-Orkusha O.M., Buryak-Gabrys I.O., Stefankov L.L. (2021). *Frame anthropogenic landscapes: monograph. Vinnytsia, TWORY, 316. (Series "Anthropogenic landscapes of Podillya")* [in Ukrainian].
12. Denysyk G.I., Fadeeva T.Yu., Volovyk V.M. (2019). *Anthropogenization of Podillya landscapes: monograph. Vinnytsia, Twory, 288 (Series "Anthropogenic landscapes of Podillya")* [in Ukrainian].
13. *Economic history of Ukraine: Historical and economic research: in 2 volumes (2011)*. K., Nika-Center, Vol. 1, 696 [in Ukrainian].
14. Zadorozhny V.E. (1989). *Commodity production and trade in western Ukraine*. Lviv, Vyscha shkola, 152 [in Ukrainian].
15. Zadorozhnyuk A.B. (2006). *The fate of urban production in the economic life of the Podolsk province in the late XVIII - early XX centuries. Scientific works of Kamyanets-Podilsky State Pedagogical University: historical sciences. Kame-nets-Podolsky: Oium. Vol. 16: In honor of Professor A.O. Kopilov, 205-219* [in Ukrainian].
16. *Brief reports of the All-Ukrainian Archaeological Committee (hereinafter - KZ VUAK) for 1926 (1926)*. 193-207 [in Ukrainian].
17. Kushnir L.B. (1999). *The Polish population in the Khmelnytsky region: pages of history. Poles in the Khmelnytsky region: A look through the ages: coll. science. etc. on the materials of intl. science. conference (June 23-24, 1999)*, 64-71 [in Ukrainian].
18. Pazhinsky O.M. (1997). *Manor ensembles of Podilska Volyn. Samchyky-Khmelnytsky*, 216 [in Ukrainian].
19. *Podillya: Historical and Ethnographic Research (1994)*. K., Dolya, 504 [in Ukrainian].
20. Simashkevich M. (1875). *Historical, geographical and ethnographic sketch of Podolia. Podolian Diocesan Gazette*, 4, 126, 137; 6, 189-190; 8, 250 [in Russian].
21. Adamczyk J. L. (2004) *Fortyfikacje stałe na polskim przedmurzu od połowy XV do końca XVIII wieku*. Kielce, Politechnika Świętokrzyska, 249.
22. Denysyk G., Volovyk V., Buriak-Habrys I., Kikavets V., Skowron K. (2020). *Miasteczka Wschodniego Podola: różnorodność i specyfikacja struktur krajobrazowych, klasyfikacja. Periodyk Naukowy Akademii Polonijnej, Częstochowa*, 40 (2020), 3, 192-204. <https://doi.org/10.23856/4025>.
23. Myga-Piątek Urszula. (2012). *Krajobrazy kulturowe: aspekty ewolucyjne i typologiczne*. Katowice, Uniwersytet Śląski, 382.
24. *Przewodnik po Polsce w 4 tomach. Tom II. Polska Południowo-Wschodnia. 19 map i 8 planów miast (1937)*. Warszawa, 540.

Польські етнокультурні ландшафти Поділля: структура, використання, охорона культурної спадщини

Володимир Воловик¹,

д. геогр. н., доцент, професор кафедри географії

¹Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського,
вул. Острозького, 32, м. Вінниця, 21001, Україна;

Олександр Лаврик²,

д. геогр. н., доцент, професор кафедри екології та географії,

²Житомирського державного університету імені Івана Франка,
пров. Івана Богуна, 7а, кв. 139, Черкаська обл., м. Умань, 20302, Україна;

Юрій Яценцюк¹,

д. геогр. н., доцент, професор кафедри географії;

Андрій Максютюв³,

к. пед. н., доцент, доцент кафедри географії та методики її навчання

³Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини,
вул. Пролетарська 16, кв. 54, Черкаська обл., м. Умань, 20304, Україна

У статті проаналізовано особливості структури польських етнокультурних ландшафтів сіл та містечок Поділля. У дослідженні розглянуто загальні закономірності формування маєткових, фортифікаційних та промислових ландшафтів, їх етнокультурні риси та особливості господарювання польського етносу. Підхід фахової оцінки ресурсного потенціалу етнокультурних ландшафтів засновано на обґрунтуванні його ефективного використання, зокрема, при проектуванні регіональної мережі етнокультурних заповідних територій, що відповідає концепції сталого розвитку України. Сформовані пропозиції щодо оптимізації та інтенсифікації природокористування польських етнокультурних ландшафтів шляхом охорони та музеєфікації (регіональні ландшафтні парки, скансени) польських історико-культурних артефактів регіону. Польські етнокультурні ландшафти Поділля проаналізовані як об'єкт етнокультурного туризму. Відповідно, вони зберігатимуть біорізноманітність, створюючи підґрунтя для гармонійного поєднання природоохоронної і освітньої діяльності з можливістю ознайомлення з польською історико-культурною спадщиною регіону. Враховуючи кількість та просторовий розподіл об'єктів польської етнокультурної спадщини Поділля, запропоновано створення ландшафтного кадастру як одного з головних пріоритетів у сфері їх охорони та моніторингу антропогенних ландшафтів. Уніфікація польських етнокультурних артефактів у селах та містечках регіону сприяє перетворенню спадщини на туристичний продукт, що зумовлює інтерес до збереження пам'яток та збільшує кількість відвідувачів. Дослідження сприяє оцінці ступеня впливу польської етнокультурної спадщини на розвиток туризму у Східній Європі. Це дозволить розробити практичні рекомендації щодо збереження та використання етнокультурної спадщини в сучасних соціально-економічних умовах, реалізації цільових програм із залученням фінансів ЄС, коли можливий прибуток може значно перевищити вкладені кошти. Досліджувана етнокультурна спадщина є одним із пріоритетів міжнародного туризму провідних країн світу.

Ключові слова: етнокультура, етнокультурний ландшафт, поляки, село, містечко, Поділля.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 23 листопада 2021 р.

Прийнята 23 грудня 2021 р.

Особливості клімато-географічного розподілу атмосферних опадів на півдні України

Людмила Гончарова¹,

к. геогр. н., доцент кафедри метеорології та кліматології,

¹Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016, Україна;

e-mail: goncharova.luda.50@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6340-2424>;

Олег Прокоф'єв¹,

к. геогр. н., доцент кафедри метеорології та кліматології,

e-mail: leggg0707@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5669-0181>;

Світлана Решетченко²,

к. геогр. н., доцент кафедри фізичної географії та картографії,

²Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,

майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна,

e-mail: s.reshetchenko@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0003-0744-4272>

У статті наведені результати комплексного статистичного дослідження просторово-часового розподілу місячної кількості опадів зимового сезону на півдні України та його зв'язок з кліматичними сигналами великомасштабної взаємодії за полем тиску в Атлантико-Європейському регіоні – Північноморським-Каспійським (ПМКК) та Північно-Атлантичним (ПАК) коливаннями. Використання еквідистантних емпіричних даних дозволило здійснити об'єктивну кластеризацію території України за кількістю опадів та отримати узагальнені кластери, які представлені часовими рядами середніх векторів. Наводяться регіональні статистичні моделі у вигляді карт-схем отриманого районування. На території України у грудні визначено 4, у січні та лютому – по 3 кластери, кожний з яких є фізично обґрунтованим. Проаналізована статистична структура (трендова та періодична складові) часових рядів середніх векторів узагальнених кластерів місячної кількості опадів для південних районів України, яка дозволила визначити майбутні тенденції в полях опадів до 2025-2030 рр. Враховуючи те, що особливості взаємозв'язків у кліматичній системі проявляються в статистичних характеристиках, зокрема в значеннях та знаках коефіцієнтів кореляції, для дослідження впливу північноатлантичних та європейсько-середземноморських макропроцесів на розподіл місячної кількості опадів по території України, залучався кореляційний аналіз. У статті проаналізовані вірогідні (визначені з імовірністю 90%) парні коефіцієнти кореляції для статистичних зв'язків між ПМКК (ПАК) та кількістю атмосферних опадів за грудень, січень, лютий, на основі яких побудовані карти-схеми кліматичних відгуків. Дослідження особливостей клімато-географічного розподілу опадів, яке проведено з залученням статистичних алгоритмів, свідчить про їх неоднозначність в різні місяці зимового сезону і в різних областях Південної України, що потребує подальших досліджень при вирішенні загальної наукової проблеми – вивчення клімато-зумовлених природних ресурсів для забезпечення сталого соціально-економічного розвитку південних районів України в умовах глобальних кліматичних змін.

Ключові слова: глобальний клімат, узагальнений кластер, коефіцієнт кореляції, детермінована основа, великомасштабні атмосферні коливання.

Як цитувати: Гончарова Людмила. Особливості клімато-географічного розподілу атмосферних опадів на півдні України / Людмила Гончарова, Олег Прокоф'єв, Світлана Решетченко // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 57. – С. 81-94. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-07>

In cites: Goncharova Liudmyla, Prokofiev Oleg, Reshetchenko Svitlana (2022). Features of climate and geographical distribution of atmospheric precipitations in the south of Ukraine. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (57), 81-94. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-07> [in Ukrainian]

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. В останні десятиріччя вивчення клімату нашої планети та його мінливості набули чітко визначеної практичної значущості [1-4]. У зв'язку з цим, концепція реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року [5] спрямована на розробку національної кліматичної програми та запобігання зниження ризиків, пов'язаних з ними.

Клімат, як відомо, формується під впливом тісно пов'язаних між собою чинників, які в кожному конкретному регіоні України мають свої особливості. Насамперед, це – сонячна радіація,

характер підстильної поверхні та циркуляція атмосфери. Взаємодія цих чинників, їх інтенсивність і особливості впливу характеризуються певною територіальною індивідуальністю. В свою чергу, кожен з перелічених чинників формується під дією елементів, яким також властиві свої індивідуальні географічні ознаки [6].

На території України кліматоутворювальні фактори впродовж року проявляються неоднозначно та істотно розрізняються за сезонами. Формування полів опадів (як і полів температури повітря) відбувається у тісному зв'язку з процесами циркуляції повітряних мас. Повітряні течії та баричні утворення, що характерні для України і

визначають на її території погодні умови, в значній мірі зумовлені фізико-географічними особливостями, які відрізняють її від інших регіонів [6]. На думку вітчизняних науковців [6-12] внаслідок глобального потепління клімат на території України стане різко змінюватися і тому кожне нове дослідження в цьому напрямі дасть можливість передбачити майбутній стан кліматичної системи, щоб забезпечити сталий соціально-економічний розвиток нашої країни. Змінюється клімат і південних її регіонів [6, 7, 13-16], а це призводить до необхідності вирішення проблем вивчення, аналізу і прогнозу динаміки їх кліматичних ресурсів. Дослідження змін та коливань в розподілі температурних характеристик та в режимі опадів (адже вони є одними з основних показників стану кліматичної системи) в цілях врахування в сферах господарської діяльності, розробка досконалих методів їх прогнозування для різних територій України з великою завчасністю, мають у теперішній час вкрай важливе значення [10, 11, 14, 17-20]. І якщо в питанні змін приземної температури повітря вчені досягли єдиної думки, то відносно змін кількості опадів однозначної точки зору поки не існує. Просторово-часова мінливість полів опадів та їхні майбутні зміни відіграють важливу роль в прогнозах вологозабезпеченості окремих регіонів країни [7, 9, 12, 13]. Кліматичні фактори мають вирішальне значення, зокрема, і в формуванні гідроекологічного стану водних ресурсів. Взагалі, потепління інтенсифікувало глобальний гідрологічний цикл, збільшивши глобально-осереднені опади, випаровування та стік. Більше того, наслідками глобального потепління є не тільки зміни середніх значень метеорологічних величин, а й загальне збільшення їх екстремальних проявів. Протягом останніх тридцяти років в Україні мали місце стихійні явища, пов'язані, насамперед, з режимом опадів [8-11, 14, 17, 18], а недооцінка деяких аспектів у формуванні цього кліматичного показника зволоження призводить до того, що він на сьогодні досліджений все ще недостатньо.

За своїм географічним положенням та станом довкілля південь України є тією територією, для якої соціально-економічні наслідки кліматичних змін можуть бути незворотними. Тому перед науковою спільнотою ставиться задача вивчення причин, які призводять до цих змін, для передбачення майбутнього стану фізичних параметрів найбільш рухомих ланок кліматичної системи.

Актуальність даного дослідження полягає в необхідності визначення особливостей клімато-географічного розподілу атмосферних опадів, для раціонального природокористування, вирішення природно-екологічних проблем, перспективного планування та адаптації різних галузей економіки

України до умов глобальних змін клімату.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження виконано відповідно до цілей, сформульованих в науково-дослідних роботах кафедр Гідрометеорологічного інституту Одеського державного екологічного університету з тем: «Режим опадів по регіонах України наприкінці ХХ та на початку ХХІ століть» (№ ДР 0111U000590); «Прогнозування небезпечних метеорологічних явищ над південними районами України» (№ ДР 00115U006532); «Комплексний метод ймовірнісно-прогностичного моделювання екстремальних гідрологічних явищ на річках Півдня України для забезпечення сталого водокористування в умовах кліматичних змін» (№ ДР 0121U010964).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Кліматичні зміни, що відбуваються протягом останніх десятиліть, визивають занепокоєння наукової спільноти. Дослідження українських вчених вказують на перебудову не тільки температурних полів, а й полів опадів на території України, які відбувались протягом ХХ і продовжуються у ХХІ столітті [6, 7, 12, 13]. Динаміку режиму атмосферних опадів та оцінку майбутніх змін і коливань річних, сезонних, місячних сум в різних регіонах України представлено в роботах [6, 7, 13-15, 18]. Результати цих досліджень вказують на суттєві регіональні зміни не тільки в часовому, а й у просторовому розподілі цього кліматичного показника.

Як відомо, формування полів опадів відбувається у тісному зв'язку з процесами циркуляції повітряних мас [6, 14, 20-25]. Автори підкреслюють, що у глобальному масштабі відмічається послаблення зональної циркуляції та зростання меридіональної південної складової в усі сезони року [10, 14, 21]. Циркуляційним аспектам просторового розподілу атмосферних опадів на території України в перехідні сезони року присвячені роботи [22, 23], в яких представлені результати статистичного дослідження взаємозв'язків у кліматичній системі Атлантико-Європейського регіону.

Особливості атмосферної циркуляції, вплив Чорного та Азовського морів виділяють південь України за кліматичними характеристиками в окрему область, яка потребує дослідження її кліматозумовлених природних ресурсів. Для території Одеської області дослідженню просторово-часової динаміки багаторічних середніх місячних, сезонних та річних сум опадів присвячено ряд робіт [13, 15, 26]. Авторами на основі співставлення багаторічної кількості опадів, що розраховані за різні періоди осереднення, визначено просторово-часове розподілення річної кількості опадів, опадів теплого і холодного періодів. В роботах про-

аналізована динаміка місячної кількості опадів у південних районах України наприкінці ХХ та на початку ХХІ століть. Особливо відчутні зміни реєструються у період другого глобального потепління клімату.

Таким чином, як свідчать результати наведених публікацій, вкрай важливим є дослідження природних факторів, які впливають на формування показників клімату, що дозволить передбачити їх майбутні зміни, а це в свою чергу допоможе своєчасно оцінити гідрологічні й екологічні ризики в вирішенні природно-екологічних та соціальних проблем, щоб забезпечити сталий розвиток нашої країни і особливо південних її регіонів.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Аналіз емпіричних даних та чисельне моделювання гідрометеорологічних параметрів вказує на те, що глобальне потепління клімату може змінити не тільки абсолютні значення температури повітря, а й атмосферних опадів, сезонний хід цих величин на території України і сприяти зміні видового складу рослинності та зміщенню природних зон в окремих її регіонах [6-9, 12, 19]. Ресурсний підхід до вивчення клімату, як одного з природних чинників, необхідний для розроблення вірогідних методів прогнозування метеорологічних явищ та ефективних заходів запобігання значних економічних збитків. Для визначення природи складних гідрометеорологічних процесів необхідне подальше всебічне їх дослідження, удосконалення і збільшення інформаційної бази з використанням сучасних методів статистичного аналізу та чисельного моделювання.

Постановка завдання. Дана стаття має на меті виявлення особливостей просторово-часового розподілу атмосферних опадів зимового сезону по території України та визначення впливу на цей розподіл північноатлантичних та європейсько-середземноморських макропроцесів. Предметом дослідження є місячна кількість опадів за грудень, січень, лютий на 40 довгорядних станціях України, рівномірно розташованих по її території, та кліматичні індекси великомасштабної взаємодії за полем тиску – Північно-Атлантичного (ПАК) і Північноморського-Каспійського (ПМКК) низькочастотних коливань за всі місяці року у період 1962-2006 рр. Основним завданням є визначення відгуків кліматичних сигналів в просторових полях атмосферних опадів на півдні України (Одеська, Миколаївська, Херсонська, Запорізька області та Автономна Республіка Крим) в умовах змін та коливань глобального клімату.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Відповідно до поставленої мети,

реалізація комплексного статистичного підходу проводилася у *три етапи* з залученням методів багатовимірної статистичної і картографічної аналізу та методів дослідження нестационарних випадкових процесів [27, 28].

На першому етапі проведено фізично обґрунтоване об'єктивне районування території України за місячною кількістю опадів зимового сезону та сформовані узагальнені кластери, які представлені часовими рядами середніх векторів. На основі вихідних даних про опади була здійснена кластеризація даної кліматичної характеристики за грудень, січень, лютий. До вказаних емпіричних даних був застосований «Універсальний адаптивний ітераційний метод кластерного аналізу» («УАІМКА»). У методі «УАІМКА», в якості вихідної інформації виступає матриця $X = (x_{ij})_{n \times m}$, яка містить n векторів-рядків розмірності m , що характеризує статистичні ряди об'ємами m у n пунктах, які й повинні бути кластеризованими [29]. Статистичний підхід дозволив здійснити, а картографічний аналіз – представити районування території України за місячною кількістю зимових опадів. У грудні визначено чотири кластера (рис. 1а) та по три – у січні (рис. 1б) та лютому (рис. 1в).

Як видно з рис. 1а, у перший місяць зимового сезону Одеська та Миколаївська області сформували IV кластер. До III кластера увійшли станції Запорізької, Херсонської областей та Автономної Республіки Крим (АРК). У січні більша частина Південної України увійшла до III кластера, крім Запорізької області, територія якої сформувала II кластер (рис. 1б). У лютому більша частина регіону (крім Одеської області) об'єднана III кластером (рис. 1в).

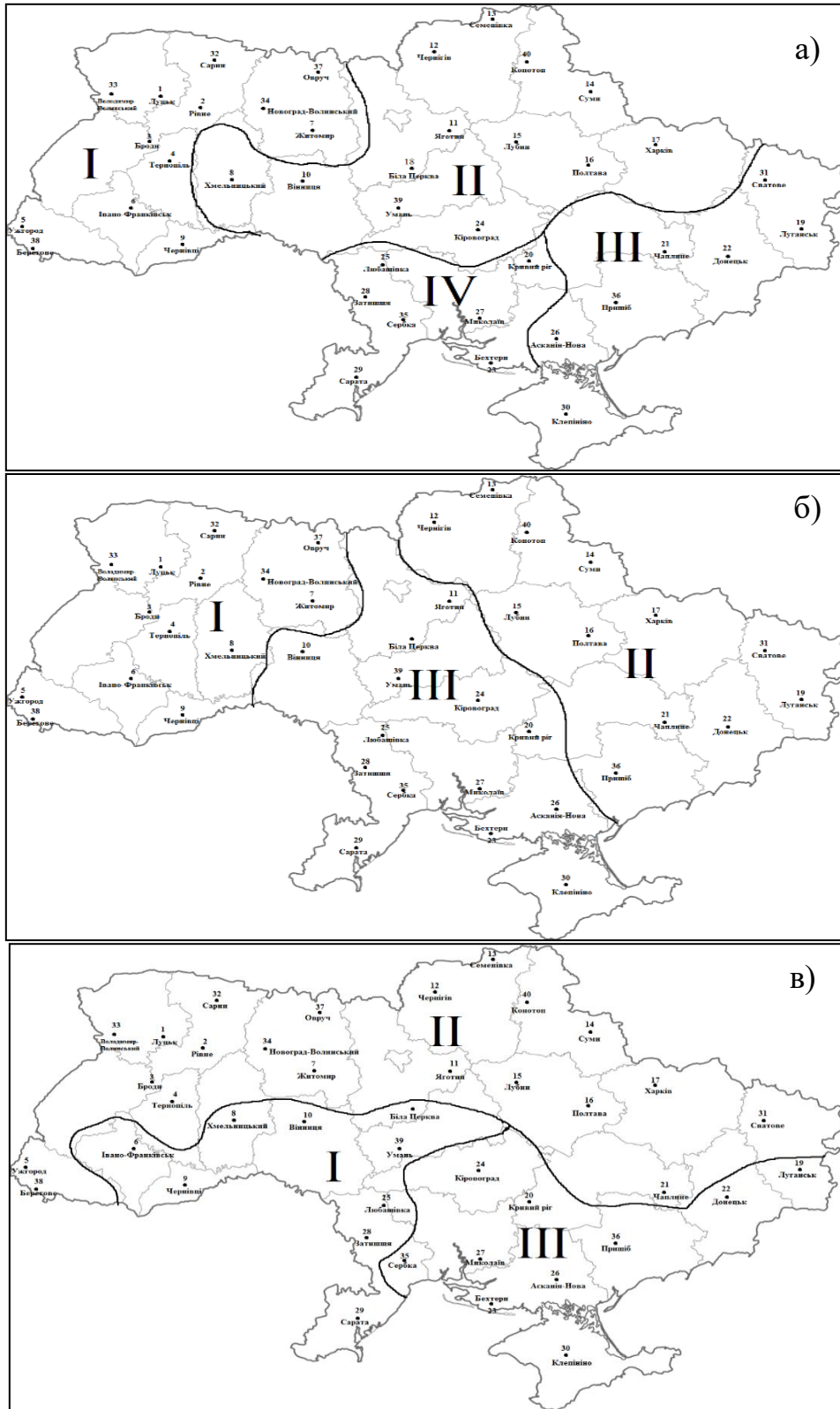
На *наступному етапі* для визначення статистичної структури часових рядів середніх векторів узагальнених кластерів використовувався математичний апарат теорії випадкових функцій та випадкових полів [27, 28]. Ряди були зображені як сума детермінованої $\hat{X}(t)$ – тренд $X_1(t)$ і періодична складова $X_2(t)$, та випадкової $X_3(t)$ компонент [27].

$$\text{Отже, } X(t) = X_1(t) + X_2(t) + X_3(t). \quad (1)$$

Детерміновані основи вилучалися шляхом фільтрації (згладжування) часових рядів середніх векторів узагальнених кластерів з використанням ковзного осереднення, яке у загальному вигляді представлено рівнянням:

$$\hat{X}(t_k) = \frac{1}{n} \sum_{i=k-\frac{n}{2}}^{k+\frac{n}{2}} \alpha_i X(t_i), \quad (2)$$

де α_i – ваговий множник; n – кількість точок, по яких проводилося згладжування:



а) – грудень; б) – січень; в) – лютий / a) – December; b) – January; c) – February
 Рис. 1. Результати кластеризації місячної кількості опадів на території України у зимовий сезон /
 Fig. 1. Results of clustering of monthly rainfall in the territory of Ukraine in the winter season

$$k = 1 + \frac{n}{2}; 2 + \frac{n}{2}; \dots; N' + \frac{n}{2};$$

$N' = N(n-1)$; N – кількість членів ряду [27].

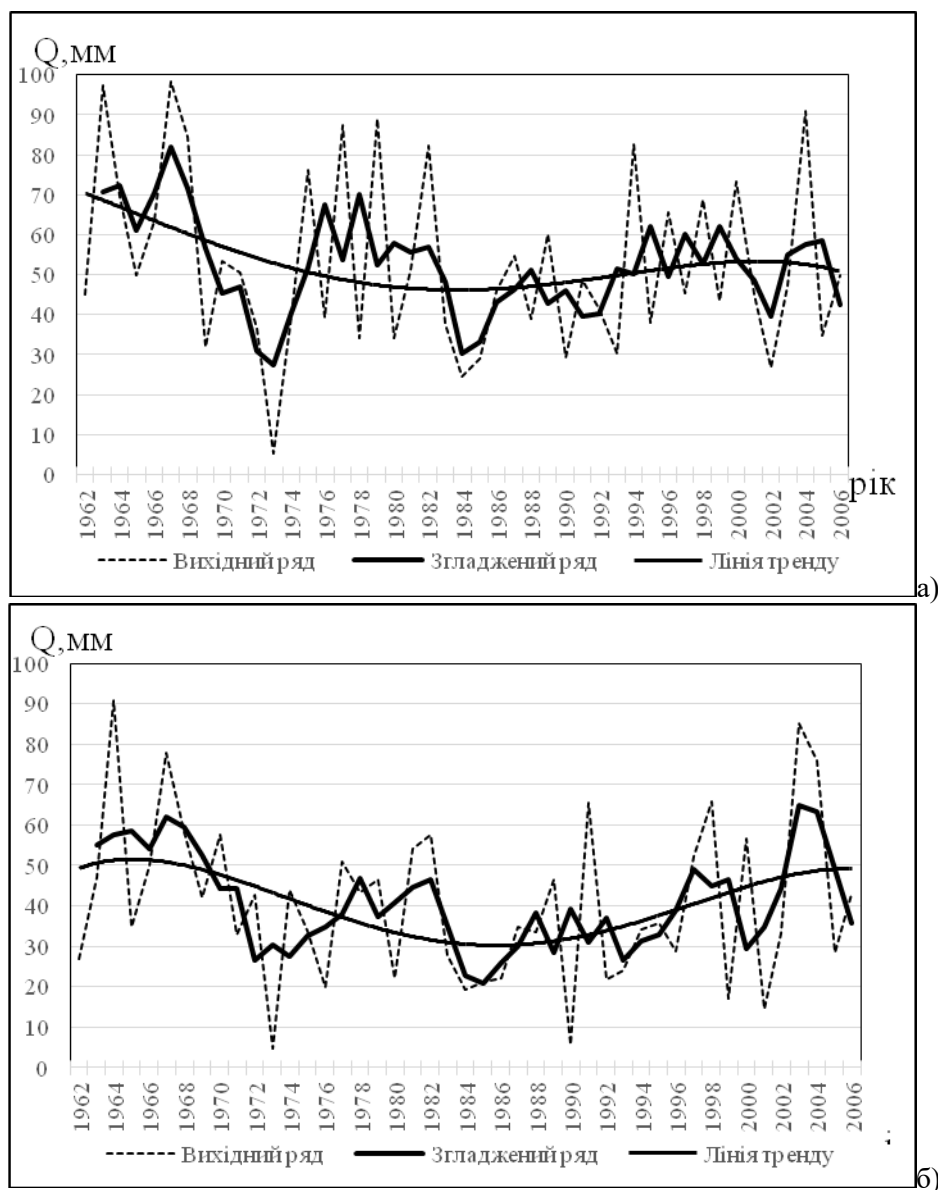
Вище (на першому етапі) описані та предста-

влені результати районування території України за місячною кількістю опадів зимового сезону (рис. 1). Як видно з рис. 1, південні регіони України сформували по два кластери, кожен з яких характеризується часовим рядом середнього векто-

ра, статистична структура кожного з них і буде проаналізована нижче. Оскільки багаторічні змінення характеру кліматоутворювальних факторів призводять до виникнення трендів, на основі яких можна визначити тенденції в кліматичних пара-

метрах, у роботі наводиться їх аналіз за 45-річний період. На рис. 2-4 представлені часові ряди та детерміновані основи середніх векторів визначених кластерів місячної кількості опадів.

Як впливає з рис. 2, детермінована основа



а) – III кластер; б) – IV кластер / a) – III cluster; b) – IV cluster

Рис. 2. Вихідний ряд та детермінована основа середнього вектора визначеного кластера місячної кількості опадів (грудень)

Fig. 2. The original series and the deterministic basis of the mean vector of a defined cluster of monthly precipitation (December)

середнього вектора місячної кількості опадів у грудні для всіх південних областей України (III та IV кластери) добре виражена. Тобто, добре визначена як періодична, так і трендова компоненти. Аналіз трендової складової дозволяє стверджувати, що місячна кількість опадів у грудні на півдні України до 2024 року буде зменшуватися, оскільки згладжений ряд має коливальний характер (з періодом близько 40 років) і саме з 2004 року визначено тенденцію падіння, яка і продов-

жується до 2024 року. В районах Запорізької, на сході Херсонської областей та Автономної Республіки Крим (III кластер) діапазон в кількості опадів може складати від 30 мм до 60 мм (рис. 2а). На територіях Одеської, Миколаївської та в західних районах Херсонської областей (IV кластер) у грудні місячна кількість опадів в окремі роки може коливатися від 25 до 65 мм (рис. 2б). Амплітуда коливань тренду середнього вектора III узагальненого кластера місячної кількості опадів є знач-

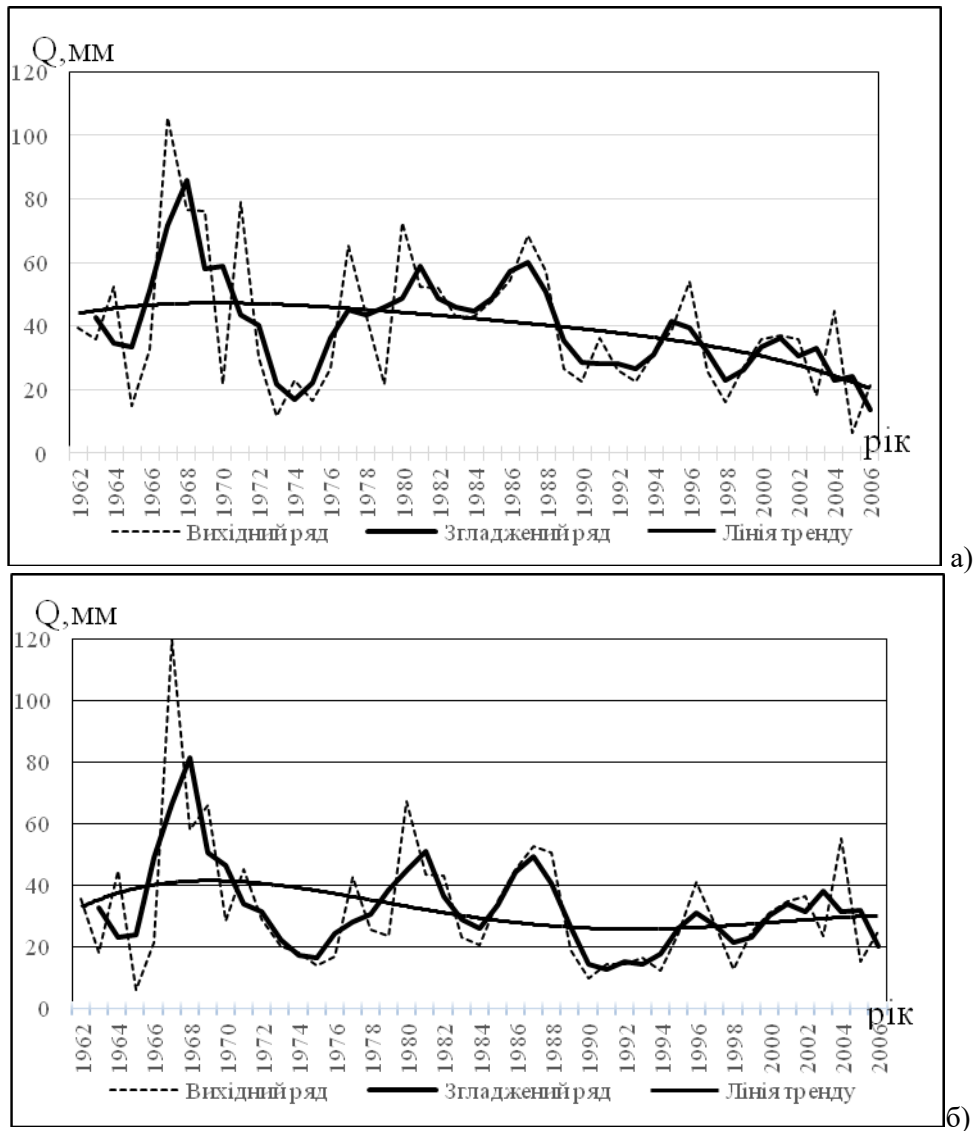
но меншою, порівняно з територією, яка зайнята IV кластером. Зміна більш «вологого» грудня на менш «вологий» буде відбуватися значно частіше. Це підтверджується тими періодичними компонентами, які накладаються на довготривалі двадцятирічні тренди. В регіоні III кластера – квазидворічні коливання, а IV кластера – гармоніки з періодами п'ять-шість років.

Південні райони України за місячною кількістю опадів у січні (рис. 1б) та лютому (рис. 1в) також формують по два узагальнених кластера. На рис. 3 графічно представлена статистична структура середнього вектора визначених кластерів місячної кількості опадів у січні; у лютому – на рис. 4.

У центральний місяць зимового сезону тільки на території Запорізької області (II клас-

тер) буде спостерігатися зменшення кількості опадів у найближчі 20-30 років (рис. 3а). Але на фоні довгоперіодного зменшення місячної кількості опадів будуть проявлятися 10-12-річні періоди з незначними коливаннями кількості опадів (від 10 до 45 мм). Для решти південних областей України (III кластер) у січні не слід очікувати різких коливань в місячній кількості опадів. Прогнозована кількість опадів – від 15 мм до 40 мм. Коливання меж цих значень може змінюватися з періодом 6-7 років. Про такі зміни вказують періодичні компоненти, які накладаються на майже незмінний (за останні двадцять років) тренд середнього вектора III кластера місячної кількості опадів у цей зимовий місяць (рис. 3б).

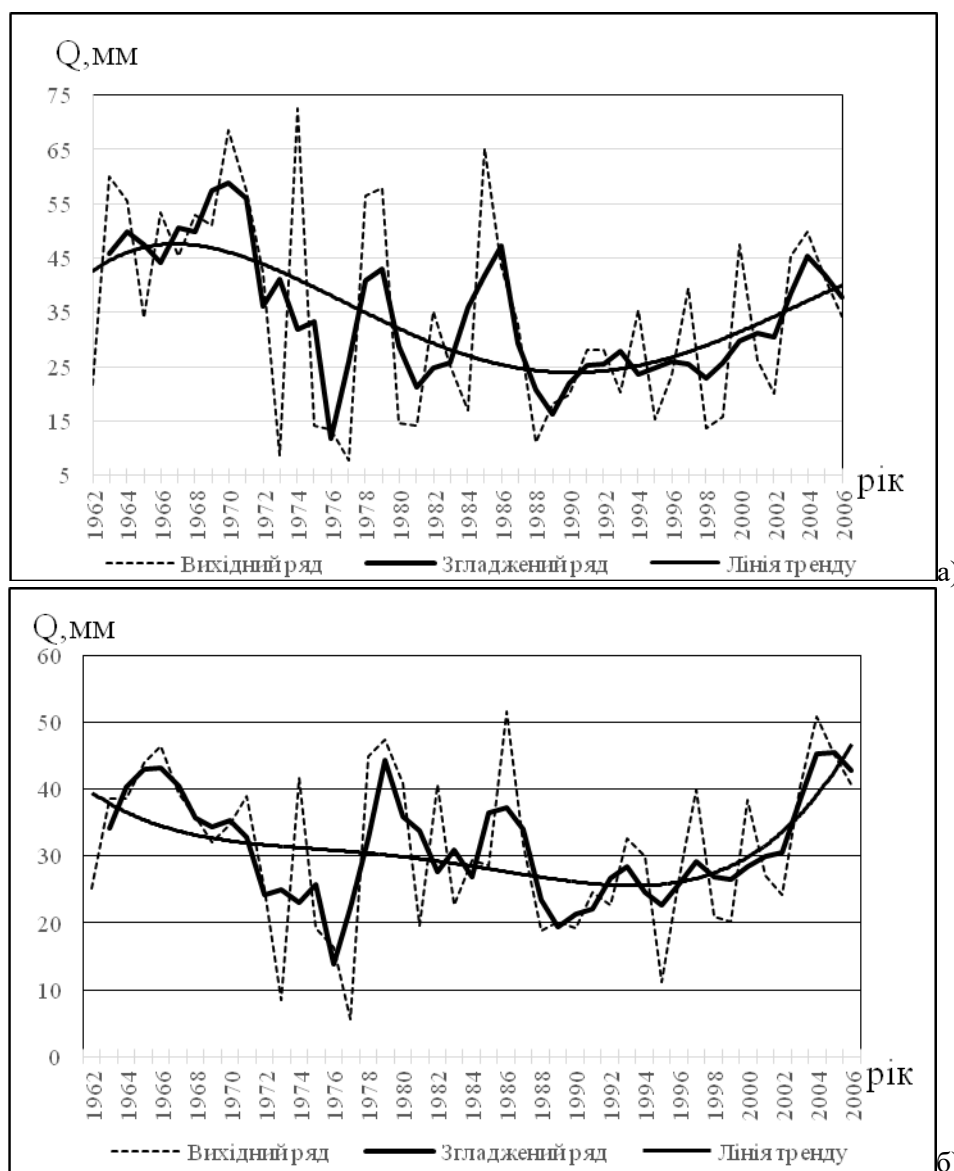
Як впливає з рис. 4, у лютому на півдні України (I та III кластери, рис. 1в), у період другого



а) – II кластер; б) – III кластер / a) – II cluster; b) – III cluster

Рис. 3. Вихідний ряд та детермінована основа середнього вектора визначеного кластера місячної кількості опадів (січень) /

Fig. 3. The original series and the deterministic basis of the mean vector of a defined cluster of monthly precipitation (January)



а) – I кластер; б) – III кластер / а) – I cluster; б) – III cluster
 Рис. 4. Вихідний ряд та детермінована основа середнього вектора визначеного кластера місячної кількості опадів (лютий) /
 Fig. 4. The original series and the deterministic basis of the mean vector of a defined cluster of monthly precipitation (February)

глобального потепління спостерігається зростання місячної кількості опадів. На що вказують тренди росту, чітко визначені з 90-х років минулого століття. Причому, темпи зростання на всій території суттєві. Місячна кількість опадів у лютому на майже всій території Одеської області складала від 20 мм до 45 мм (I кластер, рис. 4а).

На територіях Миколаївської, Херсонської, Запорізької областей та АРК, починаючи з дев'яностих років ХХ століття, місячна кількість опадів в останній зимовий місяць змінювалася від 19 мм до 48 мм.

Оскільки атмосферна циркуляція є головним проявом зміни клімату, тому що охоплює всі складові погодних умов [6, 21], представляє інтерес дослідити вплив саме цього кліматоутворюю-

вального фактора на формування полів атмосферних опадів на півдні України у зв'язку з глобальними кліматичними змінами. Н. Kutiel, Y. Venaroch, G. Korres у роботах [30, 31] описують режим атмосферної циркуляції, який виявлено наприкінці ХХ століття над територією Європейсько-Середземноморського регіону – Північно-морське-Каспійське коливання (ПМКК) або North Sea-Caspian Pattern (NCP). Виявилося, що один центр даного типу мінливості локалізований над акваторією Північного моря, а інший – над північною частиною Каспійського моря. Для Східно-Європейського регіону вплив різних фаз Північно-морське-Каспійського коливання на сумарну кількість опадів досліджено в меншій мірі, ніж вплив цього коливання на формування темпе-

ратурного режиму. Оскільки територія України розташована досить близько до одного з полюсів коливання, то даний тип мінливості представляє для нас особливий інтерес.

Крім того, у роботах [20-25, 32, 33] описано, що формування багатьох кліматичних полів над різними районами нашої планети залежить від північноатлантичних макропроцесів. Саме Північно-Атлантичне коливання (ПАК) є проявом низькочастотної мінливості атмосферної циркуляції у Північній півкулі і відбиває коливання атмосферної маси між північчю та півднем Північної Атлантики з центром в районі Ісландії (мінімум) і в районі Азорських островів (максимум). В якості мінливості зазначеного кліматичного сигналу використовувався кліматичний індекс великомасштабної взаємодії за полем тиску – глобальний кліматичний індекс ПАК, який є сумарним вимірюванням стану циркуляції в середніх широтах Північної Атлантики. У дослідженні використовуються часові ряди середніх значень індексу ПАК за кожний місяць року, які взято на сайті Кліматичного прогностичного центру США (CPC/NCER/NOAA). Індекс визначався по першій ортогональній компоненті розкладання поля тиску на рівні моря для Північної півкулі. Значення

індексу нормалізуються відносно базового періоду 1979-2000 рр.

Враховуючи те, що для довгострокових прогнозів погоди необхідно глибоке вивчення реально існуючих просторово-часових зв'язків між гідрометеорологічними процесами та ролі фізико-географічних факторів клімату [22- 25, 30-33], **на завершальному етапі** за допомогою кореляційного аналізу проводилася перевірка статистичної гіпотези щодо існування автоколивальної системи безпосередньо в земних умовах і твердження того, що формування кліматичних полів опадів на території Південної України залежить від північноатлантичних та європейсько-середземноморських макропроцесів. Для цього розраховувалася і аналізувалася матриця кореляцій n -го порядку, яка визначається таким матричним рівнянням [28]:

$$R_x = \sigma^{-1} K_x \sigma^{-1}, \quad (3)$$

де K_x – матриця коваріацій; σ^{-1} – обернена матриця від діагональної матриці (σ) середніх квадратичних відхилів.

Матриця кореляцій n -го порядку в координатній формі має вигляд:

$$R_x = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1j} & \dots & r_{1s} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & 1 & \dots & r_{2j} & \dots & r_{2s} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{i1} & r_{i2} & \dots & r_{ij} & \dots & r_{is} & \dots & r_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nj} & \dots & r_{ns} & \dots & 1 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

У матриці кореляцій (4) міститься інформація про структуру n полів кореляцій. Порядок матриці кореляції залежить від кількості векторів, що були взяті для розрахунків. Ця кількість складається з кількості узагальнених кластерів місячної кількості опадів, отриманих для кожного місяця на території України, які представлені часовими рядами середніх векторів, та 12-ти (за всі місяці року) часових рядів індексів ПМКК (ПАК).

Залучення кореляційного аналізу дозволило отримати парні коефіцієнти кореляції, які виражають лінійну кореляційну залежність між рядами середніх векторів місячної кількості опадів визначених кластерів за грудень, січень, лютий та індексами ПМКК (ПАК). Парні коефіцієнти кореляції приймалися статистично значущими на рівні значущості $\alpha = 0,10$ і є вірогідними (з імовірністю 90%) за умови їх значень $|r_{xy}| \geq 0,32$ [27, 28].

Вірогідні парні коефіцієнти кореляції для статистичних зв'язків між станом Північноморсь-

кого-Каспійського коливання (індекс ПМКК) та кількістю атмосферних опадів на територіях визначених кластерів Південної України у місяці зимового сезону представлені в лівій частині табл. 1. Аналогічна інформація для Північно-Атлантичного коливання (індекс ПАК) наведена в правій частині табл. 1. У дужках вказано номер кластера.

Клімато-географічні особливості відгуків північноатлантичних та європейсько-середземноморських макропроцесів в полях місячної кількості опадів зимового сезону наведено на картах-схемах (рис. 5-7).

Як впливає з табл. 1 та рис. 5, у перший місяць зимового сезону формування місячної кількості опадів на півдні України залежить тільки від Північно-Атлантичного коливання, причому в східних районах Херсонської, на територіях Запорізької областей та АРК (III кластер) значення коефіцієнта кореляції складає -0,47. Для Одеської, Миколаївської та західних районів Херсонської

Коефіцієнти кореляції (місячна кількість опадів – ПМКК (ПАК))
Correlation coefficients (monthly rainfall – NCP (NAO))

Місяць (ПМКК)	Місяць (опадів)			Місяць (ПАК)	Місяць (опадів)		
	12	01	02		12	01	02
01	-	-	-0,36 (III)	01	-0,47 (III) -0,34 (IV)	-	-0,32(III) -0,47 (I)
02	-	-	-	02	-	-	-0,50 (I) -0,53 (III)
08	-	-	-0,46 (III)	08	-	-	-
10	-	-	-	10	-	-	0,33 (I)



Рис. 5. Карта-схема визначених впливів кліматичних сигналів Північної півкулі на просторовий розподіл опадів по території України (грудень) /
Fig. 5. Map-scheme of the determined impacts of climatic signals of the Northern Hemisphere on the spatial distribution of precipitation on the territory of Ukraine (December)

областей (IV кластер) цей коефіцієнт значно менший: -0,34. Таким чином, атмосферні опади на всій території півдня України у грудні мають обернений лінійний кореляційний зв'язок з індексом ПАК. Запізнення відгуків складає одинадцять місяців.

З визначеною ймовірністю не вдалося встановити лінійний кореляційний зв'язок між розподілом опадів у січні на півдні України з кліматичними сигналами, що розглядалися (табл. 1, рис. 6).

Аналіз табл. 1 та представлена карта-схема (рис. 7) показують, що у лютому з ймовірністю 90% перевірка статистичної гіпотези (щодо існування автоколивальної системи безпосередньо в земних умовах) підтвердила наявність статистичного зв'язку між кількістю опадів у південних регіонах України з визначеним місяцем як Північноморського-Каспійського, так і Північно-Атлантичного коливань.

Майже на всій досліджуваній території (крім Одеської області) встановлено обернений лінійний кореляційний зв'язок між розподілом опадів у лютому з Північноморським-Каспійським коли-

ванням. Значення коефіцієнтів кореляції змінюються від -0,36 (з майже річним запізненням відгуків) до -0,46 (з запізненням відгуків на півроку).

Вплив Північно-Атлантичного коливання на розподіл місячної кількості опадів в останній місяць зимового сезону проявляється для всієї південної території (I та III кластери).

З ймовірністю 90% встановлено наявність оберненого лінійного кореляційного зв'язку (зі значеннями коефіцієнтів кореляції від -0,47 до -0,53) та запізненням відгуків близько року, і прямого, з запізненням відгуків менше півроку (4 місяці) між станом Північно-Атлантичного коливання та просторовим розподілом опадів на півдні України у лютому.

Висновки.

1. На основі емпіричних даних про атмосферні опади здійснена об'єктивна кластеризація, яка дозволила отримати розбиття території України на регіони з різними характерними типами погоди при випадінні опадів у місяці зимового сезону. На півдні України визначено по 2 кластери, кожний з яких є статистично обґрунтованим, і ха-

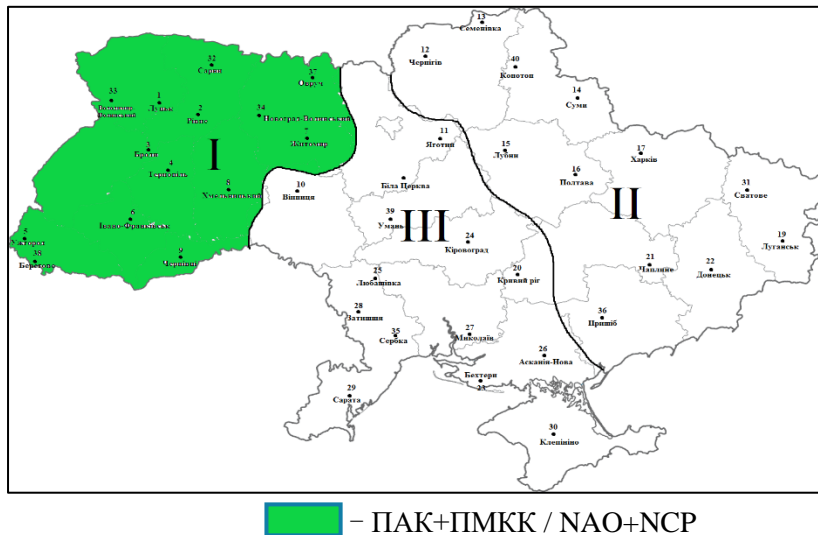


Рис. 6. Карта-схема визначених впливів кліматичних сигналів Північної півкулі на просторовий розподіл опадів по території України (січень) /
 Fig. 6. Map-scheme of the determined impacts of the Northern Hemisphere climate signals on the spatial distribution of precipitation on the territory of Ukraine (January)



Рис. 7. Карта-схема визначених впливів кліматичних сигналів Північної півкулі на просторовий розподіл опадів по території України (лютий) /
 Fig. 7. Map-scheme of the determined impacts of the Northern Hemisphere climate signals on the spatial distribution of precipitation on the territory of Ukraine (February)

рактизується часовим рядом середнього вектора.

2. Проаналізована статистична структура (тренди та періодичні складові) отриманих часових рядів середніх векторів узагальнених кластерів місячної кількості опадів, яка дозволила спрогнозувати майбутні тенденції в досліджуваних полях до 2025-2030 рр. на території Південної України. У грудні та лютому місячна кількість опадів буде зменшуватися, порівняно з початком ХХІ століття. У січні тільки на території Запорізької області прогнозується падіння кількості опадів у найближчі 20-30 років. Для решти південних областей України у центральний місяць зимового сезону кількість опадів слід очікувати в межах

багаторічних значень (15-45 мм).

3. За допомогою кореляційного аналізу, а саме по осередках статистично значущих (з ймовірністю 90%) додатних та від'ємних значень парних коефіцієнтів кореляції визначено статистичний зв'язок між розподілом опадів та двома відомими телеконекціями Північної півкулі (Північно-Атлантичним та Північноморським-Каспійським коливаннями). Використання еквідистантних кліматичних даних за 45-річний період дозволило побудувати вірогідні статистичні моделі у вигляді карт-схем для кожного місяця зимового сезону, які, на наш погляд, детально представляють особливості просторового розподілу місяч-

ної кількості опадів у цей сезон на півдні України.

4. Дослідження впливу північноатлантичних та європейсько-середземноморських макропроцесів на просторовий розподіл місячної кількості атмосферних опадів зимового сезону свідчать про складність та неоднозначність цих зв'язків в різні місяці сезону і в різних областях Південної України. Визначено (з імовірністю 90%) наявність лінійного кореляційного зв'язку між станом Північно-Атлантичного колювання і просторовим розподілом опадів у грудні; у лютому – сумісний вплив Північноморського-Каспійського і Північно-Атлантичного колювань, від яких залежить цей розподіл. У січні з визначеною ймовірністю не вдалося встановити відгуків в розподілі опадів на півдні України з кліматичними сигналами, що розглядалися.

5. Отримані статистичні моделі у вигляді карт-схем дозволяють враховувати напрямки переносу основних субстанцій, а це в свою чергу допоможе (при складанні кліматичного прогнозу опадів) зрозуміти вклад різних районів Північної півкулі в формування основного кліматичного показника зволоження на території України при вирішенні загальної наукової проблеми.

6. Результати, що представлені у статті, безперечно, не можна вважати вичерпаними в плані визначення впливу лише двох кліматичних сигналів, які можуть формувати просторовий розподіл атмосферних опадів на території Південної України. Розв'язання задач у подальшому буде направлено на розгляд інших відомих телеконекцій Північної та Південної півкуль з залученням додаткових еквідистантних емпіричних даних.

Список використаної літератури

1. IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)] [Електронний ресурс] / Intergovernmental Panel on Climate Change. – Geneva. – 151 pp. URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf (дата звернення 20.09.2021).
2. Alexander L.V. *Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: A review of progress and limitations in IPCC assessments and beyond* [Text] / L.V. Alexander // *Weather and Climate Extremes*, 2016. – № 11. – P. 4-16.
3. *Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation* [Text] / L. V. Alexander, X. Zhang, T. C. Peterson [et al.] // *Journal of Geophysical Research*, 2006. – vol. 111. <https://doi.org/10.1029/2005JD006290>.
4. *Climate change adaptation policies and plans: A survey in 11 South East European countries* [Text] / Pietrapertosa F. et al. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018. – Vol. 81, Part 2. – P. 3041-3050. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.116>
5. Розпорядження Кабінету Міністрів України № 932-р «Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року» від 7 грудня 2016 р. [Електронний ресурс] / Кабінет Міністрів України. URL: <http://www.kmu.gov.ua/control/uk/cardnpd?docid=249573705>. (дата звернення 20.09.2021)
6. Клімат України: монографія [Текст] / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. – Київ : Видавництво Раєвського, 2003. – 343 с.
7. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України: монографія [Текст] / за ред. С. М. Степаненка, А. М. Польового. – Одеса : Видавництво ТЕС, 2015. – 520 с.
8. Зміна погодних умов на території України в умовах зміни клімату [Текст] / В. М. Хохлов, Г. О. Боровська, О. В. Уманська, М. С. Тенетко // *Український гідрометеорологічний журнал*, 2016. – №17. – С. 31-37. <https://doi.org/10.31481/uhmj.17.2016.04>
9. Хохлов В. М. Майбутні зміни клімату та їх вплив на режим опадів та температури в Україні [Текст] / В. М. Хохлов, Н. С. Єрмоленко // *Український гідрометеорологічний журнал*, 2015. – №16. – С. 76-82. <https://doi.org/10.31481/uhmj.16.2015.10>
10. Мартазінова В.Ф. Характер екстремальних опадів початку XXI століття на території України [Текст] / В.Ф. Мартазінова, А.А. Щеглов // *Український гідрометеорологічний журнал*, 2018. – №22. – С. 36-45. <https://doi.org/10.31481/uhmj.22.2018.04>
11. Balabukh V. et al. *Extreme weather events in Ukraine: occurrence and changes. Extreme Weather* [Text] / Edited by P. J. Sallis. London, UK: Intech Open, 2018. – P. 85-106.
12. Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату: монографія [Текст] / за ред. С. М. Степаненка, А. М. Польового. – Одеса: Держ. екол. ун-т, 2018. – 548 с.
13. Кліматичні ресурси Одеської області для сталого розвитку: науково-практичний довідник [Текст] / за ред. Ж. В. Волошиної. – Одеса: Держ. гідрометслужба України, 2010. – 180 с.
14. Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986–2005 рр.): монографія [Текст] / за ред. В. М. Ліпінського, В. І. Осадчого, В. М. Бабіченко. – Київ, 2006. – 311 с.
15. Iyus G. P. *Modern seasonal features of the risk mode on the territory of Odesa region* [Електронний ресурс] / G.P. Iyus, L.D. Goncharova, N.I. Kosolapova C.O. Zubkovych // *Review Scientific Journal (Science)*, 2018. – Vol. 1. Issue 3 (10). – P. 27–33. <http://archive.ws-conference.com/wp-content/uploads/pw0774.pdf>
16. Светличный А.А. *К вопросу о современных изменениях климата Северо-Западного Причерноморья* [Текст] / А.А. Светличный, М.С. Ибрагимова // *Вісник Одеського національного університету. Сер. Географічні та геологічні науки*, 2016. – Т. 21 (1). – С. 22-41.
17. Ovcharuk V. A. *The study of the periodicity of catastrophic spring floods on the territory of Ukraine* [Text] / V. A. Ovcharuk, O. M. Prokofiev, O. I. Todorova, N. S. Kichuk // *Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія»*

- Географія. Екологія», 2019. – Вип. 50. – С. 136-147. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-50-10>
18. Reshetchenko S.I. Climate indicators of changes in hydrological characteristics (a case of the psyol river basin) [Text] / S.I. Reshetchenko, S.S. Dmytriev, N.I. Cherkashyna, L.D. Goncharova // Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2020. – Вип. 53. – С. 155-168. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-12>
 19. Замфірова М.С. Режим температури повітря та опадів в Україні в 2021-2050 роках за даними ансамблю моделей CORDEX [Текст] / М.С. Замфірова, В.М. Хохлов // Український гідрометеорологічний журнал, 2020. – № 25. – С. 17-27. <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.02>
 20. Решетченко С.И. Влияние процессов в Северной Атлантике на климатические показатели в Украине и Восточной Европе [Электронный ресурс] / С.И. Решетченко, И.А. Кибальчич // Альманах современной науки и образования, 2014. – №4. – С. 139-145. URL: https://www.gramota.net/articles/issn_1993-5552_2014_4_38.pdf.
 21. Гончарова Л. Д. Воздушные течения тропосферы и стратосферы северного полушария: монография [Текст] / Л.Д. Гончарова. – Одесса : ТЭС, 2014. – 298 с.
 22. Гончарова Л.Д. Вплив атмосферних макропроцесів на просторовий розподіл опадів по території України у весняний сезон [Текст] / Л.Д. Гончарова, О.М. Прокоф'єв, С.І. Решетченко, А.В. Черниченко // Український гідрометеорологічний журнал, 2021. – № 27. – С. 5-15. <https://doi.org/10.31481/uhmj.27.2021.01>
 23. Гончарова Л.Д. Клімато-географічні особливості розподілу опадів на території України в осінній період [Текст] /Л.Д. Гончарова, О.М. Прокоф'єв, // Екологічні науки, 2021. – № 2 (35). – С. 94-98. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.2-35.16>
 24. Johnson N. C. The continuum of Northern Hemisphere teleconnection patterns and a description of the NAO shift with the use of self-organizing maps [Text] / N. C. Johnson, S. B. Feldstein, D. Tremblay // J. Climate, 2008. – Vol. 21, No. 23. – P. 6354-6371.
 25. Saito K. Changes in the sub-decadal co variability between Northern Hemisphere snow cover and the general circulation of the atmosphere [Text] / K. Saito, T. Yasunari, J. Cohen // Int. J. Climatol, 2004. – Vol. 24. – P. 33-44.
 26. Івус Г.П. Просторово-часове розподілення атмосферних опадів в Одеському регіоні на початку ХХІ століття [Текст] / Г.П. Івус, Л.Д. Гончарова, Н.І. Косолапова // Український гідрометеорологічний журнал, 2018. – № 22. – С. 16–27. <https://doi.org/10.31481/uhmj.22.2018.02>
 27. Гончарова Л.Д. Методи обробки та аналізу гідрометеорологічної інформації (збірник задачі вправ) : навчальний посібник [Текст] / Л.Д. Гончарова, С.П. Шкільний. – Одеса : Екологія, 2007. – 464 с.
 28. Гончарова Л.Д. Методи багатовимірного статистичного аналізу метеорологічних полів та атмосферних процесів : навчальний посібник [Текст] / Л. Д. Гончарова. – Одеса : ТЕС, 2016. – 196 с.
 29. Серга Э.Н. Универсальный адаптивный итерационный метод кластерного анализа [Текст] / Э.Н. Серга // Метеорологія, кліматологія та гідрологія: міжвід. Наук. зб. України. – Одеса, 2003. – Вип. 47. – С. 83-89.
 30. Kutiel H. North Sea-Caspian (NCP) – an upper level atmospheric teleconnection affecting the Eastern Mediterranean: Identification and definition [Text] / H. Kutiel, Y. Benaroch //Theor. Appl. Climatol, 2002. – №71. – P. 17-28.
 31. Korres G. The ocean response to low-frequency interannual atmospheric variability in the Mediterranean Sea. Part. I: Sensitivity experiments and energy analysis [Text] / G. Korres, N. Pinardi, A. Lascaratos // J. Climate, 2000. – №13. – P. 705-731.
 32. Полонский А. Б. Роль океана в изменениях климата: монография [Текст] / А.Б. Полонский. – Киев : Думка, 2008. – 184 с.
 33. Bodri L. High frequency variability in recent climate and the north Atlantic oscillation [Text] / L. Bodri, V. Cermak // Theor. Appl. Climatol, 2003. – № 74. – P. 33-40.

Внесок авторів: Всі автори внесли однаковий внесок у цю роботу.

Features of climate and geographical distribution of atmospheric precipitations in the south of Ukraine

Liudmyla Goncharova¹,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Meteorology and Climatology,
¹Odessa State Environmental University, 15, Lvivska St., 65016, Odessa, Ukraine;

Oleg Prokofiev¹,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Meteorology and Climatology;

Svitlana Reshetchenko²,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Physical Geography and Cartography,
²V.N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

ABSTRACT

Formulation of the problem. The concept of implementing state policy in the field of climate change until 2030, which aims to develop a national climate program and prevent the reduction of risks associated with them in different regions of Ukraine. The research was performed in accordance with the objectives formulated in the research works of Odessa State Ecological University on the following topics: «Regime of precipitation in the regions of Ukraine in the late XX and early XXI centuries» (№ SR 0111U000590); «Forecasting of dangerous meteorological phenomena over the southern regions of Ukraine» (№ SR 00115U006532); «Comprehensive method of probabilistic and prognostic modeling of extreme hydrological phenomena on the rivers of southern Ukraine to ensure sustainable water use in climate change» (№ SR 0121U010964).

Problems of further research. The results presented in the article, of course, can not be considered exhaustive in terms of determining the impact of only two climatic signals that can form the spatial distribution of precipitation in southern Ukraine. The solution of the problems in the future will be directed to the consideration of other known teleconnections of the Northern and Southern Hemispheres with the involvement of additional equidistant empirical data.

The purpose. This article aims to identify the features of the spatial distribution of precipitation in the winter season and determine the responses of climatic signals (North Atlantic and North Caspian fluctuations) in their fields in southern Ukraine (Odessa, Mykolaiv, Kherson, Zaporizhia region and the Autonomous Republic of Crimea).

Research methods. The implementation of an integrated statistical approach was carried out in three stages with the involvement of methods of multidimensional statistical and cartographic analysis and methods of research of non-stationary random processes. The subject of the study is the series of monthly precipitation for December, January, February at 40 stations in Ukraine and time series of average values of climatic indices of large-scale interaction in the field of pressure - North Atlantic (NAO) and North Caspian (NCP) fluctuations for each month of the period 1962-2006.

Presentation of the main research material. Objective clustering of the territory of Ukraine has been carried out on the basis of long-term empirical data on precipitation. In the south, 2 generalized clusters have been identified, each of which is statistically sound and characterized by a time series of the mean vector. The statistical structure of these series is analyzed, which allowed to predict future trends in the studied fields until 2025-2030 in the territory of Southern Ukraine. Studies of the impact of North Atlantic and Euro-Mediterranean macro-processes on the spatial distribution of the monthly amount of precipitation in the winter season show the complexity and ambiguity of these relationships in different months of the season and in different regions of southern Ukraine.

Practical value. The obtained statistical models in the form of maps-schemes will take into account the directions of transfer of basic substances, which in turn will help (in compiling the climate forecast of precipitation) to understand the contribution of different regions of the Northern Hemisphere to the formation of the main climatic indicator.

Research results. In the south of Ukraine in December and February the monthly rainfall by 2025-2030 will decrease compared to the beginning of the XXI century. In January, only in the Zaporozhye region is expected to fall rainfall in the next 20-30 years. For the rest of the southern regions of Ukraine in January the amount of precipitation will be within long-term values (15-45 mm). The presence of a linear correlation between the North Atlantic Oscillation and the spatial distribution of precipitation in December was determined (with a probability of 90%); in February, the combined effects of the North Sea-Caspian and North Atlantic oscillations. In January, in the south of Ukraine, with some probability, it was not possible to establish responses in the distribution of precipitation with the climatic signals under consideration.

Keywords: *global climate, generalized cluster, correlation coefficient, deterministic basis, large-scale atmospheric fluctuations.*

References

1. IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Geneva, Switzerland, 151. Access mode: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf
2. Alexander, L.V. (2016). *Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: A review of progress and limitations in IPCC assessments and beyond*. *Weather and Climate Extremes*, 11, 4-16.
3. Alexander, L.V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A. M. G., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Rupa Kumar, K., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson, D. B., Burn, J., Aguilar, E., Brunet, M., Taylor, M., New, M., Zhai, P., Rusticucci, M., Vazquezaguirre, J. L. (2006), *Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation // Journal of Geophysical Research*, vol. 111, D05109, <https://doi.org/10.1029/2005JD006290>.
4. Pietrapertosa, F. et al. (2018). *Climate change adaptation policies and plans: A survey in 11 South East European countries*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(2), pp. 3041-3050. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.116>
5. *Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine "On approval of the Concept of implementation of state policy in the field of climate change until 2030" dated December 7, 2016, 932*. Access mode: <http://www.kmu.gov.ua/control/uk/card-ncpd?docid=249573705> [in Ukrainian]
6. Lipinskyi, V.M., Diachuk, V.A. & Babichenko, V.M. (eds) (2003). *Klimat Ukrainy*. Kyiv : Publ. Raievskoho. (in Ukr.)
7. Stepanenko, S.M. & Poliovyi, A.M. (eds) (2015). *Klimatychni zminy ta ikh vplyv na sfery ekonomiky Ukrainy [Climate change and its impact on the economy of Ukraine]*. Odesa : Publ. TES. [in Ukrainian]
8. Khokhlov, V.M. et al. (2016). *Zmina pohodnykh umov na terytorii Ukrainy v umovakh zminy klimatu [Changes of weather conditions in Ukraine under climate changes]*. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 17, pp. 31-37. <https://doi.org/10.31481/uhmj.17.2016.04> [in Ukrainian]
9. Khokhlov, V.M. & Yermolenko, N.S. (2015). *Maibutni zminy klimatu ta yikh vplyv na rezhym opadiv ta temperatury v Ukraini [Future climate change and its impact on precipitation and temperature in Ukraine]*. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 16, 76-82. <https://doi.org/10.31481/uhmj.16.2015.10> [in Ukrainian]
10. Martazynova, V.F. & Shcheglov, A.A. (2018). *Kharakter ekstremalnykh opadiv pochatku XXI stolittia na terytorii Ukrainy [The nature of extreme precipitation at the beginning of the XXI century in Ukraine]*. *Ukrainskyi hidrometeorologichnyi zhurnal [Ukrainian Hydrometeorological Journal]*, 22, 36-45. <https://doi.org/10.31481/uhmj.22.2018.04> [in Ukrainian]
11. Balabukh, V. et al. (2018). *Extreme weather events in Ukraine: occurrence and changes*. *Extreme Weather / Edited by P. J. Sallis*. London, UK: Intech Open, 85-106.

12. Stepanenko, S. M., & Pol'ovyi, A.M. (Ed). (2018). Klimatychni ryzyky unksionuvannia haluzei ekonomiky Ukrainy v umovakh zminy klimatu: monohrafiia. (Climate risks of functioning of branches of economy of Ukraine in the conditions of climate change: a monograph). Odesa: Odesa State Ecological University. [in Ukrainian]
13. Voloshynoi, Zh.V. (Ed). (2010). Klimatychni resursy Odes'koi oblasti dlia staloho rozvytku: naukovo-praktychnyi dovidnyk. (Climatic resources of Odessa region for sustainable development: a scientific and practical guide). Odesa: State Hydrometeorological Service of Ukraine. [in Ukrainian]
14. Lipins'kyi, V.M., Osadchyi, V. I., & Babichenko, V. M. (Ed). (2006). Stykhiini meteorolohichni yavyscha na terytorii Ukrainy za ostannie dvadtsiatyrichchia (1986–2005 rr.): monohrafiia. (Natural meteorological phenomena on the territory of Ukraine for the last twenty years (1986–2005): a monograph). Kyiv. [in Ukrainian]
15. Ivus, G. P., Goncharova, L.D., Kosolapova, N. I., & Zubkovich, C. O. (2018). Modern seasonal features of the risk mode on the territory of Odessa region. *Scientific Journal (Science Review)*, 1, 3 (10), 27–33.
16. Svetlichnyy, A.A. & Ibragimova, M.S. (2016). K voprosu o sovremennykh izmeneniyah klimata Severo-Zapadnogo Prichernomor'ya [To the problem of current climate change over North-West Black-Sea Region]. *Visnyk ONU. Ser.: Heohrafichni ta heolohichni nauky [Bulletin ONU. Ser.: Geographic and Geologic Science]*, 21(1), 22-41. [in Russian]
17. Ovcharuk, V. A., Prokofiev, O. M., Todorova, O. I. & Kichuk, N. S. (2019). The study of the periodicity of catastrophic spring floods on the territory of Ukraine. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 50, 136-147. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-50-10>
18. Reshetchenko, S.I., Dmytriev, S.S., Cherkashyna, N.I. & Goncharova, L.D. (2020). Climate indicators of changes in hydrological characteristics (a case of the psyol river basin). *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 53, 155-168. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-12>
19. Zamfirova, M.S. & Khokhlov, V.M. (2020). Rezhym temperatury povitria ta opadiv v ukraini v 2021-2050 rokakh za danymy ansamblu modelei CORDEX [Air temperature and precipitation regime in Ukraine in 2021-2050 by CORDEX model ensemble]. *Ukrainskyi hidrometeorolohichniy zhurnal [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 25, 17-27. <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.02> [in Ukrainian]
20. Reshetchenko, S.I. & Kibalchich, I.A. (2014). Influence of processes in the North Atlantic on climatic indicators in Ukraine and Eastern Europe // *Almanac of modern science and education*, 4, 139-145. Access mode: https://www.gramota.net/articles/issn_1993-5552_2014_4_38.pdf (in Russ.)
21. Goncharova, L.D. (2014). *Vozdushnye techeniya troposfery i stratosfery severnogo polushariya [Air currents of the troposphere and stratosphere of the northern hemisphere]*. Odessa: TES. [in Russian]
22. Goncharova, L.D., Prokofiev, O.M., Reshetchenk, S.I. & Chernychenko, A.V. (2021). Vplyv atmosferykh makroprotsesiv na prostоровий rozpodil opadiv po terytorii Ukrainy u vesniani sezon [Influence of atmospheric macroprocesses on the spatial distribution of precipitation on the territory of Ukraine in the spring season]. *Ukrainskyi hidrometeorolohichniy zhurnal [Ukrainian Hydrometeorological Journal]*, 27, 5-15. <https://doi.org/10.31481/uhmj.27.2021.01> [in Ukrainian]
23. Prokofiev, O.M. & Goncharova, L.D. (2021). Klimato-heohrafichni osoblyvosti rozpodilu opadiv na terytorii Ukrainy v osinnii period [Climatic and geographical features of precipitation distribution on the territory of Ukraine in the autumn period]. *Ekolohichni nauky [Environmental sciences]*, 2 (35), 94-98. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.2-35.16> [in Ukrainian]
24. Johnson, N. C., Feldstein, S. B., Tremblay, D. (2008), «The continuum of Northern Hemisphere teleconnection patterns and a description of the NAO shift with the use of self-organizing maps». *J. Climate*, 21, 23, 6354-6371.
25. Saito, K., Yasunari, T., Cohen, J. (2004), «Changes in the sub-decadal co variability between Northern Hemisphere snow cover and the general circulation of the atmosphere». *Int. J. Climatol.*, 24, 33-44.
26. Ivus, H. P., Goncharova, L. D., & Kosolapova, N. I. (2018). *Prostorovo-chasove rozpodilennia atmosferykh opadiv v Odes'komu rehioni na pochatku XXI stolittia. (Spatio-temporal distribution of precipitation in the Odessa region at the beginning of the 21st century)*. *Ukrainskyi hidrometeorolohichniy zhurnal [Ukrainian Hydrometeorological Journal]*, 22, 16–27 [in Ukrainian]
27. Goncharova, L.D. & Shkolnyi, Ye.P. (2007). *Metody obrobky ta analizu hidrometeorolohichnoi informatsii (zbirnyk zadach i vprav) [Methods of processing and analysis of hydrometeorological information (collection of tasks and exercises)]*. Odesa: Ekolohiia. [in Ukrainian]
28. Goncharova, L.D. (2016). *Metody bahatovymirnoho statystychnoho analizu meteorolohichnykh poliv ta atmosferykh protsesiv [Methods of multidimensional statistical analysis of meteorological fields and atmospheric processes]*. Odesa: TES. [in Ukrainian]
29. Serga, E.N. (2003). *Universal'nyy adaptivnyy iteratsionnyy metod klasternogo analiza [Universal adaptive iterative method of cluster analysis]*. *Meteorolohiia, klimatolohiia ta hidrolohiia [Meteorology, climatology and hydrology]*, 47, 83-89. [in Russian]
30. Kutiel, H. & Benaroch, Y. (2002). North Sea-Caspian (NCP) – an upper level atmospheric teleconnection affecting the Eastern Mediterranean: Identification and definition. *Theor. Appl. Climatol*, 71, 17-28.
31. Korres, G., Pinardi, N. & Lascaratos, A. (2000). The ocean response to low-frequency interannual atmospheric variability in the Mediterranean Sea. Part. I: Sensitivity experiments and energy analysis. *J. Climate*, 13, 705-731.
32. Polonskiy, A.B. (2008). *Rol' okeana v izmeneniyakh klimata [Ocean role in climate change]*. Kiev, Dumka [in Russian]
33. Bodri, L. & Cermak, V. (2003). High frequency variability in recent climate and the north Atlantic oscillation. *Theor. Appl. Climatol*, 74, 33-40.

Характер сучасних та оцінка можливих майбутніх змін у водному режимі оз. Лебедине (Сумська область)

Василь Гребін¹,

д. геогр. н., професор, завідувач кафедри гідрології та гідроекології,

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка, географічний факультет,

просп. Академіка Глушкова, 2, м. Київ, 02000, Україна,

e-mail: greb1964@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8197-607X>;

Ольга Лук'янець¹,

к. геогр. н., доцент, кафедра гідрології та гідроекології,

e-mail: luko15_06@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8903-130X>

Проведено дослідження характеру сучасних та оцінено на найближче десятиріччя (2021-2030 рр.) можливі зміни у водному режимі оз. Лебедине, що знаходиться біля м. Лебедин Сумської області. Для об'єктивної оцінки та з метою виявлення довгострокових змін, які вже відбулися у водообміні озера, проведено порівняння складових водного балансу озера за два періоди - сучасний (1991-2019 рр.) з періодом кліматичної норми (1961-1990 рр.). Виявлено, що загальний об'єм надходження води в озеро в сучасний період зменшився (у порівнянні в періодом кліматичної норми) майже на 16 %. З них, надходження води з площі, прилеглої до озера (схиловий стік) стало меншим на 17,8 %, зменшився й об'єм атмосферних опадів на дзеркало озера на 11,7 %. Відзначається зменшення абсолютного об'єму випаровування з водної поверхні оз. Лебедине за рахунок зменшення об'ємів надходження води, але у той же час на фоні підвищення температури повітря зростає інтенсивність випаровування – його частка у водно-балансових співвідношеннях збільшилася на 8,3% у порівнянні з періодом кліматичної норми. Оцінюючи акумулятивну складову водного балансу озера, можна констатувати, що в період кліматичної норми відбувалося певне накопичення води в озері - в середньому на +22130 м³ щорічно, а в сучасний період відбувалося виснаження об'єму води в озері – в середньому за період 1991-2019 рр. на -81200 м³ на рік. В результаті об'єм води в ложі озера в сучасний період зменшився приблизно на 40-42% у порівнянні з періодом кліматичної норми. За прогностичними оцінками величин сумарного надходження води в озеро на період 2021-2030 рр. можна припустити, що в порівнянні з попереднім десятиріччям вони зростуть, в середньому, на 18%. Тому можна очікувати, при певній стабілізації величин випаровування, незначне, але все ж-таки поповнення озера водою.

Ключові слова: Україна, місто Лебедин., озеро Лебедине, водний баланс озера; водний режим, часова динаміка, прогностичні оцінки.

Як цитувати: Гребін Василь. Характер сучасних та оцінка можливих майбутніх змін у водному режимі оз. Лебедине (Сумська область) / Василь Гребін, Ольга Лук'янець // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 57. – С. 95-102. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-08>

In cites: Grebin Vasiliy, Lukianets Olga (2022). Nature of current and assessment of possible future changes in the water regime of lake Lebedyne (Sumy region). Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (57), 95-102. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-08> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. У Сумській області України є цікаве місто з поетичною назвою Лебедин. Воно знаходиться на р. Вільшанка, а на околиці міста знаходиться оз. Лебедине в оточенні соснового лісу. Останнім часом колись мальовниче глибоке озеро стало міліти, заростаючи очеретом, і влітку 2019 р. висохло майже до самого дна. Вочевидь, зважаючи на це, лебединці забили на сполох і звернулися до представників влади, зокрема Президента України. Так, на офіційному інтернет-представництві глави держави, у розділі «Електронні петиції» 6 листопада 2019 р. з'явилося звернення: «...Озеро Лебедине. Перлина Лебединщини за роки незалежності і бездіяльності місцевої влади почало швидко міліти, перетворюючись на велике болото. Просимо вас вжити заходів, щодо порятунку озера...». У 2020 р. із Лебединського міського бюджету виділили 150 тис. грн. на співфінансування робіт із наукового дослідження щодо поліпшення стану озера Лебеди-

не. Фінансування робіт передбачене Програмою економічного і соціального розвитку міста Лебедина на 2019 р. та наступні 2020-2021 програмні роки. Як зауважили посадовці під час обговорення проекту на засіданні виконавчого комітету, «передпроектні роботи – першочергове завдання. Потрібні вони, аби остаточно зрозуміти, що ж саме стало каталізатором сьогоденних змін у житті водойми: клімат, господарська діяльність тощо. Лише після встановлення такого своєрідного «діагнозу» можна говорити про власне проведення робіт із відновлення однієї із перлин Лебедина».

Для з'ясування причин такої зміни водності озера нами виконана договірна тема «Наукове обґрунтування можливості відновлення водності озера Лебедине».

Аналіз попередніх досліджень та публікацій. Дослідження по всьому світу свідчать про те, що в сучасний період з проблемами обміління

стикаються озера по всій Землі. Деякі з найбільших озер світу в останні 10-20 років зменшилися вдвічі [4]. У Північній Америці зменшуються площі водної поверхні Великих озер, в Азії озера Байкал – найбільших у світі, в Африці – озера Чад, у Південній Америці міліє озеро Тітікака, а озеро Пупо, площа водної поверхні якого на початку 2000-х років складала 3,2 тис. км², перетворилося в тонку кірку солі [4]. Прикладами зменшення водності озер в Європі можуть слугувати водойми Німеччини, Білорусі та України. Яскравим прикладом в Україні є Шацькі озера, які у останні роки відчутно страждають від обміління. За даними Інституту водних проблем і меліорації НААН України, зниження рівня води в озері Світязь спостерігається з 2010 р. [7-8]. У 2019 р. проблема обміління Світязя стала україною гострою – вода відійшла від берега на відстань від 20 до 90 метрів. Екологи фіксували рівень падіння води до 40 см. У різних регіонах України міста стикаються з проблемою обміління їхніх водойм. Так, у м. Ходорів в останні роки міліє міський став, так само як у містах Калуш, Слов'янськ, Лебедин, Київ та ін.

Обміління та зникнення озер пов'язано зі змінами клімату. Дані з усього світу свідчать про те, що озера завдяки підвищенню температури повітря поступово стають теплішими, випаровуються швидше, ніж поповнюються, зменшуються за розмірами або зовсім зникають, надаючи тим самим колосальний вплив на екосистеми [5].

Не треба забувати про різноманітні антропогенні впливи на озера та їх басейни. Так обміління та зникнення деяких озер в Європі, на Близькому Сході і в Азії пов'язують з процесами іригації. Тепер же поступове підвищення температури повітря посилює ці процеси [4-5]. Щодо Шацьких озер, то в 1960-80 роках минулого століття було проведено осушення верхів'я Прип'яті, при цьому зникли тисячі гектарів боліт, які підживлювали як підземні водні горизонти, так і річки та озера. В останні роки на озері Світязь відпочивають сотні тисяч туристів. Лише у 2018 році їх було більше мільйона. Користувачі в літній період активніше починають відбирати воду з озер і цей процес зовсім неконтрольований. До того існує проблема забруднення озера Світязь через відсутність каналізаційної мережі [8].

Тому озера як у світі, так в нашій країні потребують глибокого і всебічного дослідження. Поки що їх води безжалісно використовують, не даючи майже нічого взамін. Водна рамкова директива пропонує потенціал для вирішення наслідків посухи і проблем з нестачею води [10]. Це добрий кількісний стан підземних вод, що забезпечує баланс між водозабором і поповненням підземних вод. Також досягнення доброго екологіч-

ного стану поверхневих вод та визначення мінімальних потоків води, від яких залежить життя водних екосистем. Тому перший крок має бути спрямований на виявленні поточних і майбутніх наслідків зміни клімату з подальшою розробкою стратегій адаптації, включаючи план дій та заходи з адаптації [10].

Результати останніх досліджень з зазначеної проблеми оз. Лебедине представлено у матеріалах XIV Міжнародної наукової конференції «Моніторинг геологічних процесів та екологічного стану навколишнього середовища» (листопад 2020 р.). Одна з доповідей присвячена визначенню підземної складової водного балансу озера Лебедине в контексті перспектив відновлення його водного складу [11], друга – розрахунку водного балансу озера в сучасних кліматичних умовах [12].

Метою даного дослідження є виявлення характерних особливостей сучасних та прогнозна оцінка до 2030 р. можливих змін у водному режимі оз. Лебедине.

Матеріали та методи дослідження. Для з'ясування характеру сучасних змін у водності озера застосовано водно-балансовий метод. Загальний вид рівняння водного балансу озера має наступний вигляд:

$$\sum H - \sum B = \sum A + \eta, \quad (1)$$

де $\sum H$ – сума компонентів надходження у водному балансі;

$\sum B$ – сума компонентів втрачання у балансі;

$\sum A$ – сума акумулятивних компонентів;

η – нев'язка розрахунку балансу [1-3].

Питома вага різних складових балансу нерівнозначна і визначається кліматичними умовами, морфометричними особливостями озера, його проточністю, співвідношенням площ дзеркала водної поверхні озера і водозбору, рівнем господарської діяльності тощо. Для оз. Лебедине, як для безстічної водойми, рівняння його водного балансу, враховуючи основні складові, можна представити у вигляді:

$$H_P + H_{On} - B_{VT} - B_{\Phi} = \pm A_O, \quad (2)$$

де H_P – надходження води з площі, що безпосередньо прилегла до озера і не має постійної гідрографічної мережі (схиллий стік);

H_{On} – надходження води за рахунок опадів, що випадають на дзеркало озера;

B_{VT} – втрати на випаровування з водної поверхні озера (при його заростанні додаються втрати на транспірацію);

B_{Φ} – фільтрація (підземний стік) з озера;

A_O – акумуляція води у в чаші озера [1-2].

Загалом, для водного балансу за періоди з підвищеним зволоженням характерно перевищення складових надходження щодо складових втрачання

ня, що приводить до зростання акумуляційної складової $\sum A$ і підвищення рівня води в озері. За періоди з невеликим зволоженням витратна частина переважає над частиною надходження, і рівні води в озері знижуються. Тобто, водний баланс озера є головною характеристикою гідрологічного режиму та водообміну [2].

Виклад основного матеріалу. Для об'єктивної оцінки та з метою виявлення довгострокових змін, які вже відбулися у водообміні озера [12], проведено порівняння складових водного балансу за два періоди – сучасний (1991-2019 рр.) з періодом кліматичної норми (1961-1990 рр.) [9, 13-14].

Для розрахунку складових водного балансу озера в єдиної розмірності – в об'ємних одиницях m^3 , прийняті наступні осереднені за зазначені вище періоди морфометричні показники. Площа

водної поверхні оз. Лебедине у період 1961-1990 рр. складала $0,52 \text{ км}^2$, а у період 1991-2019 рр. зменшилася до $0,49 \text{ км}^2$. Площа водозбору озера $9,5 \text{ км}^2$. Середнє значення найбільшої глибини озера за період 1961-1990 рр. – $2,3 \text{ м}$, а за період 1991-2019 рр. вона зменшилася до $1,5 \text{ м}$. Середній діаметр водної поверхні озера за період 1961-1990 рр. – 725 м , за період 1991-2019 рр. – 680 м .

Використовуючи наявні дані регіонального гідрометеорологічного моніторингу та оцінки гідрогеологів щодо фільтрації та відтоку з озера підземних вод, які за їх розрахунками складають 75600 м^3 на рік, розраховано водний баланс оз. Лебедине [11-12] та подано за два досліджуваних періоди зміни величин водно-балансових елементів – надходження води в озеро, втрачання з нього та зміни акумуляційної складової (табл. 1).

Таблиця 1 / Table 1

Водний баланс оз. Лебедине / Water balance of lake Lebedyne

Компоненти надходження, m^3		Компоненти втрачання, m^3		Акумулятивна компонента об'єму води в озері (m^3), A_O
води з площі прилеглої до озера (схиловий стік), H_P	атмосферні опади на дзеркало озера, H_{On}	випаровування з дзеркала озера та транспірація, B_{BT}	фільтрація (підземний відтік) з озера, B_Φ	
Період 1961-1990 рр.				
921500	311480	1135250	75600	+22130
Період 1991-2019 рр.				
760000	274890	1040490	75600	-81200

При цьому треба враховувати, що середня річна температура повітря в сучасний період (1991-2019 рр.) в середньому зросла на 1°C (за даними метеостанції Лебедин) у порівнянні з періодом кліматичної норми (1961-1990 рр.).

Якщо проаналізувати компоненти надходження в рівнянні водного балансу оз. Лебедине за 2 періоди, то співвідношення між надходженням води з водозбірної площі та за рахунок опадів на дзеркало озера не змінилося – $74-75\%$ від загального надходження припадає на схиловий стік з прилеглих до озера територій і відповідно $25-26\%$ на опади. Але порівнюючи досліджувані періоди, можна констатувати, що загальний об'єм надходження води в озеро в сучасний період зменшився у порівнянні в періодом кліматичної норми майже на 16% (табл. 1). З них, надходження води з площі, прилеглої до озера (схиловий стік) стало меншим на $17,8\%$, зменшився й об'єм атмосферних опадів на дзеркало озера на $11,7\%$.

Щодо величини випаровування з водної поверхні оз. Лебедине. В сучасний період відбувається два різнонаправлені процеси. На фоні збільшення температури повітря зростає інтенсивність випаровування з водної поверхні. Але, зменшення об'ємів надходження води в оз. Лебедине сприяє зниженню рівнів води в озері і, як наслідок, змен-

шенню площі його водного дзеркала, з якого відбувається випаровування. Тобто, водночас відзначається зменшення величини абсолютного об'єму випаровування з водної поверхні оз. Лебедине в сучасний період за рахунок зменшення площі водного дзеркала, а частка випаровування у водно-балансових співвідношеннях, навпаки, зросла майже на $8,3\%$ у порівнянні з стандартним кліматичним періодом (табл. 1).

Знаючи кількісні показники основних компонентів водного балансу оз. Лебедине можна оцінити акумулятивну компоненту водного балансу (табл. 1) за період кліматичної норми та сучасний період за рівнянням (2). Якщо в період кліматичної норми відбувалося певне накопичення води в озері ($+22130 \text{ м}^3$, в середньому на рік), то в сучасний період відбувається природне спрацювання (виснаження) об'єму води в озері (-81200 м^3 , в середньому за рік).

Для наближеної оцінки наскільки в середньому за два досліджуваних періоди зменшився об'єм води в ложе оз. Лебедине W_{O3} (m^3) в сучасний період (1991-2019 рр.) у порівнянні з періодом кліматичної норми (1961-1990 рр.) використано формулу кулькового сегменту:

$$W_{O3} = 3,14 \cdot h_{\text{сеп.найб}} \cdot \left(\frac{d_{O3}^2}{8} + \frac{h_{\text{сеп.найб}}^2}{6} \right), \quad (3)$$

де $h_{сер_найб}$ - середнє значення найбільших глибин озера, м;

$d_{оз}$ - діаметр водної поверхні озера, м [2].

У сучасний період, аналізуючи розрахунки, об'єм води в ложе озера зменшився приблизно на 40-42% у порівнянні з періодом кліматичної норми.

Для прогнозу оцінки на найближчі роки особливостей у водообміні оз. Лебедине прослід-

ковано динаміку середніх річних температур повітря та атмосферних опадів за період з 1961 по 2019 рр. за даними метеостанції Лебедин, а також прогноз цих параметрів за кліматичними проєкціями з використанням траєкторії low end RCP4.5 (м'який варіант) на період з 2021 по 2030 роки (рис. 1 та 2).

Середня річна температура повітря на насту-

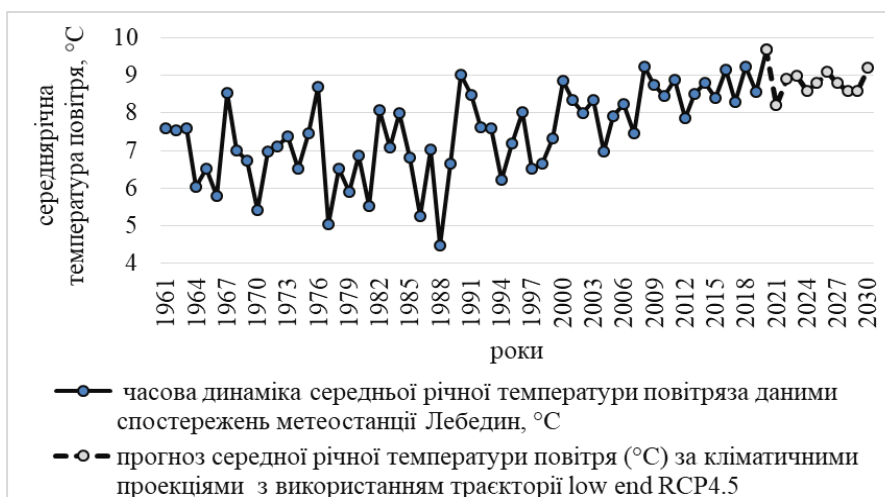


Рис. 1. Часова динаміка середніх річних температур повітря за період з 1961 по 2019 рр. (за даними метеостанції Лебедин) та їх прогнозу оцінки на період з 2021 по 2030 рр. /

Fig. 1. Time dynamics of average annual air temperatures for the period from 1961 to 2019 (according to the Lebedyn weather station) and their forecast estimates for the period from 2021 to 2030



Рис. 2. Часова динаміка річних сум атмосферних опадів за період з 1961 по 2019 рр.

(за даними метеостанції Лебедин) та їх прогнозу оцінки на період з 2021 по 2030 рр. /

Fig. 2. Time dynamics of annual amounts of atmospheric precipitation for the period from 1961 to 2019 (according to the Lebedyn weather station) and their forecast estimates for the period from 2021 to 2030

пне десятиліття 2020-2030 рр. за прогнозом у порівнянні з попереднім мало зміниться, навіть можливо буде нижчою, в середньому на 0,1°C.

Щодо середніх річних кількостей атмосферних опадів, то за прогнозом у період 2020-2030 рр. вони зростуть у порівнянні з попереднім десятиліттям (2010-2019 рр.) в середньому на 120-125 мм (з 554 мм до 680 мм).

За середньорічними величинами температури повітря та кількості атмосферних опадів за період з 1961 по 2019 рр. отримано емпіричне рівняння множинної регресії [6] для досліджуваного регіону (коефіцієнт кореляції цього зв'язку значимий, $Rr = 0,88$), за яким надано наближені прогнозу оцінки шарів схилового притоку води R_p (в мм):

$$R_p = -22,45 \cdot t + 0,027 \cdot P + 240,9, \quad (4)$$

де t - середня річна температура повітря, °С,
 P - сума кількості опадів за рік, мм.

Знаючи величину водозбірної площі оз. Лебедине, оцінено об'єми притоку води з площі прилеглої до озера. Перераховано в об'єми й кількості опадів на водну поверхню озера. Таким чином,

передбачено сумарний приплив до оз. Лебедине на наступне десятиліття 2021-2030 рр. (рис. 3). Для можливості порівняння з попередніми роками на рис 3 також показано динаміку такого надходження за період 1961-2020 р., а на рис. 4 – середнє сумарне надходження води до озера по десятирічкам.



Рис. 3. Динаміка сумарного надходження води до оз. Лебедине (з площі прилеглої до озера та атмосферних опадів на дзеркало озера) за період з 1961 по 2019 рр. та його прогнозні оцінки на період з 2021 по 2030 рр. /

Fig. 3. Dynamics of the total water inflow into Lake Lebedyne (from the area adjacent to the lake and atmospheric precipitation to the lake surface) for the period from 1961 to 2019 and its forecast estimates for the period from 2021 to 2030

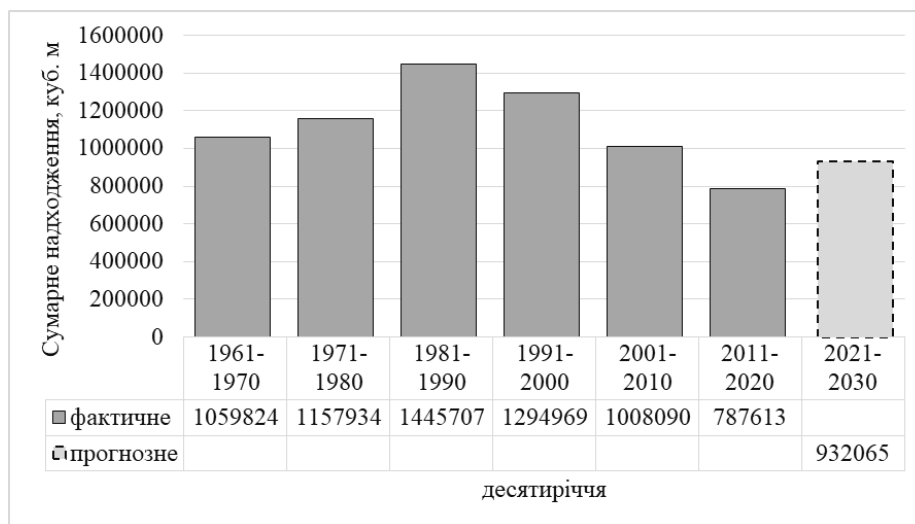


Рис. 4. Багаторічні зміни по десятирічкам сумарного надходження води до оз. Лебедине та його прогнозні оцінки

Fig. 4. Long-term changes in decades of total water inflow into the Lake Lebedyne and his predictive estimates

Найбільше сумарне надходження води до озера спостерігалось у 80-90-ті роки минулого століття, найменше – у десятиріччя з 2011 р по 2020 р. (рис. 4). Якщо порівнювати послідовні десятиріччя з 2000 р., то сумарне надходження до

оз. Лебедине за період 2001-2010 рр. в середньому складало 1008090 м³ води на рік, а вже в наступне десятиріччя цей показник зменшився на 22% з і склав 787613 м³. Прогнозні оцінки сумарного надходження води в озеро на період з 2021 по 2030

рр. в порівнянні з попереднім десятиріччям показують його зростання в середньому до 932065 м³ на рік, але таке збільшення (у порівнянні з попереднім зменшенням) всього на 18%.

Висновки. Для з'ясування причин обміління колись мальовничого, достатньо глибокого оз. Лебедине, що знаходиться біля м. Лебедин Сумської області застосовано водно-балансовий метод. Складові водного балансу є характеристиками водообміну і визначаються процесами надходження, втрачання та акумуляція води у в чаші озера. Для виявлення довгострокових змін у водообміні озера проведено порівняння складових водного балансу за два періоди – сучасний (1991-2019 рр.) з періодом кліматичної норми (1961-1990 рр.). Водно-балансові розрахунки показали, що загальний об'єм надходження води в озеро в сучасний період в середньому зменшився у порівнянні в періодом кліматичної норми майже на 16 %. При цьому, надходження води з площі, прилеглої до озера зменшилося на 17,8 %, також зменшився й об'єм атмосферних опадів на дзеркало озера на

11,7 %. Вагомою складовою втрат у водному балансі озера є випаровування з дзеркала озера та транспірація. Його відсоток від загального надходження в сучасний період збільшився майже на 8,3%. Тому в період кліматичної норми відбувалося певне накопичення води, а в сучасний період – природне спрацювання (виснаження) об'єму води в озері. Порівнюючи об'єми води в ложе озера за період 1991-2019 рр. з періодом кліматичної норми, можна констатувати, що він зменшився, в середньому, на 40-42%.

Прогнозні оцінки та порівняння сумарного надходження води в озеро на період з 2021 по 2030 рр. з попереднім десятиріччям показують його зростання в середньому на 18% – з 787613 м³ на рік (2010-2019 рр.) до прогнозних 932065 м³ на рік. Враховуючи той факт, що середня річна температура повітря за прогнозом на наступне десятиліття 2021-2030 рр. у порівнянні з попереднім мало зміниться, навіть можливо буде нижчою в середньому на 0,1°C, можна очікувати незначне, але все ж-таки поповнення озера водою.

Список використаної літератури

1. Гидрологические и воднобалансовые расчеты / Под ред. Н. Г. Галущенко // – К.: Вища школа, 1987. – С. 171-221.
2. Догановский А.М. Сборник задач по определению основных характеристик водных объектов суши (практикум по гидрологии): Уч. пособ. / А. М. Догановский, В. Г. Орлов. – Санкт-Петербург: Изд-во РГТМУ, 2011. – 197-226 с.
3. Загальна гідрологія. / За ред. В.К. Хільчевського, О. Г. Ободовського // – К.: ВПЦ «Київський університет», 2008. – 179-187 с.
4. Крупнейшие озера на Земле вскоре могут исчезнуть – ученые. URL: <https://zn.ua/TECHNOLOGIES/krupneyshie-ozera-na-zemle-vskore-mogut-ischeznut-uchenye-206398.html>
5. Найбільші озера Землі зникають через зміни клімату. URL: <https://wz.lviv.ua/news/162835-naibilshi-ozera-zemli-znykaiut-cherез-zminy-klimatu>
6. Сикан А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. Учебник. / А. В. Сикан. – Санкт-Петербург: изд. РГТМУ, 2007. – С. 136-167.
7. Хільчевський В.К.. Основні аспекти морфометрії та гідрохімії Шацьких озер / В.К. Хільчевський, М.Р. Забокрицька // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2020. – № 3(58). – С. 92-100. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2020.3.9>
8. Чи будуть Шацькі озера з водою: підрахунки і прогнози експерта. URL: <http://www.volynpost.com/articles/1887-chy-budut-shacki-ozera-z-vodoyu-pidrahunky-i-prognozy-eksperta>
9. Чорноморець Ю.О. Вплив сучасних змін у співвідношенні сніго-дощового живлення річок на структуру водного балансу їх басейнів (на прикладі річкового басейну Ворскли) / Ю.О. Чорноморець, О.І. Лук'янець // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2019. – № 4(55). – С. 40-52. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2019.4.3>
10. ALTERNATIVE ENVIRONMENTAL PLATFORM-2020 «ECO-MODERNIZATION» Блок «Охорона водних та земельних ресурсів». URL: <https://appau.org.ua/publications/alternative-environmental-platform-2020-eco-modernization/>
11. Chomko D. Determination of the underground component of the water balance of lake Lebedyne (Sumy region) in the context of prospects for the restoration of its water constitution and the project / D. Chomko, O. Koshliakov, O. Dyniak and I. Koshliakova. – Conference Proceedings, XIV International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment» – European Association of Geoscientists & Engineers. – Nov 2020. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056092>.
12. Lukianets O. Water balance of lake lebedyne in modern climatic conditions / O. Lukianets and V. Grebin. – Conference Proceedings, XIV International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment». – European Association of Geoscientists & Engineers. – Nov 2020. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056026>.
13. WMO Media Centre, 2015: New Two-Tier approach on «climate normal». UPL: <https://public.wmo.int/en/media/news/new-two-tier-approach-climate-normals>.
14. WMO, 2007: «The role of climatological normals in a changing climate», World Climate Data and Monitoring Programme – No. 61, WMO-TD. – No. 1377.

15. Kuusisto, Esko; Hyvärinen, Veli (2000). *Hydrology of Lakes*. In Pertti Heinonen (ed.). *Hydrological and Limnological Aspects of Lake Monitoring*. John Wiley & Sons. – Pp. 4–5. ISBN 978-0-470-51113-8.
16. Wetzel, Robert (2001). *Limnology: Lake and river ecosystems*. San Diego: Academic Press. 1006 p. ISBN 9780127447605.
17. Cohen, A. S. (2003). *Paleolimnology: The History and Evolution of Lake Systems*. New York: Oxford University Press. ISBN 978-0-19-513353-0.
18. Appelo, C. A. J., & Postma, D. (2005). *Geochemistry, Groundwater and Pollution* (p. 649). The Netherlands: A.A. Balkema Publishers. <https://doi.org/10.1201/9781439833544>
19. Balistrieri, L. S., Tempel, R. N., Stillings, L. L., & Shevenell, L. A. (2006). *Modeling Spatial and Temporal Variations in Temperature and Salinity during Stratification and Overturb in Dexter Pit Lake, Tuscarora, Nevada, USA*. *Applied Geochemistry*, 21, 1184-1203.
20. Muvundja, A.F., Pasche, N., Bugenyi, W.B.F., Isumbisho, M., Müller, B., Namugize, J.P., Rinta, P., Schmid, M., Stierli, R. and Wüest, A. (2009) *Balancing Nutrient Inputs to Lake Kivu*. *Journal of Great Lakes Research*, 35, 406-418. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2009.06.002>
21. Rzętala, Mariusz; Jagus, Andrzej (May 2011). *New lake district in Europe: Origin and hydrochemical characteristics*. *Water and Environment Journal*. 26 (1): 108-117. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2011.00269.x>
22. Sterner, R.W., Keeler, B., Polasky, S., Poudel, R., Rhude, K. and Rogers, M. (2020). *Ecosystem Services of Earth's Largest Freshwater Lakes*. *Ecosystem Services*, 41, Article ID: 101046. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.101046>

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Nature of current and assessment of possible future changes in the water regime of lake Lebedyne (Sumy region)

*Vasiliy Grebin*¹,

DSc (Geography), Professor, Head of the Department of Hydrology and Hydroecology,
¹Taras Shevchenko National University of Kyiv, Faculty of Geography,
2-A Glushkov Prospekt, Kyiv, 02000, Ukraine;

*Olga Lukianets*¹,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Hydrology and Hydroecology

ABSTRACT

Aim of the research is to identify the characteristic features of modern and predictive assessment until 2030 possible changes in the water regime of the Lake Lebedyne.

Methods of the research – water balance method (to clarify the nature of modern changes in the water exchange of the lake), pairwise and multiple correlation methods (for statistical analysis of relationships between hydro-meteorological variables).

Scientific novelty – for the first time the analysis of modern changes in the water exchange of the Lake Lebedyne by comparing the components of the lake's water balance for two periods - modern (1991-2019) with the period of the climatic norm (1961-1990); for the first time estimated for the next decade (2021-2030) changes in the water regime of Lake Lebedyne.

Practical value is determined by the fact that the main provisions of this scientific research will be used when discussing a project to improve the state of Lake Lebedyne, which was provided for by the Program of Economic and Social Development of the city of Lebedin for 2020-2021 program years.

Research results. It was revealed that the total volume of water inflow into the lake in the modern period (1991-2019) has decreased (compared to the period of the climatic norm - 1961-1990) by almost 16%. Of these, the inflow of water from the area adjacent to the lake (slope runoff) decreased by 17.8%, and the amount of atmospheric precipitation on the lake's surface by 11.7% also decreased. There is a decrease in the absolute volume of evaporation from the water surface of Lake Lebedyne due to a decrease in the volume of water inflow. However, at the same time, against the background of an increase in air temperature, the intensity of evaporation increases - its share in the water-balance ratios increased by 8.3% compared to the period of the climatic norm. Evaluating the accumulative component of the lake's water balance, it can be stated that during the period of climatic normal there was a certain accumulation of water in the lake - on average by + 22130 m³ annually. In the modern period, the volume of water in the lake was depleted - on average for the period 1991-2019 by - 81200 m³ per year. As a result, the volume of water in the lakebed in the modern period has decreased by about 40-42% compared to the period of the climatic norm. According to the forecast estimates of the values of the total water inflow into the lake Lebedyne for the period 2021-2030 it can be assumed that in comparison with the previous decade, they will grow by an average of 18%. Therefore, with a certain stabilization of the evaporation values, one can expect an insignificant, but nevertheless, replenishment of the lake with water.

Keywords: *Ukraine, Lebedyn city, lake Lebedyne, water balance of the lake; water regime, time dynamics, forecast estimates.*

References

1. Galushchenko, N. G. (Ed.). (1987). *Hydrological and water balance calculations*. Kyiv: Vishcha shkola, 171-221 [in Russian].
2. Doganovsky, A.M., Orlov, V. G. (2011). *Collection of tasks to determine the main characteristics of water bodies on land (workshop on hydrology): Textbook*. St. Petersburg: Publishing house of the Russian State Hydrometeorological University, 197-226 [in Russian].
3. Khilchevsky, V.K., Obodovsky, O. G., etc. (2008). *Regional Hydrology*. Kyiv: Publishing and printing center «Kyiv University», 179-187 [in Ukrainian].
4. Largest lakes on Earth may soon disappear – scientists. URL: https://zn.ua/TECHNOLOGIES/krupneyshie-ozera-na-zemle-vskore-mogut-ischeznut-uchenye-206398_.html [in Russian].
5. The largest lakes on Earth are disappearing due to climate change. URL: <https://wz.lviv.ua/news/162835-naibilshi-ozera-zemli-znykaiut-cherez-zminy-klimatu> [in Ukrainian].
6. Sikan, A. V. (2007). *Methods of statistical processing of hydrometeorological information*. Textbook. St. Petersburg: Publishing house of the Russian State Hydrometeorological University, 136-167 [in Russian].
7. Khilchevskiy, V.K., Zabokrytska, M.R. (2020). Main aspects of the morphometry and hydrochemistry of Shatsk Lakes. *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*, 3(58), 92-100. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2020.3.9> [in Ukrainian].
8. Will Shatsky lakes with water: calculations and forecasts of the expert. URL: <http://www.volynpost.com/articles/1887-chy-budut-shacki-ozera-z-vodoyu-pidrahunky-i-prognozy-eksperta> [in Ukrainian].
9. Chornomorets, Yu. O., Lukianets, O. I. (2019). Influence of modern changes in the ratio of snow and rain supply of rivers on the structure of water balance of their basins (on the example of the river basin of Vorskla). *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 4 (55). 40-52. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2019.4.3> [in Ukrainian].
10. ALTERNATIVE ENVIRONMENTAL PLATFORM-2020 «ECO-MODERNIZATION» Block "Protection of water and land resources". URL: <https://appau.org.ua/publications/alternative-environmental-platform-2020-eco-modernization/> [in Ukrainian].
11. Chomko, D., Koshliakov, O., Dyniak, O. and Koshliakova, I. (2020). Determination of the underground component of the water balance of lake Lebedyne (Sumy region) in the context of prospects for the restoration of its water constitution and the project. *Conference Proceedings, XIV International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment»*, European Association of Geoscientists & Engineers. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056092>.
12. Lukianets, O. and Grebin, V. (2020). Water balance of lake Lebedyne in modern climatic conditions. *Conference Proceedings, XIV International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment»*, European Association of Geoscientists & Engineers. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056026.6>.
13. WMO Media Centre (2015). *New Two-Tier approach on «climate normal»*. UPL: <https://public.wmo.int/en/media/news/new-two-tier-approach-climate-normals>.
14. WMO (2007). *The role of climatological normals in a changing climate*. *World Climate Data and Monitoring Programme*. 61, WMO-TD. 1377.
15. Kuusisto, Esko; Hyvärinen, Veli (2000). *Hydrology of Lakes*. In Pertti Heinonen (ed.). *Hydrological and Limnological Aspects of Lake Monitoring*. John Wiley & Sons. pp. 4–5. ISBN 978-0-470-51113-8.
16. Wetzel, Robert (2001). *Limnology: Lake and river ecosystems*. San Diego: Academic Press. 1006 p. ISBN 9780127447605.
17. Cohen, A. S. (2003). *Paleolimnology: The History and Evolution of Lake Systems*. New York: Oxford University Press. ISBN 978-0-19-513353-0.
18. Appelo, C. A. J., & Postma, D. (2005). *Geochemistry, Groundwater and Pollution* (p. 649). The Netherlands: A.A. Balkema Publishers. <https://doi.org/10.1201/9781439833544>
19. Balistrieri, L. S., Tempel, R. N., Stillings, L. L., & Shevenell, L. A. (2006). Modeling Spatial and Temporal Variations in Temperature and Salinity during Stratification and Overturn in Dexter Pit Lake, Tuscarora, Nevada, USA. *Applied Geochemistry*, 21, 1184-1203.
20. Muvundja, A.F., Pasche, N., Bugenyi, W.B.F., Isumbisho, M., Müller, B., Namugize, J.P., Rinta, P., Schmid, M., Stierli, R. and Wüest, A. (2009) Balancing Nutrient Inputs to Lake Kivu. *Journal of Great Lakes Research*, 35, 406-418. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2009.06.002>
21. Rzętała, Mariusz; Jagus, Andrzej (May 2011). New lake district in Europe: Origin and hydrochemical characteristics. *Water and Environment Journal*. 26 (1): 108-117. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2011.00269.x>
22. Sterner, R.W., Keeler, B., Polasky, S., Poudel, R., Rhude, K. and Rogers, M. (2020). Ecosystem Services of Earth's Largest Freshwater Lakes. *Ecosystem Services*, 41, Article ID: 101046. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.101046>

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 22 February 2021

Accepted 12 July 2021

Agrarian potential of Ukraine under post-Maidan crisis and armed conflict: factors and patterns of regional unevenness

*Sergii Zapototskyi*¹,

DSc (Geography), Professor of Department of Economic and Social Geography,
Faculty of Geography, ¹Taras Shevchenko National University of Kyiv,
64/13 Volodymyrska St., Kyiv, 01601, Ukraine,
e mail: zapototsk@knu.ua, <http://orcid.org/0000-0002-3515-4187>;

*Nataliia Provotar*¹,

PhD (Geography), Associate Professor of Department of Economic and Social Geography,
e-mail: provotarnat@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-2211-6509>;

*Oksana Trusii*¹,

PhD (Geography), Associate Professor of Department of Economic and Social Geography,
e-mail: oktrusij@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-3711-8008>;

*Victoriia Zapototska*¹,

PhD (Geography), Assistant Professor of Department of Economic and Social Geography,
e mail: vzapototska@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0001-9299-2585>

ABSTRACT

Problem Statement. Regional socio-economic development is characterized by diversity and multifacetedness and is stipulated with different impacts of factors. Ukraine has a pronounced spatial asymmetry of socio-economic development of regions; therefore, it is an important case for study of various components of regional unevenness. In the present context of post-Maidan crisis and armed conflict, study of uneven development of agrarian potential in Ukraine is becoming increasingly important, whereas it is important to assess and monitor the agrarian potential of regions for economic and food security of the country and regions.

Research Methodology. The research focuses on assessment of the agrarian potential development of Ukraine's regions in 2015 and 2018, rather than on an empirical comparison of the agrarian potential development of regions before and during the post-Maidan crisis and armed conflict. A hierarchical model for assessing the development of the agrarian potential of Ukraine's regions has been elaborated. Based on the factor analysis results, the individual influence of each factor on the development of the agrarian potential of regions was determined. Using the method of ranking and Kohonen Self-Organizing Mapping, the changes in the uneven development of the agrarian potential of Ukraine's regions during the post-Maidan crisis and armed conflict period were investigated, and the trajectories of the development of this potential were revealed.

This paper aims to identify the regional patterns of agrarian potential development and determine the factors that influenced its regional unevenness during the post-Maidan crisis and armed conflict.

Results. The research results prove a spatial asymmetry and an increase in regional divergence in the agrarian potential development. The impact of socio-economic and production factors was revealed to grow and the impact of natural resources and macroeconomic factors on the agrarian potential development of the regions was revealed to weaken. The trajectories of agrarian potential development of the regions are determined; they are typified in nine types of trajectories of the agrarian potential development of the regions of Ukraine during the post-Maidan crisis and armed conflict. Recommendations are given on the regional policy in the agrarian sector of Ukraine in order to mitigate the uneven development of agrarian potential in the regions. Given that Ukraine is facing the problem of inconsistency of the institutional environment with the needs of agropotential development, it is very important to implement the institutional transformations, which should focus on harmonization of state and regional policy for the agrarian sector with EU principles.

Keywords: regional unevenness; agrarian potential; agropotential index; factors; patterns; Ukraine; post-Maidan crisis; armed conflict.

In cites: Zapototskyi Sergii, Provotar Nataliia, Trusii Oksana, Zapototska Victoriia (2022). Agrarian potential of Ukraine under post-Maidan crisis and armed conflict: factors and patterns of regional unevenness. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (57), 103-120. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-09>

1. Introduction

Upon the declaration of independence, Ukraine passed through several periods of socio-economic development – stagnation and adaptation (1991-1999), growth (2000-2008), post-crisis rehabilitation (2008-2014) and post-Maidan crisis (2014-present) [24,14]. Since 2014, Ukraine has been in an impelled armed conflict with the Russian Federation, which has led to temporary losses of territory (conflict in the east of the country and annexation of the Autonomous

Republic of Crimea), socio-economic and political ups and downs [21, 22, 41, 16]. Empirical studies indicate that regional unevenness exacerbates during economic downfalls, as they have a negative impact on various aspects of regional development [2, 15, 25, 35]. During armed conflicts, destructive processes permeate all spheres of public life. In such conditions, it is important to monitor socio-economic indicators of regional development of Ukraine, because the indicators serve as guidelines for develop-

ment and implementation of regional development strategies, decision-making within the regional policy and policy of the regions to make relevant adjustments to the General Layout of the Territory of Ukraine for the purposes of sustainable development.

By specialization, Ukraine is an industrial-agrarian country with active tertiarization processes, where the agrarian sector plays an important budget-forming role [29, 25]. Thus, the potential for the agrarian sector development largely depends on socio-economic well-being, food security and sustainable development of the country and its regions [32, 20]. Based on this, assessment and monitoring of agrarian potential of Ukraine's regions can impart an understanding of the current processes and their regional patterns, as well as practical results and recommendations for implementation by policy makers of different levels.

As a result of the full-scale Russian invasion to Ukraine on February 24, 2022, agricultural lands, agrarian infrastructure and machinery were damaged. About 22% of Ukraine's agricultural land are under occupation. The report of the Center for Food and Land Use Research of the KSE Institute together with the Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine "Overview of War Damage in the Agriculture of Ukraine" states that agricultural lands have suffered two significant types of damage: mine contamination and direct physical damage from artillery shelling, missile strikes, soil damage by military equipment, unexploded ammunition. This made it impossible to carry out agricultural work and caused the decrease in agriculture production. In Ukraine, only 75% of last year's sown area was cultivated. At the same time, the maritime export of agricultural products was blocked. This reduced export earnings, caused global food inflation and could lead to famine in some countries. To solve these problems, it is important to identify regional patterns of agrarian potential development and the factors that influenced its regional unevenness during the post-Maidan crisis and armed conflict.

2. Literature Review

Unevenness of development is one of the main subjects of research in the regional studies. It is not a new problem. The traditions of study of uneven regional development were set up by such scholars as Gunnar Myrdal [30], Albert O. Hirschman [11], Walter Isard [13], and John Friedmann [7].

Study of regional unevenness is important for the countries of any level of development. After the collapse of the communist system in Central-Eastern Europe (CEE) and the former Soviet Union (FSU), a post-communist transition occurred, which aggravated all existing disparities in development and unveiled ineffectiveness of mechanisms applied for social governance, economic and regional policy [31, 6,

50, 49, 39, 38]. As noted by Michael Dunford [5], transition to capitalism in CEE and FSU had similar effects everywhere (with the difference in quality and quantity): transitional recession, demographic stagnation, increased social and territorial inequality, growth of the irregular economy, and the emergence of islands of striking modernization.

Ukraine has a pronounced spatial asymmetry of socio-economic development of regions; therefore, it is an important case for study of various components of regional unevenness. In the present context of post-Maidan crisis and armed conflict, study of uneven regional development of agrarian potential in Ukraine is becoming increasingly important, whereas it is important to assess and monitor the agropotential of regions for economic and food security of the country [8, 9]. Today, Ukraine is characterized with significant territorial differentiation of food security [26].

It is advisable to review the previously identified patterns of uneven regional development in Ukraine. Understanding of these inequalities is important for study of the uneven development of agropotential at the regional level.

Uneven regional development in Ukraine in the post-Soviet period has a number of features. First of all, Ukraine has inherited significant regional imbalances from the Soviet planned economy [10, 29, 15, 25]. Secondly, East-West patterns have a negative impact on regional socio-economic development in Ukraine [37, 4, 14]. The vast majority of powerful industrial enterprises in Ukraine are concentrated in the eastern and northern regions, while the western regions face a significant shortage of jobs. As a result, the lowest incomes of the population are reported mainly in the western regions of Ukraine, the highest – in the eastern and central regions. This polarization in the development of the eastern and western regions within the country causes a significant outflow of labor from the latter to more developed regions of the country or abroad [36].

The result of uneven development is socio-spatial polarization, which has positive and negative aspects. On the one hand, the gap between the pole and the periphery may intensify in terms of economic and social indicators. On the other hand, the poles can act as the centers that impart revival of economic development and improvement of living conditions to the surrounding. In Ukraine, at all spatial levels, the prevailing manifestation of socio-spatial polarization is negative [25].

Finally, the rapid polarization of agrarian production: in the northern regions of Ukraine, the principle of this polarization is 'the best vs the worst natural conditions', and in the southern regions – 'suburban areas vs peripheral areas'. The consequence of polarization in the agrarian production is an increased concentration of rural population in suburban areas,

which is growing over the years [1]. Thus, we can assume that the above manifestations of uneven regional development in Ukraine, whether stronger or weaker expressed, are relevant during the post-Maidan crisis and armed conflict.

In the current paper, the agrarian potential is understood as the maximum possible output of agricultural production of a certain quality subject to comprehensive interaction of natural, production, infrastructure and labor resources and management system.

Analysis of previous studies focusing on the concept of 'agrarian potential' and the agropotential of Ukraine in particular indicates that these studies can be thematically divided into several groups:

- studies that supplement the theoretical framework of the concept of agrarian potential [18, 17, 44, 8];
- studies of agrarian potential of regions of Ukraine from the standpoint of resource and effective approaches [9, 48, 46];
- studies of the trends in agrarian potential development at the regional level in Ukraine [3, 12];
- studies of certain aspects of agrarian potential development [47, 45, 42, 19, 23, 34, 43].

Consequently, the analysis of studies relating to agrarian potential in the regions of Ukraine revealed their fragmentary nature, as these studies do not analyze the regional trends and regional trajectories of agrarian potential in Ukraine, in particular in the post-Maidan period, when this topic is highly burning. Therefore, this paper aims to conduct a comprehensive assessment of the trends and regional trajectories of Ukraine's agrarian potential in the post-Maidan period with a possibility of long-term monitoring.

3. The Main Purpose and Research Questions

The main purpose of this paper is to determine the regional patterns of agrarian development and identify the factors that influenced its uneven regional development during the post-Maidan crisis and armed conflict. This study focuses on assessment of the agrarian potential development of Ukraine's regions in 2015 and 2018, rather than on an empirical comparison of the agropotential development of regions before and during the post-Maidan crisis and armed conflict.

Within the purpose of the paper, and taking into account the gaps in the above studies, the authors attempt to answer the following key research questions:

(RQ1) What patterns are specific to the development of agrarian potential of the regions of Ukraine in 2015 and 2018?

(RQ2) What factors did influence the uneven development of agrarian potential of Ukraine's regions of in 2015 and 2018?

(RQ3) What changes took place in the uneven development of agricultural potential and its components among the regions of Ukraine in 2015-2018?

(RQ4) What are the trajectories of the agrarian potential development in the regions of Ukraine during the post-Maidan crisis and armed conflict?

4. Methodology: Data and Methods

The choice of indicators that can assess the development of agrarian potential of the regions of Ukraine is widely discussed. The materials of numerous relevant studies show a wide range of indicators and approaches used to build models for assessing the development of agrarian potential at the regional level [17, 9, 12, 46, 48]. The choice of indicators of agrarian potential development mainly depends on the objectives of the study, the methods applied and the availability of statistical data for various territorial scales. Considering the availability of data and the structure of agrarian potential described in previous empirical studies, a hierarchical model of assessing the agrarian potential development of the regions of Ukraine in 2015 and 2018 was developed (Table 1). This model is based on available official data provided by the State Statistics Service of Ukraine broken down by 24 regions (oblasts) without taking into account the city of Kyiv and the territories that are temporarily occupied and not controlled by the Government of Ukraine.

To answer the first research question (RQ1), it is necessary to conduct an integrated assessment of the agrarian potential development (Table 1) in the regions of Ukraine in 2015 and 2018.

The general level of agrarian potential development of the region is expressed through the value of the cumulative index, which is based on the calculation of four indices of different components of agropotential, which - in their turn - are calculated by 15 indicators using the normalizing method. This approach is the best for the hierarchical model given above, because each calculation stage of the cumulative index of agrarian potential takes into account the stimulating or disincentive effect of indicators within each component of agropotential, which is well interpreted during calculation of component indices and cumulative agrarian index. Normalization of indicators and calculation of cumulative indices are widely used in studies of uneven regional development [28, 29].

$$Z_{ij} = (X_{ij} - X_{min}) / (X_{max} - X_{min}) \quad (1)$$

Those indicators that discourage the agrarian potential development (the higher the indicator value, the worse) were calculated with the formula below:

$$Z_{ij} = (X_{max} - X_{ij}) / (X_{max} - X_{min}) \quad (2)$$

All values of 15 indicators for 2015 and 2018 were normalized to relative indicators with a scale from 0 to 1. Indicators that stimulate the agrarian potential development (the higher the indicator value, the better) were normalized according to the formula below:

Hierarchical model of assessing the agrarian potential development
at the regional level in Ukraine in 2015 and 2018

		Indicators in 2015	Indicators in 2018
AGROPOTENTIAL	Production Subpotential	Labor productivity in agricultural enterprises (per 1 employed in agricultural production, at constant prices in 2010; UAH) 2015	Labor productivity in agricultural enterprises (per 1 employed in agricultural production, at constant prices in 2010; UAH) 2018
		Share of agricultural production by households (% of total) in 2015	Share of agricultural production by households (% of total) in 2018
		Generating capacities in agricultural enterprises of the region (generating capacity per 100 hectares of sown area; kW) at the end of 2014 (actually 01.01.2015)	Generating capacities in agricultural enterprises of the region (generating capacity per 100 hectares of sown area; kW) at the end of 2017 (actually 01.01.2018)
		Volumes of capital investment per 1 hectare of agricultural land, UAH 2015	Volumes of capital investment per 1 hectare of agricultural land, UAH 2018
	Natural Resource Subpotential	Area of agricultural land (at the end of 2015; thousands of hectares)	Area of agricultural land (at the end of 2017; thousands of hectares)
		Application of mineral and organic fertilizers per hectare of the redefined sown area of agricultural crops by regions (kg) in 2015	Application of mineral and organic fertilizers per hectare of the redefined sown area of agricultural crops by regions (kg) in 2018
		Provision of agricultural land for economically active population (ha per 100 people) in 2015	Provision of agricultural land for economically active population (ha per 100 people) in 2018
	Macroeconomic Subpotential	Share of GRP of the region in the total GRP of all regions,% 2015	Share of GRP of the region in the total GRP of all regions,% 2018
		Percentage of agricultural lands of the region in relation to their total volume in the country,% 2015	Percentage of agricultural lands of the region in relation to their total volume in the country,% 2018
		Percentage of economically active population of the region in relation to the total volume of the country,% 2015	Percentage of economically active population of the region in relation to the total volume of the country,% 2018
		Percentage of capital investments of the region in relation to the total volume of the country,% 2015	Percentage of capital investments of the region in relation to the total volume of the country,% 2018
	Socio-Economic Subpotential	The level of ruralization of the region (the specific weight of rural population in the total available population of the region),% as of January 1, 2015	The level of ruralization of the region (the specific weight of rural population in the total available population of the region),% as of January 1, 2018
		Average monthly salary per full-time employee, UAH 2015	Average monthly salary per full-time employee, UAH 2018
		Average monthly nominal salary of full-time employees of agricultural enterprises, UAH 2015	Average monthly nominal salary of full-time employees of agricultural enterprises, UAH 2018
		Share of the region's population employed in agriculture, forestry and fisheries,% of the total employed population in 2015	Share of the region's population employed in agriculture, forestry and fisheries,% of the total employed population in 2018

Source: based on available official statistics of the State Statistics Service of Ukraine and on a literature review.

X_{ij} = the value of indicator i in a region j ;

X_{max} = the top value in the set of the given indicator;

X_{min} = the bottom value in the set of the given

indicator.

Thereafter, the normalized values of Z_i in the region j were aggregated in four synthesized variables (component indices):

1. Natural resource subpotential index (NRSI)

$$NRSI_j = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 Z_{ij} \quad (3)$$

2. Production subpotential index (PSI)

$$PSI_j = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 Z_{ij} \quad (4)$$

3. Socio-economic subpotential index (SESI)

$$SESI_j = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 Z_{ij} \quad (5)$$

4. Macroeconomic subpotential index (MSI)

$$MSI_j = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 Z_{ij} \quad (6)$$

$\sum_{j=1}^4 Z_{ij}$ = the sum of values of Z_{ij} , which characterize development of one of four components (subpotentials) in the agrarian potential (see above Table 1) in the region j .

Finally, the values of the natural resource subpotential index, the production subpotential index, the socio-economic subpotential index and the macroeconomic subpotential index serve as a basis for calculating the cumulative index or the agropotential index (API):

$$API_j = \frac{1}{4} (NRSI_j + PSI_j + SESI_j + MSI_j) \quad (7)$$

Thus, the calculation of the agropotential index for 2015 and 2018, based on the above algorithm, enabled to identify the inequalities in the agropotential development of the regions of Ukraine by building the trend surfaces.

The method for building a trend surface is a variety of the cartographic interpolation method, which is based on the data obtained as a result of spatial regression modeling [33, 40]. In this study, a linear multiple regression given below was used to establish patterns of uneven development of agropotential of the Ukraine's regions in 2015 and 2018:

$$P(x, y) = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 y \quad (8)$$

$P(x, y)$ = dependent variable (agropotential index);

x та y = independent variable (rectangular coordinates of points localized in the regions);

β_1 та β_2 = regression coefficients;

β_0 = constant term of the regression equation.

First of all, to build the trend surfaces of agropotential development in 2015 and 2018, 748 points with rectangular coordinates were digitized, which are territorially tied to 24 regions of Ukraine. Then, a geospatial database was created, consisting of 24 regions to which 748 points are linked, where each of these points is given the value of the agropotential index for 2015 and 2018, depending on the region of Ukraine to which this point belongs. Thereafter, with this database in *Statistica* program, two regression models of agropotential index dependence on spatial position of regions were created (Table 2). Finally, the predicted values and residuals obtained for these multiple linear regression models for each of the 748 points were used to build the trend surfaces and to map the residuals in *Surfer* program. Thus, the calculation of the cumulative index and the building of trend surfaces of agropotential development in 2015

Table 2

Regression results

Regression Summary for Dependent Variable: Agropotential index (2015)						
MODEL 1	Multiple R=0.29762590; R ² =0.08858117; Adjusted R ² =0.08613441;					
	F(2.745)=36.203; p<0.00000; Std. Error of estimate: 0.07731					
No. of cases: 748	Beta	Std. Err. of Beta	B	Std. Err. of B	t (745)	p-level
Intercept			0.363608	0.013252	27.43823	0.000000
X-coordinate	0.296187	0.035769	0.000111	0.000013	8.28045	0.000000
Y-coordinate	-0.006543	0.035769	-0.000004	0.000024	-0.18291	0.854919
(significant results are highlighted, p<0.05)						
MODEL 2	Regression Summary for Dependent Variable: Agropotential index (2018)					
	Multiple R=0.22560669; R ² =0.05089838; Adjusted R ² =0.04835046;					
F(2.745)=19.976; p<0.00000; Std. Error of estimate: 0.08062						
No. of cases: 748	Beta	Std. Err. of Beta	B	Std. Err. of B	t (745)	p-level
Intercept			0.382557	0.013820	27.68214	0.000000
X-coordinate	0.229534	0.036501	0.000088	0.000014	6.28835	0.000000
Y-coordinate	0.025213	0.036501	0.000017	0.000025	0.69074	0.489942
(significant results are highlighted, p<0.05)						

Source: calculated in *Statistica*

and 2018 will give answers to the first research question (RQ1) on regional patterns of uneven development of agrarian potential in Ukraine during the post-Maidan crisis and armed conflict.

In order to find and explain the factors that influenced the uneven development of agricultural potential of the regions of Ukraine in 2015 and 2018 (RQ2), the method of factor analysis was used. Factor analysis was performed in *Statistica* program, which used the values of natural resource subpotential index, production subpotential index, socio-economic subpotential index and macroeconomic subpotential index for 24 regions to identify the factors that influenced the regional unevenness the most. Moreover, upon calculation of the factor scores, the individual impact of each of the selected factors on the agrarian potential development of this or that region of Ukraine during the post-Maidan crisis and armed conflict was determined.

In order to answer the research questions RQ3 and RQ4, the ranking method and the Kohonen self-organizing maps were used. The ranking method was needed to find out how the uneven development of agricultural potential and its subpotentials among the regions of Ukraine in 2015-2018 has changed. Ranking of 24 regions by the values of the natural resource subpotential index, the production subpotential index, the socio-economic subpotential index, the macroeconomic subpotential index and the agropotential index for 2015 and 2018 (Table 3) allowed to calculate the difference between the values of the ranks of identical indicators in 2015 and 2018, where 2015 is the base year. These differences of ranks for 2015-2018 are indicative of such changes as growth, decline or stability in the development of agropotential and subpotentials. Elaboration of the Kohonen self-organizing maps in *Deductor Studio* program based on the value of agropotential index in 2015 and 2018 enabled to classify the regions of Ukraine by the level of agropotential development during the post-Maidan crisis and armed conflict (Figure 1). Thus, the ranking method combined with the method of the Kohonen self-organizing maps helped to capture the trajectories of the agrarian potential of Ukraine's regions during the post-Maidan crisis and armed conflict (RQ4).

5. Results

5.1. General Patterns of Regional Unevenness of Agropotential in 2015 and 2018

The calculated index of agropotential of the regions in Ukraine indicated an increase in regional divergence in the agropotential development during 2015-2018. This is evidenced with the fact that in 2015, in 14 of 24 regions, the value of the agropotential index was much higher than the average value in Ukraine ($mean\ API = 0.399$), and in 2018, in contrast to the results of 2015, the value of the agropotential

index, which exceeds the average value in Ukraine ($mean\ API = 0.417$), were only in 11 of 24 regions (Table 3).

Cartographic analysis of agropotential development in the regions during the post-Maidan crisis and armed conflict showed significant spatial asymmetry (Figure 2). According to the trend surface modeling of agropotential development in 2015, Regional unevenness of agropotential in Ukraine follows the trend that fits into the framework of the 'West-East' pattern. It is a well-known phenomenon of regional development in Ukraine and is quite expectable, as it was identified in previous studies devoted to uneven regional development in Ukraine [37, 4, 14]. In 2015, the West-East gradient illustrates an increase in the agropotential of the regions in Ukraine in the direction from the west to the east (Figure 2A, 2B). In its turn, the model of the trend surface of the regional agropotential development in 2018 demonstrates a slight change in the orientation of the West-East gradient. In 2018, the agropotential development of Ukraine's regions is already increasing along the Southwest-Northeast axis.

Undoubtedly, the shift in orientation of the West-East gradient from the clear direction of West-East to the South-West-North-East is a consequence of reinforced effect of the center-peripheral inequalities on the agropotential development in Ukraine, the manifestation of which intensifies in the context of a crisis (Figure 2C). Probably, the shifts in the 'West-East' pattern during the post-Maidan crisis and armed conflict are due to the incrementing concentration of agrarian potential in the capital region and neighboring regions (partial manifestation of the 'center-periphery' effect).

Thus, the above trend surfaces demonstrate the growing polarization of agrarian potential development in Ukraine. This manifests with the lower level of agrarian potential development in the western regions than in the eastern regions, and, in the post-Maidan crisis and armed conflict, a center-periphery pattern is observed as a result of perturbation processes.

5.2. Factors of Regional Inequality of Agropotential Development in 2015 and 2018

The outcomes of the factor analysis demonstrated that the agropotential development in Ukraine during 2015-2018 was influenced by the factors of various power and character (Table 4).

In 2015, unevenness in the agropotential development in the regions of Ukraine was influenced by two factors (determined by the Kaiser criterion). Their interpretation indicated that the first factor by its character is a natural resource-macroeconomic factor, and the second factor is a socio-economic-production factor. In 2015, the natural resource-macroeconomic factor had a stronger influence on the agro-

potential development of the regions than the socio-economic-production factor (41.7% vs. 37.0% of the total variance).

In 2018, the polarization of agropotential in Ukraine, just like in 2015, was most influenced by two factors (determined by the Kaiser criterion), but the power and character of these factors differ in 2015 and 2018. Interpretation of two factors in 2018 is as follows: the socio-economic factor had the strongest impact, which explains almost 42% of the total variance; the second strongest factor was the production factor, which explains a third of the total variance.

Thus, over the period 2015-2018, the impact of socio-economic and production factors actually increased, and the impact of natural resources and macroeconomic factors decreased.

In order to investigate the territorial differentiation of the impact made by the above factors on the

agropotential development in Ukraine during the post-Maidan crisis and armed conflict, the regional distribution of factor scores was analyzed (Figure 3).

Figure 3 shows that in 2015 the natural resource-macroeconomic factor had the greatest influence on the agropotential development in Kyiv, Dnipropetrovsk and Kharkiv regions, due to the highly diversified economy of these regions and availability of large areas of suburban agricultural specialization within them, which significantly contribute to intensification of agricultural production. Meanwhile, the socio-economic-production factor had the greatest impact on the agropotential development in Kyiv, Cherkasy, Vinnytsia and Ivano-Frankivsk regions, with the last three of them having agro-industrial specialization.

In 2018, the socio-economic factor strongly influenced the agropotential development of Dniprope-

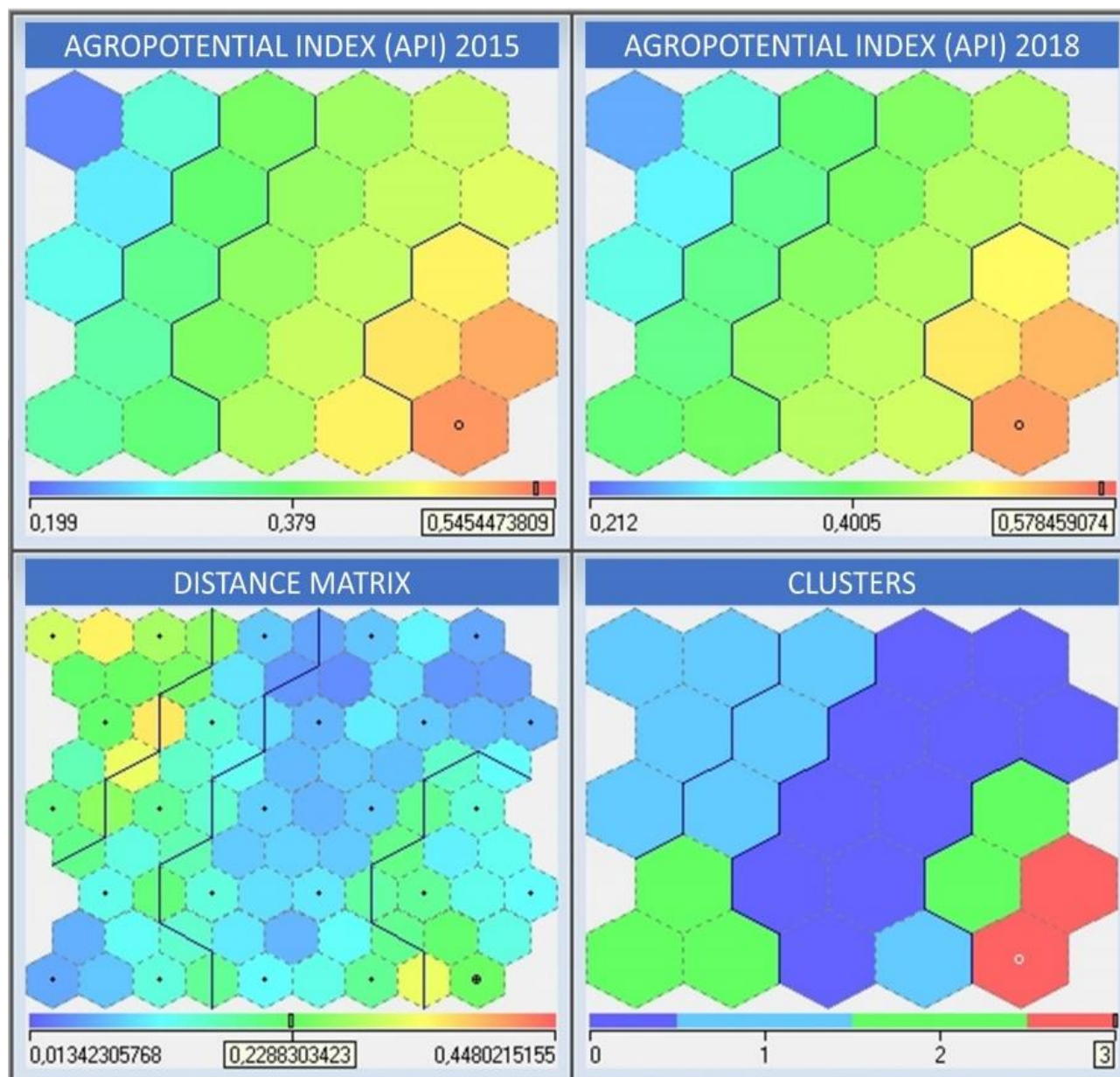


Fig. 1. Results of construction of the Kohonen self-organizing maps (Source: calculated in *Deductor Studio*)

Table 3

Ranking Results

Regions	2015										2018									
	PSI	rank	NRSI	rank	MSI	rank	SESI	rank	API	rank	PSI	rank	NRSI	rank	MSI	rank	SESI	rank	API	rank
Vynnytsia	0.686	1	0.418	14	0.368	9	0.625	2	0.524	3	0.669	3	0.45026	9	0.382	9	0.661	2	0.540	3
Volyn	0.417	10	0.419	13	0.146	20	0.4613	14	0.361	18	0.677	2	0.417	12	0.127	20	0.397	17	0.404	14
Dnipropetrovsk	0.502	5	0.417	15	0.991	1	0.326	22	0.559	1	0.667	4	0.402	16	0.991	1	0.298	22	0.589	1
Donetsk	0.316	18	0.409	17	0.479	5	0.405	18	0.402	14	0.468	14	0.45032	8	0.517	5	0.344	20	0.445	8
Zhytomyr	0.275	21	0.377	19	0.212	17	0.385	20	0.312	21	0.382	18	0.336	19	0.2281	16	0.364	18	0.328	20
Zakarpattia	0.202	23	0.034	24	0.076	23	0.483	11	0.1986	24	0.354	21	0.003	24	0.076	23	0.636	3	0.267	23
Zaporizhia	0.312	19	0.435	11	0.454	7	0.393	19	0.398	15	0.353	22	0.419	10	0.445	7	0.358	19	0.394	17
Ivano-Frankivsk	0.604	3	0.380	18	0.185	18	0.745	1	0.478	5	0.518	10	0.3769	18	0.136	19	0.740	1	0.443	9
Kyiv	0.643	2	0.455	8	0.571	4	0.4608	15	0.532	2	0.873	1	0.408	15	0.525	4	0.468	10	0.568	2
Kirovohrad	0.357	15	0.549	4	0.246	13	0.495	10	0.4116	12	0.453	15	0.529	4	0.240	15	0.430	14	0.4133	13
Luhansk	0.252	22	0.584	2	0.178	19	0.256	24	0.318	20	0.371	19	0.560	1	0.170	18	0.205	24	0.327	21
Lviv	0.472	6	0.292	20	0.468	6	0.537	6	0.442	7	0.660	5	0.238	22	0.483	6	0.542	6	0.481	5
Mykolaiv	0.321	16	0.465	6	0.300	10	0.530	7	0.404	13	0.361	20	0.458	6	0.286	10	0.483	9	0.397	16
Odesa	0.295	20	0.456	7	0.583	3	0.349	21	0.421	10	0.401	17	0.453	7	0.598	3	0.315	21	0.442	10
Poltava	0.409	11	0.583	3	0.426	8	0.519	8	0.484	4	0.567	7	0.547	3	0.437	8	0.533	7	0.521	4
Rivne	0.320	17	0.268	22	0.138	21	0.433	17	0.290	22	0.433	16	0.268	20	0.1258	21	0.400	16	0.307	22
Sumy	0.463	7	0.443	10	0.225	16	0.436	16	0.392	16	0.538	9	0.409	14	0.2280	17	0.418	15	0.398	15
Ternopil	0.391	12	0.283	21	0.118	22	0.562	3	0.338	19	0.556	8	0.255	21	0.1256	22	0.615	4	0.388	18
Kharkiv	0.422	9	0.444	9	0.657	2	0.313	23	0.459	6	0.500	12	0.418	11	0.677	2	0.250	23	0.461	7
Kherson	0.363	14	0.473	5	0.233	14	0.474	13	0.386	17	0.348	23	0.471	5	0.247	12	0.443	11	0.377	19
Khmelnyskyi	0.444	8	0.415	16	0.250	12	0.541	4	0.4123	11	0.517	11	0.3770	17	0.242	14	0.518	8	0.4135	12
Cherkasy	0.507	4	0.429	12	0.229	15	0.540	5	0.427	9	0.647	6	0.411	13	0.243	13	0.553	5	0.463	6
Chernivtsi	0.197	24	0.081	23	0.018	24	0.500	9	0.1991	23	0.337	24	0.054	23	0.018	24	0.438	13	0.212	24
Chernihiv	0.375	13	0.623	1	0.254	11	0.481	12	0.433	8	0.483	13	0.548	2	0.268	11	0.442	12	0.436	11

Source: developed by the authors

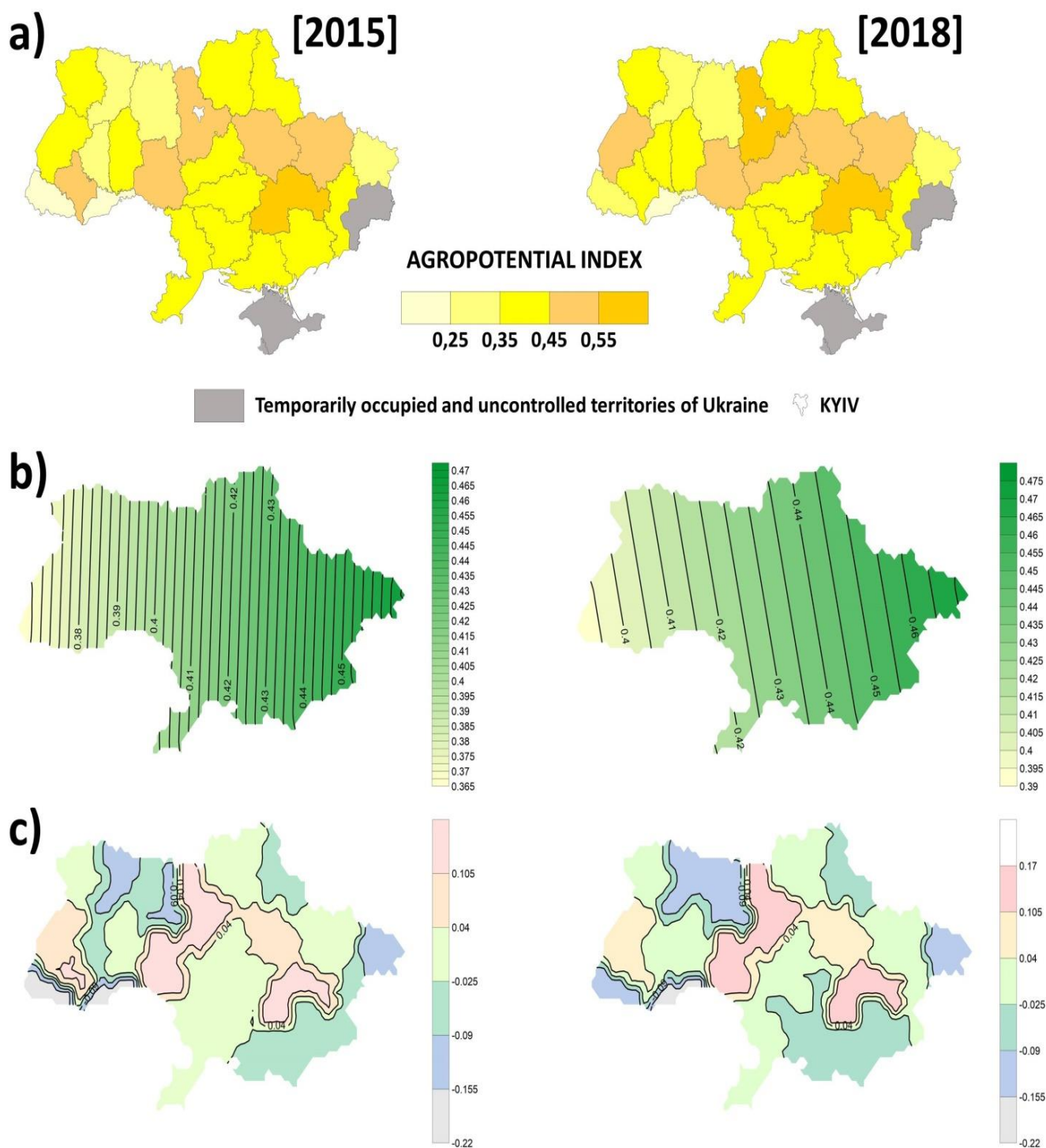


Fig. 2. Unevenness of regional agropotential development in Ukraine in 2015 and 2018 (a – differentiation of regions by agropotential index; b – trend surfaces of regional agropotential development; c – regional division of regression residuals (difference between the predicted values and actual value of agropotential index) (Source: developed by the author)

trovsk, Donetsk, Luhansk, Kharkiv and Odessa regions (Figure 3), where the index of socio-economic

subpotential development had a negative factor loading (Table 4). Meanwhile, the production factor had

Factor Analysis Results

	FACTOR ANALYSIS (2015)		FACTOR ANALYSIS (2018)	
	Determining the number of factors			
	Extraction: Principal components		Extraction: Principal components	
Value	Eigenvalue	Cumulative %	Eigenvalue	Cumulative %
1	1.668459	41.7115	1.760575	44.0144
2	1.479907	78.7091	1.251436	75.3003
3	0.690269	95.9659	0.679892	92.2976
4	0.161365	100.0000	0.308097	100.0000
	Rotation procedure and Interpretation of factors			
	Factor Loadings (Varimax raw) Extraction: Principal components (Marked loadings are > 0.700000)		Factor Loadings (Varimax raw) Extraction: Principal components (Marked loadings are > 0.700000)	
Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 1	Factor 2
Production subpotential index	0.466411	0.837320	-0.063739	0.950100
Natural resource subpotential index	0.739171	0.057849	0.685649	0.246737
Macroeconomic subpotential index	0.858544	-0.079752	0.679004	0.522665
Socio-economic subpotential index	-0.408959	0.877095	-0.859882	0.317240
Expl.Var	1.668259	1.480107	1.674622	1.337390
Prp.Totl	0.417065	0.370027	0.418655	0.334347

Source: calculated in *Statistica*

the greatest influence on the agropotential development of such regions as Dnipropetrovsk, Kyiv, Vinnytsia and Lviv. Obviously, it is associated with the polarization of agrarian production in Ukraine, which gives rise to the centers of efficient agricultural production with high-quality products around the cities, and in the case of Vinnytsia region, it is reinforced with agro-industrial specialization of the region.

Summing up the above, we can say that the dual influence of factors on the development of two regions with the best development of agropotential was identified. In 2015, Kyiv region was exposed to the dual influence of factors, and in 2018 the dual influence of factors was observed in Dnipropetrovsk region.

5.3. Trajectories of Change in Regional Agropotential during Post-Maidan Crisis and Armed Conflict

Ranking of Ukraine's regions by the values of natural resource subpotential index, production subpotential index, socio-economic subpotential index, macroeconomic subpotential index and agropotential index for 2015 and 2018 (Table 3) enabled to calculate the rank difference for each index over the period 2015-2018. Mapping of the results (Figure 4) shows that during the post-Maidan crisis and armed conflict,

the agropotential components had the following features of their development in the regions of Ukraine:

- in 2015-2018, the macroeconomic subpotential had a relatively sustainable development, as there were no sharp ups or downs in the positions of the regions in terms of their macroeconomic subpotential development. Zhytomyr, Cherkasy, Kherson and Luhansk regions were the leaders in terms of macroeconomic subpotential growth. Such regions as Sumy, Kirovohrad, Khmelnytskyi and Ivano-Frankivsk showed a decline in macroeconomic subpotential development;

- development of natural resource, production and socio-economic subpotentials over 2015-2018 was more heterogeneous in the trends of regional positions. The best positive trend in the production subpotential development was reported in Volyn, Ternopil, Poltava and Luhansk regions. Vinnytsia and Donetsk regions were the leaders in terms of positive trend of natural resource subpotential development. The worst trend of natural resource potential development was reported in Kyiv and Sumy regions. The most negative trend of socio-economic subpotential development was intrinsic to the regions of agrarian specialization (Kirovohrad, Khmelnytskyi and Chernivtsi), and the best positive trend was reported in

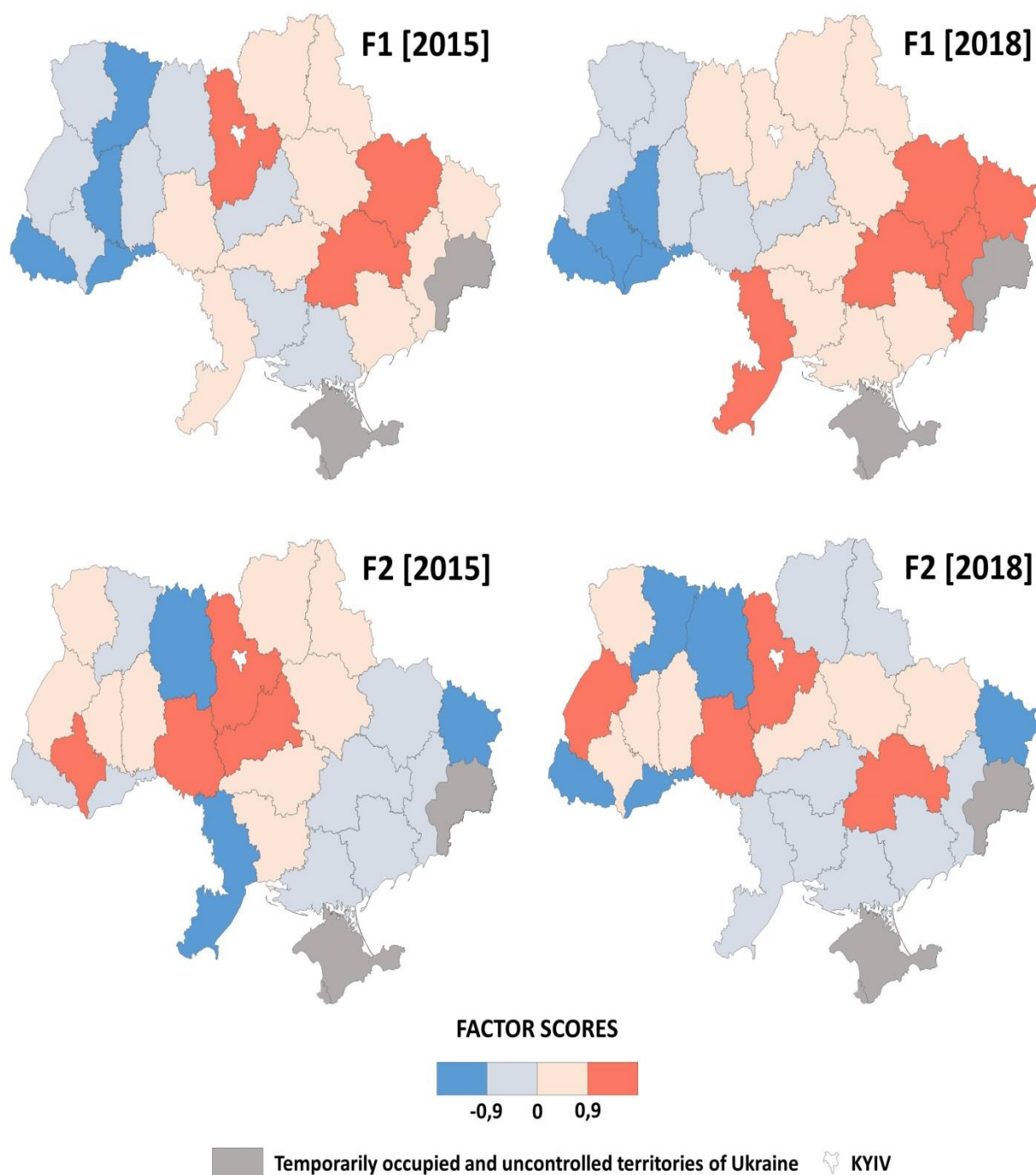


Fig. 3. Impact of factors on the unevenness of regional agropotential development in Ukraine in 2015 and 2018 (Source: developed by the authors)

Kyiv and Chernivtsi regions.

Through combination of the outcomes of building the Kohonen self-organizing maps (four clusters of agropotential development were identified) and the results of calculating the difference of ranks according to the agropotential index among the regions of Ukraine for the period 2015-2018 (Figure 1, 4), an empirical typification of the trajectories of agropotential of the regions during the post-Maidan crisis and armed conflict was developed (Table 5).

Table 5 shows that nine types of trajectories for agropotential development of the regions of Ukraine

have been identified in total. This number of trajectories of agropotential development in Ukraine, as well as all the results described above are indicative of a significant regional divergence. Chernivtsi and Luhansk regions had the most depressive trajectories of agropotential development in 2015-2018; Vinnytsia, Kyiv, Dnipropetrovsk and Poltava regions played the role of a core of agropotential development. The practical value of the selected types is that they can be used as guidelines in the formation of agrarian policy in the regions of Ukraine.

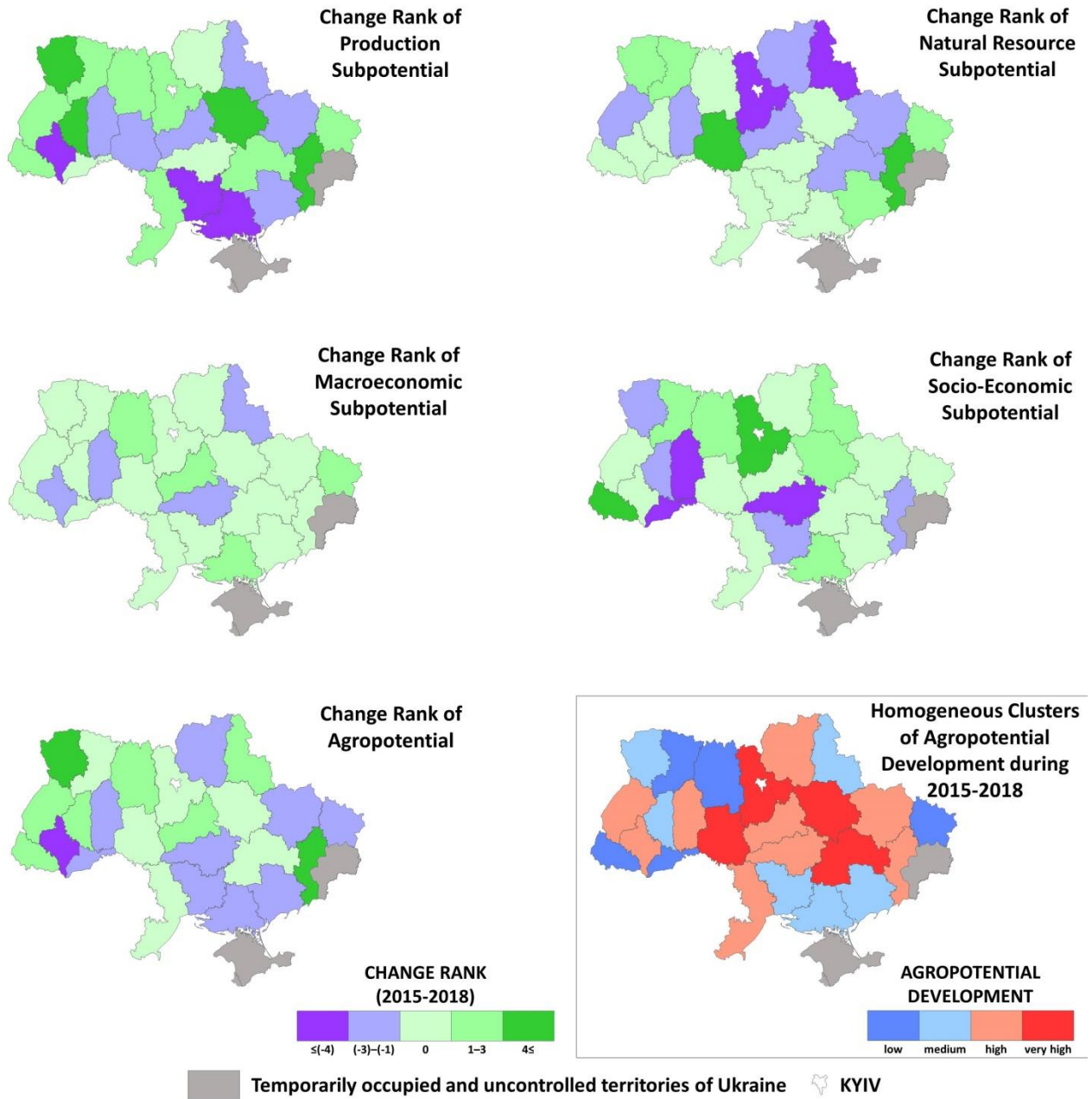


Fig. 4. Changes in Regional Agropotential Development in 2015 and 2018. Classification of Regions: Homogeneous Clusters of Agropotential Development during Post-Maidan Crisis and Armed Conflict (in frame) (Source: developed by the authors)

Table 5

Empirical typification of agropotential development trajectories in the regions of Ukraine during post-Maidan crisis and armed conflict

Types of Regional trajectories (T)	Regions
T1: Stable with a very high agropotential	Vinnitsia; Kyiv; Dnipropetrovsk; Poltava
T2: Growth with high agropotential	Lviv; Cherkasy; Donetsk
T3: Stable with high agropotential	Odesa
T4: Decline with high agropotential	Ivano-Frankivsk; Chernihiv; Kharkiv; Khmelnytskyi; Kirovohrad
T5: Growth with medium agropotential	Sumy; Ternopil; Volyn
T6: Decline with medium agropotential	Mykolaiv; Kherson; Zaporizhia
T7: Growth with low agropotential	Zakarpattia; Zhytomyr
T8: Stable with low agropotential	Rivne
T9: Decline with low agropotential	Chernivtsi; Luhansk

Source: developed by the authors

6. Conclusions

The above results of the study of the unevenness of regional agropotential development in Ukraine correspond to the previously presented theoretical basis and resonate with the results of previous researches. Empirical results demonstrate that during the post-Maidan crisis and armed conflict, the growth of regional polarization is explained with the 'West-East' pattern and the partial manifestation of the 'center-periphery' pattern. The main drives of uneven agropotential development in the regions in 2015 were natural resource-macroeconomic and socio-economic-production factors, and in 2018 the latter factor had the strongest impact and was divided into socio-economic and production factors. Multiplicity of trajectories for the agropotential development of the regions and the uneven development of its components during 2015-2018 indicated the regional divergence in the agropotential development in Ukraine

during the post-Maidan crisis and armed conflict.

Based on the empirical results given above, recommendations for agricultural regional policy can be offered. One of the recommendations is to stimulate regional convergence of agropotential development to achieve uniformity of regional development under the condition of maximum use of the resource potential available in the territory in combination with successful regional policy measures. Another recommendation is to assess and monitor the agropotential of the regions of Ukraine, which would improve the efficiency of use and stimulate its development. Given that Ukraine is facing the problem of inconsistency of the institutional environment with the needs of agropotential development, it is very important to implement the institutional transformations, which should focus on harmonization of state and regional policy for the agrarian sector with EU principles.

Bibliography

1. Барановський М. О. Пострадянська трансформація сільського простору в Україні: від поляризації до децентралізації / М. О. Барановський // Часопис соціально-економічної географії. – 2017. – Вип. 23(2). – С. 23-29. – DOI: <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2017-23-04>
2. Bartlett W. *The variable impact of the global economic crisis in South East Europe* / W. Bartlett, I. Prca. – London: *Research on South Eastern Europe*. – 2012. – 37 p. – Режим доступу: <http://eprints.lse.ac.uk/id/eprint/48037>
3. Бурлака О. М. Особливості та оцінка стратегічного економічного потенціалу аграрної галузі регіону / О. М. Бурлака // *Інвестиції: практика та досвід*. – 2014. – №7. – С. 99-104. – Режим доступу: <http://eprints.lse.ac.uk/id/eprint/48037>
4. Demchuk P. *Testing differences in efficiency of regions within a country: the case of Ukraine* / P. Demchuk, V. Zelenyuk // *Journal of Productivity Analysis*. – 2009. – Vol. 32(2). – P. 81-102. DOI: <https://doi.org/10.1007/s1123-009-0136-8>
5. Dunford M. *Old Europe, New Europe and the USA: comparative economic performance, inequality and market-led models of development* / M. Dunford // *European Urban and Regional Studies*. – 2005. – Vol. 12(2). – P. 149-176. DOI: <https://doi.org/10.1177/0969776405053742>
6. Ezcurra R. *The dynamics of regional disparities in Central and Eastern Europe during transition* / R. Ezcurra, P. Pascual, M. Rapún // *European Planning Studies*. – 2007. – Vol. 15(10). – P. 1397-1421. DOI: <https://doi.org/10.1080/09654310701550850>
7. Friedmann J. *A General Theory of Polarized Development* / J. Friedmann. – Los Angeles: University of California, 1969. – Режим доступу: <http://repositorio.cepal.org/handle/11362/34953>
8. Григоренко Я. О. Науково-методичні засади комплексного оцінювання аграрного потенціалу регіонів України для забезпечення її економічної безпеки / Я. О. Григоренко // *Агросвіт*. – 2017. – №11. – С. 70-76. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrosvit_2017_11_13
9. Григоренко Я. О. Оцінка регіональних особливостей аграрного потенціалу України в системі забезпечення економічної безпеки держави / Я. О. Григоренко // *Стратегічні пріоритети* – 2017. – Вип. 43(2). – С. 137-147. Режим доступу: <https://niss-priority.com/index.php/journal/article/view/109>
10. Grykień S. *Transformation in agriculture in new Lander in Germany, Poland and Ukraine* / S. Grykień // *Bulletin of Geography. Socio-Economic Series*. – 2005. – No 4. – P. 67-77. – Режим доступу: <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.ekon-element-000171426621>
11. Hirschman A. *On the Strategy of Economic Development* / A. Hirschman. – New Haven, CT: Yale University Press, 1958.
12. Григорук П. М. Інтегральне оцінювання рівня та динаміка аграрного потенціалу Хмельницької області / П. М. Григорук, А. С. Макаров // *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна. Серія «Міжнародні відносини. Економіка. Країнознавство. Туризм»*. – 2018. – №8. – С. 115-125. DOI: <https://doi.org/10.26565/2310-9513-2018-8-13>
13. Isard W. *Methods of Regional Analysis: An Introduction to Regional Science* / W. Isard. – New York: John Wiley and Sons, 1960.
14. Kallioras D. *The regional dimension of economic growth in Ukraine* / D. Kallioras, M. Tsiapa // *Eastern European Business and Economics Journal*. – 2015. – Vol. 1(3). – P. 71-95. – Режим доступу: <http://eebej.eu/Kallioras-D-Tsiapa-M-2015-The-Regi...cs-Journal-13-71-95/>
15. Karácsonyi D. *From Global Economic Crisis to Armed Crisis: changing regional inequalities in Ukraine* / D. Karácsonyi, K. Mezentsev, G. Pidgrusnyi, Z. Doneyi // *Regional Statistics*. – 2014. – Vol. 4(2). – P. 18-39. DOI: <https://doi.org/10.15196/RS04202>

16. Kharsyntiew T. T. *The Common foreign and security policy and the Ukrainian Crisis* / T. T. Kharsyntiew // *Challenges in Europe* / [Ed. by G. Sachdeva]. – Palgrave Macmillan, 2019. – P. 215-235. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-1636-4_11
17. Клокар О. О. Ресурсний потенціал аграрного сектору економіки: теоретичні та практичні аспекти дослідження його ефективного відтворення / О. О. Клокар // *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: Економічні науки*. – 2014. – Вип. 5(1). – С. 184-189. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvkhdu_en_2014_5%281%29_46
18. Комеліна О. В. Інформаційно-методичне забезпечення управління розвитком аграрного сектору економіки регіонів / О. В. Комеліна, Н. Л. Панасенко // *Економічний часопис-XXI*. – 2013. – № 11-12(1). – С.38-41. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecchado_2013_11-12%281%29_11
19. Котикова О.І. Моніторинг та оцінка сталості розвитку сільського землекористування регіонів України / О. І. Котикова // *Економіка АПК*. – 2017. – №5. – С.24-32. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/E_apk_2017_5_6
20. Ковальова О. В. Концептуальні стратегічні пріоритети розроблення структурної політики сталого розвитку аграрного сектору економіки: національний і регіональний аспект / О. І. Котикова // *Вісник Черкаського університету. Серія «Економічні науки»*. – 2019. – №2. – С. 66-76. DOI: <https://doi.org/10.31651/2076-5843-2019-2-66-76>
21. Kuzio, T. (2017). *Putin's War Against Ukraine: Revolution, Nationalism, and Crime* / T. Kuzio. Toronto: University of Toronto, 2017. – 490 p. – Режим доступу: <http://resource.history.org.ua/item/0013270>
22. Макогон Ю. В. Причини і чинники економічної кризи в Україні в умовах військово-політичного протистояння на сході країни / Ю. В. Макогон // *Економічний вісник Донбасу*. – 2017. – Вип. 2(48). – С. 220-235. – Режим доступу: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/123513>
23. Мельник Н. В. Агропотенціал України у виробництві біопалива / Н. В. Мельник // *Економіка сільського господарства та ресурсів: міжнародний науковий електронний журнал*. – 2019. – Т.5(1). – С.92-106. DOI: https://doi.org/10.22004/ag_econ.287148
24. Mezentsev K. *Ukraine: stable outflow and changing nature* / K. Mezentsev, G. Pidgrushnyi // *Discovering migration between Visegrad countries and Eastern partners* / [Ed. by Á. Erőss, D. Karácsonyi]. – Budapest, 2014. – P. 191-211. – Режим доступу: <http://www.eastmig.mtafki.hu/results.html>
25. Mezentsev K. *Challenges of the Post-Soviet development of Ukraine: economic transformations, demographic changes and socio-spatial polarization* / K. Mezentsev, G. Pidgrushnyi, N. Mezentseva // *Understanding Geographies of Polarization and Peripheralization. New Geographies of Europe* / [Ed. by T. Lang, S. Henn, W. Sgibnev, K. Ehrlich]. – Palgrave Macmillan, 2015. – P. 252-269. DOI: https://doi.org/10.1057/9781137415080_14
26. Мезенцева Н. І. Продовольча безпека в регіонах України: сутність, індикатори, територіальна диференціація / Н. І. Мезенцева, О. М. Трусії // *Економічна та соціальна географія*. – 2017. – Вип. 77. – С. 61-70. DOI: <https://doi.org/10.17721/2413-7154/2017.77.61-70>
27. Michálek A. *Dynamics of regional disparities in Slovakia in 2001 and 2011* / A. Michálek, P. Podolák, M. Madajová // *Bulletin of Geography. Socio-economic Series*. – 2018. – Vol. 42(42). – P. 99-114. DOI <https://doi.org/10.2478/bog-2018-0033>
28. Mitrică B. *Socio-economic disparities in the development of the Romania's border areas* / B. Mitrică, I. Mocanu, M Dumitrașcu, I. Grigorescu // *Social Indicators Research*. – 2017. – Vol. 134(3). – P. 899-916. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11205-016-1462-7>
29. Mykhnenko V. *Ukraine's diverging space-economy: The Orange Revolution, post-soviet development models and regional trajectories* / V. Mykhnenko, A. Swain // *European Urban and Regional Studies*. – 2010. – Vol. 17(2). – P. 141-165. DOI: <https://doi.org/10.1177/0969776409357363>
30. Myrdal G. *Economic Theory and Underdeveloped Regions* / G. Myrdal // London: Gerald Duckworth, 1957. – 168 p.
31. Petrakos G. *Patterns of regional inequality in transition economies* / G. Petrakos // *European Planning Studies*. – 2001. – Vol. 9(3) – P. 359-383. DOI: <https://doi.org/10.1080/713666485>
32. Поліщук В. Г. Стимулювання сталого розвитку регіонів України у контексті конкретизації "Цілей Розвитку Тисячоліття" / В. Г. Поліщук // *Актуальні проблеми економіки*. – 2013. – №4. – С. 172-182. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ape_2013_4_20
33. Путренко В. В. Застосування трендових геопросторових статистичних моделей на основі інтелектуального аналізу даних / В. В. Путренко // *Системні дослідження та інформаційні технології*. – 2015. – №4. – С. 7-19. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/sdtit_2015_4_3
34. Радченко О. Д. Фінансовий потенціал розвитку аграрного сектору / О. Д. Радченко // *Економіка АПК*. – 2019. – №1. – С. 27-38. DOI: <https://doi.org/10.32317/2221-1055.201901027>
35. Rewilak J. *The Impact of Financial Crises on the Poor* / J. Rewilak // *Journal of International Development*. – 2018. – Vol. 30(1). – P. 3-19. DOI: <https://doi.org/10.1002/jid.3334>
36. Шишкін В. С. Регіональна диференціація рівня життя / В. С. Шишкін // *Нерівність в Україні: масштаби та можливості впливу* / За ред. Лібанової Е. М. – К.: Інститут демографії та соціальних досліджень, 2012. – С. 198-204.
37. Skryzhevskaya, Y. *Regional Inequalities in Ukraine: Causes, Consequences, Policy Implications* / Y. Skryzhevskaya. – VDM Verlag, 2008. – 108 p.

38. Smętkowski M. Regional disparities in Central and Eastern European Countries: trends, drivers and prospects / M. Smętkowski // *Europe-Asia Studies*. – 2013. – Vol. 65(8). – P. 1529-1554. DOI: <https://doi.org/10.1080/09668136.2013.833038>
39. Smętkowski M. Regional convergence in Central and Eastern European Countries: a multidimensional approach / M. Smętkowski, P. Wójcik, // *European Planning Studies*. – 2012. – Vol. 20(6). – P. 923-939. DOI: <https://doi.org/10.1080/09654313.2012.673560>
40. Smith de M. J. *Geospatial Analysis: A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools* / M. J. de Smith, M. F. Goodchild, P. A. Longley. – The Winchelsea Press, 2018. – 618 p.
41. Smoor L. Understanding the narratives explaining the Ukrainian Crisis: identity divisions and complex diversity in Ukraine / L. Smoor // *Acta Universitatis Sapientiae, European and Regional Studies*. – 2017. – Vol. 11(1). – P. 63-96. DOI: <https://doi.org/10.1515/auseur-2017-0004>
42. Сидорук Б. О. Особливості проведення оцінки використання природно-ресурсного потенціалу агросфери на регіональному рівні / Б. О. Сидорук, О. М. Довгаль // *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. – 2016. – Вип. 3(24). – С. 201-210. – Режим доступу: <http://pb.pdatu.edu.ua/article/view/140762>
43. Танкалевська Н. С. Формування інвестиційної програми регіонального розвитку аграрного сектору / Н. С. Танкалевська, В. С. Олійник // *Фінансовий простір*. – 2019. – №3(34). – С. 113-120. DOI: [https://doi.org/10.18371/fp.2\(34\).2019.183582](https://doi.org/10.18371/fp.2(34).2019.183582)
44. Терещенко С. І. Вплив природно-ресурсного потенціалу на рівень розвитку аграрного сектору регіону / С. І. Терещенко // *Економіка АПК*. – 2014. – №12. – С. 50-57. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/E_apk_2014_12_9
45. Цимбаліста Н. А. Проблеми реалізації агропродовольчого потенціалу сільських територій / Н. А. Цимбаліста // *Регіональна економіка*. – 2015. – №2. – С. 115-123. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/regek_2015_2_15
46. Урба С. Моделювання ресурсного потенціалу аграрного сектору економіки України / С. Урба, І. Прокопович-Павлюк // *Наукова спадщина*. – 2018. – Вип. 29(2). – С.39-48. – Режим доступу: <https://tsh-journal.com/en/archive-2/>
47. Вишневецька О.М. Формування збалансованого ресурсного потенціалу аграрного сектору / О.М.Вишневецька // *Економічний часопис XXI*. – 2011. – №3-4. – С. 48-50. – Режим доступу: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/47619>
48. Єрмаков О. Ю. До методології кластиризації розвитку аграрної сфери регіонів України / О. Ю. Єрмаков, С. А. Надвичний // *Інвестиції: практика та досвід*. – 2018. – №18. – С. 14-21. – Режим доступу: <http://www.investplan.com.ua/?op=1&z=6289&i=2>
49. Ženka J. Regional competitiveness in Central European Countries: in search of a useful conceptual framework / J. Ženka, J. Novotný, P. Csank // *European Planning Studies*. – 2012. – Vol. 22(1). – P. 164-183. DOI: <https://doi.org/10.1080/09654313.2012.731042>
50. Zubarevich N. V. Regional inequality in large Post-Soviet countries / N. V. Zubarevich, S. G. Safronov // *Regional Research of Russia*. – 2011. – No1(1). – P. 15-26. DOI: <https://doi.org/10.1134/s2079970511010138>

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

References

1. Baranovskyi, M. (2017). Post-Soviet transformation of rural space in Ukraine: from polarization to decentralization. *Human Geography Journal*, 23(2), 23-29. DOI: <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2017-23-04> [in Ukrainian].
2. Bartlett, W., & Prica, I. (2012). *The variable impact of the global economic crisis in South East Europe*. London. Retrieved from <http://eprints.lse.ac.uk/id/eprint/48037>
3. Burlaka, O. (2014). Features and evaluation of strategic economic potential of the agricultural industry in the region. *Investment: Practice and Experience*, 7, 99-104. Retrieved from <http://www.investplan.com.ua/?op=1&z=3529&i=18> [In Ukrainian].
4. Demchuk, P., & Zelenyuk, V. (2009). Testing differences in efficiency of regions within a country: the case of Ukraine. *Journal of Productivity Analysis*, 32(2), 81-102. doi: <https://doi.org/10.1007/s1123-009-0136-8>
5. Dunford, M. (2005). Old Europe, New Europe and the USA: comparative economic performance, inequality and market-led models of development. *European Urban and Regional Studies*, 12(2), 149-176. doi: <https://doi.org/10.1177/0969776405053742>
6. Ezcurra, R., Pascual, P., & Rapún, M. (2007). The dynamics of regional disparities in Central and Eastern Europe during transition. *European Planning Studies*, 15(10), 1397-1421. doi: <https://doi.org/10.1080/09654310701550850>
7. Friedmann, J. (1969). *A General Theory of Polarized Development*. Los Angeles: University of California.
8. Grygorenko, Ya. (2017a). Scientific and methodological foundations of comprehensive evaluation of the agricultural potential of Ukraine's regions to ensure its economic security. *Agrosvit*, 11, 70-76. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrosvit_2017_11_13 [in Ukrainian].

9. Grygorenko, Ya. (2017b). Evaluation of regional characteristics agricultural potential of Ukraine in the economic security of the state. *Strategic Priorities*, 43(2), 137-147. Retrieved from <https://niss-priority.com/index.php/journal/article/view/109> [in Ukrainian].
10. Grykień, S. (2005). Transformation in agriculture in new Lander in Germany, Poland and Ukraine. *Bulletin of Geography. Socio-Economic Series*, 4, 67-77. Retrieved from <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.ekon-element-000171426621>
11. Hirschman, A. (1958). *On the Strategy of Economic Development*. New Haven, CT: Yale University Press.
12. Hryhoruk, P., & Makarov, A. (2018). Complex assessment of the level and dynamics of the agrarian capacity of the Khmelnytskyi Region. *The Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University Series: International Relations. Economics. Country Studies. Tourism*, 8, 115-125. doi: <https://doi.org/10.26565/2310-9513-2018-8-13> [in Ukrainian].
13. Isard, W. (1960). *Methods of Regional Analysis: An Introduction to Regional Science*. New York: John Wiley and Sons.
14. Kallioras, D., & Tsiapa, M. (2015). The regional dimension of economic growth in Ukraine. *Eastern European Business and Economics Journal*, 1(3), 71-95. Retrieved from <http://eebej.eu/Kallioras-D-Tsiapa-M-2015-The-Regi...cs-Journal-13-71-95/>
15. Karácsonyi, D., Mezentsev, K., Pidgrusnyi, G., & Donenyi, Z. (2014). From Global Economic Crisis to Armed Crisis: changing regional inequalities in Ukraine. *Regional Statistics*, 4(2), 18-39. doi: <https://doi.org/10.15196/RS04202>
16. Kharsyntiew, T. T. (2019). The Common foreign and security policy and the Ukrainian Crisis. In: Sachdeva G. (Ed.). *Challenges in Europe* (pp. 215-235). Palgrave Macmillan. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-13-1636-4_11
17. Klokar, O. O. (2014). Resource potential of the agricultural sector of economy: theoretical and practical aspects of research of its effective recovery. *Scientific Bulletin of Kherson State University. Series «Economic Sciences»*, 5(1), 184-189. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvkhd_u_2014_5%281%29_46 [in Ukrainian].
18. Komelina, O., & Panasenko, N. (2013). Information and methodological support of the regions' agricultural sector development management. *Economic Annals-XXI*, 11-12(1), 38-41. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecchado_2013_11-12%281%29_11 [in Ukrainian]
19. Kotykova, O. I. (2017). Monitoring and evaluation of the agricultural land use sustainability of Ukraine's regions. *Ekonomika APK*, 5, 24-32. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/E_apk_2017_5_6 [in Ukrainian].
20. Kovalova, O. (2019). Conceptual strategic priorities for developing a structural sustainable development of the agrarian economy sector: national and regional aspects. *Bulletin of the Cherkasy Bohdan Khmelnytsky National University. Economic Sciences*, 2, 66-76. doi: <https://doi.org/10.31651/2076-5843-2019-2-66-76> [in Ukrainian].
21. Kuzio, T. (2017). *Putin's War Against Ukraine: Revolution, Nationalism, and Crime*. Toronto: Chair of Ukrainian Studies, University of Toronto. Retrieved from: <http://resource.history.org.ua/item/0013270>
22. Makogon, Y. V. (2017). Causes and factors of the economic crisis in Ukraine in the conditions of military-political confrontation in the east of the country. *The Economic Bulletin of Donbas*, 2, 220-235. Retrieved from <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/123513> [in Ukrainian].
23. Melnyk, N. (2019). Agricultural potential in the production of biofuels in Ukraine. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*, 5(1), 92-106. doi: <https://doi.org/10.22004/ag.econ.287148> [in Ukrainian].
24. Mezentsev, K., & Pidgrushnyi, G. (2014) Ukraine: stable outflow and changing nature. In: Á. Erőss & D. Karácsonyi (Eds.). *Discovering migration between Visegrad countries and Eastern partners (191-211)*. Budapest. Retrieved from <http://www.eastmig.mtafki.hu/results.html>
25. Mezentsev, K., Pidgrushnyi, G., & Mezentseva, N. (2015). Challenges of the Post-Soviet development of Ukraine: economic transformations, demographic changes and socio-spatial polarization. In: Lang T., Henn S., Sgibnev W., Ehrlich K. (Eds.). *Understanding Geographies of Polarization and Peripheralization. New Geographies of Europe (252-269)*. Palgrave Macmillan. doi: https://doi.org/10.1057/9781137415080_14
26. Mezentseva, N., & Trusij, O. (2017). Food security in the regions of Ukraine: nature, indicators, territorial differentiation. *Ekonomichna ta Sotsialna Geografiya*, 77, 61-70. doi: <https://doi.org/10.17721/2413-7154/2017.77.61-70> [in Ukrainian].
27. Michálek, A., Podolák, P., & Madajová, M. (2018). Dynamics of regional disparities in Slovakia in 2001 and 2011. *Bulletin of Geography. Socio-economic Series*, 42(42), 99-114. doi: <https://doi.org/10.2478/bog-2018-0033>
28. Mitrică, B., Mocanu, I., Dumitrașcu, M., & Grigorescu, I. (2017). Socio-economic disparities in the development of the Romania's border areas. *Social Indicators Research*, 134(3), 899-916. doi: <https://doi.org/10.1007/s11205-016-1462-7>
29. Mykhnenko, V., & Swain, A. (2010). Ukraine's diverging space-economy: The Orange Revolution, post-soviet development models and regional trajectories. *European Urban and Regional Studies*, 17(2), 141-165. doi: <https://doi.org/10.1177/0969776409357363>
30. Myrdal, G. (1957). *Economic Theory and Underdeveloped Regions*. London: Gerald Duckworth.
31. Petrakos, G. (2001). Patterns of regional inequality in transition economies. *European Planning Studies*, 9(3), 359-383. doi: <https://doi.org/10.1080/713666485>
32. Polishchuk, V.G. (2013). Stimulating the sustainable development of Ukraine's regions in the context of specifying the "Millennium Development Goals". *Actual Problems of Economics*, 4, 172-182. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/ape_2013_4_20 [in Ukrainian].
33. Putrenko, V. V. (2015). Using of the trend geospatial statistical models based on data mining. *System Research and Information Technologies*, 4, 7-19. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/sdtit_2015_4_3 [in Ukrainian].

34. Radchenko, O. D. (2019). Financial potential of sustainable development of the agrarian sector. *Ekonomika APK*, 1, 27-38. doi: <https://doi.org/10.32317/2221-1055.201901027> [in Ukrainian].
35. Rewilak, J. (2018). The Impact of Financial Crises on the Poor. *Journal of International Development*, 30(1), 3-19. doi: <https://doi.org/10.1002/jid.3334>
36. Shyshkin, V. S. (2012). Regional differentiation of living standards. In: Libanova E.M. (Ed.). *Inequality in Ukraine: Scope and Possibilities of influence* (pp. 198-204). Kyiv: Ptoukha Institute for Demography and Social Studies of the National Academy of Sciences of Ukraine [in Ukrainian].
37. Skryzhevska, Y. (2008). *Regional Inequalities in Ukraine: Causes, Consequences, Policy Implications*. VDM Verlag.
38. Smętkowski, M. (2013). Regional disparities in Central and Eastern European Countries: trends, drivers and prospects. *Europe-Asia Studies*, 65(8), 1529-1554. doi: <https://doi.org/10.1080/09668136.2013.833038>
39. Smętkowski, M., & Wójcik, P. (2012). Regional convergence in Central and Eastern European Countries: a multidimensional approach. *European Planning Studies*, 20(6), 923-939. doi: <https://doi.org/10.1080/09654313.2012.673560>
40. Smith de, M. J., Goodchild, M. F., & Longley, P. A. (2018). *Geospatial Analysis: A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools*. The Winchelsea Press. Retrieved from https://spatialanalysisonline.com/HTML/index.html?simple_regression_and_trend_su.htm
41. Smoor, L. (2017). Understanding the narratives explaining the Ukrainian Crisis: identity divisions and complex diversity in Ukraine. *Acta Universitatis Sapientiae, European and Regional Studies*, 11(1), 63-96. doi: <https://doi.org/10.1515/auseur-2017-0004>
42. Sydoruk, B., & Dovhan, O. (2016). Peculiarities of the natural resource potential use evaluation of agricultural sphere at the regional level. *Podilian Bulletin: Agriculture, Engineering, Economics*, 3(24), 201-210. Retrieved from <http://pb.pdatu.edu.ua/article/view/140762> [in Ukrainian].
43. Tanklevs'ka, N., & Oliyuk, V. (2019). Formation of the investment program of the regional development of the agrarian sector. *Financial Space*, 2(34), 113-120. doi: [https://doi.org/10.18371/fp.2\(34\).2019.183582](https://doi.org/10.18371/fp.2(34).2019.183582) [in Ukrainian].
44. Tereshchenko, S. I. (2014). The impact of natural resource potential on the level of agricultural sector development of the region. *Ekonomika APK*, 12, 50-57. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/E_apk_2014_12_9 [in Ukrainian].
45. Tsybalista, N. A. (2015). The problems of unleashing the agri-industrial potential of rural areas. *Regional Economy*, 2(76), 115-123. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/regek_2015_2_15 [in Ukrainian].
46. Urba, S., & Prokopovych-Pavlyuk, I. (2018). Modeling the resource potential of the agrarian sector of Ukraine's economy. *The Scientific Heritage*, 29(2), 39-48. Retrieved from <https://tsh-journal.com/en/archive-2/> [in Ukrainian].
47. Vishnevskaya, O. M. (2011). Formation of a balanced resource potential of agricultural sector. *Economic Annals-XXI*, 3-4, 48-50. Retrieved from <http://dSPACE.nbuv.gov.ua/handle/123456789/47619> [in Ukrainian].
48. Yermakov, O., & Nadvynychnyy, S. (2018). On clustering methodology for agricultural development of regions in Ukraine. *Investment: Practice and Experience*, 18, 14-21. Retrieved from <http://www.investplan.com.ua/?op=1&z=6289&i=2> [in Ukrainian].
49. Ženka, J., Novotný, J., & Csank, P. (2012). Regional competitiveness in Central European Countries: in search of a useful conceptual framework. *European Planning Studies*, 22(1), 164-183. doi: <https://doi.org/10.1080/09654313.2012.731042>
50. Zubarevich, N. V., & Safronov, S. G. (2011). Regional inequality in large Post-Soviet countries. *Regional Research of Russia*, 1(1), 15-26. doi: <https://doi.org/10.1134/s2079970511010138>

Аграрний потенціал України в період пост-Майданної кризи та військового конфлікту: фактори та паттерни регіональної нерівномірності

Сергій Запотоцький¹,

д. геогр. н., професор кафедри економічної та соціальної географії,
¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
вул. Володимирська, 60, Київ 01601, Україна;

Наталія Проватар¹,

к. геогр. н., доцент кафедри економічної та соціальної географії;

Оксана Трусій¹,

к. геогр. н., доцент кафедри економічної та соціальної географії;

Вікторія Запотоцька¹,

к. геогр. н., асистент кафедри економічної та соціальної географії

Регіональний соціально-економічний розвиток характеризується різноспрямованістю та поліваріантністю і зумовлюється відмінностями у впливі факторів. У період військових конфліктів загострюється регіональна нерівномірність. В таких умовах важливим є моніторинг соціально-економічних індикаторів розвитку регіонів України, адже індикатори слугують орієнтирами для створення і реалізації стратегій розвитку регіонів, прийняття рішень в межах регіональної політики та політики регіонів для внесення актуальних коректив у Генеральну схему

планування території України задля досягнення сталого розвитку. Оцінка та моніторинг агропотенціалу регіонів України може надати розуміння сучасних процесів та їх регіональних паттернів, а також практичні результати та рекомендації для імплементацій полісімейкерами різних масштабних рівнів. Метою даної статті є визначення регіональних паттернів розвитку аграрного потенціалу та ідентифікація факторів, що вплинули на його регіональну нерівномірність у період пост-Майданної кризи та військового конфлікту. Дослідження фокусується на оцінці розвитку аграрного потенціалу регіонів України у 2015 та 2018 рр. Результати дослідження підтверджують, що спостерігаються просторова асиметрія та зростання регіональної дивергенції розвитку агропотенціалу. Виявлено, що відбулося посилення впливу соціально-економічного і виробничого факторів, та послаблення природно-ресурсного і макроекономічного факторів на розвиток агропотенціалу регіонів. Визначено траєкторії розвитку аграрного потенціалу регіонів, здійснено їх типізацію та виділено дев'ять типів траєкторій розвитку агропотенціалу регіонів України протягом пост-Майданної кризи та військового конфлікту. Запропоновано рекомендації щодо регіональної політики в аграрній сфері України для пом'якшення регіональної нерівномірності розвитку агропотенціалу. Враховуючи те, що в Україні існує проблема невідповідності інституційного середовища потребам розвитку аграрного потенціалу, важливого значення набувають інституційні трансформації, які мають орієнтуватись на гармонізацію ведення державної та регіональної політики в аграрній сфері з принципами ЄС.

Ключові слова: *регіональна нерівномірність; аграрний потенціал; індекс агропотенціалу; фактори; паттерни; Україна; пост-Майданна криза; військовий конфлікт*

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 31 жовтня 2022 р.
Прийнята 1 листопада 2022 р.

Українці в Словаччині: розселення і мова

Андрій Зубик,

к. геогр. н., доцент кафедри географії України

Львівського національного університету імені Івана Франка,

вул. Петра Дорошенка, 41, м. Львів, 79007, Україна,

e-mail: andriy.zubyk@lnu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0001-5897-3823>

Стаття присвячена дослідженню розселення українців та поширенню української мови в Словаччині. Зважаючи на особливості словацького законодавства, яке визнає русинів окремою етнічною групою, ми окремо подаватимемо дані щодо них, але вважаємо їх невід'ємною частиною українського етносу. В контексті дослідження українців у Словаччині варто зазначити, що питання русинства є складною та дискусійною темою. Інформаційною основою дослідження стали результати переписів населення, які проводили у країні, зокрема їхній етнокультурний складник: етнічна належність, рідна мова, мова спілкування вдома і на роботі. З огляду на специфіку середовища, в якому проживають українці та русини, у дослідженні додатково використано дані про конфесійний склад населення. За підсумками переписів населення, які проводили 1980-го, 1991-го, 2001-го та 2011 р., опрацьовано основні результати та складено низку карт у середовищі програми ArcMap. Ці карти відображають особливості розселення українців та русинів на рівні окремих населених пунктів, округів чи країв, компактність проживання, індекси етнічного та мовного різноманіття, поширення української як рідної, мови спілкування вдома і на роботі та конфесійний склад населення. У статті проаналізовано розселення українців та русинів на рівні округів, виявлено зміни в чисельності за період між переписами населення, визначено індекс етнічного та мовного різноманіття в розрізі округів Словаччини. Також проаналізовано етнічне середовище, в якому проживають українці та русини, виділено округи Пряшівського та Кошицького країв, де проживають найбільші осередки українців та русинів. Встановлено основні причини зменшення чисельності українців. За підсумками аналізу конфесійного складу населення виявлено, що українці та русини є дуже асимільованими, оскільки чисельність греко-католиків та православних значно перевищує кількість українців та русинів. Тут варто зазначити, що представники титульного етносу переважно є римо-католиками, рідше – протестантами. Виявлено високу етномовну відповідність українців та русинів. Встановлено, що чисельність тих, для кого русинська мова є рідною, значно перевищує чисельність русинів. Загалом показники мовного різноманіття корелюються з індексом етнічного різноманіття.

Ключові слова: українська діаспора, розселення, індекс етнічного різноманіття, індекс мовного різноманіття, етномова відповідність.

Як цитувати: Зубик Андрій. Українці в Словаччині: розселення і мова / Андрій Зубик // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 57. – С. 121-133. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-10>

In cites: Zubyk Andrii (2022). Ukrainians in Slovakia: settlement and language. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (57), 121-133. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-10> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. Дослідження української діаспори є надзвичайно актуальним завданням для української науки в цілому, і для географії зокрема. Належна підтримка діаспор з боку історичної батьківщини допоможе сформувати надійного та потужного лобіста українських інтересів у країнах свого проживання. Українці, які будучи громадянами інших країн зберігають пам'ять про своє етнічне походження. Це втілюється у акціях підтримки України, волонтерській допомозі армії, повернення до України і участь у бойових діях в складі Збройних Сил України.

Важливе місце серед українців закордоння належить українцям на території Словаччини, які завдяки самоорганізації, відносно кращим політичним передумовам та здобуткам української еміграції у міжвоєнній Чехословаччині, зуміли підготувати впродовж післявоєнного періоду в своєму середовищі значні мистецькі і наукові сили [2, с. 166]. Попри це, більш популярними є дослідження українських діаспор, у США чи Канаді, країнах трудової міграції українців. Тематика українців у Словаччині переважно розглядається комплексно, коли досліджують регіон в ці-

лому.

Залежно від часу проживання у Словаччині науковці В. П. Трощинський та А. А. Шевченко поділяють українців на три групи: 1) русини-українці; 2) русини, які є корінним населенням північно-східної Словаччини та живуть на територіях, які становлять найзахіднішу частину української етнічної території. До цієї групи зараховують нащадків вихідців із Закарпаття та Галичини, які тут осіли у міжвоєнний період, коли Закарпаття під назвою автономного краю Підкарпатська Русь було у складі тогочасної Чехословаччини; 3) українці, які іммігрували після Другої світової війни [15, с. 22; 16, с. 198].

В контексті питання русинів варто зазначити, що уряд, посилаючись на Конституцію, яка гарантує те, що кожен має право захувати себе до будь-якої національності, частину українців, котрі зберегли самоназву "русини", у Словаччині визнає окремою етнічною меншиною [16, с. 197; 21].

Проблема русинства, на думку В. П. Трощинського та А. А. Шевченка, пов'язана з тим, що деякі групи українців, які втратили зв'язок з ядром українського етносу та опинилися поза

процесами відродження й консолідації українців на початку ХХ ст., не сприйняли етнонім “українці” й далі називають себе русинами. Ще частина українців визнає свою належність до українського етносу і наполягає на рівноправності обох назв [16, с. 197].

Варто зазначити, що особливістю русинства є самоідентифікація словацьких українців як русинів. Водночас “русинська народність” (*термін, який використовують словацькі дослідники*) заперечує таку ідентифікацію українців, наполягаючи на вживанні терміна “русин”. Саме через термінологію та розбіжності в розумінні походження русинства триває конфлікт між українцями, які гуртуються навколо Союзу українців-русинів Словаччини та “русинською народністю”, представники якої утворили Русинську оброду (*організація, яка виступає за відокремлення русинів від українців*) [1, с. 168]. Отже, русинство в Словаччині є прикладом етнічної дезінтеграції.

Різні теорії про відмінність русинів від українців, як і намагання створити окремий русинський народ мають очевидний політичний характер. Ініціаторами таких рухів є частково політика уряду після 1989 р., зовнішня підтримка (наприклад, діяльність П.-Р. Магочі). Такий політичний русинізм у країні дестабілізує українців. На думку М. Сополіги, русинізація – це один із найнебезпечніших способів пришвидшення асиміляції українців. Найпоширенішими формами підтримки русинського сепаратизму є: спотворювання і фальсифікація етногенезу, систематичне вживання терміна “русинський”, виділення русинів та русинської мови в окрему графу під час проведення та опрацювання результатів переписів [13].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Актуальними є праці М. Сополіги (етнограф, директор Музею української культури у Свідніку) “Українці Словаччини: матеріальні вияви народної культури та мистецтва” [15], “До питань етнічної ідентифікації та сучасних етнічних процесів українців Пряшівщини” [13], “До проблеми етногенезу української меншини Словаччини” [14]. Цікавою розвідкою є робота С. Семенюка “Український путівник по Словаччині (історико-краєзнавчі нариси)” [12]. Книжка присвячена історії українців, містить інформацію про вчених, політиків, діячів культури та мистецтва, у ній також виділено населені пункти, пов’язані з українцями у Словаччині.

Проблематику феномену русинства стосується праця “Українці-русини: етнолінгвістичні та етнокультурні процеси в історичному розвитку” [17]. Видання присвячено становленню загальноукраїнської етнічності та розвитку етноідентифікаційних процесів у середовищі українців-русинів Закарпаття та Східної Словаччини. Тема-

тика українства у Словаччині представлена у праці В. П. Трощинського та А. А. Шевченка “Українці у світі” [16]. Це останній том 15-томного видання “Україна крізь віки”, тема якого – українська діаспора.

Передусім слід зазначити, що тематика українців, які проживають в Словаччині мало репрезентована у географічних дослідженнях. Названі нами праці М. Сополіги більше розкривають етнографічний бік життя українців у цій країні та присвячені питанням їхньої етнічної ідентифікації. Загалом тематикою українства в Словаччині цікавляться більше етнографи чи історики, ніж географи. На нашу думку, відсутність дослідницького інтересу до української діаспори серед географів є незаслуженою. Для прикладу, праці географа Ф. Заставного “Українська діаспора” та “Українська східна діаспора” були опубліковані у 1991 та 1992 рр. відповідно, а вже згадувана нами праця “Українці у світі” – написана понад 20 років тому. Хоча заради справедливості потрібно зазначити, що вона є добрим прикладом співпраці історика та географа.

Метою цього дослідження є виявлення сучасного стану розселення українців, поширення української мови в Словаччині, встановлення динаміки чисельності українців. Інструментами досягнення нашої мети є аналіз та опрацювання етнічних та етномовних критеріїв переписів населення, які проводили у Словаччині у 1991-го, 2001-го та 2011 р.

Для реалізації поставленої мети необхідно було розв’язати такі завдання:

- розглянути літературні та статистичні джерела, які стосуються тематики дослідження;
- визначити індекс етнічного та мовного різноманіття у розрізі населених пунктів та округів для того щоб встановити у якому етнічному середовищі проживають українці;
- виявити закономірності в розселенні та поширенні української мови.
- скласти низку карт, які відобразатимуть розселення українців та русинів, етнічне та мовне різноманіття населення, конфесійний склад населення, поширення української мови у Словаччині;

Методи дослідження. Інформаційною основою дослідження стали етнічні, мовні та релігійні критерії переписів населення. Основні дані у розрізі країв, округів (окресів) та населених пунктів публікують у відкритому доступі на сайті управління статистики Словаччини [20]. На нашу думку, значним недоліком є те, що у вільному доступі не публікують деталізованих даних про статеву та вікову структуру, освітній рівень та зайнятість найчисельніших етнічних меншин. Натомість подано узагальнені дані в розрізі країв, ок-

ругів, рідше населених пунктів.

Тематика української діаспори мало представлена у географічних дослідженнях останніх років. Цінним для дослідника діаспор є ресурс "Population statistics of Eastern Europe & former USSR" [19]. На цьому сайті подано оцінні дані та результати переписів, які проводили в країнах Східної Європи та колишнього СРСР. Зокрема, можна знайти дані про етнічний та конфесійний склад населення, рідше – мовний склад населення у різному територіальному розрізі.

Корисним у дослідженнях етнічного складу населення та діаспор є застосування математико-статистичних методів, за допомогою яких можна визначити індекс етнічного та мовного різноманіття, коефіцієнт етнічної компактності.

Використовувати індекс етнічного різноманіття (EDI) як спосіб дослідження расового та етнічного різноманіття у США запропонували вчені Ф. Маєр та Ш. Макінтош. Суть цього показника у ймовірності того, що дві випадково вибрані людини в одному місті чи районі мають різну етнічну належність. Сам індекс розраховують за кілька етапів [18].

Перший – визначення частки кожної етнічної групи в населенні території. Другий етап – піднесення цієї частки до квадрата. Ця величина характеризує ймовірність того, що дві випадково вибрані людини будуть однієї національності. Третій етап – сумування піднесених до квадрата ймовірностей для кожної національності та отримання підсумкової ймовірності, що дві випадкові людини є однієї національності. Останній етап – віднімання від 1 результату попереднього етапу. Отриманий показник у відсотках – ймовірність того, що дві довільно вибрані людини будуть представниками різних етносів:

$$EDI_j = (1 - \sum_{i=1}^E P_{ij}^2) * 100,$$

де j – регіон, i – етнічна група в регіоні, E – загальна кількість етнічних груп у регіоні, P – частка окремого етносу від усього населення регіону.

Індекс етнічного різноманіття (EDI) може змінюватися від 0 (етнічно одноманітний регіон) до 100 (повне різноманіття) [18]. Чітку картину щодо розселення українців може дати коефіцієнт етнічної компактності ($K_{ек}$). Він доповнює частки українців від усього населення або частку українців у певному районі (населеному пункті) від усієї чисельності українців у країні:

$$K_{ек} = K_1 / K_2,$$

де K_1 – частка певного етносу у населенні району; K_2 – частка представників цього етносу у населенні області.

Якщо $K_{ек} \leq 0,5$ – етнічна компактність виражена нечітко; якщо $0,5 < K_{ек} \leq 1$ – компактність

виражена доволі чітко; якщо $1 < K_{ек} \leq 2$ – етнічна компактність виражена чітко.

До іншої групи методів, якими ми послуговувалися, входять методи дослідження етномовних показників перепису населення. Найпростішим із них є показник різномовності, який відображає ймовірність того, що два довільно вибрані жителі якоїсь території або поселення розмовлятимуть однією мовою:

$$A = 1 - \sum_i (j^2),$$

де A – ступінь різномовності, j – частка носіїв певної мови у складі населення, $\sum_i (j^2)$ – сума квадратів частки носіїв тієї чи іншої мови до всього населення.

Величина показника може змінюватися в межах від 0 до 100. Якщо він становить 0, то всі жителі території розмовляють однією мовою. Якщо він становить 100, то всі жителі розмовляють різними мовами [11, с. 53].

Результати та обговорення. Використання переписів населення у дослідженнях діаспор та етнічних меншин є важливим джерелом інформації. Належність до етносу базується на етнічній ідентифікації. Етнічна ідентифікація є емоційною потребою кожного ототожнювати себе з певною групою. Її формування залежить не лише від суб'єктивних передумов (усвідомлення спільного походження, історичної долі, присутності етнічних стереотипів), а й, у випадку належності до етнічної меншини, від зовнішніх впливів, зокрема від якості міжетнічних відносин у суспільстві, створення правової системи розвитку національних меншин, приймання принципів позицій представниками влади та авторитетними особами в суспільстві [13].

Своє дослідження ми хронологічно розпочинаємо від перепису 1980 року. Після нього у країні відбулося ще чотири переписи: 1991-го, 2001-го, 2011-го та 2021 р. На момент написання цієї статті управління статистики Словацької Республіки не оприлюднило попередніх результатів перепису населення 2021 р.

За результатами перепису 1980 р. у Словаччині проживало 36 850 українців. Починаючи від 1991 р. серед результатів переписів з'являються русини. Відтоді змінилося і співвідношення українців та русинів на користь останніх (див. графік на рис. 1). Визнання русинів окремим етносом призвело до того, що чисельність українців зменшувалася: на 18,6% протягом 1991–2001 рр., на 31,3% протягом 2001–2011 рр. Відповідно чисельність русинів зростала на 40,7% упродовж 1991–2001 рр. та на 38,3% упродовж 2001–2011 рр. Зміну цього співвідношення не можна пояснити асиміляцією, адже сумарна чисельність русинів та українців зростає. У випадку із русинами

йдеться про зовнішню підтримку, яка поступово дестабілізує середовище українців у Словаччині.

І українці, і русини компактно проживають у Пряшівському та Кошицькому краях. Зокрема, 50% від усієї чисельності українців проживає у Пряшівському (для русинів цей показник становить 86%), ще 22% від всієї чисельності українців – у Кошицькому краях (9% – для русинів відповідно).

У розрізі округів українці компактно проживають у північних та східних округах, які межують з Україною чи відносно близько до неї.

Передусім це Пряшів (751 українець, тут і надалі ми будемо використовувати дані перепису 2011 р.), Сніна (604), Гуменне (526), Бардіїв (470), Свіднік (399), Михайловце (369) та Меджилаборце (314). Відповідно найчисленніші осередки русинів є в Меджилаборцях (5288 осіб), Свіднику (4841), Сніні (4678), Старій Любовні (3494), Гуменному (3115), Бардієві (3010) та Пряшеві (1662) (рис. 1). Загалом у цих округах проживає 46,2% від усієї чисельності українців та 78% від усієї чисельності русинів. У решті округів чисельність українців та русинів є незначною.

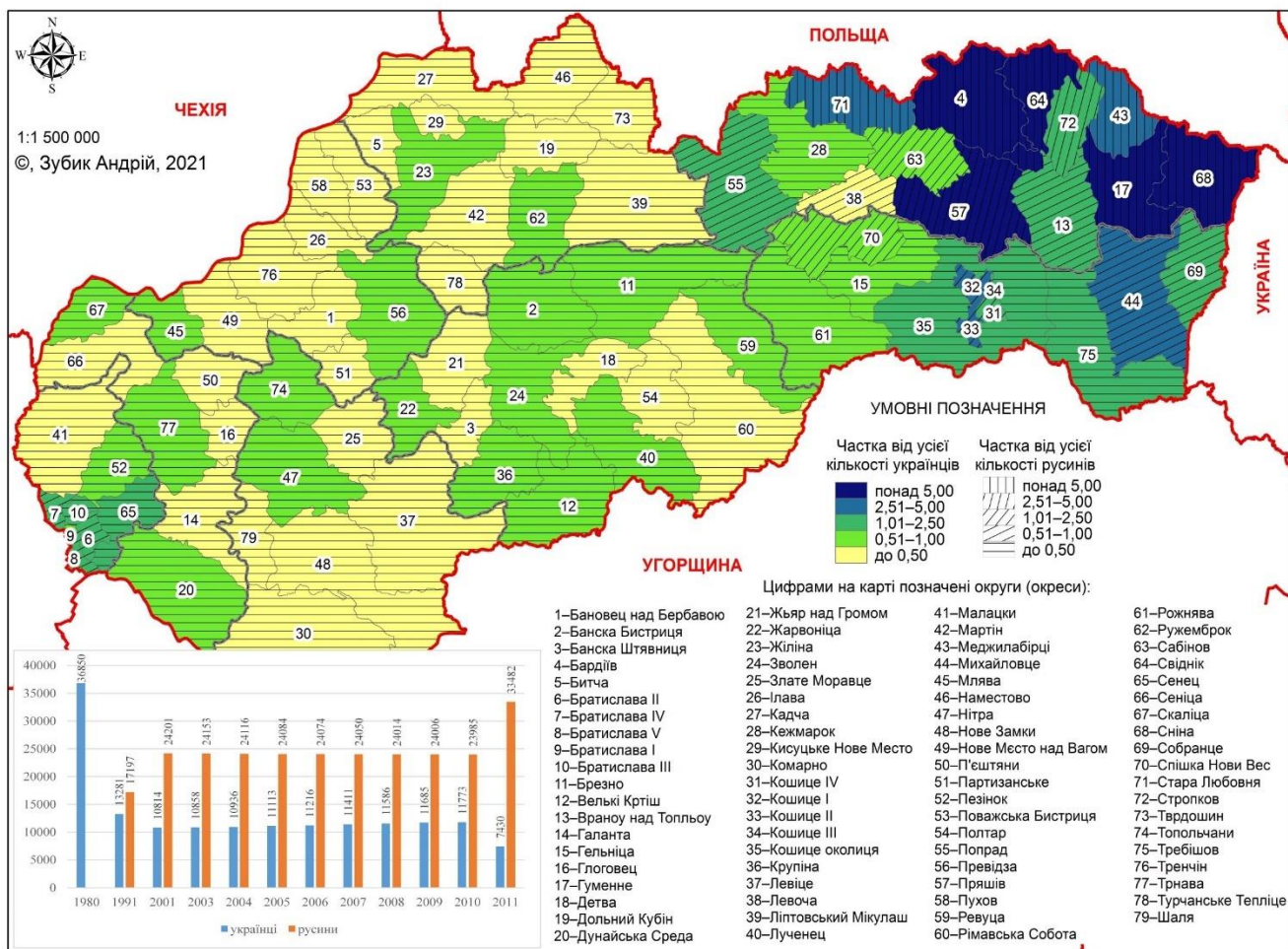


Рис. 1. Динаміка чисельності та розселення українців та русинів у розрізі округів за переписом населення 2011 р. [6, 20] / Fig. 1. Dynamics of the number and settlement of Ukrainians and Ruthenians by district according to the 2011 population census [6, 20]

Цікавим є спостереження дослідниці Н. Гички, яка у статті “Русинство у Словацькій Республіці: точка зору словацьких авторів” [1] зазначила, що русини компактно і навіть пропорційно проживають поряд з українцями, водночас на територіях, де немає українців, не проживають і русини. З одного боку, є група людей, які ідентифікують себе русинами, й це необхідно визнавати. Із іншого боку, розкручування чинника русинства по обидва боки кордону сприяє дестабілізації.

Пропорційне проживання українців та русинів на одних територіях, актуалізує питання того, чи є русини українцями, які відколотися історично і мають відмінності на рівні субетносу [1, с. 168]. Тут достатньо порівняти чисельність українців та русинів в округах, де вони компактно проживають. Переважання русинів над українцями коливається від двократної (Пряшів) до майже 17-кратної переваги (Меджилаборце) (!).

Розглянемо детальніше розселення українців

та русинів у розрізі поселень Пряшівського та Кошицького країв. Ареал розселення простягається смугою від кордону на захід до річки Попрад. Територіально Пряшів не належить до ареалу розселення українців, але тут зосереджуються найбільші культурні установи та релігійні центри. Іншими осередками розселення та культурного життя є Бардіїв, Меджилаборце, Свіднік [2, с. 166].

Одні з перших статистичних досліджень Пряшівщини, проведені у 30-х рр. XX ст., нарахували приблизно 90 тис. українців, які становили понад 73% від усього населення. За результатами перепису населення 2011 р., українці становили лише 0,5% від усього населення краю, а русини – 3,5%. Якщо врахувати ще й русинів, то таке суттєве скорочення впродовж майже століття не можна пояснити ні природним, ні міграційним скороченням.

На рис. 2 подано розселення українців та русинів у розрізі поселень. Як бачимо з нього, українці на цих територіях розселені двома смугами: перша тягнеться вздовж словацько-польського кордону (Пряшівський край), друга – вздовж словацько-угорського (Кошицький край). На суміжних територіях Пряшівського та Кошицького кра-

їв українці та русини майже не проживають. Пряшів виступає своєрідним центром, який поєднує ці дві смуги. Загалом українці та русини компактно проживають уздовж словацько-українського кордону, концентруються навколо адміністративних центрів округів (Сніна, Гуменне, Михайлове, Кошице, Меджилаборце, Стропков, Свіднік, Бардіїв та Стара Любовня). Меншою мірою українці та русини проживають у населених пунктах округів, які розташовані на захід від Пряшева. Отже ареал розселення українців та русинів можна окреслити 200–250 населеними пунктами Пряшівського, трохи менше – Кошицького країв. В одній зі своїх статей [13] М. Сополига окреслює ареал компактного проживання українців 220 селами вздовж словацько-польського кордону (починаючи від села Убля, яке межує з Україною, і закінчуючи найзахіднішим селом Остурня в Попрадському окрузі). Ця етнічна територія простягається приблизно на 10–20 км із півночі на південь. Отже, етнічна територія українців Пряшівщини – це географічний простір їхнього проживання і діяльності, які, по суті, віддзеркалює й етнічні особливості цієї території [13, С. 454–456].

Перейдемо до аналізу етнічного середовища,

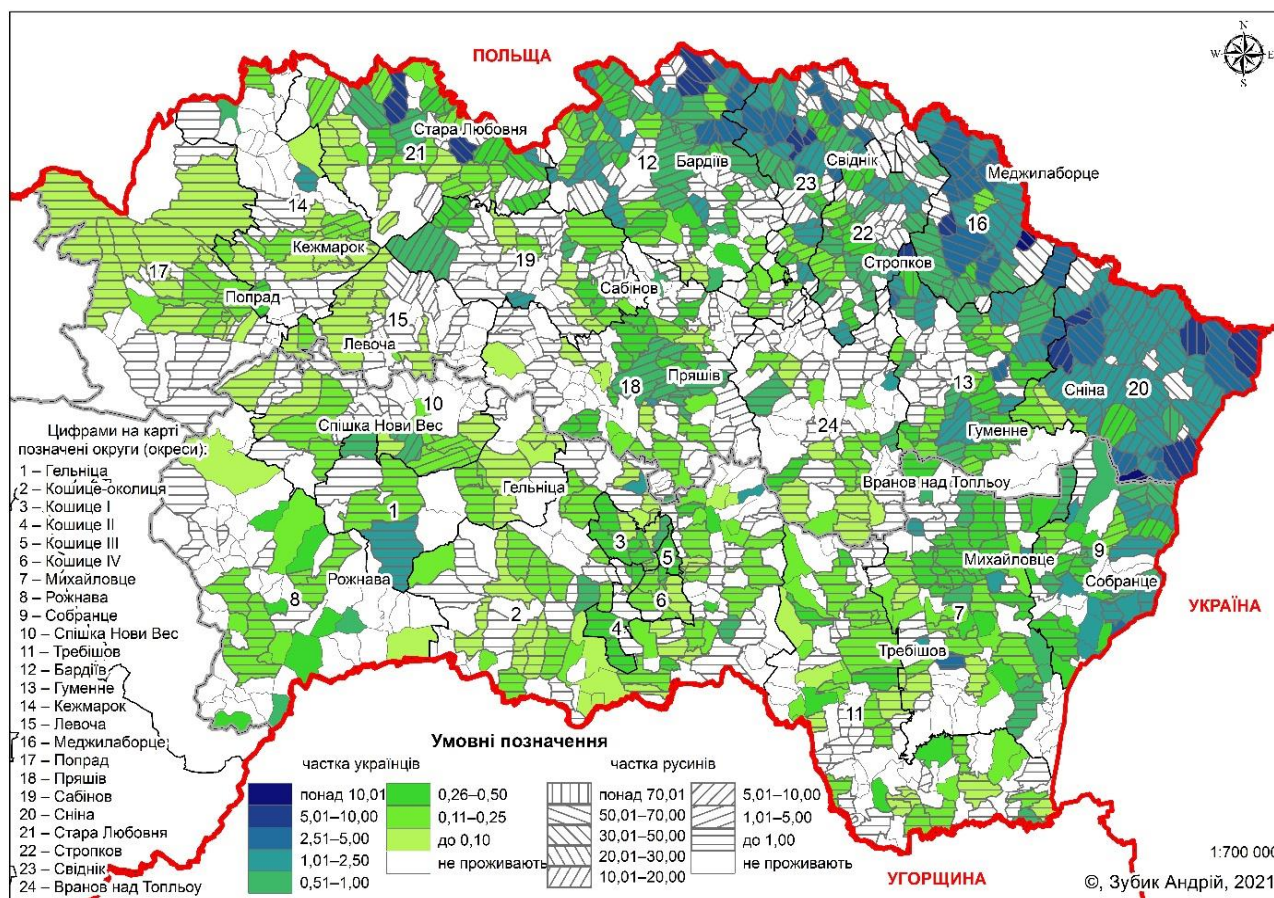


Рис. 2. Розселення українців та русинів у розрізі населених пунктів Кошицького та Пряшівського країв Словаччини за переписом населення 2011 р. [6, 20] /
Fig. 2. Settlement of Ukrainians and Ruthenians in the section of settlements of Košice and Prešov districts of Slovakia according to the 2011 population census [6, 20]

в якому проживають українці. Загалом Словаччина є країною із відносно високою часткою етнічних меншин. Із 1980 р. до 2011 р. частка представників інших національностей зросла з 0,4% до 7,6%. Водночас знизилася частка словаків – із 86,5% до 80,7% (див. діаграму на рис. 3). Чисельними етнічними меншинами, які проживають у країні, є угорці, роми, чехи, русини та українці.

Угорці є другими за чисельністю, проте із 1980 р. їхня частка в населенні скорочується – з 11,2% (1980 р.) до 8,5% (2011 р.). Вони компактно проживають у поселеннях уздовж словацько-угорського кордону. Етнічно різноманітними також є території компактного проживання українців та русинів (рис. 3).

Порівнюючи результати переписів населення

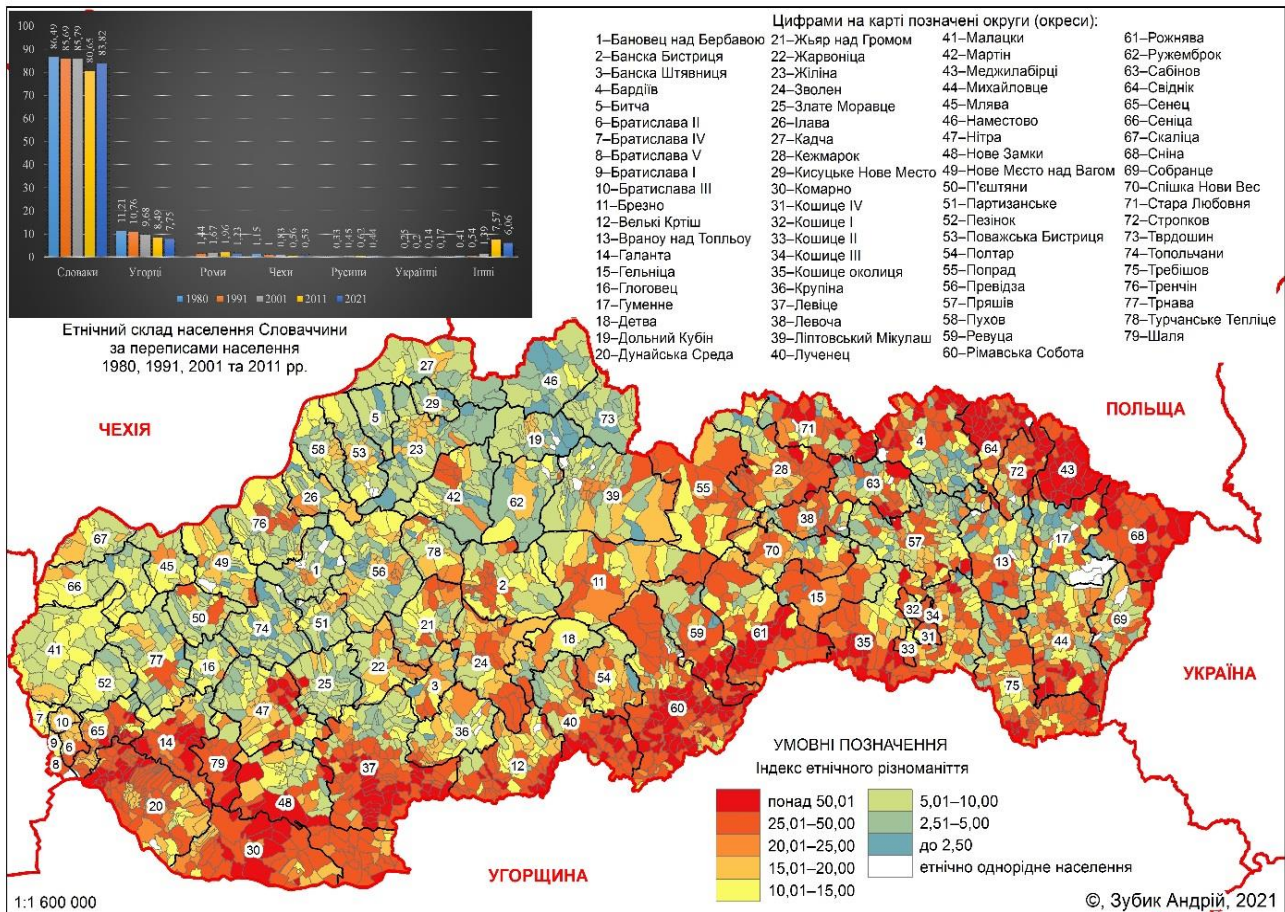


Рис. 3. Індекс етнічного різноманіття у розрізі населених пунктів Словаччини за переписом населення 2011 р. [визначено за 6, 20] /

Fig. 3. Index of ethnic diversity in the section of settlements of Slovakia according to the 2011 population census [determined by 6, 20]

із 1980 р., варто зазначити, що попри зростання частки інших національностей, відбувається скорочення частки угорців, чехів та українців. Упродовж 1980–2011 рр. зросла частка румунів та русинів. Загалом частка українців із русинами не перевищує 1% від усього населення. Якщо говорити про етнічне різноманіття загалом, то населення Словаччини доволі однорідне. Індекс етнічного різноманіття зріс із 23,9 (1980 р.) до 34,2 (2011 р.). Таке зростання можна пояснити притоком мігрантів, унаслідок чого зростає індекс етнічного різноманіття. У розрізі округів бачимо, що у більшості з них цей показник не перевищує середнього показника по країні (рис. 4). На цьому територіальному рівні видно, що різноманітнішими за ет-

нічним складом є округи вздовж кордону з Угорщиною. Сюди ж належать і округи Меджилаборце, Свіднік, Стропков та Сніна.

Етнічна різноманітність населення в окрузі Пряшів не перевищує показника етнічного різноманіття країни. Проте, не входячи до ареалу розселення українців, місто Пряшів відіграє важливу роль у їхній консолідації. Тут також варто наголосити на доволі низькій етнічній різноманітності населення у Братиславі, де показник етнічного різноманіття не перевищує 20%.

Важливим критерієм який допомагає зрозуміти розселенські процеси серед етнічних меншин або діаспор, є показник етнічної компактності. Зважаючи на розселення українців та русинів

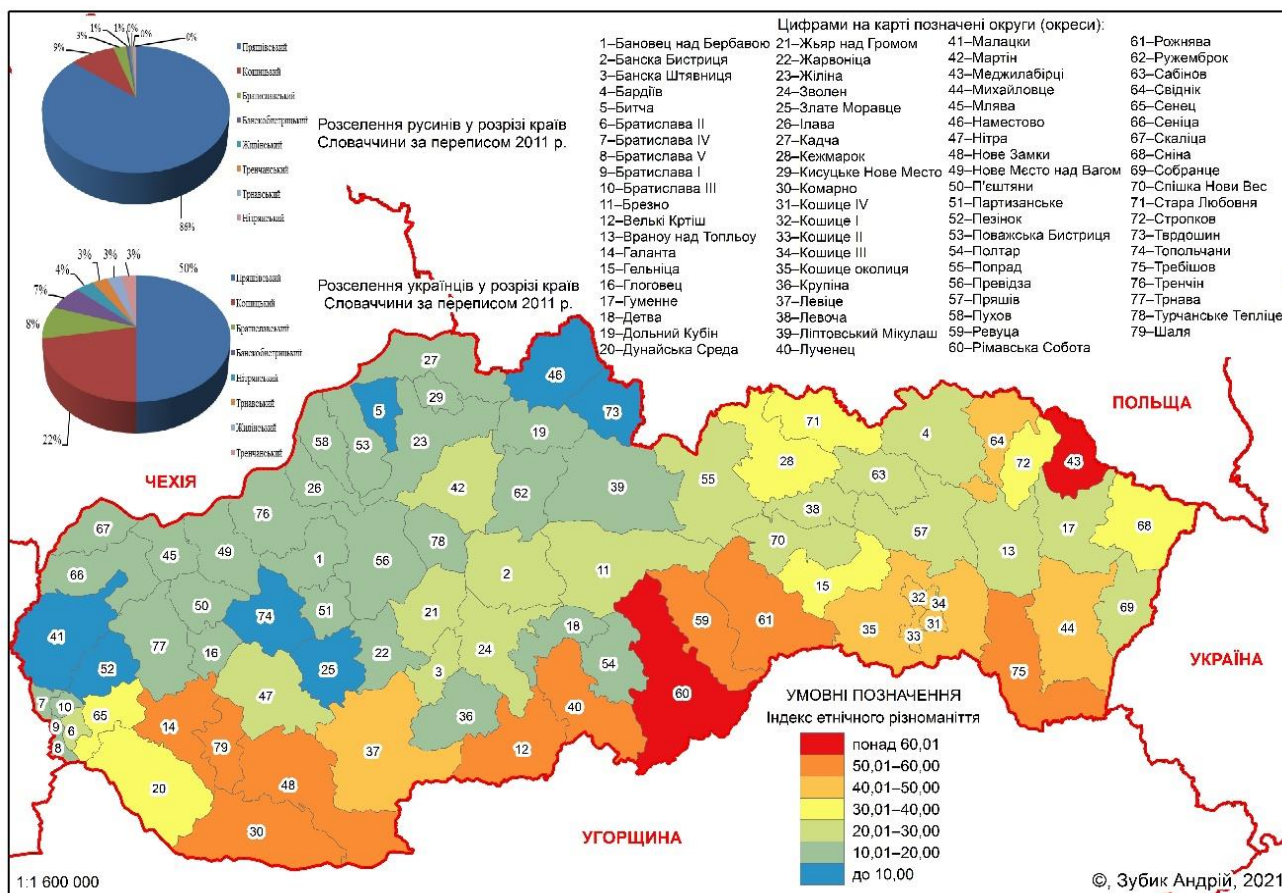


Рис. 4. Індекс етнічного різноманіття у розрізі округів Словаччини за переписом населення 2011 р. [визначено за 6, 20] /
Fig. 4. Index of ethnic diversity by district of Slovakia according to the 2011 population census [determined by 6, 20]

у розрізі країв (див. діаграми на рис. 4), географія розселення українців є більшою, як порівняти з русинами. Проте більшість округів, де етнічна компактність проживання для українців та русинів за переписом 2011 р. виражена чітко, збігається (рис. 5). Для українців у Пряшівському та Кошицькому краях вона чітко виражена в округах Бардіїв, Стара Любовня, Пряшів, Гельніца, Свіднік, Стропков, Меджилаборце, Гуменне, Михайловець, Собранце, Кошице та Сніна.

Ще одним чинником, який дає змогу виокремити українців, є релігія, особливо якщо їхня релігійна (конфесійна належність) відрізняється від релігійної (конфесійної) належності решти населення. Завдяки цьому можна встановити чисельність того чи іншого етносу, навіть якщо у процесі етнічної асиміляції вони ототожнюють себе з іншим етносом.

У смузі західного етнічного пограниччя (до якого належить Словаччина), починаючи з кінця XIV і до середини XX ст., українську етнічність ототожнювали із греко-католицькою і православною конфесіями, чітко відмежовуючи від словацької (переважно римо-католики) та угорської

(римо-католики і протестанти) етнонаціональних ідентичностей. Тут основну роль відігравала не так підпорядкованість конфесій, як мова літургії. Тому перехід із греко-католицької чи православної конфесій у римо-католицьку означав розрив з українською мовою, поступово вів до втрати ідентичності та словакізації. Відповідно поширення греко-католицької і православної конфесій відбивало межі поширення українського етносу [2, с. 84].

Фактично конфесійна належність є одним із головних диференціальних елементів, який відрізняє українців від словаків, угорців чи поляків. Як східні християни, вони під час богослужінь використовують старослов'янську мову, літургію св. Івана Золотоустого, дотримуються юліанського календаря тощо. Із цим пов'язані звичаї та ритуали, які також є ознаками етнічної ідентифікації [13].

Значної шкоди національній самобутності українців у Словаччині завдала ліквідація греко-католицької церкви у 40-х рр. XX ст. і примусове запровадження православ'я, внаслідок чого десятки тисяч українців визнали себе словаками та римо-католиками. Зворотний процес переходу з

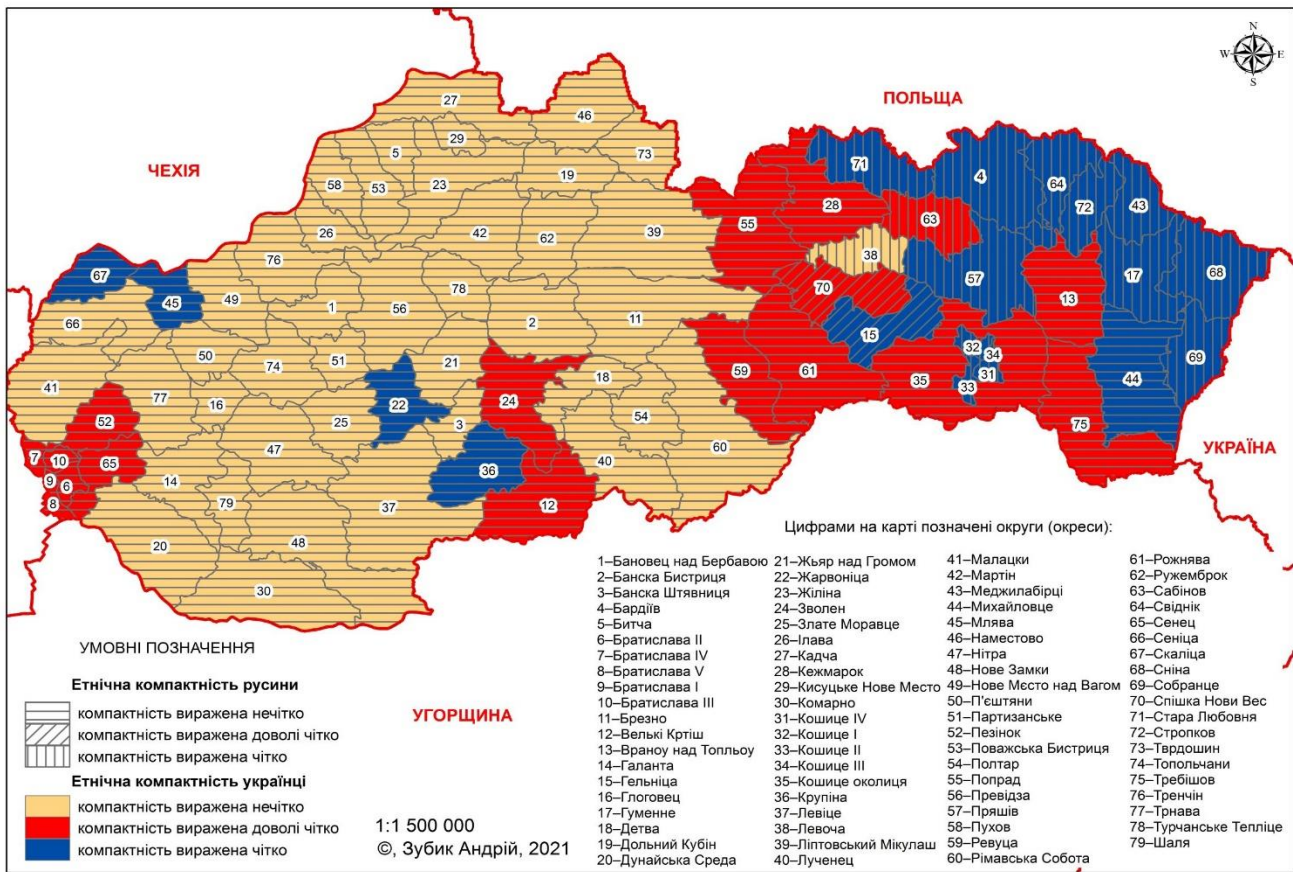


Рис. 5. Етнічна компактність українців та русинів у розрізі округів Словаччини [6, 20] / Fig. 5. Ethnic compactness of Ukrainians and Ruthenians in the section of the districts of Slovakia [6, 20]

православ'я після ліквідації прорадянського режиму завдав втрат, оскільки, з одного боку, частина українців уже ідентифікувала себе із православною церквою, а з іншого – греко-католицька церква вже була словакізована.

Український географ М. С. Дністряняський [2, с. 85] та етнограф М. Сополига [15, с. 6] стверджують, що значна кількість греко-католиків у статистиці сучасного населення країни (майже 400 тис. осіб) – переважно українського походження, що також є віддзеркаленням розширеного відтворення українських етнотериторіальних втрат у країні.

Перевіримо такі твердження через аналіз конфесійного складу населення за переписами 1991-го, 2001-го та 2011 р. Згідно з їхніми результатами, у Словаччині проживало 178 733, 219 831 та 206 871 греко-католиків відповідно [8–10]. У розрізі країв найбільше греко-католиків проживає у Пряшівському та Кошицькому краях – 14,1% та 9,5% від усього населення. У решті країв частка греко-католиків не перевищує 1%. Загалом частка греко-католиків у населенні країни становить 3,8%. Також за результатами цих переписів у Словаччині проживало 34 376, 50 363 та 49 133 православних відповідно [8–10]. Найвищу частку в населенні православні мають у Пряшівському та

Кошицькому краях – 3,6% та 1,7%. У решті країв частка православних не перевищує 0,25%. Загалом до православної церкви належить 0,9% від всього населення Словаччини.

Таким чином ареали проживання українців і русинів та греко-католиків і православних збігаються. Суттєвою перешкодою для дослідника є особливості публікації результатів переписів на сайті управління статистики Словацької Республіки. В контексті конфесійного складу публікують лише загальну чисельність прибічників тієї чи іншої конфесії без деталізації за найчисельнішими етносами. Зазначимо, що ототожнення греко-католиків та православних з українцями та русинами не є панацеєю щодо встановлення більш-менш реальної чисельності українців. Проте такий підхід дає змогу оцінити втрати від етнічної та мовної асиміляції.

Порівняємо частку греко-католиків та православних у населенні в розрізі поселень Пряшівського та Кошицького країв (див. рис. 6) із часткою українців та русинів (див. рис. 2). Як бачимо, у більшості поселень висока частка греко-католиків та православних й українців та русинів від усього населення збігаються. Тобто це низка сіл уздовж словацько-українського кордону та смуга сіл уздовж словацько-польського кордону в напрямку

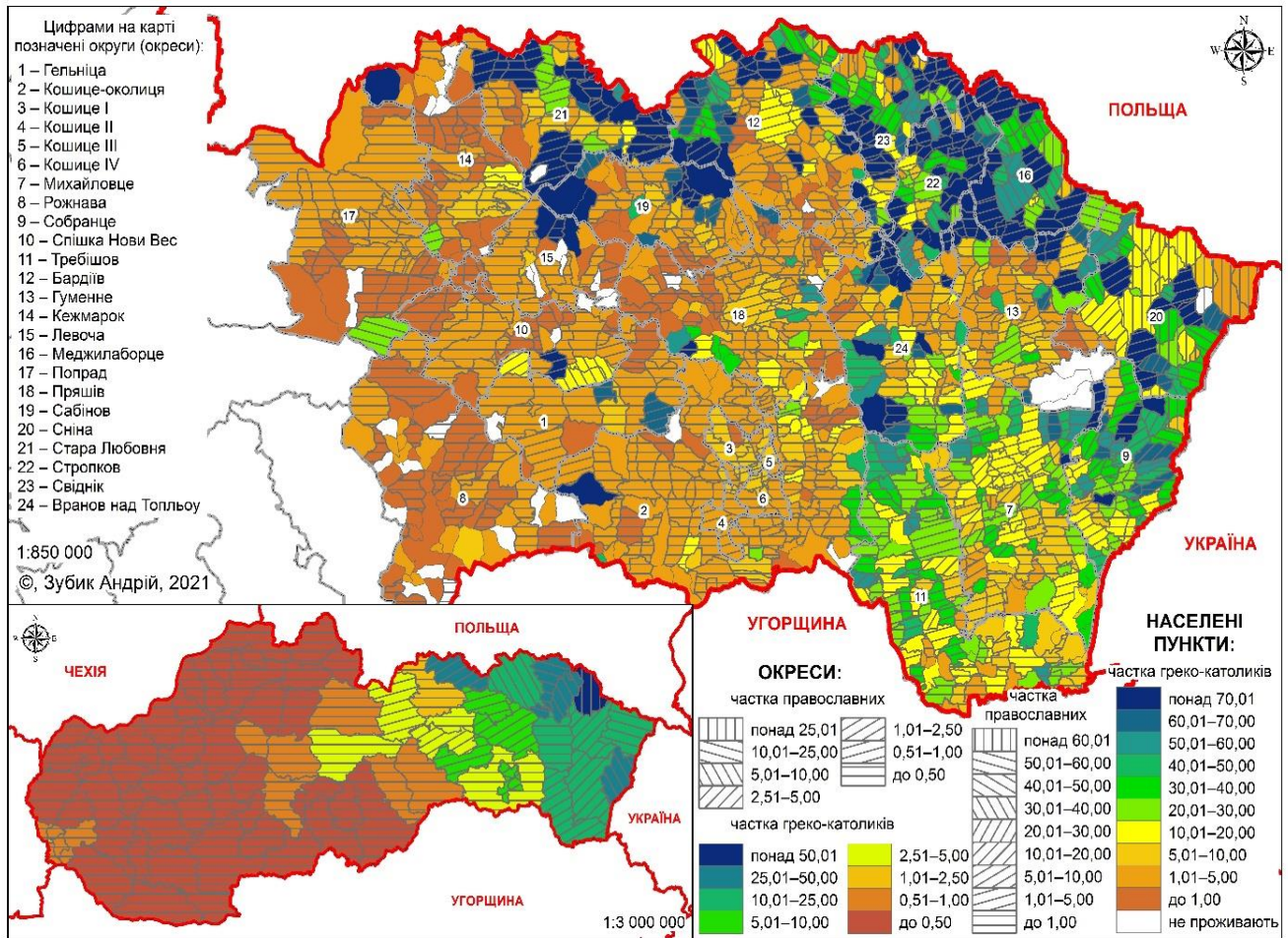


Рис. 6. Частка греко-католиків та православних у розрізі округів та поселень Пряшівського та Кошицького країв Словаччини за переписом 2011 р. [6, 20] /

Fig. 6. The share of Greek-Catholics and Orthodox in the cross-section of districts and settlements of the Prievidza and Košice regions of Slovakia according to the 2011 census [6, 20]

до Пряшева. Можна погодитися із думкою М. Сополиги, що взаємовплив етнічних і конфесійних ознак русинів-українців є настільки сильним, що інколи дуже важко встановити, котра ідентифікація є вирішальною [13].

У Словаччині програма перепису населення містить три етномовні критерії: рідна мова, мова домашнього спілкування та мова, якою спілкуються на роботі. Порівняно з іншими країнами, де використовують один або два етномовні критерії, такий набір дає більшу інформацію для статистики і дослідників. На нашу думку, використання таких критеріїв, як “мова домашнього спілкування” та “мова, якою спілкуються на роботі”, є доцільнішим від критерію “мова, якою ви володієте”, що його використовують в інших країнах. Серед результатів переписів окремо подають дані щодо русинської мови. Управління статистики публікує дані щодо мовних критеріїв перепису лише про загальну кількість осіб, а не деталізує їх за окремими етносами.

Під час перепису населення 2011 р. русинсь-

ку як рідну вказало 55 469 осіб, мову домашнього спілкування – 49 860 та 24 524 особи зазначили, що спілкуються русинською на роботі [20]. Як бачимо, русинська мова є рідною для понад 55 тис. осіб, хоча загальна кількість русинів – усього 33 482. Тобто її, крім русинів, вважають рідною й інші етноси. Також русинською на роботі спілкуються половина тих, для кого вона є рідною, а вдома нею спілкуються майже 90%. Українська мова була рідною для 5 689 осіб, 2 775 осіб спілкуються українською вдома і 1 100 осіб – використовують її на роботі [20]. Якщо припустити, що українську мову вказували лише українці, то українську вважають рідною 76,6% українців. Відповідно 37,3% спілкуються нею вдома, а 14,8% – на роботі. На рис. 7 подаємо етномовну відповідність українців у розрізі округів за переписом населення 2011 р.

Українська та русинська мови найбільш поширені у Пряшівському та Кошицькому краях. Зокрема, у Пряшівському краї проживає 86,7% від усього загалу, для якого русинська є рідною,

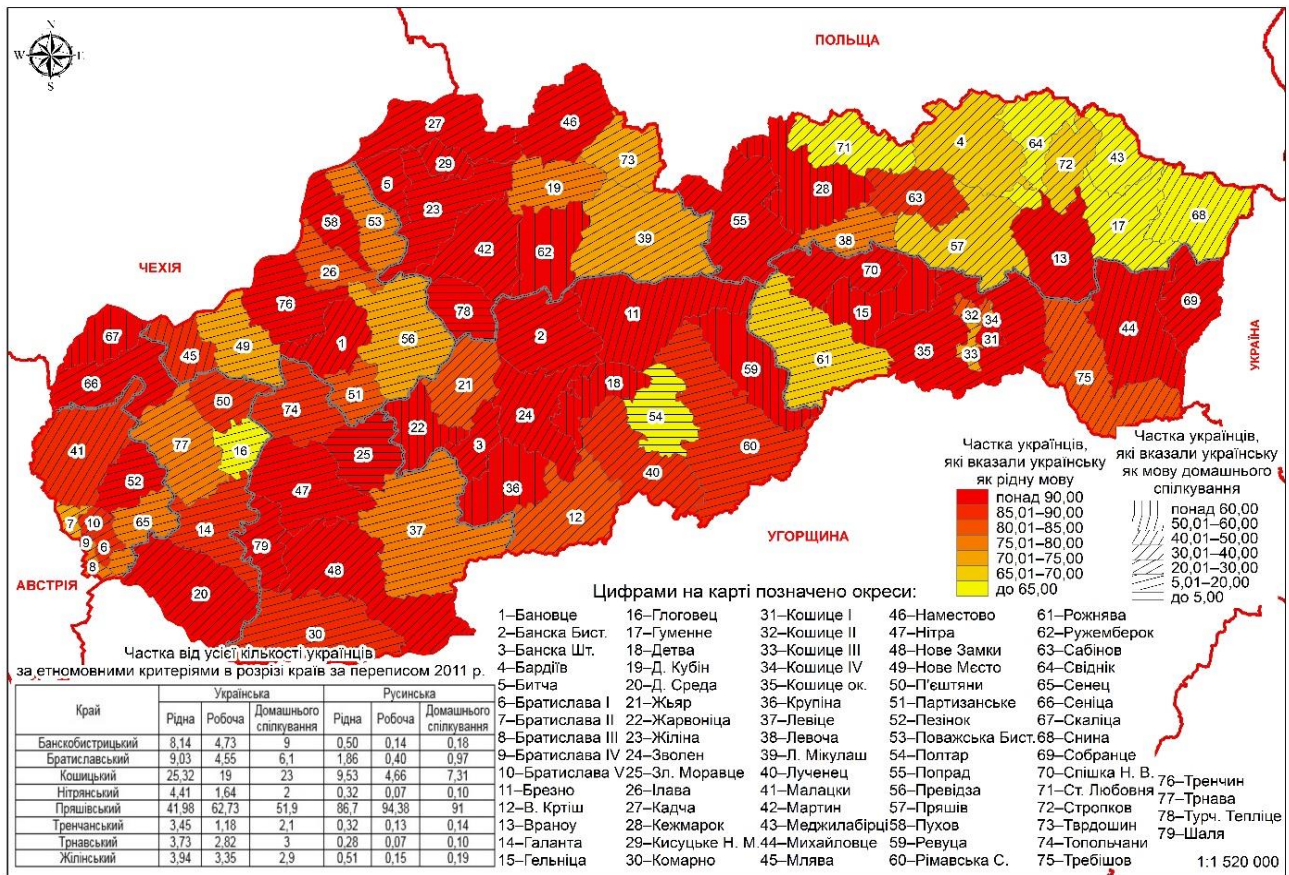


Рис. 7. Етномовна відповідність українців у розрізі округів Словаччини за переписом 2011 р. [визначено за 6, 20] /

Fig. 7. Ethno-linguistic correspondence of Ukrainians across the districts of Slovakia according to the 2011 census [determined by 6, 20]

що збігається із розселенням русинів (див. діаграми на рис. 4). У цих краях проживає 42% та 25,3% від усієї чисельності населення, для якого рідною є українська. Про сильні позиції русинської мови у розрізі округів Пряшівського краю свідчить те, що чисельність тих, для кого русинська є рідною, може перевищувати чисельність самих русинів. Загалом етномовна відповідність (під час перепису населення обирали мову свого етносу) українців у Словаччині є високою, тобто вони чітко “прив’язують” свою етнічну належність до мови. В низці округів Пряшівського краю цей показник дещо нижчий, як порівняти з рештою території. Зважаючи на те, що тут проживає більша чисельність українців, відносно близько до історичної батьківщини, то і етномовна відповідність має бути вищою. З іншого боку, тут проживає багато русинів, і цілком імовірно, що етнічно людина ідентифікує себе як українець, а рідною мовою вважає русинську.

За результатами перепису населення 2011 р. визначено індекси мовного різноманіття за мовними критеріями, які використовували під час його проведення (рис. 8). За критерієм “рідна мова” показник мовного різноманіття становив

36,7%, за мовою домашнього спілкування – 45,6% та за мовою спілкування на роботі – 33,7%. Ці показники корелюються з індексом етнічного різноманіття – 34,2%.

Дещо більше від етнічного різноманіття значення індексу мовного різноманіття (рідна мова) можна пояснити тим, що під час перепису частина респондентів могла не вказувати своєї етнічної належності, натомість зазначила рідну мову. Доволі цікавими є показники мовного різноманіття за мовою домашнього спілкування. Таке переважання пов’язане наприклад, із тим, що у змішаних шлюбах кожен спілкується мовою свого етносу. Відносно однорідним є індекс мовного різноманіття за мовою спілкування на роботі. Як бачимо з рис. 8, у більшості округів він не перевищує 30%; тобто більшість осіб на роботі спілкується словацькою. Загалом індекси мовного різноманіття відповідають етнічному складу населення та індексу етнічного різноманіття (див. рис. 4).

Висновки і перспективи для подальшого дослідження. Підбиваючи підсумки нашого дослідження зазначимо, що на кількість українців у Словаччині дуже впливають процеси асиміляції. Чималий вплив на це мають русинські течії, які

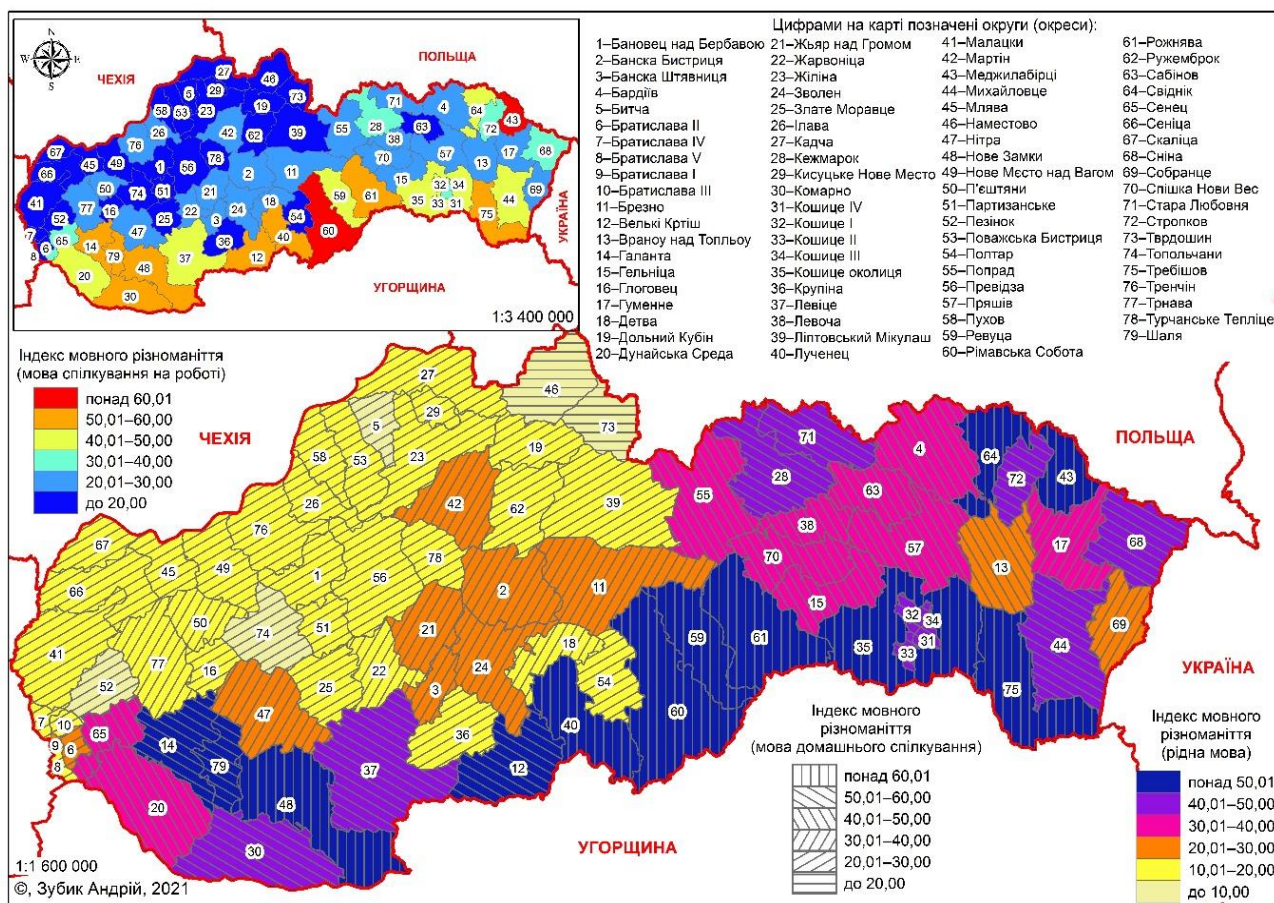


Рис. 8. Індеси мовного різноманїття за мовними критерїями перепису в розрїзі округів Словаччини за переписом 2011 р. [8–10, 20] / Fig. 8. Indices of linguistic diversity according to linguistic criteria of the census in the section of the districts of Slovakia according to the 2011 census [8–10, 20]

пропагують ідеї відмінності від українського етносу. Це підтверджують і результати переписів населення, де з кожним переписом співвідношення “українці–русини” змінюється на користь останніх. Словаччина є країною, де українці компактно проживають на своїх етнічних територіях. З огляду на брак статистичних даних щодо розселення етнічних меншин за типом поселень, можна припустити, що українці (та й русини) переважно проживають у сільській місцевості.

Ареал компактного проживання українців та русинів можна обмежити округами Меджилаборце, Свїднїк, Сїна, Стара Любовня, Гуменне, Бардїв, Пряшїв та Михайловець, в яких сумарно проживає 29,5 тис. українців та русинів. Загалом упродовж 90 років українці, які проживають у Пряшївському краю, дуже асимілювалися, адже за демографічними дослідженнями 30-х рр. ХХ ст. українці становили понад 70% від усього населення, а зараз цей показник навіть з урахуванням русинів не перевищує 5%.

Аналіз конфесійного складу населення засвідчив, що у країні сумарно проживає понад 256 тис. греко-католиків та православних, що становить 4,7% від усього населення Словаччини.

Оскільки словаки та угорці є римо-католиками та протестантами, можна припустити, що понад 200 тис. осіб зберегли свою конфесійну належність, проте асимілювалися і не пов’язують себе із належністю до українського етносу. Правильність такого підходу підтверджує те, що основні ареали за критеріями “конфесія” та “етнос” збігаються й обмежуються низкою округів Пряшївського та Кошицького країв. Якщо ототожнити представників цих двох конфесій з українцями та русинами, ми отримаємо третій за чисельністю етнос у країні (після словаків та угорців).

Компактне проживання на українських етнічних територіях є запорукою того, що українці чітко ідентифікують належність до етносу із мовою. Загалом мовне середовище, в якому проживають українці у Словаччині, відповідає етнічному. На нашу думку, значною загрозою є те, що перехід на русинську мову або визнання її як рідної мови є першим кроком для подальшої асиміляції. Цілковито можливо, що результати перепису населення 2021 р. продемонструють негативну динаміку чисельності українців та кількості носіїв української мови.

Список використаної літератури

1. Гичка, Н. Русинство у Словацькій Республіці: точка зору словацьких авторів [Текст] / Н. Гичка // Науковий вісник Ужгородського університету Серія: Політологія, Соціологія, Філософія. – Випуск 14. – 2010 р. – С. 168–170.
2. Дністрянський, М. С. Етногеографія України [Текст] / М. С. Дністрянський. – Л.: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2008. – 232 с.
3. Етнічний склад населення Словаччини за переписом 1980 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL : <http://pop-stat.mashke.org/slovakia-ethnic1980.htm>. – 17.11.2021 р.
4. Етнічний склад населення Словаччини за переписом 1991 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL : <http://pop-stat.mashke.org/slovakia-ethnic1991.htm>. – 17.11.2021 р.
5. Етнічний склад населення Словаччини за переписом 2001 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL : <http://pop-stat.mashke.org/slovakia-ethnic2001.htm>. – 17.11.2021 р.
6. Етнічний склад населення Словаччини за переписом 2011 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL : <http://pop-stat.mashke.org/slovakia-ethnic2011c.htm>. – 17.11.2011 р.
7. Кічера Н. Українська громада в Словацькій Республіці [Текст] / Н. Кічера // Українські громади за кордоном: нові точки відліку : Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції (Львів, 22 квітня 2021 р.). – Львів: Міжнародний інститут освіти, культури та зв'язків з діаспорою Національного університету “Львівська політехніка”, 2021. – С. 83–87.
8. Конфесійний склад населення Словаччини за переписом 1991 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL : <http://pop-stat.mashke.org/slovakia-religion1991new.htm>. – 17.11.2021 р.
9. Конфесійний склад населення Словаччини за переписом 2001 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL : <http://pop-stat.mashke.org/slovakia-religion-loc2001.htm>. – 17.11.2021 р.
10. Конфесійний склад населення Словаччини за переписом 2011 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL : <http://pop-stat.mashke.org/slovakia-religion-loc2011.htm>. – 17.11.2021 р.
11. Лозинський, Р. М. Мовна ситуація в Україні [Текст] / Р. М. Лозинський. – Л.: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2008. – 502 с.
12. Семенюк, С. Український путівник по Словаччині (історико-краєзнавчі нариси) [Текст] / С. Семенюк. – Л.: Апріорі, 2007. – 348 с.
13. Сополіга, М. До питань етнічної ідентифікації та сучасних етнічних процесів українців Пряшівщини [Текст] / М. Сополіга // Українці-русини: етнолінгвістичні та етнокультурні процеси в історичному розвитку. – К.: НАН України, МАУ, ІМФЕ ім. М. Т. Рильського, 2013. – С. 454–488.
14. Сополіга, М. До проблеми етногенезу української менишини Словаччини [Текст] / М. Сополіга // Українці-русини: етнолінгвістичні та етнокультурні процеси в історичному розвитку. – К.: НАН України, МАУ, ІМФЕ ім. М. Т. Рильського, 2013. – С. 351–372.
15. Сополіга, М. Українці Словаччини: матеріальні вияви народної культури та мистецтва [Текст] / М. Сополіга. – К.: Темпора, 2011. – 336 с.
16. Троцинський, В. П. Українці в світі [Текст] / В. П. Троцинський. – К.: Альтернативи, 1999. – 352 с.
17. Українці-русини: етнолінгвістичні та етнокультурні процеси в історичному розвитку / [голов. ред. Г. Скрипник]: НАН України, МАУ, ІМФЕ ім. М. Т. Рильського. – К., 2013. – 777 с.
18. Meyer, Ph., McIntosh, Sh. (1992). The USA today index of ethnic diversity. *International Journal of Public Opinion Research*. – Volume 4, Issue 1. – P. 51–58. <https://doi.org/10.1093/ijpor/4.1.51>.
19. Population statistics of Eastern Europe & former USSR [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL : <http://pop-stat.mashke.org/>. – 18.11.2021 р.
20. Statistical office of the Slovak Republic [Електронний ресурс] / The 2011 Population and housing census. – Режим доступу : URL : <http://surl.li/asfrl>. – 17.11.2021 р. – Загол. з екрану.
21. Ústava Slovenkej Republiky [Електронний ресурс] / Zbierka zákonov č. 460/1992. – Режим доступу : URL : <http://www.slpsk.sk/dokumenty/ustava.pdf>. – 16.11.2021 р. – Загол. з екрану.

Ukrainians in Slovakia: settlement and language

Andrii Zubyk,

PhD (Geography), Associate Professor, Lviv National Ivan Franko University
41 Doroshenka Str., Lviv, 79000, Ukraine

ABSTRACT

Problem formulation. The Ukrainian diaspora is an important object for geographical research. Features of ethnic composition of the country of residence, its language and religious composition, age structure of Ukrainians straight affect to the processes of assimilation and preservation of ethnic identity.

The purpose of the study is to analyze and process population censuses data, which had conducted in Slovakia in 1991, 2001 and 2011.

Methodology and materials. We found the materials necessary for our article in the public domain on the website of the Department of Statistics of the Slovak Republic and on the resource “Population statistics of Eastern Europe &

former USSR". To analyze the ethnic and linguistic environment in which Ukrainians live, in study used calculations of indices of ethnic and linguistic diversity, the coefficient of ethnic compactness.

Results. According to population censuses, which had been conducted in Slovakia after 1980, the number of Ukrainians is declining. At the same time, the number of Ruthenians is growing, some of whom do not identify themselves as part of the Ukrainian ethnic group. Ukrainians live compactly in Presov and Kosice regions. In particular, these are the northern and eastern counties of the country, such as Presov, Snina, Humenne, Bardiiv, Svidnik, Mikhailovtse, Medzhilaborts and others. Ruthenians and Ukrainians are fourth and sixth largest ethnic groups in Slovakia. The country is relatively homogeneous in ethnic composition, as evidenced by the value of the index of ethnic diversity, which in most districts does not exceed 30%. However, in those districts where Hungarians, Ukrainians and Ruthenians live compactly, this value can be over 60%. Often in the process of ethnic and linguistic assimilation, belonging to a certain religion (denomination) is preserved. In terms of counties, the largest centers where Greek Catholics and Orthodox live coincide with the settlement of Ukrainians and Ruthenians. If Ukrainians and Ruthenians together do not make up 1% of the total population, the share of Greek Catholics and Orthodox in the population is almost 5%. The indicators of linguistic diversity according to the criteria of "native language" and "language of communication at work" are clearly correlated with the index of ethnic diversity. That is, on the one hand, it reflects the clear links between "ethnicity and language", and on the other – the language policy of the country, where Slovak predominates in all areas.

Scientific novelty. The index of ethnic and linguistic diversity in terms of settlements and counties of Slovakia has been determined. According to the determinate indices and the main results of the census, a number of thematic maps were prepared with the help of GIS, which reflect the settlement of Ukrainians and Ruthenians, indices of ethnic and linguistic diversity and the share of Greek Catholics and Orthodox in the population.

Practical meaning. The obtained results and thematic maps can be useful in further research of Ukrainians living in Slovakia for historians, demographers, linguists, ethnologists, etc.

Keywords: *Ukrainian diaspora, settlement, index of ethnic diversity, index of linguistic diversity, ethnolinguistic correspondence.*

References

1. Hychka, N. (2010). *Rusynism in the Slovak Republic: the point of view of Slovak authors. Scientific Bulletin of Uzhgorod University. Series: Political Science, Sociology, Philosophy. 14.* 168–170.
2. Dnistrianskyi, M. S. (2008). *Ethnogeography of Ukraine.* Lviv: Lviv University Pub., 232.
3. *Ethnic composition of the population of Slovakia according to the 1980 census* / <http://pop-stat.mashke.org/slovakia-ethnic1980.htm>
4. *Ethnic composition of the population of Slovakia according to the 1991 census* / <http://pop-stat.mashke.org/slovakia-ethnic1991.htm>
5. *Ethnic composition of the population of Slovakia according to the 2001 census* / <http://pop-stat.mashke.org/slovakia-ethnic2001.htm>
6. *Ethnic composition of the population of Slovakia according to the 2011 census* / <http://pop-stat.mashke.org/slovakia-ethnic2011c.htm>
7. Kichera, N. (2021). *Ukrainian community in the Slovak Republic. Ukrainian Communities abroad: New reference points: proceedings of the International Scientific and Practical conference (Lviv, April 22, 2021)* (83–87). Lviv.
8. *Confessional composition of the population of Slovakia according to the 1991 census* / <http://pop-stat.mashke.org/slovakia-religion1991new.htm>
9. *Confessional composition of the population of Slovakia according to the 2001 census* / <http://pop-stat.mashke.org/slovakia-religion-loc2001.htm>
10. *Confessional composition of the population of Slovakia according to the 2011 census* / <http://pop-stat.mashke.org/slovakia-religion-loc2011.htm>
11. Lozynskyi, R. M. (2008). *Language situation in Ukraine.* Lviv: Lviv University Pub., 502.
12. Semeniuk, S. (2007). *Ukrainian guide to Slovakia (historical and local lore essays).* Lviv: Apriori. 348.
13. Sopolyha, M. (2013). *On issues of ethnic identification and modern ethnic processes of Ukrainians in Presov region. Ruthenian-Ukrainians: ethnolinguistic and ethnocultural processes in historical development.* 454–488.
14. Sopolyha, M. (2013). *On the problem of ethnogenesis of the Ukrainian minority in Slovakia. Ruthenian-Ukrainians: ethnolinguistic and ethnocultural processes in historical development.* 351–372.
15. Sopolyha, M. (2011). *Ukrainians of Slovakia: material manifestations of folk culture and art.* Kyiv: Tempora. 336.
16. Troshchynsky, V. P. (1999). *Ukrainians in the world.* Kyiv: Alternatives. 352.
17. *Ruthenian-Ukrainians: ethnolinguistic and ethnocultural processes in historical development* / compiled by G. Skrypnyk. Kyiv: NAN Ukrainy, MAU, IMFE im. M. T. Rylskoho. 777.
18. Meyer Ph., McIntosh Sh. (1992). *The USA today index of ethnic diversity. International Journal of Public Opinion Research, 4, 1.* 51–58. <https://doi.org/10.1093/ijpor/4.1.51>
19. *Population statistics of Eastern Europe & former USSR* / <http://pop-stat.mashke.org>
20. *Statistical office of the Slovak Republic. The 2011 Population and housing census* / <http://surl.li/asfrl>
21. *Constitution of the Slovak Republic* / <http://www.slpk.sk/dokumenty/ustava.pdf>.

Opportunities for the development of dark tourism in Ukraine

Mariya Lushchik¹,

PhD (Geography), Associate Professor of Tourism,

¹Lviv Polytechnic National University, Viacheslav Chornovil Institute of Sustainable Development,

Department of Tourism, 2/4 Karpinskoho St., Lviv, 78021, Ukraine,

e-mail: murmarja@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5411-348X>;

Olha Mamchur²,

PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Economic and Social Geography,

Faculty of Geography, ²Ivan Franko National University of Lviv, 41 P. Doroshenko St., Lviv, 79000, Ukraine,

e-mail: olga.mamchur@lnu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-3642-4385>

ABSTRACT

Formulation of the problem. Every year there are new types of tourism and, accordingly, new directions of tourist travel. Among such areas is dark tourism, which, although it exists in the modern sense of the term for no more than 25 years, but already plays an important role in the modern tourism industry. We believe that this type of tourism has all the opportunities and prospects for further development in Ukraine.

Analysis of recent research and publications. The issue of «dark» tourism is still insufficiently studied in the scientific literature, but has long been of some public interest, so we consider research on «dark» tourism in Ukraine relevant and timely. Based on the analysis of domestic and foreign scientific literature, the article describes the main approaches to the interpretation of the concept of «dark» tourism. The distinctive features that determine the content of «dark» tourism, its classification with a brief description of thematic varieties: mystical tourism, necropolis tourism, thanatourism and disaster tourism. The key reasons for tourists' interest in dark tourism (curiosity, search for novelty, historical memory and respect for cultural heritage, the role of the media and the emotional factor) are identified and the motivation of potential «dark» tourists is described.

Formulation of the purpose of the article. The purpose of the work is to specify the content of the concept of dark tourism, justify the specific structure of dark tourism, monitor the resource base for the development of dark tourism in Ukraine, identify the problems of its implementation and develop proposals for their solution.

Presentation of the main research material. The preconditions for the development of dark tourism in Ukraine are analyzed. The resource base of this type of tourism is investigated: on the basis of monitoring of «dark» places and locations of Ukraine 127 potentially popular for tourists objects are selected: medieval castles and fortresses, dungeons, thematic museums, prisons, cathedrals, ancient settlements, cemeteries, zones, battlefields, battlefields, etc., which can be used in the development of new tourism products. The geographical and thematic structuring of these objects is carried out, regularities in their geospatial organization are revealed. The most interesting objects of dark tourism of each of the macro-regions of Ukraine are singled out and their brief description is given.

Problems and prospects of the development of "dark" tourism. An analytical review of opportunities and threats to the development of dark tourism in Ukraine with the help of SWOT-analysis, substantiates the problems of development of this type of tourism and presents possible ways to solve them.

Proposed measures to popularize dark tourism in Ukraine. Measures for popularization and commercialization of dark tourism in Ukraine are offered, in particular: 1) monitoring of «dark» locations in Ukraine for their suitability for visiting by tourists; 2) creation of an interactive map of dark places of Ukraine; 3) the use of foreign experience in the organization of «dark» tours by domestic tourism enterprises; 4) organization of thematic events – cultural events, competitions, quests, festivals, educational tours, etc.; 5) creation of a web page with information about dark places of Ukraine and relevant tours, launch of the YouTube channel «Mystical Ukraine»; development of profile mobile applications.

Keywords: *tourism, dark tourism, mystical tourism, catastrophe tourism, thanatourism, necropolis tourism, tourist flows, tourist objects, SWOT-analysis.*

In cites: Lushchik Mariya, Mamchur Olha (2022). Opportunities for the development of dark tourism in Ukraine. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (57), 134-152. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-11>

Formulation of the problem. Today, tourism plays an important role in the world economy and is the main source of income in some countries. Every year, the types of tourism activities change, traditional types continue to develop in new forms, and new types of tourism are constantly emerging. In order to meet the various needs of consumers, innovative and unusual tourist programs are created, which are gaining more and more popularity among travelers. Among such directions, it is worth noting dark tourism.

Dark tourism, although considered a relatively new type of tourism, already plays an important role

in the modern tourism industry. This type of tourism has all the possibilities and prospects for further development both in the world and, in particular, in Ukraine. Dark tourism forces humanity to realize the scale of disasters, to recognize the need for a peaceful relationship between people, science and technology and mysticism that have sometimes threatened the existence of human civilization, and makes us understand the mistakes of these events and tragedies of the past.

The study of the problems and prospects for the development of dark tourism is relevant, because this issue has not yet found sufficient coverage in the scientific literature, but it is already attracting stable

scientific interest and a certain resonance in society. Consideration of issues related to this topic has both theoretical and practical significance.

Analysis of recent research and publications.

In the process of research, analytical works of domestic and foreign scientists were processed, statistical materials of the State Statistics Service of Ukraine, Internet resources were analyzed. It was revealed that the definition of "dark tourism" was first used in 1996 in the International Journal of Heritage Studies. The works of such authors as D. Lenon and M. Foley (introduced the concept of "dark" tourism, investigated its types) [37], A. Seaton (used the concept of "thanatotourism") [34], F. Stone (motivation of "dark" tourists) [35, 36]. Separate issues of the study of dark tourism are considered in the works of Ukrainian scientists. In particular, O. Arays, Y. Sologub [2] spoke about the history of the origin of the term and its typification, A. Ivanov [10], I. Kulinyak, K. Yarmola, B. Malyshevska [16] emphasize the prospects for the development of dark tourism in Ukraine. I. Smal thinks about the place and peculiarities of the development of dark tourism among the specific types of tourism united under the name "tourism of human weaknesses" [29]. L. Kyrylyuk, M. Klyap and F. Sandor also research new (non-traditional) types of tourism in Ukraine, a significant role among which is attributed to mystical tourism [14, 15]. Y. Moskalenko [23] also emphasizes the "innovativeness" of dark tourism. The prerequisites for the emergence of dark tourism in Ukraine, the spatial and functional possibilities of its development and the current state of using the resource potential of dark tourism in Ukraine are described in the work of N. Pankiv [26]. Certain types and geographical aspects of the spread of dark tourism are covered in other articles by domestic authors. In particular, in the work of K. Alistratova [1], the foreign experience of organizing mystical tourism was considered, measures were proposed for its development in Ukraine, some mystical locations of Ukraine were described, and an online map of objects (17 destinations) of mystical tourism in Ukraine was created. The article by O. Bordun and U. Derkach [3] provides a description of the main objects of dark tourism in Ukraine, including Chernobyl and thanatotourism objects in Lviv. In fact, in the end, these destinations are included in the program of the "Wreath of Thorns of Ukraine" tour offered by the authors of places of gloomy tourism in Ukraine. L. and T. Zastavetsky [9] reflect on the philosophical and cultural prerequisites for the development of gloomy tourism. A detailed description of historical necropolises on the territory of our country is given in the work of O. Bugrii [4]. The key in the article by M. Kazmyrchuk [13] is the analysis of terminological variants of memorial and nostalgic tourism, as well as the selection of general trends in the study of these new types of tourism in domestic and

foreign studies. Motivational aspects in the development of dark tourism are emphasized by Z. Shilnikova, I. Dultseva, and M. Matushkina [32].

As you can see, foreign and domestic academic literature contains certain developments in the field of dark tourism. At the same time, there is no comprehensive study of the development possibilities of this type of tourism in Ukraine. There are no theoretical studies of the terminological apparatus of the dark tourism category and approaches to its classification. There is too little research on motivational prerequisites and reasons for tourist interest in this kind of tourist attractions. Practical attempts at systematized monitoring and broad touristic and local history characteristics of potential "dark" locations across all administrative regions of the state leave much to be desired.

Formulation of the purpose of the article. *The purpose of the work* is to specify the content of the concept of dark tourism, justify the specific structure of dark tourism, monitor the resource base for the development of dark tourism in Ukraine, identify the problems of its implementation and develop proposals for their solution.

To achieve the set goal, *the following tasks* were planned to be implemented:

- highlight the theoretical aspects of the development of dark tourism;
- classify dark tourism and characterize its varieties;
- determine the main reasons for tourists' interest in dark tourism;
- analyze the prerequisites for the development of dark tourism in Ukraine;
- to characterize the most popular "dark" locations of Ukraine";
- perform a SWOT analysis of opportunities and threats to the development of dark tourism in Ukraine;
- to substantiate the problems of the development of this type of tourism and to propose ways to solve them.

Presentation of the main research material.

Approaches to defining the concept of dark tourism. Dark tourism became a topic of scientific research in 1996, when the term was first introduced into scientific circulation by *John Lennon* and *Malcolm Foley* of the Faculty of Tourism and Leisure Management of Caledonian University (Glasgow, Scotland) in the "International Journal of Heritage Studies", their analysis the term "dark tourism" referred to the very presentation for viewing and aesthetic-emotional "consumption" by tourists of places of real human deaths and various types of disasters [37].

Since that time, many interpretations of the concept of "dark" tourism have appeared in academic literature (see Table 1), which now functions in the system of a number of synonymous terms – black

Definition of the concept of "dark tourism"

Author	Explanation of the concept of "dark tourism"
J. Lennon, M. Foley	This is visiting places of tragic events, places of historical battles or visiting places of crimes.
P. Hohenhaus	This is a journey through places that are associated with death or disaster or at least with something "creepy".
A. Seaton	"Thanatotourism" (from the Greek thanatos - death) means the tourism of sorrow.
P. Stone	This is a journey through places associated with death and sadness.
M. Kliap	"Dark"/black tourism/sum tourism,/thanatotourism,/prison tourism is a type of tourism that involves moving to places associated with death and suffering.
A. Ivanov	This is a type of tourism associated with visiting cemeteries and burials, mystical places, places of disasters, natural disasters and mass deaths of people.

**developed by the author based on [15, 34-37]*

tourism, gloomy tourism, mournful tourism, tourism of cruelty and horror, tourism of blood, etc.

Scientists *Lennon and Foley* define dark tourism as a "phenomenon that includes the presentation of places of death and catastrophes transformed into sightseeing goods" [37]. In their opinion, dark tourism is basically a phenomenon of post-modernism, which in the modern world reflects people's desire for reflection, reinterpretation of certain moments in history, and this type of tourism can contribute to this in the best possible way. However, the term became widely used after the publication in 2000 y. of the book "Dark Tourism – The Attraction of Death and Disaster" by the same professors. Professor of tourism marketing at the University of Strathclyde (Glasgow (Scotland)) *Anthony Seaton* introduced the concept of "thanatotourism" by which he understood "a trip to some place motivated in whole or in part by the desire for a symbolic encounter with death, in particular, a violent one." His definition focuses exclusively on the motivation of tourists, and not on the features of objects (as in *Lennon and Foley*) [34]. *Philip Stone and Richard Sharpley*, from the Faculty of Tourism and Leisure Management at Lancashire Business School, introduced a new concept – "dark tourism product", considered its supply and demand, and founded the Institute of Dark Tourism in Great Britain, which is a leading center for dark tourism research. Scientists study the motivation of tourists when visiting places of dark tourism [35; 36].

There are not many studies of this type of tourism in Ukraine, there are separate publications that highlight the existence and use of mystical places, research on burials and military or man-made tragedies. At the same time, comprehensive scientific studies of dark tourism are practically absent.

In the electronic database of the National Library of Ukraine named after I. Vernadskyi for the search queries "dark tourism" and "mystical tourism" publishes only two scientific publications: *Alistrato-*

va K. [1] and *Ivanov A.* [10], against 3180 publications for the search query "tourism", which indicates the lack of a scientific base in the study of this type of tourism. You can, rather, get information about him in journalistic popular and foreign publications, mass media news, and on the websites of travel companies.

The history of dark tourism dates back to the distant past, when people were motivated to visit places or events associated with suffering, destruction, disaster or death. People gladly attended gladiator fights in Ancient Rome, which were impressive with their scale, grandeur and cruelty at the same time, participated in medieval public punishments (burning at the stake, hanging, wheeling), gladly visited morgues that were popular in Paris in the 19th century [27].

The modern approach to the interpretation of "dark tourism" is significantly different. Now, the motivation to overcome one's own fears and phobias, curiosity about the past, the search for something new, or mystical motives cause an interest in traveling to places associated with death. This type of tourism covers certain aspects of memorial, nostalgic (sentimental), adventure (extreme) and cognitive tourism [9].

It is important to distinguish "dark" tourism from other, similar types of tourism. Some of them may be similar thematically, while others may be similar in terms of objects used to attract people's attention. If we consider the first case, we can distinguish a similar type of tourism – military tourism (visiting places related to military and military actions). This type of tourism differs from "dark" tourism in that it is based on visiting locations of the immediate military past or places of modern combat operations, but very often the basis of military tourism is attempts to actively engage in military life - shooting, historical reconstruction of a battle, use of military techniques, etc., while dark tourism is mostly aimed at emotional and psychological extremes [27].

So, after summarizing the developed approaches

to the interpretation of the concept of dark tourism [1-3; 9; 10; 13-15; 26; 29; 34-37], we suggest that under *dark tourism we understand this type of tourism, which is associated with visiting cemeteries and burials, places of disasters, natural disasters and mass deaths of people, as well as places associated with mysticism for the purpose of tourism.*

Dark tourism has certain unique features, which are listed in the Table 2.

Classification of types of dark tourism. An important and, at the same time, somewhat debatable issue of theoretical research on dark tourism is its

classification. The first classification of tourist places of dark tourism in the palette from the "brightest to the darkest" type of tourism was proposed by F. Stone in 2006 (Fig. 1), where he distinguished the following places: dark exhibitions, dungeons, places of the dead, places of worship, armed clashes, places of genocide.

At the present stage, the majority of scientists in the typology of "dark tourism" distinguish its main types (Fig. 2) as: disaster tourism, thanatotourism, mystical tourism, necropolis tourism. In each of these types, different tourist attractions are distinguished.

Table 2

Characteristic features of dark tourism

Feature	Characteristic
Limited popularity	Popular among a limited number of people who sometimes have specific interests.
Limitation regarding traditions, moral norms, laws and mentality	Tourists have to visit other countries or states to meet their needs, where it is not prohibited to visit such places by law. The question also arises as to how ethical it is to visit such places for tourist purposes.
Limited geographical nature	Certain facilities, which are necessary for the development of this type of tourism, are located only in one or several places in a certain country. This is partly related to the legal aspects of states or administrative units.
Inconstancy of an official nature	Few travel agencies offer these types of tours on the market of tourist services, so tourists generally do not always use the services of tourist companies to realize their interests.
Similar to extreme tourism	Dark tourism can be partially attributed to extreme tourism, as it is associated with a threat to human life.
Security problem	The problem of ensuring a high level of comfort and safety is important. For this reason, there are not many specialized, experienced structures engaged in providing such services.

* developed by the author based on [27].

1. *Disaster tourism* in the manual "Modern types of tourism" is defined as "a type of tourism that operates in areas where tragic events have occurred" [15]. Disaster tourism is divided into natural and anthropogenic. It involves visiting places of natural disasters (earthquakes, hurricanes, storms), chemical and transport disasters and places where humanity has brought emergency situations. Places associated with

man-made disasters are particularly popular. Every year, many people travel the world in search of natural disasters, for example, they go on tours to places where, according to the assumptions of meteorologists, there should be a tornado. Tourists also visit places with a tragic past, where the consequences of natural disasters attract their attention: destroyed cities, flooded areas, etc. Tourists go there to learn more

- Places of death and suffering,
- Educational orientation,
- Low level of tourist infrastructure

- Places associated with death and suffering,
- Entertainment (animation) orientation,
- High level of tourist infrastructure

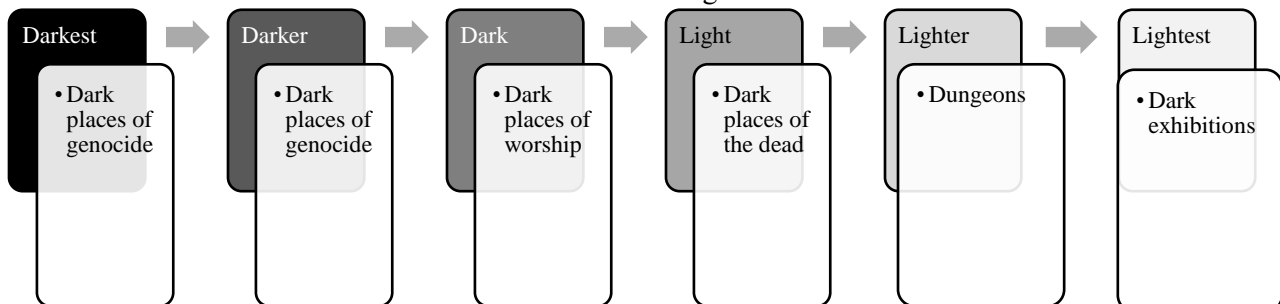


Fig. 1. Typologies of tourist places of dark tourism according to F. Stone

*developer would be the author based on [35]

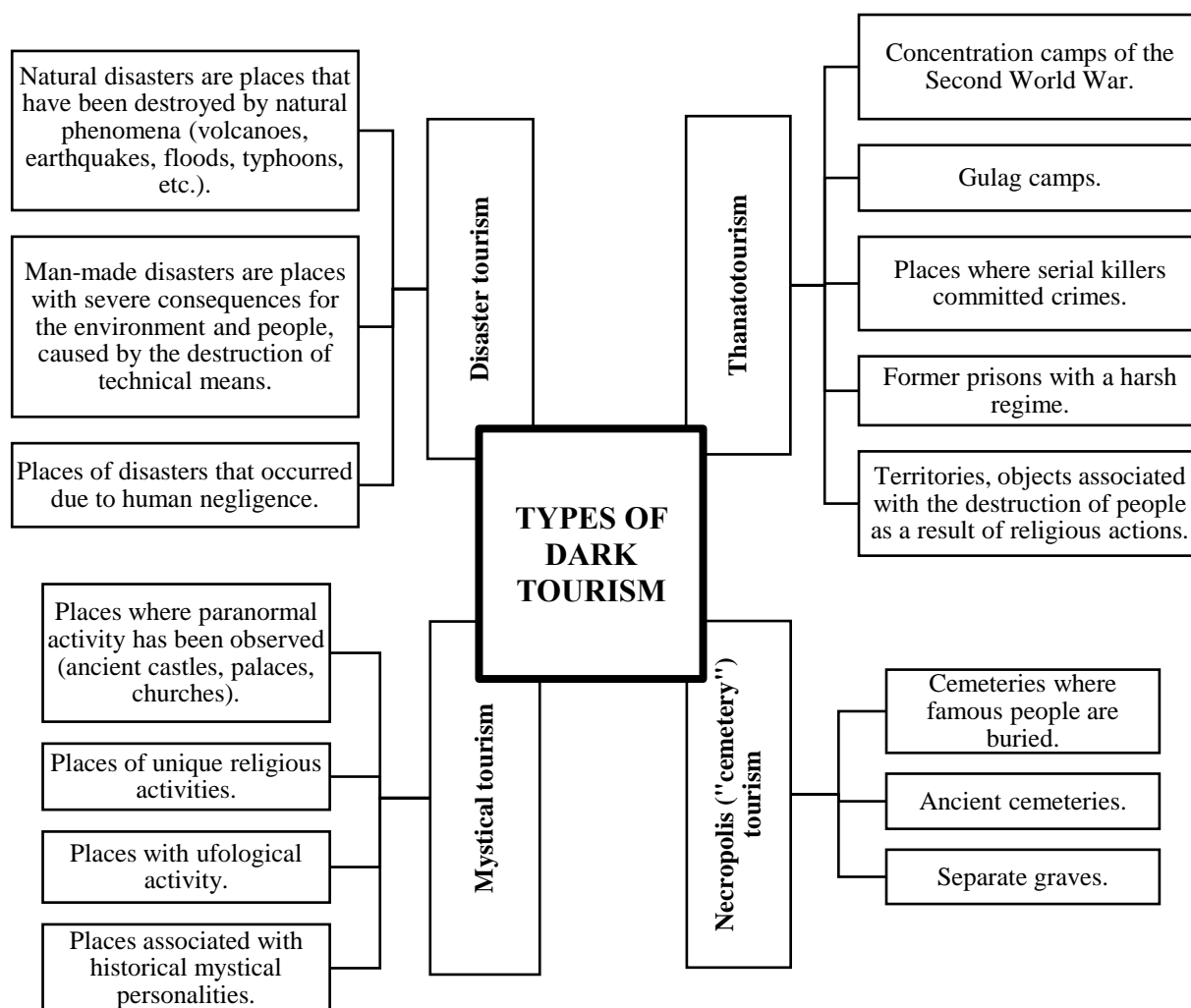


Fig. 2. Classification of types of dark tourism

**developed by the author based on [4; 15; 23]*

about the events that once took place there.

2. *Thanatourism* – visiting places where tragic events took place. This type of dark tourism also includes high-security prisons, torture museums, and places of historical battles and executions. After the end of the Second World War, the places where people died – the concentration camps – were opened for visitors. Today, the Gulag camps are open to the public.

Many global tourist companies offer tours or separate tours to the places of serial killers, or to established thematic museums and exhibitions: Jack the Ripper, Charles Manson, Mary Ann Cotton, Ted Bundy, Hannibal Lector, etc. [23].

3. *Mystical tourism* is travel to sights where ghosts "live" or places associated with mystical phenomena or paranormal activity. Another subspecies of mystical tourism is demonological – ghost tourism, when tourists want to see unusual corners of the planet that are associated with demonology [15]. Some people feel drawn to the supernatural and therefore choose places and objects where paranormal activity has been observed. Usually, these can be various castles and fortresses, palaces shrouded in

legends about ghosts, as well as places associated with aliens. Castles with ghosts and vampires, places of miracles and power, unique religious practices, UFOs, sorcerers and mofars and any other paranormal activity is the subject of study for lovers of mystical tourism.

4. *Necropolis ("cemetery") tourism* – a type of tourism, visiting places of mass or individual burials (graves, cemeteries) for educational, memorial or research purposes. In general, tours of cemeteries are organized in places with a long history and interesting architectural elements – tombstones, or the presence of graves of famous people.

Cemeteries are an integral part of society, because the culture of burial arose even before our era, and since then there have always been necropolises next to human settlements. The preserved burials of famous politicians, scientists, priests, musicians, writers, artists, composers, artists and other people in the historical cemeteries of the cities of the world reflect the culture and history of countries in many ways [4]. Necropolises are of interest not only from a historical point of view. Cemetery tours are a fairly

common service around the world. Around the world, cemetery tourism has long been popular as part of nostalgic tourism. All because people have a need to visit places of memory.

An important issue related to the development of dark tourism is *the motivation of the tourist* who chose this type of travel or excursion. It is possible to single out 5 main reasons for tourists' interest in objects of dark tourism.

Understanding the motivation of tourists is necessary for the further study of dark tourism, since it is motivation that is the most important element of tourist activity, on which an effective system of development and implementation of a tourist product should be built. This will ensure the matching of supply and demand, and as a result, increase the profit of tourist enterprises.

Table 3

Reasons for tourists' interest in objects of dark tourism

<i>Reason</i>	<i>Characteristic</i>
Interest	This is a natural human desire to learn something new. When people visit mystical sites, they want to know what they will feel, what the people who have been there before them felt. <i>F. Stone and R. Sharpley</i> claim that people choose to visit places of tragedies and unconsciously seek to contemplate death in order to be able to think about it.
Search for novelty	The intrinsic need for a change of scenery is part of the process of choosing a travel destination. Today, there is a new generation of tourists who have tried most of the travel products on the market and are still interested in exploring new destinations. The tourism industry must follow the wishes of customers and develop new products.
Memory and cultural heritage	From time immemorial, people have had various rituals and traditions with which people honored the memory of the dead. Many crypts, cemeteries or other places of burial are included in the UNESCO World Heritage List. Thousands of people visit the graves of deceased celebrities every year, and the numerous memorials and monuments are another proof of how important it is for people to remember the dead.
The role of mass media	In modern realities, this motive cannot be underestimated. People from all over the world can receive information about important world disasters, which stimulates the desire to visit these places for one reason or another.
Emotions	This is one of the important reasons why people are interested in dark destinations. Today, people increasingly go on a trip not for relaxation or to get new information, but in order to test themselves, their feelings, to think about their own lives. Such desires are fully satisfied by dark tourism, which, first of all, is aimed at evoking various emotions in tourists.

* developed by the author based on [22, 31].

Development of dark tourism in Ukraine.

Dark tourism in Ukraine is not very common, although it is considered an innovative tool and a new promising direction for improving the country's tourist attractiveness. Ukraine has a significant number of famous places and objects of dark tourism, considerable "mystical" potential. However, in practice, the involvement of objects in the range of programs of tourist enterprises is insignificant.

Monitoring of "dark" places and locations of Ukraine made it possible to identify about 120 potentially popular objects for tourists: medieval castles, dungeons, cathedrals, ancient settlements, cemeteries, places of strength, battlefields and battles, etc., which can be used in the development of new tourist products (see Table 4, Fig. 3).

This systematization allows you to familiarize yourself with the geographical and thematic distribution of objects of "dark" tourism in the territory of Ukraine (Figs. 3–5).

As we can see from fig. 3 and 4, Western Ukra-

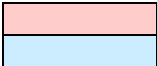
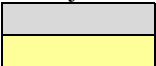
ine concentrates the most objects of dark tourism on its territory – 53 objects, which is almost 40 % of the "dark" locations of Ukraine, and the least – Eastern Ukraine – only 11 objects (10 %). It should be noted that the uneven distribution of facilities by region is primarily due to the fact that each region has an unequal number of regions. In addition, the objects are placed unevenly across the country: for example, one region from the Western region has as many places that can be classified as dark tourism, as well as the entire Northern region of Ukraine, which includes four regions.

According to the topic (Fig. 5.), the structure of "dark" destinations is dominated by objects of mystical tourism – 87 units, or $\frac{3}{4}$ of all objects in Ukraine. The number of necropolis and thanato-tourism objects is approximately the same, the least – only 3% – disaster tourism locations.

Therefore, the most objects of "dark tourism" are located in **West of Ukraine**. Stories and legends are an integral part of the history of castles and fortresses,

Objects of dark tourism in Ukraine

West of Ukraine		North of Ukraine	Center of Ukraine	East of Ukraine	South of Ukraine
<i>Volyn region</i>	<i>Khmelnyskiy region</i>	<i>Zhytomyr region</i>	<i>Dnipropetrovsk region</i>	<i>Kharkiv region</i>	<i>Zaporizhzhia region</i>
Lubart Castle	Bakota	Stone village	Monastyrsky Island	Kharkiv anomalous zone	Panske lake
The cemetery on Shevchenko street	Medzhibozh	Gromovyshte lawn	Mavrinsky Maidan	Singing terraces, Horodnoe	Stone grave
Pond in Terehno	Lake of ghosts, Khropotova	Drevlyanske village	Mound "Fat Grave"	Kharkiv dungeons	Sanctuary-observatory
Lake Somin	Old city cemetery	<i>Kyiv region</i>	Careers in Kryvyi Rih	Memorial former secret cemetery of the NKVD	Lysa Gora, Yurkivka
<i>Rivne region</i>	<i>Ivano-Frankivsk region</i>	Lukyaniv Cemetery	Museum "Memory of the Jewish People and the Holocaust in Ukraine"	Annunciation Cathedral	Park of Megaliths "Skifskyi Stan"
Tarakaniv Fort		Baikove cemetery	Sanctuary with ancient burials of a clan of priests		
Ostrog castle		Green Theater		"Atomic Birky"	
Duben Castle	Museum of Hutsul magic	Lysa Mountain	Kirovohrad region		Cave Scythian monastery
Berestetska battlefield	Dovbush rocks	Divich-Hora, Trypillya		Thermal underground lakes (Arabat arrow)	
<i>Lviv region</i>	Ivano-Frankivsk Dungeon	Totoha mountain	Oguz mound		
Prison on Lontskyi	The ghost town of Frankivsk-16	Abandoned laboratory		Old city cemetery	
Museum "Territory of Terror"	Jewish cemetery	Widow's house	Mykolaiv region		
Svitovydove pole	Austrian cemetery of the First World War	Babin Yar		Aktovsk canyon	
Lychakiv cemetery	The cemetery on Kyivska Str.	<i>National Museum "Memorial to the Victims of the Holodomor"</i>	Highlands (north-eastern part of the region)		
Janivskyi cemetery				Black lake	
Zolochiv castle			Black forest		
Pidhoretzky castle	The cemetery on Kyivska Str.	<i>Lukyanivska prison</i>	Bovtysky crater	Reserve "Stone Graves"	Kinburn spit
Pidkamin					
Dungeon of Lviv	<i>Chernivtsi region</i>	Chernobyl, Prip'yat	Museum of Rocket Forces	Donetsk airport	Mykolaiv Necropolis
Tustan					
Lysa Mountain	Khotyn Fortress	<i>Chernihiv region</i>	<i>Cherkasy region</i>	Soledar lake	<i>Odesa region</i>
Dead Lake	Jewish cemetery	Horizon observatory	Lake Buchak		
Dominican Church	Mykolaiv Cathedral	Antony's Caves	Kholodny Yar	Old Jewish cemetery	
Stil'ske settlement	<i>Zakarpattia region</i>	Zayzd village	Trakhtemyriv		
Citadel	Uzhgorod Castle	<i>Sumy region</i>	Church of the Nativity of the Virgin, Verbivka village	Sarmatian crypt	
Damn rocks	Lake Synevyr		Leskiv Castle, Mr. Tadeusz Dachowski		
<i>Ternopil region</i>	Palanok Castle	Bugai triangle		Lake Lymarka	Zhevakhov Mountain
Mykulynetsky cemetery	Chornohirsky ridge		Scythian mounds	<i>Poltava region</i>	Odesa catacombs
Pidhayetsky kirkut	Nevytskyi Castle	Poltava pyramids			
Zvenigorod temple of the idol with four shrines	Schönborn Park		Ancient sanctuary of Bogyt	Spadshchansky Forest	"Wolf's Lair" manor palace
Ancient sanctuary of Bogyt	Bunker of the Arpad Line				
Kremenets Castle					

			Dikanka		
Haunted House			Museum of the Battle of Poltava		
Museum of political prisoners			<i>Vinnytsia region</i>		
			Adolf Hitler's "Werewolf" bet		
			Rock temple, Busha		
			Psychiatric hospital		
			Illinets meteorite crater		
Legend:					
Objects ...:					
	mystical tourism, thanatotourism,		necropolis tourism, disaster tourism.		

**developed by the author based on [1, 5, 6, 8, 16, 18-23, 30]*

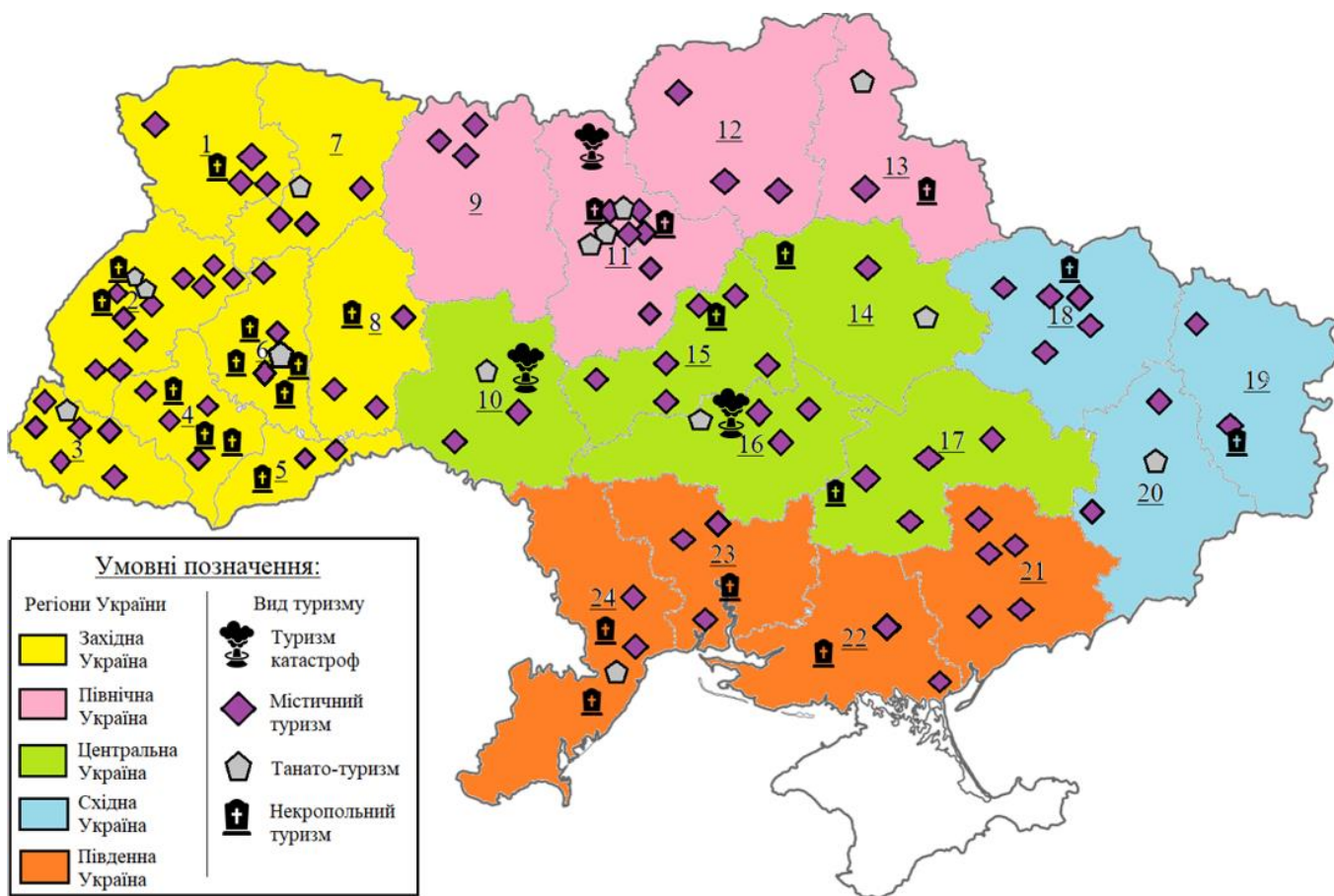


Fig. 3. Map of popular objects of "dark" tourism in Ukraine

**developed by the author based on [1, 5, 6, 8, 16, 18-23, 30]*

Notes: Western Ukraine: 1. Volyn region, 2. Lviv region, 3. Zakarpattia region, 4. Ivano-Frankivsk region, 5. Chernivtsi region, 6. Ternopil region, 7. Rivne region, 8. Khmelnytskyi region; Northern Ukraine: 9. Zhytomyr region, 11. Kyiv region, 12. Chernihiv region, 13. Sumy region; Central Ukraine: 10. Vinnytsia region, 14. Poltava region, 15. Cherkasy region; 16. Kirovohrad region, 17. Dnipropetrovsk region, Eastern Ukraine: 18. Kharkiv region, 19. Luhansk region, 20. Donetsk region; Southern Ukraine: 21. Zaporizhzhya region, 22. Kherson region, 23. Mykolaiv region, 24. Odesa region

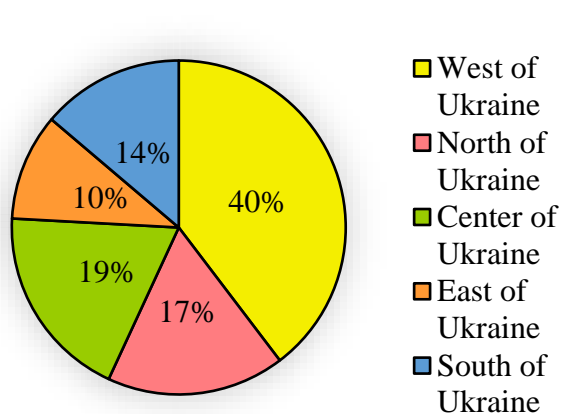


Fig. 4. Geographical distribution of dark tourism objects, %

*developed by the author based on [1, 5, 6, 8, 16, 18-23, 30]

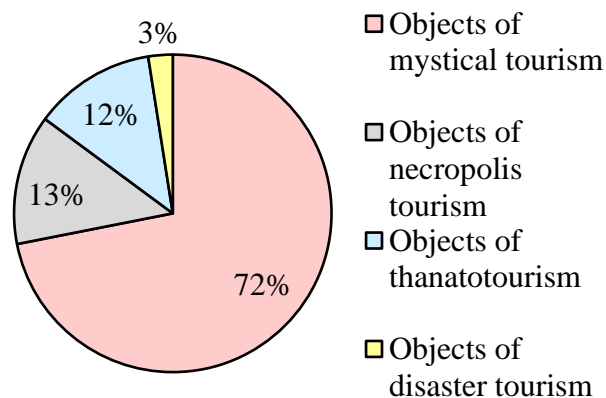


Fig. 5. Distribution of dark tourism objects by types, %

which are numerous in this region. *Pidhoretskyi, Zolochivskyi, Oleskyi, Svirskyi (Lviv Region), Nevytskyi (Zakarpattia Region), Lutskyi (Volyn Region), Kremenetski Castles (Ternopil Region) and Tarakaniv Fort (Rivne Region)* can "show off" mystical details and sometimes their own "ghosts" [6; 12; 30]. The "gloomy" tourist map of the region is also formed by well-known cemeteries (*Museum-Necropolis "Lychakiv Cemetery" (Lviv Region), Pidgayetski Kirkut (Ternopil Region)*) [5], dungeons (*Dominican Monastery and Jesuit Church Underground (Lviv Region)*) and museums (*Museum-memorial "Prison on Lontskoho" (Lviv Region), Museum of Hutsul magic (Ivano-Frankivsk Region)*) [19]. In addition to castles, many legends and mystical stories are associated with the Carpathians. To this day,

you can hear stories about the snowman, the Chugaist, foresters and Carpathian sorcerers – the Molfars. In addition to historical and cultural monuments, paranormal energy is also attributed to natural objects – *Svitovidove Pole (Lviv, Lviv Region), Lysa Gora, or Lion Mountain (Lviv, Lviv Region), Synevyr Lake (Zakarpattia Region), Dead Lake (Lviv Region), Dovbush Rocks (border of Ivano-Frankivsk and Lviv Regions)*, etc. [5, 6, 12, 17–21, 28, 30].

We consider the 30-km *Chernobyl exclusion zone* to be the most famous object of dark tourism in **North of Ukraine**. Every year, the number of tourists, including foreign ones, who want to see how nature has changed and the remains of human habitation destroyed over a period of more than 35 years, increases (Fig. 6).

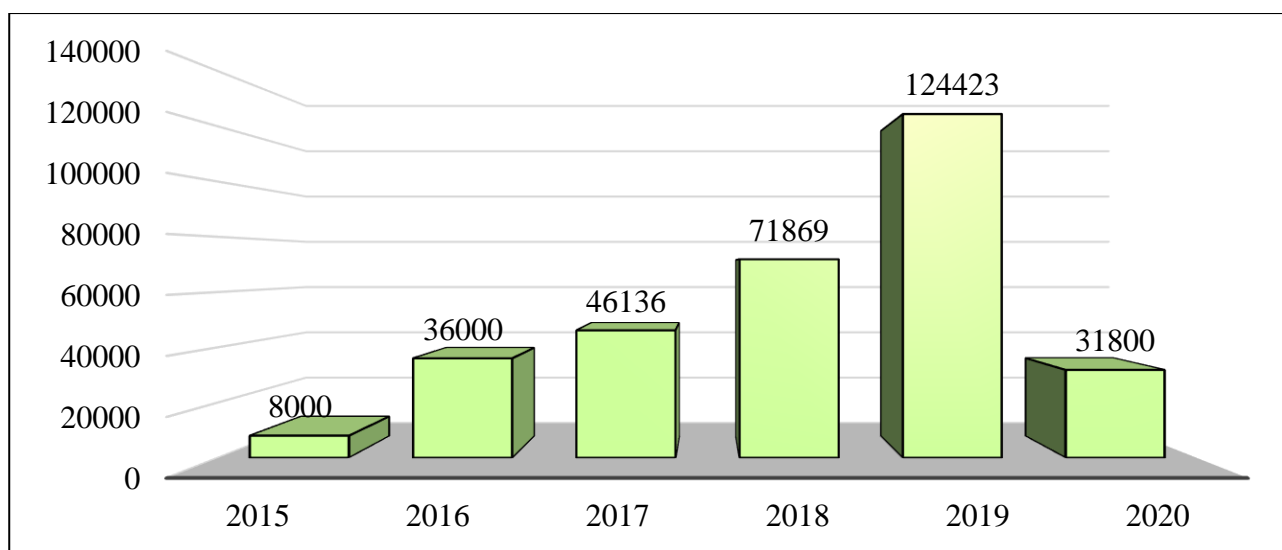


Fig. 6. Dynamics of the number of visitors to the Chernobyl Exclusion Zone, 2015–2020, persons

*developed by the author based on [25]

As you can see, in 2019, more than 120,000 tourists visited the exclusion zone, 80 % of whom were

foreigners. The largest number of foreign tourists (15 %) came from Great Britain. Among foreign tourists

there are also Poles, Germans, Americans, Czechs, etc. The decrease in the flow of tourists in 2020 was influenced by entry restrictions due to the COVID-19 pandemic and the introduction of quarantine. Currently, more than 21 routes have been developed for visiting the zone. It should be noted that "Safe Chernobyl" exists, but the zone can only be visited in the company of specially instructed persons engaged in the organization of such excursions [7; 25].

It should be noted that the series "Chernobyl", which was released in 2019 and received a constellation of international film awards, significantly contributed to the popularization of tourist visits to Chernobyl. A special report "Following the Secret of Chernobyl" was also prepared, which increased the curiosity of tourists and visitors to personally see the cities of Chernobyl and Prip'yat [7; 11].

In addition to Chernobyl, the top 5 darkest locations in the region include:

– *Bald Mountain in Vydubychy (Kyiv Region)* – this place has been closely associated with witchcraft since the days of Kyiv Rus, this has been repeatedly proven by archaeological finds of ancient books, jewels and magical signs [20; 21].

– *Babyn Yar (Kyiv Region)* is the largest international cemetery in Ukraine, a world-famous place of tragedy that became a symbol of the Holocaust [5; 19].

– *Mount Totoha (Kyiv Region)* – a mound where multilayered Trypilian and Scythian settlements were discovered, one of the most powerful places of strength in Ukraine. It is believed that the energy points of the location are charged with positive energy [22].

– *Bezvodivska Prihorizontna observatory (Chernihiv Region)* is a system of ancient barrows of nomadic tribes of the 1st millennium BC. e. This is a kind of scientific center of the Bronze Age, its representatives, ancient astronomers, explored the universe using methods available to them without telescopes. The impressive scale of the place testifies to the accuracy of measurements of the points of emergence of the sun on the horizon [19–21].

Adolf Hitler's "Werewolf" pond (Vinnytsia Region) is considered the main "dark" object of **Centr of Ukraine**. This is the main apartment of the Führer on the Eastern Front, where there were specially equipped points that allowed to manage military operations. The base had connections with Berlin, Vinnytsia, Hering's base, the airfield in Kalinivka, direct daily rail and air connections between Berlin and Vinnytsia. No documents have been preserved regarding the construction, planning of bunkers, and the fate of Soviet prisoners of war. During the offensive of the Red Army in the spring of 1944, all communications of the pond were blown up. And, today, only huge blocks of concrete remain from the powerful complex, which consisted of more than 80 external buildings and several under-

ground bunkers. But even this is enough to understand and imagine the scale of the building [19].

In the *Dnipropetrovsk Region* is the *Museum "Memory of the Jewish People and the Holocaust in Ukraine"* – the largest museum in Ukraine and the third in the world on the history of the Jewish people and the Holocaust. A distinctive feature of the museum is that, in addition to traditional showcases with exhibits, multimedia installations are used in the exhibitions.

One of the most famous places of strength in the region is the tract of *Kholodny Yar (Cherkasy Region)*. According to scientists, a large asteroid fell here in ancient times, which formed the crater-valley. Kholodny Yar attracts people with its mystical phenomena, stories and unique monuments of nature and culture. In addition, a large number of ancient sites and settlements were discovered on the territory, starting from the time of the Trypil culture [20, 21].

East of Ukraine attracts tourists with paranormal phenomena and supernatural energy. Visits to *anomalous zones of the Kharkiv Region* are especially popular. The zone was opened in 1979 by the Section for the Study of Anomalous Phenomena of the Kharkiv Branch of the Popov Scientific and Technical Society of Radio Electronics and Communications. According to ufologists, movements in the sky in the form of red or orange balls of various sizes, as well as flashes of light, were repeatedly observed here. In addition, various sounds were heard, the source of which was not visible [22].

A museum of cosmonautics and ufology was also created here (*Kharkiv, Kharkiv Region*). In the museum you can see models of spaceships, photographs of UFOs, models of flying saucers, sculptures of residents of foreign civilizations, figures of aliens; to gain knowledge from the ancient world through the Middle Ages (models of Galileo's first telescopes) to modern times (telescopes currently in space) [19, 22].

An important historical, archaeological and mystical object of the Eastern Ukrainian region is the *"Stone Tombs" reserve (Donetsk Region)*. It is known that representatives of ancient cultures and civilizations performed various religious rites here, burial mounds were discovered throughout the territory of the reserve. "Stone Graves" is a mountainous country in miniature. This area invigorates and charges visitors with unusual positive energy [22].

Both the **eastern and southern regions** of Ukraine do not have a large number of "dark" objects, but they impress with their authenticity. *Historical and archaeological reserve "Stone Tomb" (Zaporizhia Region)* is a landmark of the ancient culture of the Paleolithic era. In addition to the fact that the area was a cult place of sacrifice and religious rites of various tribes that lived here, the object is considered

one of the most powerful energy places in the world, next to Tibet, Nepal, and Egypt [19, 22].

The tourist zone of the *Mykolaiv Region*, which attracts tourists, is the *Aktovsk Canyon*, which is included in the list of natural wonders of Ukraine and is considered one of the oldest stretches of land. Almost extinct plants grow here, rare animals live here. In the canyon, you can come across waterfalls with crystal clear water, which is considered healing [19, 20, 22].

Odessa catacombs (Odesa, Odesa region) are one of the most interesting sights of the southern part of Ukraine. They are recognized as one of the longest underground labyrinths, their length reaches approximately 2.5–3 thousand km. It was in the catacombs that smugglers hid in the 18th-19th centuries. Later, Red Army revolutionaries came here, followed by partisans from the Second World War. Various bandit groups also lived there from time to time. With such impressive dimensions and a complicated structure of passages and tunnels, it was almost impossible to find a person in the Odessa catacombs [19, 22].

Based on this analysis, it can be concluded that Ukraine has a sufficient resource base for the development of dark tourism in general and for each of its subspecies (catastrophe tourism, mystical, necropolis tourism, thanato-tourism) in particular. All regions of Ukraine, without exception, can offer tourists interesting and mysterious objects, on the basis of which even more tourist programs can be developed. In addition, there are many "places of power" in Ukraine, which should be classified as mystical tourism, because they mysteriously have strong energy, where people have historically restored their mental health.

The full-scale unprovoked military invasion of Russia on the territory of sovereign Ukraine caused the appearance of countless new locations of dark tourism - places of pain, bloody traces of the aggressor's crimes against humanity and nature, man-made disasters, places of mass burials (mass graves), torture camps, filtration camps, etc.

Izyum (Kharkiv Region) is already called the new Khatyn. This is a new place of pain, despair and tears. The city center is a complete ruin. Piles of stones, sinkholes, mutilated trees, fires, bullet holes in high-rise buildings. The city has no bus station, court, railway station, executive committee, medical college, police, military commissariat, dozens of shops and offices, the hospital has no windows, and a projectile hit the children's sports school. Central Park resembles a place of bloody massacre. The city is an absolute testimony of genocide - under the occupation, people had no food, basic bread, no water, light, gas, heat, medicine, communication did not work. People spent six to ten days in bomb shelters.

After liberation from the occupation, Bucha, a modest district center in the Kyiv region and a satel-

lite city of the capital, became a symbol of the enemy's inhuman cruelty: the Russians killed at least 403 civilians here. In fact, every tenth citizen who found himself in the occupation was killed: in the city, whose population before the war was approximately 42 thousand people, after the arrival of the Russians, approximately 3.6-4 thousand people remained. Many victims had their hands tied behind their backs, traces of torture remained on their bodies, many were killed while trying to evacuate. The bodies of almost 85% of those killed have bullet holes, that is, they are not accidental victims of the war, the Russians killed deliberately. The situation is similar in other villages and towns north of Kyiv – Irpin, Borodyanka. Photographs of these territories have already become a symbol of inhuman atrocities in the 21st century.

Problems and prospects of the development of "dark" tourism. Dark tourism, like any other type of tourism, has its strengths and weaknesses. One of the problems of this type of tourism is the question of the ethics of visiting such places for tourist purposes, which is primarily related to the religious beliefs of the population of Ukraine. Of course, people need to learn the truth about the events of our past, but at the same time, it is necessary to show respect to the victims of tragic events. Unfortunately, some tourists perceive it as entertainment and simply take pictures against the background of places where people died.

The next important problem is ensuring the safety of tourists when visiting places, because there are many cases of injuries to tourists at such facilities due to the disorganization of this type of tourism, the carelessness of the tourists themselves, and the lack of control of the facilities of this type of tourism.

Another problem of dark tourism is the ignorance of guides in this tourism. The places of dark tourism are unusual, and sometimes dangerous for tourists, which, accordingly, creates the need to conduct tours accompanied by competent and experienced specialists.

It is worth noting that if the moral side of visiting special places remains on the conscience of every tourist, then the problem of ensuring security needs to be worked on. Yes, a tourist should not forget about his safety and the safety of others, but the responsibility of the tourists themselves will not be enough. Therefore, control of the tourist organization that provides these tours is needed, but above all, state control of dangerous places for dark tourism. Therefore, ensuring security at such facilities will allow the development of this area.

It so happened that in recent years, fewer and fewer people pay attention to domestic destinations and tourist facilities when choosing a tour. Although, considering dark tourism as a whole, it is safe to say that there are countless attractive objects for dark tourism in our country, but they are popular only

among small groups of amateurs, since many such objects are not advertised and are not developed as full-fledged tourist products.

To identify opportunities and threats to the development of dark tourism in Ukraine, a SWOT analysis was conducted, the results of which are presented in the table 5.

Strengths and weaknesses, opportunities and threats were assessed according to the developed scales (Table 6) and a SWOT matrix was constructed. In the next stage of the SWOT analysis, strengths and weaknesses, opportunities and threats are evaluated according to the table 6.

When evaluating opportunities and threats, the

Table 5

SWOT analysis of opportunities and threats of dark tourism in Ukraine

Strengths (S)	Weaknesses (W)
A large number of places and objects filled with legends, mystical and tragic stories. (S1)	Relatively high cost, lack of tourist infrastructure, additional financial costs for travel. (W1)
Taking into account the needs of tourists by travel firms and their implementation. (S2)	Negative attitude of part of the population to domestic tourism. (W2)
The professionalism of the organizers of these tours, the saturation of tourist programs, group communication with the guide. (S3)	Low awareness of "dark" tourism among tourists and tourism enterprises. (W3)
The desire of foreign tourists to visit Ukraine and the popularity of specialized tourism among them, which also includes dark tourism. (S4)	Psychological factors of tourists that deter visits to places of dark tourism: fear, religiosity, negative memories. (W4)
Preservation of legends and traditions that were formed in a certain territory. (S5)	Not all objects are suitable for visits due to a state of emergency. (W5)
Opportunities (O)	Threats (T)
Development and implementation of new tourist products. (O1)	Damage to monuments, pollution of the territory due to the visits of tourists. (T1)
Increasing the number of domestic and foreign tourists. (O2)	Prices may increase due to low demand. (T2)
Increasing attention and attracting investments to the development of tourism. (O3)	Decreased interest in such objects among visitors. (T3)
Ensuring appropriate security when visiting facilities. (O4)	Lack of state control and support for the development of this tourism. (T4)
Development of tourist infrastructure to these places and objects. (O5)	Spreading the opinion about the unethical nature of these tours. (T5)

*developed by the author.

Table 6

Rating scale

Mark	Characteristics of the significance of the impact			
	internal strengths and weaknesses		external opportunities and threats	
	Strong side (asi)	Weak side (awi)	Possibility (koi)	Threat (kti)
5	significant advantage (unique, strategically important)	the weakest (catastrophic)	very strong	very strong
4	significant advantage (can have a significant impact)	very weak (can have a negative effect)	significant, facilitates the achievement of goals	significant, delays the achievement of goals
3	strong (medium impact)	weak (medium impact)	moderately facilitates the achievement of goals	moderately delays the achievement of goals
2	not strong enough	less weak action	weak	weak
1	least strong (low impact)	least weak (low impact)	has almost no effect	has almost no effect

*developed by the author based on [43]

probability of their occurrence is also taken into account: 0.05 – the probability is very low; 0.25 – the probability is low; 0.50 – the probabilities of manifestation and non-manifestation are the same; 0.75 – the probability is high; 0.95 is a very high probability [43]. Further actions consist in the analysis of the most influential factors of the internal and external environment, which involves the formation of a mat-

rix of integral assessments, which compares various combinations: strengths – opportunities, strengths – threats, weaknesses – opportunities, weaknesses – threats. The results of integral calculations allow you to determine the appropriate strategy. For this, it is worth constructing a graph of the directionality vector, which will give an idea of the combination of internal and external factors (Fig. 7).

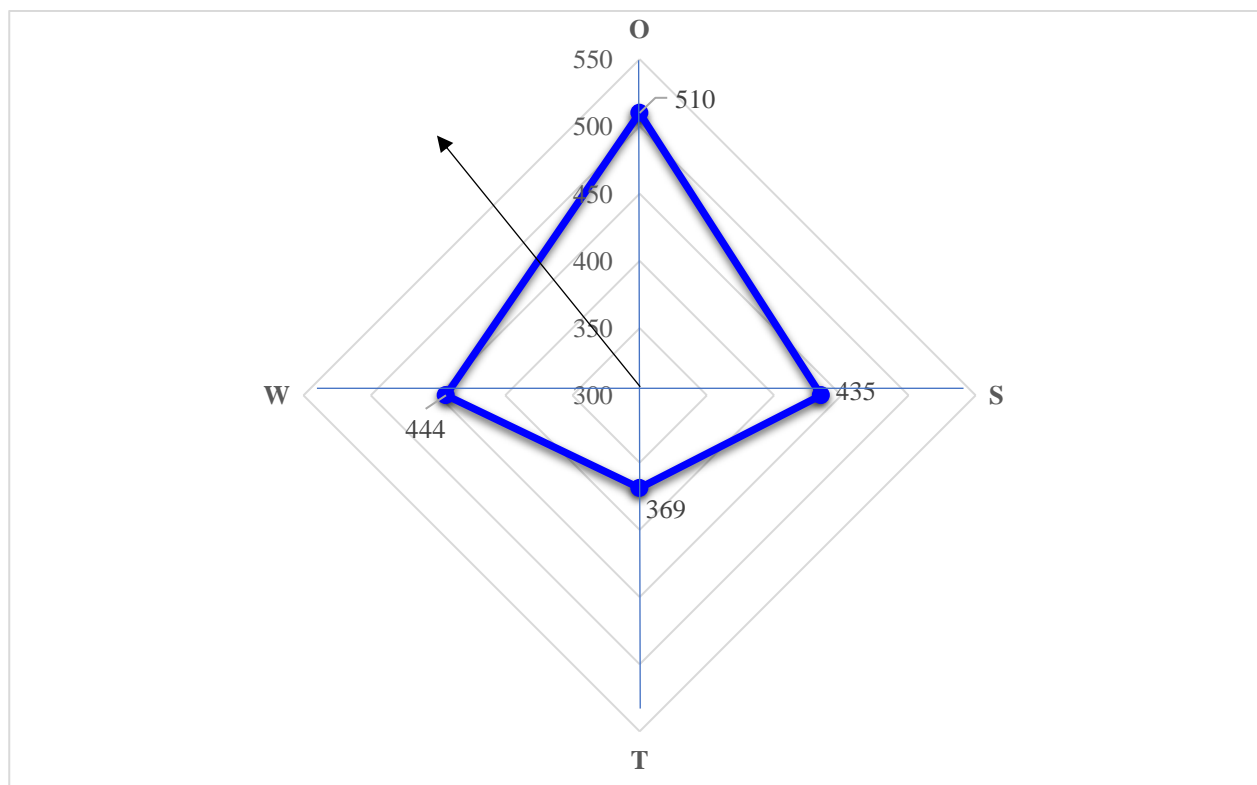


Fig. 7. Directional vector of the strategic reference point for the development of "dark" tourism in Ukraine

Therefore, the vector is located in the WO zone, which means that weaknesses prevent the use of external opportunities. The problems of the introduction of dark tourism in Ukraine have a greater impact than the strengths of this tourism.

Therefore, an important stage in the development of dark tourism is the solution of these problems and a responsible attitude to the organization of tours of such a nature that will attract more tourists to visit tourist places.

Proposed measures to popularize dark tourism in Ukraine. To popularize dark tourism in Ukraine and solve its problems, a number of measures should be taken:

- to monitor the tourist market for the presence of dark places and objects in Ukraine, determine which are suitable for tourists to visit and can be included in the range of programs of domestic tour operators;

- to create an interactive map of dark places of Ukraine. It should be noted that a similar esoteric map of Ukraine exists, it was created by the Free Travel company and has already been viewed by more than

140,000 people, which confirms the interest of tourists in such objects and places of our country [8]. Places of strength, harmful and abnormal zones, as well as temples and monasteries are marked on the map. The content is updated every time with new locations and infrastructure facilities – restaurants, cafes or museums. At the moment, 100 objects are presented on the map, of which 60 are places of strength of Ukraine, 28 are harmful, creepy and anomalous zones. However, the map has a significant drawback – there is no information about the objects, only marks on the map, their names and photos, so we believe that it is worth supplementing the map with brief information.

- to analyze foreign experience in the organization of dark tourism, to find out its main trends in the world and the possibilities of using such experience in the organization of tours by domestic tourism enterprises;

- to hold cultural events, contests, quests, festivals, educational excursions in mystical places for their distribution among tourists and attracting additional investments;

- to involve medieval castles in the development

of mystical tours and equip rooms for tourists, install the necessary equipment (projectors), develop animation events;

– to advertise dark places in Ukraine in the mass media and to create a web page with information about such places in Ukraine and thematic "dark" tours, as well as the YouTube channel "Mystical Ukraine";

– to improve the tourist infrastructure near the location of the facilities, in addition, to open entertainment facilities (such as caves of horror) near mystical objects and restaurants in the appropriate style.

Creating a website with information about places of dark tourism and an interactive map of dark places of Ukraine consists in displaying interesting objects. You can add a photo and information about each object marked on the map. Such a website is a kind of information source for planning a tourist trip with such an inclination, it can display a list of proposed tours from travel agencies, and a map can be used to lay out tourist routes, familiarize yourself with interesting objects, and develop the accompanying infrastructure. An example of such a site about dark tourism is "dark-tourism.com". This is a comprehensive travel guide to dark tourism destinations around the world, covering over 900 individual locations in 112 different countries. Also reflects various news on this tourism in the world [33].

The creation of the YouTube channel "Mystical Ukraine" is another push to promote mystical places, objects and an interesting project for tourists. The purpose of such a channel will be to highlight the tourist attraction of mystical objects of Ukraine, to convey information about them to both citizens of our country and foreigners, so it is worth developing subtitles for the video in English.

In some countries of the world, entertainment centers for dark tourism have been built – establishments that offer tours of attractions based on real or fictional bloody events, such as "London Dungeon", Tower of London and "Jack the Ripper Tours", Dracula's Palace, and the so-called "vampire house" in Geroland park [9]. Various "dark" events and festivals should be added to the entertainment industry. There are many festivals on this topic, mainly they are related to the celebration of Halloween. Americans prepare especially carefully for this holiday – the best parades, parties, festivals on the theme of Halloween are held in the USA. For example, the popular Village Halloween Parade in New York has been held for 45 years. About 50,000 people participate in this event every year, and the parade attracts the attention of more than 2 million spectators.

Mostly, the "dark" industry offers tourists an entertainment product, but there are "dark" exhibitions that are dedicated to events related to the tragic past, death, and they have a more educational, commemo-

orative function. They also have a commercial orientation, but are aimed at preserving the memory of historical events and rethinking the events of the past. Recently, exhibitions related to the demonstration of anatomical representation of human bodies have become popular, such museums have already been visited by more than 20 million people.

Various publications, books, films or series play a big role in the development of a certain type of tourism and the popularization of relevant objects. A case in point is the 2019 Chernobyl series, a miniseries from Sky Atlantic and HBO that was highly praised by critics and viewers, based on the real events of the 1986 Chernobyl disaster and the memories of Pripjat residents. In total, "Chernobyl" received the "Golden Globe", the award of the Producers Guild of the USA, as well as the award of the Screenwriters Guild, received 7 awards of the BAFTA award of the British Academy of Film and Television Arts. It was because of this series that the interest of tourists to see the cities of Chernobyl and Pripjat in person increased significantly, and already in 2019, the number of tourists increased by 2 times.

In today's world, there is a rapid takeover of the market by such online services and social networks as Booking, TripAdvisor, Facebook, Instagram, etc. They allow the user of services not only to book various tourist services, but also to find out detailed information and impressions of other tourists about certain tourist objects.

In addition, the role of mobile applications in tourism is constantly growing. We consider the recently created mobile application WalQlike (Walk you like) to be an interesting and creative project, the purpose of which is to show the cities of Ukraine from a new perspective – in the format of an interactive walk using the example of quests, the riddles of which need to be solved. The topics of such excursions are different – from a tour of the historical monuments of the city to "ghost hunting". WalQlike quest-excursions are presented in such cities as Lviv, Kyiv, Odesa, Chernihiv, Kamianets-Podilskyi, Ternopil, Dnipro, Ivano-Frankivsk, Chernivtsi and Kharkiv.

Using the example of such an application, we consider it relevant to create the "Legends of Ukrainian Castles" application, which will provide descriptions of Ukrainian castles and legends about them. The application can be filled with excursions with a developed route and a built-in guide that will tell in turn about the castle itself, legends and historical facts, its rooms and exhibits that are presented in it, it is important that the recorded audio guide is available in different languages, for example, Ukrainian, Russian, Polish, English, German languages.

Undoubtedly, such measures cannot solve the problems of domestic and inbound tourism in Ukra-

ine (unsatisfactory condition of many sightseeing objects and critical shortcomings of tourist infrastructure, primarily transport), but they will contribute to the growing popularity of dark tourism.

There are different views, sometimes quite antagonistic, regarding the expediency of the development of dark tourism: from categorical denial and emphasis on the immoral aspect to acceptance and active promotion. We believe that visiting objects and places of this type of tourism can have a positive experience. First of all, it will help to better understand the history of our people, as well as the world. Travels to places of tragedy or crime, to unique mystical locations or places of power raise questions of the past in order to avoid similar disasters in the future, allow you to realize your own mental identity and once again feel pride in the rich mythological history of the country.

Solving problems and carrying out various activities will allow to move from the nascent stage to the stage of development of dark tourism in Ukraine. Orientation of the population to domestic tourism through popularization and organization of safe tours at the state level will allow the necessary development of the tourism business of Ukraine.

Conclusions.

1. Dark tourism is not very common in Ukraine, although it is considered a new promising direction. Foreign and domestic academic literature contains certain developments in the field of dark tourism. At the same time, there is no comprehensive study of the development possibilities of this type of tourism in Ukraine.

2. As a result of the study of the thematic developments of domestic and foreign scientists, analysis of statistical materials of the State Statistics Service of Ukraine, popular scientific literature, including Internet resources, we propose to understand dark tourism as a type of tourism that is associated with visiting cemeteries and burials, places of disasters, natural disasters and mass deaths of people, as well as places associated with mysticism for tourist purposes.

3. Dark tourism has certain unique features, in particular: limited popularity, limitations regarding traditions, moral norms, laws and mentality, limited geographical character, impermanence of official character, similarity with extreme tourism, problems with guaranteeing the safety of tourists. An important issue related to the development of dark tourism is the motivation of the tourist who chose this type of travel or excursion. We can distinguish 5 main reasons for tourists' interest in dark tourism objects: curiosity, search for novelty, memory and cultural heritage, role of mass media, emotions.

4. An important and, at the same time, still deba-

table issue in theoretical research of dark tourism is its classification. At the present stage, the majority of scientists in the typology of "dark tourism" distinguish its main types as: disaster tourism, thanatourism, mystical tourism, necropolis tourism. In each of these types, different tourist attractions are distinguished.

5. Ukraine has a significant number of well-known places and objects of dark tourism, considerable "mystical" potential. However, in practice, the involvement of objects in the range of programs of tourist enterprises is insignificant. Monitoring of "dark" places and locations of Ukraine made it possible to identify more than 120 potentially popular objects for tourists: medieval castles, dungeons, cathedrals, ancient settlements, cemeteries, places of strength, battlefields and battles, etc., which can be used in the development of new tourist products.

6. This systematization allows you to familiarize yourself with the geographical and thematic distribution of objects of "dark" tourism in the territory of Ukraine. Geographically, Western Ukraine concentrates the most objects of dark tourism on its territory – 53 objects, which makes up almost 40 % of the "dark" locations of Ukraine, and the least – Eastern Ukraine – only 11 objects (10 %). By subject, the structure of "dark" destinations is dominated by objects of mystical tourism – 87 units, or $\frac{3}{4}$ of all objects in Ukraine. The number of necropolis and thanatourism objects is approximately the same, the least – only 3% – disaster tourism locations.

7. Dark tourism has both its disadvantages (weaknesses) and advantages (strengths). The conducted SWOT analysis made it possible to state that weaknesses prevent adequate use of the potential opportunities of dark tourism in Ukraine.

8. An important stage in the development of dark tourism is the solution of problems that hinder the development of dark tourism, the main ones of which are: the safety of tourists when visiting dark locations, the expediency and ethics of dark tourism, the poverty of the range of tourist programs and the ignorance of specialized guides, the unsatisfactory state of the tourist infrastructure, etc.

9. To popularize dark tourism, it is necessary to take a number of measures, including the creation of a web page and map with information about dark places in Ukraine, the development of the YouTube channel "Mystic Ukraine", the launch of the mobile application "Legends of Castles of Ukraine", holding cultural events, contests, quests, festivals, improvement of tourist infrastructure, etc. A responsible attitude to the organization of tours of this nature, the involvement of the state will allow to attract a larger number of tourists to this type of objects.

Bibliography

1. Алістратова К. Е. Містичний туризм: зарубіжний досвід та перспективи розвитку в Україні [Текст] / К. Е. Алістратова // Географія та туризм, 2013. – №26. – С. 93-101.
2. Арайс О. Темний туризм [Текст] / О. Арайс, Ю. Сологуб // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті : програма і матеріали 80 міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 10–11 квітня 2014 р. – К. : НУХТ, 2014. – Ч. 3. – С. 482-483.
3. Бордун О. Ю. Теоретичні та практичні засади дослідження похмурого туризму України [Текст] / О. Ю. Бордун, У. В. Деркач // Географія та туризм: наук. зб. Київ: Альфа-ППК, 2014. – №30. – С. 62-72.
4. Бугрій О. В. Некропольний туризм та його об'єкти на Україні [Текст] / О. В. Бугрій // Географія та туризм, 2010. – №4. – С. 52-62.
5. Десять містичних цвинтарів України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ua.igotoworld.com/ua/article/568_decjat-mistichnih-cvintariv.htm.
6. Десять українських замків з привидами. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://busfor.ua/uk/blog/ukrainian-haunted-castles>.
7. Дмитрук В. І. «Безпечний Чорнобиль» як новий напрям розвитку на міжнародному ринку туристичних послуг [Текст] / В. І. Дмитрук, Л. А. Дяченко, Н. В. Гриньох, А. О. Князевич // Ефективна економіка, 2020. – №1.
8. Езотерична карта України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=1jW8iEAdWSRgBuJbC7PBQacbKeU&ll=49.43660555614488%2C27.060275367525037&z=>
9. Заставецький Т. Б. «Похмурий туризм» як відображення трагічних подій у історії та культурі народів. [Текст] / Т. Б. Заставецький, Л. Б. Заставецька // Рекреаційна географія і туризм. Наукові записки. Тернопіль: ТНПУ імені В. Гнатюка, 2011. – №1. – С.101-107.
10. Іванов А. М. «Темний» туризм як один з перспективних видів туризму [Текст] / А. М. Іванов // Бізнес-навігатор, 2011. – № 5. – С.186-191.
11. Івченко Л. О. Динаміка і перспективи розвитку туризму в Чорнобильській зоні [Текст] / Л. О. Івченко, К. М. Романова // Електронне наукове фахове видання Ефективна економіка, 2020. – №1.
12. Інформаційне видання «Містичні замки Західної України» [Текст] / Матеріали зібрані та впорядковані: Виставковий центр ЛІЕТ «Тури та туристичні продукти для львів'ян та гостей міста». // Туристично-інформаційний центр ЛІЕТ, 2014.
13. Казьмирчук М. Меморіальний і ностальгійний туризм у вітчизняних і зарубіжних дослідженнях [Текст] / М. Казьмирчук // Вісник Київського національного університету ім. Т. Шевченка. Історія, 2016. – №4. – С. 20-31.
14. Кирилюк Л. М. Нові (нетрадиційні) види туризму України / Л. М. Кирилюк [Текст] // Наукові записки ВДПУ ім. М. Коцюбинського. Серія: географія. – Вінниця, 2008. – №17 – С. 191-195.
15. Кляп М. П. Сучасні різновиди туризму: навчальний посібник [Текст] / М. П. Кляп, Ф. Ф. Шандор. // К.: Знання, 2011. – 334с.
16. Кулиняк І. Я. Перспективи розвитку містичного туризму в Україні [Текст] / І. Я. Кулиняк, К. М. Ярмола, Б. О. Малішевська // матеріали Міжнародної наукової конференції. «Формування сучасної наукової думки» (2020 р.). Кропивницький: МЦНД, 2020. – С. 53-56.
17. Кулиняк І. Я. Містичний туризм: сутність і перспективи розвитку у Львівській області [Текст] / І. Я. Кулиняк, І. І. Жигало, К. М. Ярмола // Бізнес Інформ, 2020. – №3. – С. 128-137.
18. Містичні Карпати: 10 місць, оповитих мороком [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://hotels24.ua/news/mistichni-karpati-11232096.html>.
19. Містичні місця в Україні: 32 локації, де серце завмирає [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ua.igotoworld.com/ua/article/1144_misticheskie-mesta-v-ukraine.htm.
20. Містичні місця України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://changeua.com/nasha-mistichna-ukrayina/>.
21. Містичні місця України, які варто відвідати [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://veterdoit.com/mistychni-mistsia-ukrainy-iaki-varto-vidvidaty-khoch-raz/>.
22. Місця сили України. Гиблі і аномальні зони [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://freetravel.com.ua/ua/world/ukraine/place-of-power>.
23. Москаленко Я. О. «Темний» туризм як новий вид туризму [Електронний ресурс] / Я. О. Москаленко. – Режим доступу: http://tourlib.net/statti_ukr/moskalenko.htm.
24. Офіційний веб-сайт Державної служби статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
25. Офіційний веб-сайт Державного агентства України з управління зоною відчуження [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://dazv.gov.ua>.
26. Паньків Н. М. Темний туризм в Україні: факторний аналіз та перспективи розвитку [Електронний ресурс] / Н. Паньків // Наукові записки СумДПУ імені А.С.Макаренка. Географічні науки. 2021. Т. 2. Вип. 2. – Режим доступу: http://repository.sspu.sumy.ua/bitstream/123456789/10943/3/2021_SNSSPU.pdf#page=149.
27. Сардак С. Е. Потенціал «темного туризму» в країнах Європи [Текст] / С. Е. Сардак, С. В. Таран // Економіка і суспільство, 2018. – №18. – С.27-34.
28. Скелі Довбуша – про що мовчать кам'яні велетні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vidviday.ua/blog/skeli-dovbusha/>.
29. Смаль І. В. (2013). Туризм людських слабкостей [Текст] / І. Смаль // Географія та туризм, (24), 69-76.

30. ТОП-10 містичних місць у Львові та області [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.032.ua/news/1845154/top-10-misticnih-misc-u-lyvovi-ta-oblasti>.
31. Фучеджи В. І. SWOT-аналіз як інструмент антикризового фінансового управління [Текст] / В. І. Фучеджи // Актуальні проблеми розвитку економіки регіону, 2013. – №9(2). – С. 156-161.
32. Шильнікова З. М. Тенденції розвитку «темного» туризму та його мотиваційні аспекти [Текст] / З. М. Шильнікова, І. І. Дульцева, М. В. Матушкіна // Глобальні та національні проблеми економіки, 2018. – №22. – С. 586-591.
33. Dark Tourism – the guide to dark travel destinations around the world [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dark-tourism.com/index.php>.
34. Seaton A. V. Guided by the dark: from thanatopsis to thanatourism / A. V. Seaton // The International Journal of Heritage Studies, 1996. – №2. – P. 234-244.
35. Stone P. A. Dark tourism spectrum: Towards a typology of death and macabre related tourist sites, attractions and exhibitions / A. P. Stone // Tourism, 2006. – № 54(2). – P. 145-160.
36. Stone P. Consuming dark tourism: A Thanatological Perspective // P. Stone, R. Sharpley // Annals of Tourism Research. – Oxford, 2008. – P. 574-595.
37. Foley M., JFK and dark tourism: A fascination with assassination / M. Foley, J. Lennon // International Journal of Heritage Studies. Taylor & Francis, 1996. – № 2(4). – P. 198-211.

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

References

1. Alistratova, K. E. (2013). Misty`chny`j tury`zm: zarubizhny`j dosvid ta perspekty`vy` rozvy`tku v Ukraini [Mystical tourism: foreign experience and prospects for development in Ukraine]. *Geografiya ta tury`zm – Geography and Tourism*, 26, 93-101. [in Ukrainian].
2. Arajs, O. S., & Sologub, Yu. I. (2014). Temny`j tury`zm [Dark tourism]. *Naukovi zdobutky` molodi – vy`rishennyu problem xarchuvannya lyudstva u XXI stolitti : programa i materialy` 80 mizhnarodnoyi naukovoyi konferenciyi molody`x ucheny`x, aspirantiv i studentiv – Scientific achievements of youth - solving the problems of human nutrition in the XXI century: program and materials of the 80th international scientific conference of young scientists, graduate students and students.* (482-483). K.: NUXT. Retrieved from <http://dspace.nuft.edu.ua/bitstream/123456789/18856/1/286.pdf>. [in Ukrainian].
3. Bordun, O. Yu., & Derkach, U. V. (2014). Teorety`chni ta prakty`chni zasady` doslidzhennya poxmurogo tury`zmu Ukrainy` [Theoretical and practical principles of the study of gloomy tourism in Ukraine]. *Geografiya ta tury`zm – Geography and Tourism*, 30, 62-72. [in Ukrainian].
4. Bugrij, O. V. (2010). Nekropol`ny`j tury`zm ta jogo ob`yekty` na Ukraini [Necropolis tourism and its objects in Ukraine]. *Geografiya ta tury`zm – Geography and Tourism*, 4, 52-62. [in Ukrainian].
5. Decyat` misty`chny`x czvy`ntariv Ukrainy` [Ten mystical cemeteries of Ukraine]. Retrieved from https://ua.igo-toworld.com/ua/article/568_decjat-mistichnih-cvintariv.htm. [in Ukrainian].
6. Desyat` ukrayins`ky`x zamkiv z pry`vy`damy` [Ten Ukrainian haunted castles]. Retrieved from <https://busfor.ua/uk/blog/ukrainian-haunted-castles>. [in Ukrainian].
7. Dmy`truk, V. I., Dyachenko, L. A., Gry`n`ox, N. V., & Knyazevy`ch, A. O. (2020). «Bezpechny`j Chornoby`l`» yak novy`j napryam rozvy`tku na mizhnarodnomu ry`nku tury`sty`chny`x poslug [«Safe Chernobyl» as a new direction of development in the international market of tourist services]. *Efekte`vna ekonomika – Effective economy*, 1. [in Ukrainian].
8. Ezotery`chna karta Ukrainy` [Esoteric map of Ukraine]. Retrieved from <https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=1jW8iEAdWSRgBuJjbC7PBQacbKeU&ll=49.43660555614488%2C27.060275367525037&z=> [in Ukrainian].
9. Zastavec`ky`j, T. B., & Zastavec`ka, L. B. (2011). «Poxmury`j tury`zm» yak vidobrazhennya tragiczny`x podij u istoriyi ta kul`turi narodiv [«Gloomy tourism» as a reflection of tragic events in the history and culture of nations]. *Rekreacijna geografiya i tury`zm. Naukovi zapy`sky` – Recreational geography and tourism. Scientific notes*, 1, 101-107. [in Ukrainian].
10. Ivanov, A. M. (2011). «Temny`j» tury`zm yak ody`n z perspekty`vny`x vy`div tury`zmu [«Dark» tourism as one of the promising types of tourism]. *Biznes-navigator – Business Navigator*, 5, 186-191. Retrieved from http://www.library.univ.kiev.ua/ukr/host/viking/db/ftp/univ/gat/gat_2013_24.pdf#page=67 [in Ukrainian].
11. Ivchenko, L. O., & Romanova, K. M. (2020). Dy`namika i perspekty`vy` rozvy`tku tury`zmu v Chornoby`l`s`kij zoni [Dynamics and prospects of tourism development in the Chernobyl zone]. *Elektronne naukove faxove vy`dannya Efekte`vna ekonomika – Electronic scientific professional publication Effective Economy*, 1. [in Ukrainian].
12. Informacijne vy`dannya «Misty`chni zamky` Zaxidnoyi Ukrainy`» [Information publication «Mystical Castles of Western Ukraine»]. *Materialy` zibrani ta vporyadkovani: Vy`stavkovy`j centr LIET «Tury` ta tury`sty`chni produkty` dlya l`viv`yan ta gostej mista».* *Tury`sty`chno-informacijny`j centr LIET – Materials collected and arranged: Exhibition Center LIET "Tours and tourist products for Lviv residents and guests of the city."* *Tourist Information Center LIET.* [in Ukrainian].

13. Kaz`my`rchuk, M. (2016). Memorial`ny`j i nostalg`gijny`j tury`zm u vitchy`znyany`x i zarubizhny`x doslidzhennyax [Memorial and nostalgic tourism in domestic and foreign research]. *Visnyk Ky`yivs`kogo nacional`nogo uni-versy`tetu im. T. Shevchenka. Istoriya – Bulletin of Kyiv National University. T. Shevchenko. History*, 4, 20-31. [in Ukrainian].
14. Ky`ry`lyuk, L. M. (2008). Novi (netrady`cijni) vy`dy` tury`zmu Ukrayiny` [New (non-traditional) types of tourism in Ukraine]. *Naukovi zapys`ky` VDPU im. M. Kocyuby`ns`kogo. Seriya: geografiya. – Scientific notes of VSPU. M. Kotsyubynsky. Series: geography.*, 17, 191-195. [in Ukrainian].
15. Klyap, M. P., & Shandor, F. F. (2011). Suchasni riznovy`dy` tury`zmu: navchal`ny`j posibny`k [Modern varieties of tourism: a textbook]. K.: Znannya. [in Ukrainian].
16. Kuly`nyak, I. Ya., Yarmola, K. M., & Malishevs`ka, B. O. (2020). Perspekty`vy` rozvy`tku misty`chnogo tury`zmu v Ukrayini [Perspectives of development of mystical tourism in Ukraine]. *Materialy` Mizhnarodnoyi naukovoji konferenciyi. «Formuvannya suchasnoyi naukovoji dumky`» – Materials of the International scientific conference. «Formation of modern scientific thought»* (53-56). Kropy`vny`cz`ky`j: MCzND. [in Ukrainian].
17. Kuly`nyak, I. Ya., Zhy`galo, I. I., & Yarmola, K. M. (2020). Misty`chny`j tury`zm: sutnist` i perspekty`vy` rozvy`tku u L`vivs`kij oblasti [Mystical tourism: the essence and prospects of development in the Lviv region]. *Biznes Inform – Business Inform*, 3, 128-137. [in Ukrainian].
18. Misty`chni Karpaty`: 10 miscz`, opovy`ty`x morokom. [Mystical Carpathians: 10 places shrouded in darkness]. Retrieved from <https://hotels24.ua/news/mistichni-karpati-11232096.html> [in Ukrainian].
19. Misty`chni miscya v Ukrayini: 32 lokaciyi, de serce zavmy`raye. [Mystical places in Ukraine: 32 locations where the heart freezes]. Retrieved from https://ua.igotoworld.com/ua/article/1144_misticheskie-mesta-v-ukraine.htm [in Ukrainian].
20. Misty`chni miscya Ukrayiny`. [Mystical places of Ukraine]. – Retrieved from <https://changeua.com/nasha-mistichna-ukrayina/> [in Ukrainian].
21. Misty`chni miscya Ukrayiny`, yaki varto vidvidaty`. [Mystical places of Ukraine that are worth visiting]. – Retrieved from <https://veterdoit.com/mistychni-mistsia-ukrainy-iaki-varto-vidvidaty-khoch-raz/> [in Ukrainian].
22. Miscya sy`ly` Ukrayiny`. Gy`bli i anomal`ni zony`. [Places of power of Ukraine. Deaths and abnormal areas]. Retrieved from <https://freetravel.com.ua/ua/world/ukraine/place-of-power> [in Ukrainian].
23. Moskalenko, Ya. O. «Temny`j» tury`zm yak novy`j vy`d tury`zmu [«Dark» tourism as a new type of tourism]. Retrieved from http://tourlib.net/statti_ukr/moskalenko.htm [in Ukrainian].
24. Oficijny`j veb-sajt Derzhavnnoi sluzhby` staty`sty`ky` Ukrayiny` [Official website of the State Statistics Service of Ukraine]. www.ukrstat.gov.ua. Retrieved from <http://www.ukrstat.gov.ua>. [in Ukrainian].
25. Oficijny`j veb-sajt Derzhavnogo agentstva Ukrayiny` z upravlinnya zonoyu vidchuzhennya. [Official website of the State Agency of Ukraine for Exclusion Zone Management]. Retrieved from <http://dazv.gov.ua> [in Ukrainian].
26. Pan`kiv, N. M. (2021). Temny`j tury`zm v Ukrayini: faktorny`j analiz ta perspekty`vy` rozvy`tku [Dark tourism in Ukraine: factor analysis and prospects of development]. *Naukovi zapys`ky` SumDPU imeni A. S. Makarenka. Geografichni nauky` – Scientific notes of Sumy State Pedagogical University named after A. S. Makarenko. Geographical sciences*, 2 (2). Retrieved from http://repository.sspu.sumy.ua/bitstream/123456789/10943/3/2021_SNSSPU.pdf#page=149. [in Ukrainian].
27. Sardak, S. E., & Taran, S. V. (2018). Potencial «temnogo tury`zmu» v krayinax Yevropy` [The potential of «dark tourism» in Europe]. *Ekonomika i suspil`stvo – Economy and Society*, 18, 27-34. [in Ukrainian].
28. Skeli Dovbusha – pro shho movchat` kam`yani veletni. [Dovbush rocks - what stone giants are silent about]. Retrieved from <https://vidviday.ua/blog/skeli-dovbusha/> [in Ukrainian].
29. Smal`, I. V. (2013). Tury`zm lyuds`ky`x slabkostej [Tourism of human weaknesses]. *Geografiya ta tury`zm – Geography and Tourism*, 24, 69-76. [in Ukrainian].
30. TOP-10 misty`chny`x miscz` u L`vovi ta oblasti. [TOP-10 mystical places in Lviv and region]. – Retrieved from <https://www.032.ua/news/1845154/top-10-mistichnih-misc-u-lvovi-ta-oblasti> [in Ukrainian].
31. Fuchedzhy`, V. I. (2013). SWOT-analiz yak instrument anty`kry`zovogo finansovogo upravlinnya [SWOT-analysis as a tool for crisis financial management]. *Aktual`ni problemy` rozvy`tku ekonomiky` regionu – Actual problems of economic development of the region*, 9 (2), 156-161. [in Ukrainian].
32. Shy`l`nikova, Z. M., Dul`ceva, I. I., & Matushkina, M. V. (2018). Tendenciyi rozvy`tku «temnogo» tury`zmu ta jogo moty`vacijni aspekty` [Tendencies of development of «dark» tourism and its motivational aspects]. *Global`ni ta nacional`ni problemy` ekonomiky` – Global and national problems of economy*, 22, 586-591. [in Ukrainian].
33. Dark Tourism – the guide to dark travel destinations around the world. Retrieved from <https://dark-tourism.com/index.php>.
34. Seaton, A. V. (1996). Guided by the dark: from thanatopsis to thanatourism. *The International Journal of Heritage Studies*, 2, 234-244.
35. Stone, P. A. (2006). Dark tourism spectrum: Towards a typology of death and macabre related tourist sites, attractions and exhibitions. *Tourism*, 54 (2), 145-160.
36. Stone, P., Sharpley, R. (2008). Consuming dark tourism: A Thanatological Perspective. *Annals of Tourism Research*, 574-595.
37. Foley, M., Lennon, J. (1996). JFK and dark tourism: A fascination with assassination. *International Journal of Heritage Studies*. Taylor & Francis, 2(4), 198-211.

Можливості розвитку темного туризму в Україні

Марія Луцик¹

к. геогр. н., доцент кафедри туризму Інституту сталого розвитку ім. В. Чорновола
¹Національного університету «Львівська політехніка»,
вул. Карпінського 2/4, м. Львів, 78021, Україна,

Ольга Мамчур²

к. геогр. н., доцент кафедри економічної і соціальної географії географічного факультету
²Львівського національного університету імені Івана Франка,
вул. П. Дорошенка, 41, м. Львів, 79000, Україна

Як відомо, сьогодні туризм відіграє важливу роль у світовій економіці та є основним джерелом доходу в деяких країнах. З кожним роком туристична діяльність видозмінюється від традиційних видів до нових різновидів туризму. Зауважимо, що серед таких напрямків варто відзначити темний туризм, який хоч і вважається новим різновидом туризму, але уже відіграє важливу роль в сучасній туристичній індустрії. Вважаємо, що даний вид туризму має всі можливості та перспективи для подальшого розвитку і в Україні. Ефект від популяризації темних турів може бути не лише комерційно вигідним, а й світоглядно корисним, оскільки дозволяє переосмислити історичні трагедії, помилки минулого та масштаби техногенних катастроф. Оскільки, проблематика «темного» туризму є недостатньо опрацьована в наукових джерелах, проте уже викликає зацікавленість в науці та суспільстві, вважаємо наукові спроби дослідження «темного» туризму в Україні актуальними і своєчасними. У статті описано підходи до трактування поняття «темний туризм» у науковій літературі, наведені основні особливості, що визначають зміст «темного» туризму, проведено його класифікацію з характеристикою тематичних різновидів: містичного туризму, некропольного туризму, танатотуризму та туризму катастроф. Визначено ключові причини інтересу туристів щодо темного туризму та здійснено характеристику мотивації потенційного «темного» туриста. Проаналізовано передумови розвитку темного туризму в Україні. Досліджено ресурсну базу даного виду туризму. Систематизовано і впорядковано за географічним і тематичним критеріями «темні» об'єкти та локації в Україні. Виокремлено найцікавіші об'єкти темного туризму регіонів України та подано їх коротку характеристику. Здійснено аналітичний огляд можливостей і загроз розвитку темного туризму в Україні за допомогою SWOT-аналізу, обґрунтовано проблеми розвитку даного виду туризму та наведено можливі шляхи їх рішення, запропоновано заходи для популяризації та комерціалізації темного туризму в Україні.

Ключові слова: туризм, темний туризм, містичний туризм, туризм катастроф, танатотуризм, некропольний туризм, туристичні потоки, туристичні об'єкти, SWOT-аналіз.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 15 серпня 2021 р.
Прийнята 21 лютого 2021 р.

Інформаційно-синергетична складова суспільно-географічних досліджень у науковій спадщині Костянтина Немця

Людмила Немець¹,

д. геогр. н., професор, завідувач кафедри соціально-економічної географії і регіоназнавства,
¹Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, майд. Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна,
e-mail: ludmila.nemets@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0001-9943-384X>;

Катерина Кравченко¹,

к. геогр. н., доцент, кафедра соціально-економічної географії і регіоназнавства,
e-mail: kateryna.kravchenko@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4654-3185>;

Катерина Сегіда¹,

д. геогр. н., професор, кафедра соціально-економічної географії і регіоназнавства,
e-mail: kateryna.sehida@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1122-8460>;

Євгенія Телебенева¹,

к. геогр. н., доцент, кафедра соціально-економічної географії і регіоназнавства,
e-mail: telebenevaev@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-7013-8836>;

Людмила Ключко¹,

к. геогр. н., доцент, кафедра соціально-економічної географії і регіоназнавства,
e-mail: ludmila.klychko@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0001-6937-3364>

У статті представлено аналіз інформаційно-синергетичної складової суспільно-географічних досліджень у науковій спадщині Заслуженого професора Каразінського університету Костянтина Немця. Розкрито життєвий шлях Костянтина Немця, формування його наукового погляду на основі глибокого розуміння процесів взаємодії суспільства та природи; його думки, погляди та ідеї. Визначено роль синергетичної парадигми, як основу сучасної науки та наукових досліджень. Обґрунтовано впровадження синергетичної концепції у дослідженнях соціогеосистем, визначення ролі інформаційного ресурсу та особливостей інформаційного обміну. Розкриті основні протиріччя між соціумом та природою, розкриті основні принципи взаємодії суспільства і природних систем в мультисистемі природокористування, представлені ключові положення соціоактогенезу. Висвітлені ідеї становлення концепції соціогеосистем та соціогеопроектів, розкриті особливості втілення ідей в освітньому процесі Каразінського університету. Представлено аналіз наукової спадщини, яка реалізована у наукових дослідженнях учнів та послідовників Костянтина Немця. Проаналізовано останні дослідження та публікації, а саме теоретико-методичні розробки, дослідницький інструментарій, який було запроваджено при виконанні під керівництвом Костянтина Немця дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора та кандидата географічних наук, а також при виконанні науково-дослідних робіт, проєктів та грантів, потужних наукових публікацій. У статті зазначено величезний його вклад в розвиток наукових досліджень, підтримку молоді та захисти дисертацій; представлено результати аналізу дисертаційних робіт, які були захищені під керівництвом Костянтина Немця та особливості впровадження в цих роботах суспільно-географічного підходу, а також використання потужного математичного апарату та методів моделювання.

Ключові слова: синергетична парадигма, інформаційний підхід, система, соціогеосистема, геоінформація, суспільна географія, суспільно-географічний підхід, соціогеопроект, суспільство та природа, природокористування, суспільно-географічні дослідження.

Як цитувати: Немець Людмила. Інформаційно-синергетична складова суспільно-географічних досліджень у науковій спадщині Костянтина Немця / Людмила Немець, Катерина Кравченко, Катерина Сегіда та ін. // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 57. – С. 153-172. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-12>

In cites: Niemets Liudmyla, Kravchenko Kateryna, Sehida Kateryna, Telegenieva Ievgeniia, Kliuchko Liudmyla (2022). Informational and synergetic component of human-geographical research in the scientific heritage of Kostiantyn Niemets. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (57), 153-172. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-12> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. Сьогодні синергетична парадигма стає однією з найважливіших основ сучасної науки, широко запроваджена в усі галузі наукових досліджень. Синергетична парадигма зародилась на стику багатьох фундаментальних наукових напрямів у другій половині ХХ ст., основним її методологічним положенням є принципово інше та нетрадиційне розуміння розвитку у навколишній дійсності явищ, процесів, систем. Адже на відміну від класичного тлумачення розвитку як лінійного процесу, синергети-

ка трактує його як нелінійний процес, який відбувається в результаті взаємодії великої кількості факторів різної природи. Відповідно, сам процес розвитку набуває стохастичного характеру, тобто стає непередбачуваним і часто здатний привести систему до фазового переходу із стрибкоподібними змінами структури, властивостей та функцій. Якщо у природничих науках вона була прийнята одразу, адже сформована у другій половині ХХ ст. на експериментальному матеріалі фізики та хімії, то в суспільних науках і досі

триває дискусія щодо коректності і правомочності її застосування у дослідженнях соціуму і суспільства. Суспільна географія у цьому відношенні займає провідне місце, бо в основному об'єкті її дослідження – соціогеосистемі – поєднуються природні і соціальні підсистеми, тому суспільно-географічне дослідження включає всі аспекти синергетичного підходу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Сучасна наукова картина світу та нові виклики, пов'язані з глобальними природними змінами та антропогенним впливом суспільства, вимагають використання нових, більш складних, але всеохоплюючих концепцій, які б могли пояснити природу фізичних та суспільних процесів, їх взаємозв'язок і взаємозалежність. Такими надважливими концепціями є широке коло різноманітних теорій інформації, становлення синергетики тощо. Основоположниками синергетики вважаються Г. Гакен [1], І. Пригожин [4, 6, 7], Г. Ніколіс [4, 7], І. Стренджерс [6]. Саме синергетика є найбільш загальною на даний момент теорією самоорганізації, що вивчає закономірності явищ у всіх типах матеріальних систем. На відміну від класичної науки, яка розглядала закриті системи як абсолютний тип впорядкованості світу, синергетика в якості предмета свого вивчення вибирає відкриті системи. Роль синергетики полягає у виокремленні інформації як головного чинника розвитку відкритих систем, рушійної сили прогресу та еволюції. Застосування синергетичної концепції у суспільно-географічних дослідженнях передусім дозволяє встановити принципово нові закономірності розвитку соціогеосистем, виявити особливості взаємозв'язків та розкрити загальні закономірності їх еволюції. У своїх дослідженнях [17-20, 22-23, 30-31, 33, 38] ми вже неодноразово розглядали проблему розвитку суспільної географії та необхідності розкриття сучасних та актуальних можливостей наукової методології. Розвиток соціогеосистем можна розглядати з точки зору синергетики як процес самоорганізації та саморозвитку, що відкриває нові методологічні засади його дослідження.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття. Застосування синергетичної концепції у дослідженні соціогеосистем, визначення ролі інформаційного ресурсу та особливостей інформаційного обміну є важливим, прогресивним кроком у розвитку суспільної географії. Костянтин Аркадійович Немець одним з перших почав впроваджувати ці концепції, постулати та теорії у суспільній географії, на їхній основі запропонував методологічні розробки, які дозволили піднести на якісно новий рівень сучасні суспільно-географічні дослідження, підкреслити міждисциплінарність да-

ного наукового напрямку. Зокрема, нові методи просторового аналізу суспільно-географічного процесу: дослідження просторової взаємодії суспільно-географічних об'єктів (ІФВ-моделювання), дослідження соціогеосистем у нормованому багатовимірному просторі (моделювання траєкторії розвитку суспільно-географічних об'єктів та багатовимірна класифікація і діагностика системного розвитку). Запропоновані Костянтином Аркадійовичем Немцем теоретико-методичні розробки, дослідницький інструментарій використано при виконанні під його керівництвом дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора та кандидата географічних наук, доктора філософії, при підготовці науково-дослідних розробок, проектів та грантів, фахових наукових публікацій. Наукова спадщина Костянтина Аркадійовича Немця реалізована у наукових дослідженнях його учнів та послідовників.

Метою роботи є висвітлення інформаційно-синергетичної складової суспільно-географічних досліджень через аналіз наукової спадщини Заслуженого професора Каразінського університету Костянтина Немця. Досягнення поставленої мети передбачається через розкриття постаті науковця Костянтина Немця, обґрунтування суспільно-географічного підходу на основі інформаційно-синергетичної парадигми, висвітлення становлення концепції соціогеосистем та соціогеопроектів, особливостей реалізації ідей в освітньому процесі, підготовці фахівців та науковців, висвітлення потенціалу суспільної географії та інформаційно-синергетичної складової суспільно-географічних досліджень у відповідності до викликів сьогодення.

Виклад основного матеріалу.

Постать науковця Костянтина Аркадійовича Немця. Костянтин Аркадійович Немець народився 16 січня 1948 року в с. Городниця Житомирської області, навчався на кафедрі гідрогеології Харківського державного університету. Як студент, а потім викладач відвідав різні куточки Європи, де працювали геологи та гідрогеологи. Костянтин Немець все своє життя присвятив служінню Наукам про Землю (гідрогеології), а потім – і про людину та суспільство (суспільній географії). Кандидатська дисертація, яку він успішно захистив у 1979 році після закінчення аспірантури, була присвячена математико-кібернетичному моделюванню гідрогеологічних процесів. Важливими для практичної підготовки були відрядження за науковою тематикою кафедри гідрогеології в райони Крайньої Півночі, де в ті часи активно почали розробляти газові та нафтові родовища. Його заворожувала важка праця на нафто- і газовидобувних родовищах та беззахисність природних систем перед наступом людини з її потуж-

ними засобами впливу на природу, бідність корінного населення цього краю, яке витіснялося з їхніх історичних місць життя і праці.

Фундаментальні знання Костянтина Аркадійовича Немця у різних наукових напрямках сприяли його всеохоплюючому розумінню змісту тих процесів, які відбуваються у соціогеосистемах, обумовили розробку ефективних інструментів управління соціогеосистемами різних ієрархічних рівнів за допомогою інформаційних засобів [27, 29]. Важливу роль у роботах Костянтина Аркадійовича було приділено протиріччю: суспільство – вершина еволюції природи та суб'єкт нищівного антропогенного впливу, можливим компромісам та сценаріям розвитку. Адже антропоцентризм заважає людині бачити залежність від природи і бути ефективним елементом управління процесом природокористування для збереження природного середовища (біосфери) та і власного самозбереження.

Управляючу роль людини Костянтин Аркадійович Немець розглядав та пояснював саме через призму інформаційно-синергетичних, суспільно-географічних процесів. Важливою умовою співіснування суспільства і природи він вбачав паритетність «антропоцентризму» та «природоцентризму». Запропоновані Костянтином Аркадійовичем управляючі механізми є оптимальними, адже вони зорієнтовані на єдність природних систем та збереження існуючих зв'язків, а головним «управлінцем» є людський інтелект. Людська діяльність та антропогенний вплив постійно збурюють природну систему, провокуючи формування точок біфуркації (вибору траєкторії розвитку), які викликали інтерес у дослідника, адже це найбільш реальна можливість для зміни стану системи або перспектив її розвитку за певних умов та реалізацією відповідного впливу. Саме тому таким важливим є розуміння принципів синергізму та особливостей синергетичних зв'язків, емергентності та інших системних властивостей, адже це дозволяє розробити ефективні й діючі інструменти управління. Враховуючи атрактор (мету розвитку соціогеосистеми) можливо здійснити моніторинг її розвитку та запропонувати найбільш ефективні сценарії, які ведуть до еволюції, а не до деградації соціогеосистеми. Костянтин Аркадійович зауважував, що досить часто атрактор розвитку природної системи не співпадає з цілями розвитку суспільства, через що вплив людства виявляється як деструктивний та руйнуючий. Тому, з часом існування людства, через неконтрольований руйнівний вплив на природну систему, може бути поставлене під питання. Прогнозування подальшого розвитку світової соціогеосистеми є надскладною задачею, адже результат залежить від того, на скільки сильним є викли-

кане людською діяльністю збурення в природній системі, на які елементи та підсистеми найбільш була спрямована регресивна антропогенна діяльність.

У площині суспільній географії соціогеосистеми та їх складові не підкорюються та не пояснюються лише законами суспільства, або лише законами природи. Адже їх складність та відкритість до змін обумовлює високу ймовірність випадкових змін та значну нерівноважність, що важко оцінити для здійснення управлінського впливу. Саме над розв'язанням цієї надскладної наукової задачі і працював Костянтин Аркадійович Немець. На погляд вченого, саме суспільна географія як міждисциплінарна наука на основі новітніх досягнень, методів, законів природничих та суспільних наук зможе допомогти соціуму вирішувати складні питання взаємодії суспільства та природи. З'явилося наукове бачення, яке втілюється у розробки нових сучасних методів суспільної географії, розробці понятійного апарату науки. Формувалося зовсім інше ніж зазвичай для економічної та соціальної географії, бачення інформаційно-синергетичного підходу, розширення об'єктної області науки за рахунок обґрунтування суспільно-географічного підходу, інформаційного обігу в соціогеосистемах та багато іншого.

Обґрунтування суспільно-географічного підходу на основі інформаційно-синергетичної парадигми. Необхідність комплексного врахування особливостей соціогеосистем вимагає застосування низки методологічних підходів, які взаємодоповнюють один одного – географічного, системного, синергетичного, інформаційного, історичного, ключові елементи яких і є основою суспільно-географічного підходу [33].

Системний підхід передбачає розгляд об'єкта соціально-географічного дослідження як великої, складної, відкритої, багаторівневої соціогеосистеми, яка функціонує у певному середовищі, а також взаємодіє з ним та іншими системами. Застосування системного підходу передбачає врахування усіх властивостей, особливостей та характеристик системи.

Суспільно-географічні дослідження включають всі аспекти *синергетичного підходу*, бо в основному об'єкті її дослідження – соціогеосистемі – поєднуються природні і соціальні підсистеми, для яких характерна самоорганізація та нерівноважність. Дійсно, сприймаючи синергетику як основу нового бачення світу, можна дійти висновку про універсальність її основних принципів. Взагалі розвиток будь-якої великої, складної і відкритої системи залежить від її нерівноважності. Так, коли система знаходиться у стані рівноваги, градієнти і потоки речовини та енергії в ній і між нею та зовнішнім середовищем відсутні, а загаль-

на ентропія досягає максимального значення. При виведенні системи зі стану рівноваги виникають градієнти речовини та енергії між нею і зовнішнім середовищем, внаслідок чого починається речовинно-енергетичний та інформаційний обмін в середині системи і з середовищем. У слабо нерівноважному стані ці потоки мають лінійний характер, а флуктуації параметрів системи і зовнішнього середовища пригнічуються механізмами зворотнього негативного зв'язку, внаслідок чого система зберігає певну сталість структури та функціонування з мінімумом виробництва ентропії. У стані нерівноваги потоки набувають нелінійного характеру (описуються нелінійними рівняннями) і починають помітно діяти механізми зворотнього позитивного зв'язку [25]. Нарешті у сильно нерівноважному стані (далеко від стану рівноваги) дія механізмів зворотнього позитивного зв'язку переважає, внаслідок чого флуктуації параметрів не пригнічуються, а накопичуються і при досягненні ними критичних значень у точках біфуркації система переживає фазовий перехід, тобто, стрибкоподібно переходить у новий стан, який характеризується новою структурою, властивостями, поведінкою, функціями тощо. Часто (але не завжди) в точці біфуркації існує множина можливих варіантів подальшого розвитку системи (нових станів), з яких випадково «вибирається» один найбільш ймовірний на даний момент варіант розвитку. Далі система продовжує розвиток за «обраним» варіантом до наступної точки біфуркації. Таким чином, траєкторія розвитку нерівноважних систем є чергуванням точок біфуркації, в яких реалізується революційний варіант розвитку, а між ними – більш спокійний – еволюційний. При цьому система може перейти в область притягання іншого атрактору, що призводить до кардинальної зміни мети і цілей розвитку. Для соціогеосистем такий сценарій розвитку є недопустимим, бо новий атрактор може передбачати її руйнування або небажану трансформацію. Внаслідок стохастичного характеру поведінки нерівноважної системи у точках біфуркації прогнозування її розвитку в цілому стає проблематичним [25, 29], адже при сильно нерівноважних станах системи з'являється ще один новий інваріант розвитку – формуються дисипативні структури, які в результаті самоорганізації і саморозвитку таких систем забезпечують їх стійкість відносно збурень зовнішнього середовища.

Таким чином, *синергетичний підхід* передбачає розгляд еволюційного потенціалу системи, який зумовлений внутрішньою взаємодією у системі, внутрішніми ресурсами і механізмами. Синергетичний підхід передбачає врахування якнайбільшої кількості діючих факторів і процесів

для того, щоб максимально широко охопити функціональне середовище, в якому відбуваються досліджувані процеси і явища [27]. Оскільки соціогеосистеми є неоднорідними та складними, містять різні за природою елементи та підсистеми, відповідно повнота їхнього дослідження досягається за рахунок вивчення внутрішніх взаємозв'язків із позиції міждисциплінарності, що відповідає вимогам синергетичного підходу. Це дає можливість отримати цілісну і неспотворену картину взаємодії елементів і підсистем соціогеосистеми і завдяки цьому достовірно відтворити процес її розвитку у загальних рисах, або акцентувати увагу на найбільш важливих деталях. Інша принципова особливість синергетичного підходу полягає у розумінні розвитку системи як ланцюга послідовних фазових переходів у точках біфуркації, в яких умови змінюються так, що під час адаптації системи відбувається перебудова її структури та функцій, зміна траєкторії розвитку [27, 39]. Таким чином, у суспільно-географічних дослідженнях синергетичний підхід забезпечує найбільш повне і вичерпне вивчення складних і неоднозначних взаємозв'язків між різними підсистемами соціогеосистеми.

Інформаційний підхід передбачає Дослідження особливостей інформаційного обміну в соціогеосистемі [27]. Необхідність застосування інформаційного підходу зумовлена змістом інформації як універсальної субстанції, що циркулює в усіх каналах зв'язку соціогеосистеми і забезпечує взаємну адаптацію підсистем та елементів, розвиток і функціонування соціогеосистеми як цілісного утворення. Тож, на функціонування і розвиток соціогеосистем визначальним чином впливають саме зміст, якість та інтенсивність інформаційного обміну. Саме ця універсальна властивість інформації створює широкі можливості для з'ясування і опису найбільш загальних законів розвитку соціогеосистем [27].

У цілому, доповнюючи один одного, системний, синергетичний та інформаційний підходи обумовлюють певний синергізм суспільно-географічного дослідження. Так, системний підхід передбачає виділення системи і її компонентів, дослідження її зовнішньої і внутрішньої адаптації, синергетичний – дослідження внутрішньої взаємодії і формування еволюційного потенціалу, інформаційний – вивчення процесів інформаційного обміну в системі і між системами. Їх загальний синергетичний ефект проявляється в отриманні нового знання про закономірності формування, існування, функціонування, розвиток і взаємодію соціогеосистем різного ієрархічного рівня, що і складає основу суспільно-географічного підходу [33].

Перш за все зазначимо, що всі без виключен-

ня соціогеосистеми різних ієрархічних рівнів мають один потужний універсальний параметр порядку – цілеспрямований управляючий вплив однієї з підсистем – соціуму. Однак, це ніяким чином не суперечить принципам синергетики, бо в нерівноважних системах іншої природи теж формуються параметри порядку, відносно яких немає застережень чи обмежень. Різниця полягає тільки в тому, що аттрактор (мета, ціль розвитку) систем несоціальної природи задається системою вищого ієрархічного рівня, а в соціогеосистемах – соціумом відповідно до його соціально-політичних орієнтирів. Розвиток соціогеосистем (суспільно-географічний процес) ми розглядаємо як їхній рух у фазовому просторі, що дає можливість застосувати для його дослідження науковий апарат аналітичної геометрії [25, 29]. Отже, суспільна географія має ефективний інструмент для

опису та аналізу траєкторії суспільного розвитку, що у сукупності з іншими показниками системного розвитку (наприклад, соціальною ентропією, сумою індексів, коефіцієнтом прогресу тощо) дозволяє ідентифікувати точки біфуркації і впливати на траєкторію розвитку (чого немає у системах несоціальної природи).

Становлення концепції соціогеосистем та соціогеопроектів. Концептуально узагальнений об'єкт суспільної географії можна представити у вигляді двох компонентів – як систему (соціогеосистему), у якій відбувається соціально-географічний процес [40]. Головне протиріччя біосфери – між біологічною та соціальною суттю людини – під впливом розумної людської діяльності, має стати не антагоністичним, а діалектичним – стимулюючим прогрес глобальної соціогеосистеми (рис. 1).



Рис. 1. Протиріччя між соціумом та природою [28] /
Fig. 1. Contradiction between society and nature [28]

Можливо, саме про таку взаємодію між соціальними і природними системами мріяв В. Вернадський, розробляючи концепцію ноосфери, основною ідеєю якої розумне управління (гармонізація, оптимізація) взаємодією суспільства і природи. Реалізація цієї ідеї стає можливою в процесі соціального управління всіма процесами в Універсумі з позицій природоцентризму. До 80-х років XX ст. глобальна соціогеосистема залишалася розімкнутою. Кінець XX ст. став важливою віхою в її розвитку, тому що почалися процеси глобалізації, що відображають замикання глобальної соціогеосистеми [32]. У сучасній філософії та науці існують дві загальновизнані теорії самоорганізації та саморозвитку буття: діалектична та синергетична. На відміну від діалектики, що сформувалася у вигляді філософської теорії дуже давно, синергетика виникла в XX ст. на стику природничих наук (фізики, хімії, біології тощо) і надалі набула світоглядного статусу. Основоположниками синергетики вважаються Г. Хакен [1] та І. Приго-жин

[4, 6, 7]. Термін «синергетика» походить від грецького *sinergia* – «співпраця», «сприяння». Синергетика є найбільш загальною на даний момент теорією самоорганізації і вивчає закономірності цих явищ у всіх типах матеріальних систем. Вихідним принципом синергетики є відмінність процесів у відкритих і закритих системах (таблиця 1).

На відміну від класичної науки, яка розглядала закриті системи як абсолютний тип впорядкованості світу, синергетика в якості предмета свого вивчення вибирає відкриті системи. Згідно з синергетичною теорією, відкриті системи є універсальними, а ті процеси, що в них відбуваються, сприяють самоорганізації світу. Нестійкість розглядається як головна властивість відкритих систем. Виходячи із цих постулатів, синергетика пропонує наступне пояснення механізму виникнення порядку з хаосу. Доки система знаходиться в стані термодинамічної рівноваги, всі її елементи поводяться незалежно один від одного і не здатні на створення впорядкованих структур.

Принципові відмінності процесів у відкритих та закритих системах [28] /
Fundamental differences of processes in open and closed systems [28]

Процес	Відкриті системи	Закриті системи
Функціональні відмінності	Здатні до зменшення ентропії за рахунок її перенесення в зовнішнє середовище	Внаслідок відсутності можливості зменшення ентропії її рівень може лише зростати
Спрямування вектору протікання процесів	За певних умов з хаосу довільно виникають нові впорядковані структури	Від впорядкованості через рівноважний стан до хаосу
Основні характеристики процесів	Нерівноважність та нелінійність, нестійкість	Рівноважність та лінійність
Можливості саморозвитку	Саморозвиток	Самозбереження

У певний момент при порушенні рівноваги поведінка відкритої системи стає неоднозначною. Та точка, в якій виявляється неоднозначність змін, називається точкою біфуркації (розгалуження), у ній змінюється роль зовнішніх для системи впливів: мізерно малий вплив призводить до значних і навіть непередбачуваних наслідків. У точці біфуркації система може перейти в область притягання іншого атрактору, що призводить до кардинальної зміни мети і цілей розвитку [18, 22].

Переносячи викладене вище на предметно-об’єктну область суспільної географії, необхідно розглянути методологічні можливості застосування основних положень і принципів синергетики у дослідженні соціогеосистем [23].

Структура соціогеопроецусу досить складна, бо він охоплює всі аспекти діяльності соціуму. В

узагальненому вигляді можна визначити такі його складові (рис. 3). Рівень розвитку науки в суспільстві стає найважливішим критерієм оцінки прогресу останнього. Весь хід розвитку глобальної соціогеосистеми свідчить про те, що роль науки та інформації в суспільстві постійно підвищується зростаючими темпами. Значна кількість дослідників називають цей феномен інформаційною революцією, що додатково аргументується стрімким розвитком засобів комунікації [20]. Саме в цьому полягає сутність формування інформаційного суспільства. Розвиток наукового знання відбувається під впливом зовнішніх причин, наприклад, прояви потреб суспільства і формування соціального замовлення, а також внаслідок наявності різноманітної системи внутрішніх протиріч науки.

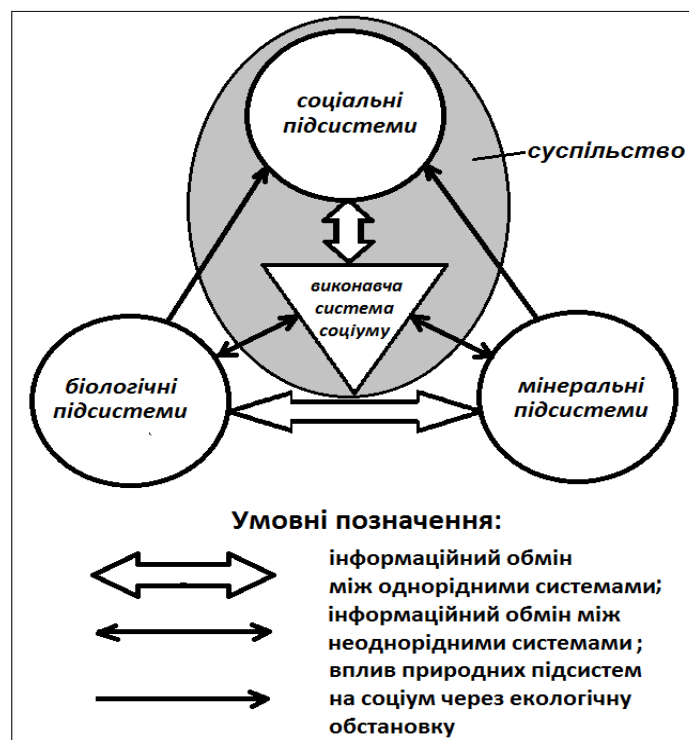


Рис. 2. Принципова блок-схема соціогеосистеми (за [32]) /
Fig. 2. Fundamental block diagram of the sociogeosystem [32]

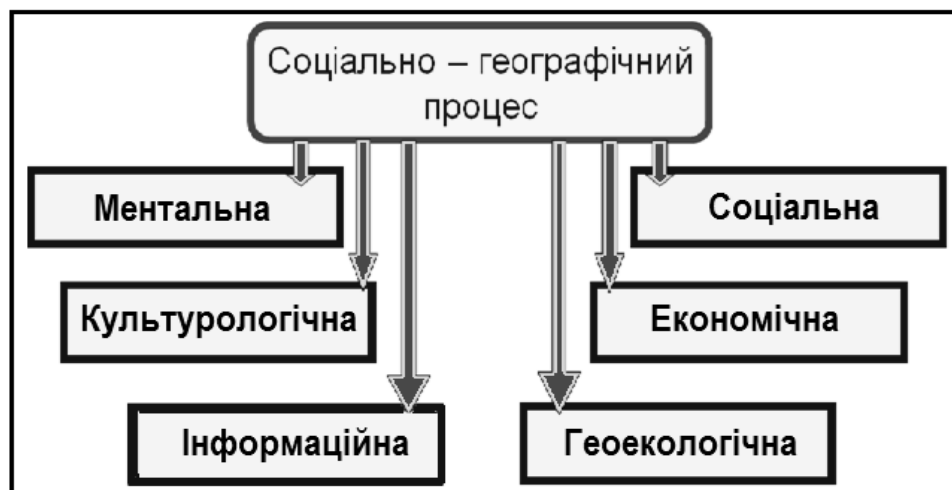


Рис. 3. Структура соціогеопроецу (за [32]) /
Fig. 3. The structure of the sociogeoprocess [32]

Принципово в соціогеосистемах можливі три види інформаційного обміну [27, 29, 32]:

1. Адаптивний – системи, що взаємодіють, змінюють свою структуру, функції та властивості під впливом обміну речовиною, енергією та інформацією таким чином, щоб досягти певної рівноваги між собою. Такий вид інформаційного обміну характерний для природних систем і, частково, для соціальних систем. Механізми і напрями адаптивного інформаційного обміну повністю визначаються загальними законами розвитку матеріального світу (збереження речовини, енергії, імпульсу руху тощо).

2. Управляючий – здійснюються тільки при наявності цілепокладання і можливий за участі активних (управляючих) систем, якими є соціальні системи. Відмінність від адаптивного інформаційного обміну полягає у тому, що напрям, інтенсивність, а іноді і механізми інформаційного обміну визначається суб'єктом управління і тому в багатьох випадках не збігаються з основними законами розвитку природних систем, що створює протиріччя в соціогеосистемах. Отже, управляючий інформаційний обмін є найважливішим у природокористуванні, бо саме він цілеспрямовано визначає траєкторії розвитку природних систем, керованих суспільством, а через це – і перспективи розвитку самого суспільства.

3. Когнітивний – передбачає обов'язкове використання людського інтелекту і тому можливий тільки в соціальних підсистемах соціогеосистем. Його основна суть полягає у перетворенні структурної інформації природних і соціальних систем в соціальну (наукову) інформацію або інформаційний ресурс соціуму, який стає доступним і зрозумілим всім членам соціуму і далі використовується для задоволення соціальних потреб. Розповсюдження, територіальний розподіл, збереження і накопичення соціальної інформації

досліджує та реалізує інформатика. В залежності від способу вилучення вихідної структурної інформації когнітивний інформаційний обмін поділяється на пасивний (спостереження) та активний (експеримент) підвиди. Слід зазначити, що з часом інтенсивність, ефективність та важливість для соціального прогресу когнітивного інформаційного обміну зростають.

У вказаних видах інформаційного обміну основною діючою субстанцією є різні види інформації, які за різними критеріями можна класифікувати по-різному. Наприклад, за належністю до різних геосфер виділяють інформацію літосферну, гідросферну, атмосферну, техносферну, соціальну. Кожний з цих видів інформації класифікується окремо. Враховуючи, що соціум є єдиною підсистемою у соціогеосистемі, здатною цілеспрямовано змінювати властивості та якості всіх складових соціогеосистем, що становить для самого соціуму певний ризик, розглянемо детально процес управління в соціогеосистемі. Можна довести, що задоволення кожної соціальної потреби через ланцюг проміжних дій, врешті-решт, зводиться до природокористування і реалізації управляючого інформаційного обміну. При цьому незалежно від змісту природокористування відбувається повний цикл перетворення інформації за схемою: структурна – моніторингова – оперативна – управляюча – структурна [27].

Надважливою є управлінська складова, основними елементами якої є канали прямого і зворотного зв'язку для передачі інформації, зокрема управляючої і моніторингової. Функціонально процес управління системою визначається двома взаємопов'язаними векторами: вхідним, який містить управляючу інформацію, і вихідним, що відображає поточний стан керованої системи у вигляді моніторингової інформації [31]. Вхідний вектор в ідеальному випадку відображає таку важ-

ливу властивість системи, як керованість, тобто, чутливість її стану відповідно до впливу управляючих сигналів, які складають вхідний вектор системи. Вихідний вектор відображає спостережність системи, як максимально можливий вплив параметрів системи на елементи системи моніторингу. Оптимізація системи управління є пошуком «найкращого» співвідношення цих векторів з урахуванням можливостей відновлення керованої системи [27]. Розглядаючи взаємодію між суспільством і природним середовищем як процес управління, слід прийняти наступні принципові положення, що проілюстровані на рис. 4. З точки зору теорії управління, функціонування соціогеосистеми будь-якого рівня ієрархії є реалізацією системи управління з наступними елементами. Суб'єкт управління – соціум, бо він є ініціатором

природокористування і основним споживачем його результатів. Інакше, в природокористуванні соціум є активним учасником, який визначає у межах можливостей природного середовища практично всі параметри взаємодії. В інформаційному обміні соціум в різних ситуаціях є передавачем, приймачем і каналом передачі інформації. Об'єкт управління – природне середовище, яке є джерелом задоволення соціальних потреб. У процесах природокористування природні системи є керованими (пасивними) учасниками, однак при критичному збуренні вони, змінюючи свої властивості і стан, здатні активно протистояти впливу соціуму [19, 27]. В інформаційному обміні природні системи в різних ситуаціях є передавачами, приймачами і каналами передачі інформації.

Господарчі структури суспільства є канала-



Рис. 4. Схема взаємодії суспільства і природних систем в мультисистемі природокористування [28] / Fig. 4. Scheme of society and natural systems interaction in a multi-system of nature management [28]

ми прямого і зворотного зв'язку між суб'єктом і об'єктом управління. Надалі вони розглядаються узагальнено як виконавча система соціуму, яка є інструментом його управління і впливу на природне середовище. Слід зазначити, що ефективність управління визначається керованістю і спостережністю об'єктів управління, що передбачає досконалість каналів прямого і зворотного зв'язку, тому стан і властивості виконавської системи соціуму у багатьох випадках визначають рівень задоволення соціальної потреби і зміни природних систем. У процесі інформаційного обміну господарські системи в різних ситуаціях є передавачами, приймачами і каналами передачі інформа-

ції. Кожен з розглянутих вище елементів системи управління має властивість генерувати, передавати, сприймати, накопичувати і запам'ятовувати інформацію, що циркулює каналами прямого і зворотного зв'язку [27, 29]. Кожен з елементів системи управління має здатність адаптуватися відповідно до отримуваної інформації.

Інформаційна взаємодія між елементами системи управління створює складні за змістом, насиченістю, структурою і розгалуженістю потоки інформації різного типу або інформаційні поля, які взаємодіють з інформаційними полями інших елементів (підсистем) соціогеосистем, що не залучені безпосередньо до даного процесу приро-

докористування і зазнають відповідних змін, що сприймаються соціумом, як побічні результати природокористування. У зв'язку з цим складна динамічна система, яка складається з елементів управління, природних та соціальних систем, залучених до цього процесу побічно через речовинно-енергетично-інформаційний обмін визначається як мультисистема природокористування. Але вибір і реалізація правильних управлінських рішень можливі тільки при наявності необхідного інформаційного ресурсу, який утворюється в процесі пасивного чи активного когнітивного інформаційного обміну. Як уже зазначалося вище, соціум в соціогеосистемі є найбільш активною в сенсі управління підсистемою. Як відомо, управління системою – це цілеспрямоване переведення та утримання її у певному стані шляхом управляючих впливів. При цьому процес управління має важливий змістовний аспект, визначений як досягнення поставленої цілі. Таким чином, у процесі управління обов'язково присутнє цілеспрямовання, а будь-який вплив на об'єкт у системі управління повинен мати позитивний ефект стосовно досягнення мети [32].

У соціогеосистемах одночасно діють детерміновані і випадкові взаємозв'язки між елементами та підсистемами. Детерміновані зв'язки створюють діяльнісний жорсткий каркас структури соціогеосистеми, а випадкові – її можливі флуктуації. Наявність випадкових зв'язків визначає адаптивні можливості соціогеосистем. Враховуючи, що інформація тісно пов'язана з метою діяльності соціального суб'єкта, розглянемо процес соціоактогенезу в загальному вигляді. Вихідною позицією (мотивом) соціоактогенезу служить соціальна потреба, а його кінцевою метою – задоволення цієї потреби. Отже, з моменту усвідомлення потреби, як об'єктивної необхідності у взаємодії з природним або соціальним світом, суб'єкт починає аналізувати інформацію, що тим чи іншим чином стосується об'єкту майбутньої дії. Перш за все, починають працювати механізми індивідуальної та соціальної пам'яті.

Під індивідуальною пам'яттю будемо розуміти прояв психічної діяльності – здатність індивіда до відтворення минулого досвіду, тривалого зберігання інформації про події зовнішнього світу і власних реакцій на них. Соціальна пам'ять представляє узагальнену пам'ять всіх індивідів даного соціуму. Таким чином, соціальна пам'ять виступає у вигляді деякого узагальненого до рівня знання досвіду попередніх та існуючих поколінь. Кожен індивід в процесі соціалізації опановує частину цих знань в системі освіти і далі вдосконалюється в процесі свого розвитку і ускладнення своєї діяльності [28, 32]

Відзначимо, що для формування засобів, ме-

тодів і умов реалізації соціоактогенезу, як складових соціального знання, необхідна різна інформація. Так, засоби і технології природокористування є універсальними і тому формуються переважно як загальне знання, як результат узагальнення інформації про велику кількість природних систем. Їх вдосконалення можливе за умови нарощування переважно загального знання. Умови досягнення результату відображають спеціальне знання, так як є результатом узагальнення емпіричної інформації про конкретну природну систему. Особлива роль умов досягнення результату і висока ціна помилки в процедурі вибору вимагають, щоб цей елемент знання мав необхідне інформаційне забезпечення, яке досягається необхідною детальною дослідження природної системи, тобто отриманням необхідного обсягу цінної інформації.

Удосконалення спеціального знання можливе безперервно відповідно до отримання та аналізу (засвоєння) моніторингової інформації. Відзначена особливість показує, що обсяг і «якість» спеціального знання залежить від суб'єкта природокористування, тому що саме він визначає програму і обсяг досліджень природної системи. На жаль, у сформованій практиці природокористування питання економічної ефективності часто виявляються більш переконливими, ніж вимоги екологічної безпеки. Як наслідок цього, обсяг емпіричної інформації виявляється недостатнім і умови досягнення результату з'ясовуються недостатньо повно, що в кінцевому підсумку призводить до непередбачених прямих і побічних наслідків соціоактогенезу. Це також переконує в необхідності докорінних змін у ставленні суспільства до природи, у принциповій перебудові менталітету соціуму і переходу на позиції природоцентризму.

Усвідомивши потребу, суб'єкт переходить до цілеспрямовання, тобто побудові системи цілей, реалізація яких призведе до задоволення цієї потреби. На цій стадії соціоактогенезу необхідною є інформація про навколишнє середовище для оцінки можливості суб'єкта досягти поставлених цілей. Використовуючи наявну наукову інформацію, тобто накопичене знання і досвід, суб'єкт порівнює свої можливості з властивостями природної системи, яка обрана в якості об'єкта природокористування. Далі, при побудові виконавчої системи визначаються засоби, методи і умови досягнення цілей. Для оптимального вибору елементів виконавчої системи, тобто вибору оптимального сценарію взаємодії з об'єктом природокористування, потрібна детальна інформація про нього. Якщо вихідної інформації недостатньо, або вона є недостовірною, суб'єкт ризикує вибрати навіть непрацездатний сценарій, в результаті чого процес соціоактогенезу виявиться марним. Побудова

виконавчої системи, як інструменту управління об'єктом соціоактогенеза, представляє важливий і відповідальний етап, результат якого безпосередньо залежить від кількості і якості вихідної інформації.

Отже, суб'єкт, який здатний використати із зовнішнього середовища більше достовірної інформації, має більше шансів знайти оптимальну траєкторію взаємодії з об'єктом соціоактогенезу. На основі цього Костянтин Немець розробив оригінальні методи суспільно-географічних досліджень, які протягом останніх десятиліть активно використовуються в науково-дослідних розробках [3, 5, 16, 17, 24, 26, 27, 30, 33].

Реалізація ідей в освітньому процесі, підготовці науковців. На цій же основі Костянтин Немець бачив напрями підготовки фахівців у галузі суспільної географії з відповідними компетентностями для глибокого розуміння проблем взаємодії людини і природи, здатних вирішувати реальні проблеми цієї взаємодії, обґрунтовувати заходи оптимізації територіальної організації населення, планування території, господарства, інфраструктури населених пунктів, враховуючи потреби, особливості розвитку складних соціогеосистем різного рівня організації [21].

Костянтин Аркадійович працював зі здобувачами всіх рівнів вищої освіти: бакалаврами, магістрами, аспірантами та докторантами. Надважливим аспектом тут є покрокове формування відповідних знань та фахових компетентностей. Із урахуванням провідного світового досвіду, сучасних наукових надбань та технологічних розробок, на основі переконливих обґрунтувань розробляв нові надважливі навчальні дисципліни для підготовки географів-суспільників. Це зокрема: «Науково-природничка картина світу», «Теорія і методологія суспільної географії», «Інформаційна географія і ГІС», «Статистичні методи і обробка геоінформації» (для бакалаврів) «Системний аналіз у туристсько-рекреаційній діяльності», «Просторовий та системний аналіз у суспільній географії» (для магістрів), «Методологія та сучасні технології суспільно-географічних досліджень» (для PhD студентів) [35].

«Науково-природничка картина світу» – комплексний світоглядний курс для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти першого року навчання, запропонований Костянтином Аркадійовичем з метою оптимізації знань природничого напрямку для географів-суспільників. Метою даного курсу є сприяння формуванню у студентів основних понять, категорій, теорій сучасного природознавства, фундаментального усвідомлення і розуміння механізмів явищ природи, освоєння і логічне осмислення фундаментальних законів природознавства і їх ролі у розвитку і

функціонуванні природних об'єктів. Крім цього, бакалавр географії засвоює основні засади взаємодії суспільства і природи, усвідомлює роль людини, соціуму, суспільства у розвитку Універсуму. Основні положення курсу є фундаментальними засадами для об'єднання розрізнених знань про природу і суспільство в цілісну природничо-наукову картину світу, в якій людина займає чільне місце як суб'єкт цілеспрямованого переходу біосфери Землі у стан ноосфери, для осмислення гео-екологічних аспектів науково-технічної і практичної діяльності людини як соціоприродного феномену у навколишньому природному середовищі.

«Статистичні методи і обробка геоінформації» – навчальний курс для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти третього року навчання, метою якого є необхідність сформулювати у студентів компетентності стосовно застосування статистичних методів, математичного моделювання та комп'ютерних технологій в суспільно-географічних дослідженнях, вивчити сучасну методологію використання математичних методів, моделей та комп'ютерних технологій при дослідженні соціально-географічних систем, надати студентам знання та поняття стосовно основних методів і підходів в математичній обробці суспільно-географічної інформації, сформулювати у студентів поняття про математичні методи та моделювання при вирішенні суспільно-географічних задач та компетентність використання комп'ютерних технологій та математичних моделей в суспільно-географічних дослідженнях. Курс забезпечує формування здатності використання інформаційних технологій та навичок застосування програмних засобів, здатність здійснювати збір, реєстрацію та аналіз даних про стан природних територіальних систем за допомогою відповідних методів і технологічних засобів у польових і лабораторних умовах, застосовувати уміння роботи зі статистичними даними, збору, узагальнення та обробки статистичної інформації, що відображає стан суспільних територіальних систем.

«Теорія і методологія суспільної географії» – навчальний курс для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти четвертого року навчання, запропонований з метою сприяння формуванню у майбутніх фахівців з суспільної географії основних понять, категорій, теорій географії, підготовки здобувачів до адекватного сприйняття нових актуальних проблем та напрямків подальшого прогресу системи географічних наук, формування їх бачення та розуміння сутності географічних процесів та явищ. Важливість вивчення навчальної дисципліни полягає у формуванні сучасних компетентностей в опануванні теоретичних основ, рівнів знання і методології географічної науки, формування знань про об'єкт і

предмет суспільної географії, вміння застосовувати методологічний інструментарій суспільної географії у конкретних дослідженнях і відповідних задачах.

«Інформаційна географія і ГІС» – навчальний курс для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти четвертого року навчання, покликаний формувати у студентів компетентності стосовно сутності і механізмів інформаційних процесів в соціогеосистемах, а також підходів та методів їх дослідження. Важливість даного курсу обумовлена необхідністю сформулювати у бакалаврів сучасні знання про типи інформаційного обміну і види інформації в соціогеосистемах, знання про механізми та сутність інформаційних процесів в соціогеосистемах, напрацювання вміння користуватися методами дослідження та аналізу інформаційних процесів в соціогеосистемах та сформувати компетентність стосовно використання інформаційних показників в суспільно-географічних дослідженнях. Важливим для студентів в рамках даного курсу є отримання базових знань суспільно-географічних наук, опанування теоріями і концепціями, законами і закономірностями інформаційного обміну, методами дослідження інформації тощо та уміння використовувати спеціальне програмне забезпечення для обробки статистичних даних і отримання нової інформації про природні та суспільні об'єкти і процеси.

«Системний аналіз в туристсько-рекреаційній діяльності» – навчальний курс для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти першого року навчання, покликаний сформувати у студентів компетентності із застосування системного аналізу, математичного моделювання та комп'ютерних технологій при дослідженні туристсько-рекреаційної діяльності, а саме – сформулювати у студентів сучасну методологію використання системного аналізу, моделей та комп'ютерних технологій у туристсько-рекреаційній діяльності, опанування знань та понять стосовно основних методів і підходів у системному аналізі суспільно-географічної інформації, зокрема, в туристсько-рекреаційній діяльності, формування поняття про системний аналіз та моделювання при вирішенні географічних задач та набуття компетентності із використання системного аналізу та математичних моделей при дослідженні туристсько-рекреаційної діяльності.

«Просторовий та системний аналіз в суспільній географії» – навчальний курс для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти першого року навчання, мета дисципліни – формування у студентів компетентності стосовно застосування просторового та системного аналізу, математичного моделювання та комп'ютерних

технологій в суспільно-географічних дослідженнях регіонального розвитку. Зокрема, серед завдань варто зазначити необхідність сформувати у студентів сучасну методологію використання просторового та системного аналізу, моделей та комп'ютерних технологій при дослідженні суспільно-географічних систем, знання та поняття стосовно основних методів і підходів у просторовому та системному аналізі суспільно-географічної інформації, поняття про просторовий та системний аналіз та моделювання при вирішенні суспільно-географічних задач регіонального розвитку, компетентність стосовно використання просторового та системного аналізу, математичних моделей в суспільно-географічних дослідженнях регіонального розвитку.

Курс *«Методологія та сучасні технології суспільно-географічних досліджень»* розроблено Костянтином Аркадійовичем для здобувачів вищої освіти рівня PhD (підготовки докторів філософії) для опанування методологічних основ наукового пізнання в суспільній географії, вивчення теорії взаємодії суспільства і природи як основи наукового аналізу, можливостей застосування сучасних технологій – просторового, системного, статистичного аналізу, математичного моделювання, математичних методів, комп'ютерних технологій тощо в суспільно-географічних дослідженнях. Вивчення даного курсу дозволяє здобувачам рівня PhD поглибити та вдосконалити знання щодо сучасних суспільно-географічних досліджень, опанувати знання та поняття стосовно основних методів і підходів в аналізі суспільно-географічної інформації, поглибити розуміння про сучасні методи суспільно-географічних досліджень та особливості просторового, системного та статистичного аналізу, математичного моделювання, математичних методів та комп'ютерних технологій при вирішенні конкретних наукових задач, що лежать в об'єктно-предметному полі дослідження суспільної географії, удосконалити та розширити знання, уміння та навички застосування географічного, системного, синергетичного, інформаційного та історичного наукових підходів у суспільно-географічних дослідженнях.

Костянтин Аркадійович звертав увагу на здатність географії інтегрувати знання інших наук в географічних поняттях і закономірностях, найбільш яскраво вона проявилась в умовах, коли стали затребуваними міждисциплінарні комплексні, синтезовані знання для розробки великих господарських, екологічних та енвайронментальних проєктів. У результаті з'явилися нові напрями географічної науки, такі як конструктивна географія, кібернетична географія, інформаційна географія, геоінформатика та інші. Нові завдання, що відображають сучасні проблеми суспільства та

потребують значного розширення і вдосконалення наукового апарату, почала вирішувати суспільна географія. Інтегративний потенціал географії поширюється і на споріднені науки про Землю. У вирішенні багатьох енвайронментальних проблем з позицій нової загальнонаукової парадигми – синергетичної – дуже важко розділити області досліджень географії та геології, які тісно переплелися. На разі цивілізація відчуває найгостріший дефіцит інформації про соціоприродні системи, закономірності їх тисячолітньої еволюції тощо. Справа в тому, що до недавнього часу суспільство вилучало з природних систем матеріальні ресурси, але в міру переходу до інформаційного суспільства з'явилася необхідність у витягуванні та використанні інформаційного ресурсу [27].

Основою моделювання складних природних та соціальних систем звичайно є інформація, тому наступний етап наукової діяльності вченого був пов'язаний саме з глибоким вивченням літератури, наукових розробок в галузі інформації взагалі і, зокрема її ролі в еволюції природних та суспільних систем, розробки засад інформаційної географії тощо. Потік інформації стрімко наростає і вимагає аналізу, систематизації у кількісному та й у просторово-часовому аспекті, що являє собою предмет дослідження географів. Запит часу і суспільства на, можливо, новий «золотий вік» географії. Суспільство в XXI ст., маючи видатні досягнення в багатьох галузях наук (фізики, хімії, медицина, генетика тощо), володіє в цілому лише декількома відсотками інформації про будову матерії Всесвіту. Ось саме цю проблему «прихованої маси» Костянтин Аркадійович вбачав і в особливостях розвитку глобального суспільства на всіх ієрархічних рівнях його організації аж до локальних соціогеосистем. Наука нашого часу стоїть на порозі нових досягнень, відкриттів, нової наукової революції, яка змінить сучасну загальнонаукову картину світу. Про це вже говорять багато науковців різних наукових галузей. Так, вчені-фізики мабуть зможуть вже в наш час вирішити проблеми замкненого Всесвіту, розгадати багато загадок макро- та мікро- світу. Дійсно глобальна наука на порозі нової наукової революції завдяки успіхам міждисциплінарних досліджень. Костянтин Аркадійович бачив потужну роль в цих процесах і науковців з суспільної географії з її міждисциплінарними зв'язками на основі інформаційно-синергетичного підходу [21]. Кожна соціогеосистема еволюціонує в суспільно-географічному процесі і в певні проміжки часу перебуває в точках біфуркації, де може спрямувати свій подальший розвиток як в прогресивному (для суспільства та людини сенсі), так і в регресивному напрямку. На основі моделювання цього розвит-

ку, шляхів тощо, Костянтин Аркадійович визначав багато можливостей (у дослідженнях просторової структури різних підсистем соціогеосистем з метою її оптимізації, організації систем соціально-географічного моніторингу, вирішенні проблем покращення інфраструктурних характеристик соціогеосистем, дослідженні транспортно-логістичних проблем, оптимізації просторової структури розміщення галузевих підприємств і установ, дослідженні міграційних процесів і багатьох інших випадках) [2, 3, 5, 38, 39]. Це важливо, вважає Костянтин Аркадійович, бо враховуючи що знання про світ людини, суспільства, цивілізації, Всесвіту в цілому дуже швидко змінюються, еволюціонують під впливом багатьох аспектів. Людина (соціальна підсистема соціогеосистеми) взаємодіє з навколишнім природним світом лише на основі природокористування і не може існувати інакше. Але саме людина (суспільство, соціум зі своєю господарською діяльністю) є головним деструктивним елементом, що порушує тисячолітню історію еволюції природних систем, змушуючи рухатися їх в точках біфуркації в напрямках, що ведуть до їх загибелі. Наукову діяльність суспільних географів Костянтин Аркадійович вбачав у пізнанні цих закономірностей та включенні їх у діяльність соціуму. Нашу діяльність, розвиток суспільної географії пов'язував з володінням інформацією, розширенням засобів, методів її одержання та збереження і обробки для успішного моделювання на цій основі зміни станів соціогеосистем різного ієрархічного рівня.

Робота з молодими науковцями. Костянтин Аркадійович завжди підтримував молодих науковців, які тільки починали свій шлях в географічній науці, та вже досвідчених вчених. Його запрошували опонувати дисертаційні роботи на здобуття наукового ступеня кандидата та доктора географічних наук. Аналіз та критика Костянтина Аркадійовича завжди були ґрунтовними, мали конструктивний характер, поради були спрямовані на покращення дослідження та подальших перспектив наукових пошуків здобувачів. Немець К. А. активно долучався до атестації науковців: протягом багатьох років був членом спеціалізованих вчених рад, зокрема К 64.051.23 у Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна та Д 41.051.03 в Одеському національному університеті імені І. І. Мечникова.

Під керівництвом Костянтина Аркадійовича Німця підготовлено та захищено 11 дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата географічних наук – О. Корнус, П. Вірченко, Г. Кулешова, О. Самойлов, Г. Дудкіна, С. Отечко, В. Грушка, Т. Погребський, П. Кобилін, А. Мазурова, К. Кравченко та одна дисертація на здобуття наукового ступеня доктора географічних наук – П. Шуканов.

Була розпочата робота над докторськими дослідженнями О. Корнус «Соціально-географічний моніторинг здоров'я населення (теорія і практика)», Т. Погребським «Людський потенціал регіону: теорія та практика соціально-географічного дослідження», К. Кравченко «Концепція суспільно-географічних досліджень міських агломерацій», яких консультував Костянтин Аркадійович. Проте, багато задумів та напрацювань Костянтина Аркадійович не встиг реалізувати...

Не залишалися осторонь і решта здобувачів та аспірантів, докторантів, що працювали та навчалися на кафедрі соціально-економічної географії і регіонаознавства. Костянтин Аркадійович завжди з радістю ділився своїми знаннями та наробками, із задоволенням проводив консультації та брав активну участь у науково-методологічних семінарах кафедри та факультету, де у своїх виступах демонстрував найсучасніші та передові погляди щодо розвитку географічної науки, суспільної географії, використання методів моделювання та прогнозування у суспільно-географічних дослідженнях тощо. Зокрема ідеї синергетики покладено в основу суспільно-географічної концепції регіональної геодемографічної системи [38, 39]. Завдяки наполегливій праці та бажанням ділитися своїми глибокими знаннями в галузі географічної науки, практично всі дослідження, що проводилися на кафедрі соціально-економічної географії і регіонаознавства Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна «пронизані» ідеями та розробками складних методів аналізу багатовимірного простору, інформаційного обміну тощо, ідеї та розробки яких належали Костянтину Аркадійовичу.

Кожна дисертаційна робота є унікальною. До кожного здобувача та кожного дослідження Костянтина Аркадійович застосовував індивідуальний підхід, пропонував цікаві та передові ідеї та новаторські погляди. Костянтин Аркадійович у розвитку науки та наукових поглядів вбачав сенс свого життя. Однією з перших робіт, що виконана та захищена під керівництвом Костянтина Аркадійовича, була дисертаційна робота Олесі Корнус «Територіальна організація системи обслуговування населення Сумської області та шляхи вдосконалення» у 2009 році [12]. Робота виконана в ключі наукових поглядів та ідей Харківської суспільно-географічної школи, одним із фундатором якої був Костянтин Аркадійович. Зокрема в роботі науково-теоретично обґрунтовано дослідження системи обслуговування населення як складової соціогеосистеми, з'ясовано місце системи обслуговування населення у соціогеосистемі, визначено головні суспільно-географічні підходи до її дослідження з доведенням провідної ролі системного підходу.

Ідеї соціогеосистеми та системного підходу у дослідженнях складових сфер життєдіяльності населення втілювалися і у подальших дисертаційних дослідженнях, що були виконані під керівництвом К.А. Немця. Так, в роботі Павла Вірченка «Просторова організація системи освіти регіону (на прикладі Харківської області)» [8], що була захищена у 2010 році, у дослідженні системи освіти був застосований системний підхід, що дозволив більш системно та ґрунтовно провести аналіз. Система освіти розглядалась як складова соціогеосистеми. Крім того, в роботі впроваджено математичні моделі поверхонь зони впливу, що розроблялися Костянтином Аркадійовичем, для районних систем освіти, що, в свою чергу, дозволило визначити їхній радіус впливу та коректно обрати центри освітніх кластерів.

У дисертаційній роботі Ганни Кулешової «Суспільно-географічні особливості прикордонних соціогеосистем (на прикладі Харківського регіону)» [14], що була захищена у 2010 році, реалізовані підходи системного підходу та інформаційного обміну. Дисертантка запропонувала визначення прикордонної соціогеосистеми, обґрунтувала трансляційну функцію кордону як інтенсивність інформаційного обміну між суміжними територіями, що характеризує рівень відкритості (закритості) кордону, виконала моделювання траєкторії розвитку районних соціогеосистем у багатовимірному нормованому просторі.

У дисертації Олексія Самойлова «Соціальна безпека регіональної соціогеосистеми (на прикладі Харківської області)» (2012 рік), використані, традиційно для Харківської суспільно-географічної школи, системний та синергетичний підходи у поєднанні з методами моделювання [37]. Зокрема в роботі виконане моделювання траєкторії руху соціально-географічної системи у багатовимірному ознаковому просторі для визначення її кутових і лінійних характеристик траєкторій, застосований графоаналітичний метод багатовимірної класифікації для класифікації і групування соціально-географічних систем у багатовимірному просторі, метод лінійного шкалювання для побудови нормованого багатовимірного простору тощо.

Ганна Дудкіна у своїй роботі «Суспільно-географічні особливості інвестиційної діяльності Луганської області» [10], захист якої відбувся у 2012 році, запропонувала визначення інвестиційної діяльності як функціональної складової регіональної соціогеосистеми, моделювання траєкторії розвитку регіональної соціогеосистеми в багатовимірному нормованому просторі дозволило виявити суспільно-географічні особливості інвестиційної діяльності Луганської області.

У роботі Сергія Отечка «Територіальна організація транспортної системи Харківського регіону (на прикладі автомобільного транспорту)» [34] (2013 рік), для дослідження транспортної системи було застосовано функціонально-цільовий, логістичний, системний, суспільно-географічний та синергетичний підходи. Застосовано моделювання траєкторії розвитку соціогеосистеми, зокрема проведене моделювання напрямку руху підсистеми автомобільного транспорту регіону та районів, визначено оптимальну траєкторію розвитку.

Віктор Грушка у своїй роботі «Суспільно-географічні особливості формування геоecологічної ситуації в старопромисловому регіоні (на прикладі Дніпропетровської області)» [9] (2014 рік), для дослідження геоecологічної ситуації у старопромисловому регіоні використовував системний підхід, ним виконано групування і класифікації міських і районних соціогеосистем за особливостями розвитку геоecологічної ситуації, досліджено траєкторії розвитку геоecологічної ситуації в міських і районних соціогеосистемах – виявлено періоди прогресивного і регресивного розвитку, зростання і зменшення відхилень від оптимальної траєкторії розвитку. В. Грушкою вдосконалено методику дослідження системних параметрів формування геоecологічної ситуації за рахунок впровадження методів багатовимірної класифікації (графоаналітичного методу площі проєкції багатовимірного простору на площину) та прикладного інформаційного аналізу, методику моделювання траєкторії розвитку геоecологічної ситуації за рахунок доповнення компонентним аналізом сукупності вихідних статистичних параметрів.

Тарас Погребський у своєму дисертаційному дослідженні «Територіальні особливості системи охорони здоров'я Волинської області» [36] (2015 рік) традиційно для Харківської суспільно-географічної школи використав системний підхід, досліджуючи просторово-часові особливості розвитку системи охорони здоров'я як складової регіональної соціогеосистеми, застосовані методи аналізу у багатовимірному ознаковому просторі, проведено моделювання розвитку системи охорони здоров'я та ін.

У дисертаційному дослідженні Павла Кобиліна «Територіальні особливості системи торговельного обслуговування населення Харківської області» [11] (2017 рік) для виявлення просторових особливостей розвитку системи торговельного обслуговування населення Харківської області були застосовані новітні методи дослідження у нормованому багатовимірному ознаковому просторі, що розроблялися Немцем К. А., зокрема графоаналітичний метод багатовимірної класифі-

кації суспільно-географічних об'єктів, компонентний аналіз вектору розвитку, моделювання інтегральної функції впливу тощо. Система торговельного обслуговування населення розглядалася та досліджувалася як функціональна складова регіональної соціогеосистеми.

У дисертаційній роботі Анастасії Мазурової «Суспільно-географічні особливості функціонування міської соціогеосистеми (на прикладі міста Харків)» [15] (2018 рік) були так само використані прогресивні та новаторські методи та підходи щодо дослідження складових соціогеосистем, розробкою яких займався Костянтин Аркадійович. Зокрема моделювання траєкторії функціонування соціогеосистем у багатовимірному ознаковому просторі та компонентний аналіз вихідних вектору функціонування соціогеосистем.

В основі дисертаційного дослідження Катерини Кравченко «Суспільно-географічні особливості формування та розвитку системи розселення Харківської області» [13] (2018 рік) покладено системний та синергетичний підходи, а також географічний, історичний, інформаційний. Разом із традиційними методами дослідження використана оригінальна методика моделювання поля інтегральної функції впливу (ІФВ-моделювання), розроблена в Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна Немцем Костянтином Аркадійовичем, яка вирізняється поєднанням методів географічного моделювання з методами апроксимації полів географічної оболонки. Це дозволило встановити просторові особливості та часові тенденції формування та розвитку системи розселення Харківської області.

У докторській дисертації Павла Шуканова «Суспільно-географічні особливості формування глобального цивілізаційного простору» [41], виконаної під керівництвом Немця К. А. отримали подальший розвиток науково-методологічні аспекти суспільно-географічного дослідження глобальної трансформації соціогеосистем різних ієрархічних рівнів з урахуванням концепції стійкого розвитку. Основною метою роботи була розробка теоретико-методологічних основ суспільно-географічного дослідження процесів цивілізаційного та просторового розвитку глобальної соціогеосистеми на різних рівнях територіальної організації. У дослідженні здійснено моделювання процесів розвитку країн світу, інформаційний аналіз, визначення системних показників країн, дослідження їх взаємозв'язків, групування країн за сукупністю показників тощо. Аналіз речовинно-енерго-інформаційного обміну у глобальному цивілізаційному просторі дозволив виділити цивілізаційні ядра та науково обґрунтовані найважливіші інтеграційні центри, навколо яких концентруються різні національні соціогеосистеми і утво-

рюються відповідні макрорегіони глобального цивілізаційного простору.

Отже, кожне дослідження, виконане під керівництвом Костянтина Аркадійовича, має своє «унікальне обличчя», характеризуються ґрунтовним підходом, використанням системного та синергетичного підходів, потужним математичним апаратом – використанням методів моделювання у багатовимірному просторі, які «сповідував» Костянтин Аркадійович. Продовження ідей та методів, що розробляв Костянтин Аркадійович, у подальших наукових дослідженнях збережуть пам'ять про Костянтина Аркадійовича у наших серцях та примножуватимуть наукові надбання в суспільній географії.

Висновки. Костянтин Аркадійович був одним з фундаторів Харківської школи суспільної географії та одним з провідних дослідників України. Він – науковець, який поєднував досить різні напрями: геологію, її гідрогеологічну гілку, і географію, зокрема суспільну. Фундаментальні знання Костянтина Аркадійовича Немця у різних наукових напрямках сприяли його всеохоплюючому розумінню змісту тих процесів, які відбуваються у соціогеосистемах, обумовили розробку ефективних інструментів управління соціогеосистемами різних ієрархічних рівнів за допомогою інформаційних засобів.

Застосування синергетичної концепції у дослідженні соціогеосистем, визначення ролі інформаційного ресурсу та особливостей інформаційного обміну є важливим, прогресивним кроком у розвитку суспільної географії. Роль людини в соціогеосистемі Костянтина Аркадійович розглядав через призму інформаційно-синергетичних, суспільно-географічних процесів. Важливою умовою співіснування суспільства і природи він вважав саме паритетність «антропоцентризму» та «природоцентризму». Управляючі механізми, які були впроваджені Костянтином Аркадійовичем, є оптимальними, адже їх головна мета спрямована на єдність природних систем та збереження існуючих зв'язків, а головним «управлінцем» є людський інтелект. Діяльність соціуму та антропогенний вплив на навколишнє природне середовище формують точки біфуркації, які є найбільш реальними для зміни стану системи або перспектив її розвитку за певних умов та реалізацією відповідного впливу. Костянтин Аркадійович вбачав дуже важливим в умовах сьогодення розуміти принципи синергетики та особливості цих зв'язків, а також емерджентності та інших системних властивостей, адже саме це дозволяє розробити ефективні й діючі інструменти для управління соціогеосистемами. Також він зазначав, що на сьогодні соціум має розуміти загальний масштаб впливу на навколишнє природне середовище,

інакше існування людства може бути поставлене під питання. На сьогодні прогнозування розвитку світової соціогеосистеми є не вирішеною задачею, тому що на це впливає цілий ряд факторів і все залежить тільки від соціуму, технологічного розвитку у світі та потреб суспільства в цілому. Костянтин Аркадійович Немець один з перших почав впроваджувати ці концепції, постулати та теорії у суспільній географії. Він займався методами моделювання, зробив вагомий внесок у розробку теорії інформаційної географії, започаткував низку нових методів та методик на основі синергетичного підходу зокрема. Його науковим надбанням є розробка теорії суспільної географії, новітніх методів багатовимірного аналізу, провідних суспільно-географічних методик та наукових концепцій.

Наукові роботи Костянтина Аркадійовича користуються великою увагою вчених та громадських діячів. У його арсеналі більше 200 наукових публікацій, що мають високий індекс цитувань. Він був видатним в Україні фахівцем у галузі методології суспільної географії, одним із засновників і лідерів Харківської школи суспільної географії. Костянтин Аркадійович Немець також працював зі здобувачами вищої освіти різних наукових рівнів: бакалаврами, магістрами, докторами філософії. Він розробляв та впроваджував на основі переконливих обґрунтувань нові надважливі курси. Під його науковим керівництвом захищено кандидатські та докторські дисертації. Кожна дисертаційна робота, яка була захищена під його керівництвом є унікальною. До кожного здобувача та кожного дослідження Костянтина Аркадійович застосовував індивідуальний підхід, пропонував цікаві та новаторські ідеї та сучасні погляди. Костянтин Аркадійович у розвитку науки та наукових поглядів вбачав сенс свого життя. Ним виплекано плеяду молодих науковців, які працюють в Україні та за кордоном у різних напрямках науки, політики, промисловості.

Костянтин Аркадійович завжди з радістю ділився своїми знаннями та наробками, із задоволенням проводив консультації та брав активну участь у науково-методологічних семінарах кафедри та факультету, де у своїх виступах демонстрував найсучасніші та передові погляди щодо розвитку географічної науки, суспільної географії, використання методів моделювання та прогнозування у суспільно-географічних дослідженнях тощо. Заслужений професор Каразінського університету Костянтин Аркадійович Немець користувався беззаперечним авторитетом та повагою; мав тверду життєву позицію, в трудовій і науковій діяльності спирався на цінності Каразінського університету, був доброзичливою та порядною людиною, надзвичайно вимогливим до себе та ото-

чуючих. Костянтин Аркадійович був еталоном справжнього науковця нашого часу, який гармонійно поєднував у собі глибоке розуміння закономірностей розвитку Універсуму та новітніх поглядів на наукову проблему, був мудрим наставником

для молодих вчених та студентства. Костянтин Аркадійович був мудрим наставником, який охоче ділився власним багатим життєвим і професійним досвідом. Пам'ять про Костянтина Аркадійовича буде жити вічно у наших серцях!

Список використаної літератури

1. Haken H. *Synergetik in der Psychologie* / Haken Hermann. – Göttingen : Hogrefe, 2006. – 780 s.
2. Mezentsev K. *Challenges of the Post-Soviet Development of Ukraine: Economic Transformations, Demographic Changes and Socio-Spatial Polarization* / K. Mezentsev, G. Pidgrushnyi, N. Mezentseva // In: Lang, T., Henn, S., Sgibnev, W., Ehrlich, K. (eds) *Understanding Geographies of Polarization and Peripheralization. New Geographies of Europe*. Palgrave Macmillan, London, 2015 [Електронне видання]. – Режим доступу: https://doi.org/10.1057/9781137415080_14
3. Nemets L. M. *Analysis of development trajectory for social infrastructure of Kharkiv region* / L. M. Nemets, P. O. Kobylin, K. Y. Segida // *Actual Problems of Economics*, 2014. – Vol. 161(11). – P. 409-418
4. Nicolis G. *Exploring Complexity : An Introduction* / G. Nicolis, I. Prigogine. – New York: W.H. Freeman and Company, 1989. – 249 p.
5. Niemets L. M. *Innovation and investment potential of region as a factor of its "smart transformation" – a case study of Kharkiv region (Ukraine)* / Niemets, L. M., Mezentsev, K. V., Sehida, K. Y., Morar, C., Husieva, N. V., Peresadko, V. A., et al. // *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна*. – 2018. – Сер. «Геологія. Географія. Екологія». – Вип. 49. – С 137-159. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-11>
6. Prigogine I. *Order out of Chaos* / I. Prigogine, I. Stengers // Toronto, New York, London, Sydney: Bantam Books, 1983. – 349 p.
7. Prigogine I. *Self-Organisation in Nonequilibrium Systems: From Dissipative Structures to Order through Fluctuations* / I. Prigogine, G. Nicolis. – New York, London, Sydney, Toronto: J. Wiley & Sons, 1977. – 491 p.
8. Вірченко П. А. *Просторова організація системи освіти регіону (на прикладі Харківської області) : дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.02 / Вірченко Павло Анатолійович. – Харків, 2010. – 297 с.*
9. Грушка В. В. *Суспільно-географічні особливості формування геоекологічної ситуації в старопромисловому регіоні (на прикладі Дніпропетровської області) : дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.02 / Грушка Віктор Володимирович. – Харків, 2014. – 326 с.*
10. Дудкіна Г. Є. *Суспільно-географічні особливості інвестиційної діяльності Луганської області : дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.02 / Дудкіна Ганна Євгенівна. – Харків, 2012. – 239 с.*
11. Кобилін П. О. *Територіальні особливості системи торговельного обслуговування населення Харківської області : дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.02 / Кобилін Павло Олексійович. – Харків, 2017. – 386 с.*
12. Корнус О. Г. *Територіальна організація системи обслуговування населення Сумської області та шляхи вдосконалення : дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.02 / Корнус Олеся Григорівна. – Харків, 2009. – 256 с.*
13. Кравченко К. О. *Суспільно-географічні особливості формування та розвитку системи розселення Харківської області : дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.02 / Кравченко Катерина Олександрівна. – Харків, 2018. – 266 с.*
14. Кулешова Г. О. *Суспільно-географічні особливості прикордонних соціогеосистем (на прикладі Харківського регіону) : дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.02 / Кулешова Ганна Олександрівна. – Харків, 2010. – 257 с.*
15. Мазурова А. В. *Суспільно-географічні особливості функціонування міської соціогеосистеми (на прикладі міста Харків) : дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.02 / Мазурова Анастасія Володимирівна. – Харків, 2018. – 312 с.*
16. Машков О.А. *Графоаналітичний метод багатовимірної класифікації суспільно-географічних об'єктів / О. А. Машков, К. А. Немець // Часопис соціально-економічної географії: Міжрегіональний зб. наукових праць – Х.: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2010. – Вип. 8(1). – С. 30-35*
17. Немець К. *Багатовимірний аналіз у суспільній географії (нетрадиційні методи): [монографія] / К. Немець, К. Сегіда, Л. Немець. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2016. – 120 с.*
18. Немець К. *Концепція соціально-географічної системи як методологічний конструкт суспільної географії / К. Немець, Л. Немець // Часопис соціально-економічної географії: Міжрегіон. зб. наук. праць. – Харків, ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2015. – Вип. 18(1). – С. 24-32. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2015-18-04>*
19. Немець К. *Нові методологічні можливості дослідження суспільно-географічного процесу / К. Немець, Л. Немець // Часопис соціально-економічної географії: Міжрегіон. зб. наук. праць. – Харків, ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014. – Вип. 17(2). – С. 7-9. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2014-17-01>*
20. Немець К. А. *Аналіз просторової взаємодії суспільно-географічних об'єктів / К. А. Немець, Л. М. Немець, О. К. Немець // Часопис соціально-економічної географії: Міжрегіон. зб. наук. праць. – Харків: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2009. – Вип. 6(1). – С. 20-32.*
21. Немець К. А. *Інформаційна географія як складова підготовки фахівців-географів / К. А. Немець // Проблеми безперервної географічної освіти і картографії: збірник наукових праць / Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна. – Харків: Видавництво ХНУ ім. В.Н. Каразіна; Інститут передових технологій, 2008. – Вип.8. – С. 195-199.*

22. Нємець К. А. Моделивання траєкторії розвитку соціогеосистем: аналіз і візуалізація результатів / К. А. Нємець, Л. М. Нємець // *Часопис соціально-економічної географії: Міжрегіон. зб. наук. праць.* – Харків, ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2013. – Вип. 15 (2). – С. 7–10.
23. Нємець К. А. Особливості соціогеосистеми як об'єкта соціально-економічної географії / К. Нємець, Л. Нємець // *Часопис соціально-економічної географії: Міжрегіон. зб. наук. праць.* – Харків, ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2012. – Вип. 12(1) – С. 39-42.
24. Нємець К. А. Просторовий аналіз у суспільній географії: нові підходи, методи, моделі [наукова монографія] / К. А. Нємець, Л. М. Нємець. – Харків: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2013. – 228 с.
25. Нємець К. А. Синергетичні засади суспільно-географічного дослідження / К. А., Нємець, Л. М. Нємець // *Регіон – 2017: стратегія оптимального розвитку: матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 19–20 вересня 2017 р.).* – Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2017. – С. 9-12.
26. Нємець К. А. Теорія і методологія географічної науки: методи просторового аналізу: навчально-методичний посібник / К. А. Нємець, Л. М. Нємець. – Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2014. – 172 с.
27. Нємець К.А. Інформаційна взаємодія природних та соціальних систем: монографія / К. А. Нємець. – Харків: Східно-регіональний центр гуманітарно-освітніх ініціатив, 2005. – 428 с.
28. Нємець К.А. Інформаційна географія та ГІС: навчально-методичний посібник / К.А. Нємець, К.О. Кравченко. – Харків, 2018. – 108 с.
29. Нємець К. А. Суспільно-географічні основи інформаційного розвитку соціогеосистем : дис. ... д-ра геогр. наук: 11.00.02 / Нємець Костянтин Аркадійович. – Київ, 2005. – 433 с.
30. Нємець Л. М. До методики соціально-географічного асоціативного аналізу / Л. М. Нємець, К. А. Нємець // *Економічна та соціальна географія: міжвід. наук. зб., 2003.* – Вип. 54. – С. 13-18.
31. Нємець Л. М. Інформаційний ресурс як чинник екологічної безпеки / Л. М. Нємець, К. А. Нємець // *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна.* – 2008. – Сер. Геологія. Географія. Екологія. – Вип. № 824. – С. 48-56.
32. Нємець Л. М. Стійкий розвиток: соціально-географічні аспекти (на прикладі України): монографія / Л. М. Нємець. – Харків: Факт, 2003. – 383 с.
33. Нємець К. Методологія суспільно-географічних досліджень: сучасні підходи та методи / Нємець К., Сєгіда К., Нємець Л., Кравченко К., Кобилін П., Телебєнева Є. та ін. // *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна.* – 2022. – Сер. Геологія. Географія. Екологія. – Вип. 56. – С. 143-158. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-10>
34. Отечко С. А. Територіальна організація транспортної системи Харківського регіону (на прикладі автомобільного транспорту): дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.02 / Отечко Сергій Анатолійович. – Харків, 2013. – 220 с.
35. Офіційний веб-сайт кафедри соціально-економічної географії і регіоназнавства [Електронний ресурс]. – Режим доступу сайту: <http://soc-econom-region.univer.kharkov.ua/>
36. Погребський Т. Г. Територіальні особливості системи охорони здоров'я Волинської області : дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.02 / Погребський Тарас Георгійович. – Харків, 2015. – 271 с.
37. Самойлов О. М. Соціальна безпека регіональної соціогеосистеми (на прикладі Харківської області) : дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.02 / Самойлов Олексій Миколайович. – Харків, 2012. – 331 с.
38. Сєгіда К. Ю. Оціночно-прогностичне моделювання геодемографічної системи Харківського регіону / К. Ю. Сєгіда // *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Сер. «Геологія. Географія. Екологія».* – Вип. 46. – С. 136-145. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2017-46-19>
39. Сєгіда К. Ю. Суспільно-географічна концепція геодемографічної системи регіону : дис. ... д-ра геогр. наук : 11.00.02 / Сєгіда Катерина Юріївна. – Київ, 2017. – 431 с.
40. Соціальна географія: підручник / за ред. Л. Нємець та К. Мезєнцева. – Київ: Фенікс, 2019. – 304 с.
41. Шуканов П. В. Суспільно-географічні особливості формування глобального цивілізаційного простору : дис. ... д-ра геогр. наук : 11.00.02 / Шуканова Павло Васильович. – Одеса, 2014. – 438 с.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Informational and synergetic component of human-geographical research in the scientific heritage of Kostiantyn Niemets

Liudmyla Niemets¹,

DSc (Geography), Professor, Head of the Department of Human Geography and Regional Studies,
¹V.N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine;

Kateryna Kravchenko¹,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies;

Kateryna Sehida¹,

DSc (Geography), Professor, Department of Human Geography and Regional Studies;

Ievgeniia Telebienieva¹,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies;

Liudmyla Kliuchko¹,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies

ABSTRACT

The **purpose** of the work is to highlight the information-synergistic component of human-geographical research through the analysis of the scientific heritage of Kostiantyn Niemets – Honored Professor of V.N. Karazin Kharkiv National University. The achievement of the set purpose was accomplished through revealing the figure of the scientist Kostiantyn Niemets, justification of the human-geographical approach based on the information-synergistic paradigm, highlighting the formation of the concept of sociogeosystem and the sociogeoprocess, the peculiarities of the implementation of ideas in the educational process, the training of specialists and scientists, highlighting the potential of human geography and the information-synergistic component of human- geographical research in accordance with today's challenges.

Results. This article presents an analysis of the information-synergistic component of human- geographical research in the scientific heritage Kostiantyn Niemets – Honored Professor of V.N. Karazin Kharkiv National University. The role of the synergistic paradigm is defined as the basis of modern science and scientific research. The implementation of the synergistic concept in sociogeosystems research, the definition of the role of the information resource and the features of information exchange are substantiated. The main contradictions between society and nature are revealed; the structure of the sociogeoprocess is considered; the main principles of the interaction of society and natural systems in the multi-system of nature management are revealed. The ideas of the formation of the concept of sociogeosystems and sociogeoprocess are highlighted and the features of the implementation of ideas in the educational process of V.N. Karazin Kharkiv National University. are revealed. An analysis of the scientific heritage, which is realized in the scientific research of students and followers of Kostiantyn Niemets, is presented. The latest research and publications were analyzed, in particular, theoretical and methodological developments, the research toolkit, which was introduced during the implementation of dissertations for obtaining the scientific degree of doctor and candidate of geographical sciences under the leadership of Kostiantyn Nemets, as well as during the implementation of scientific research developments, projects and grants, powerful scientific publications authored by Kostiantyn Niemets. The article shows his huge contribution to the development of scientific research and support of young people. The results of the analysis of the dissertation works, which were created under the leadership of Kostiantyn Niemets, and the features of the introduction of the human-geographical approach and the use of powerful mathematical apparatus and modeling methods in these works are presented.

Today, the synergistic paradigm is becoming one of the most important foundations of modern science and is being widely implemented in all fields of scientific research. The synergetic paradigm arose at the junction of many fundamental directions of science in the second half of the 20th century, its main methodological premise is a fundamentally different and unconventional understanding of the development of phenomena, processes, and systems in the surrounding reality. In contrast to the classical interpretation of development as a linear process, synergetics interprets the concept of development as a non-linear process that occurs as a result of the interaction of a large number of factors of different nature. In this regard, human geography occupies a leading place, because the main object of its research – the sociogeosystem – combines natural and social subsystems; therefore, human- geographical research includes all aspects of a synergistic approach.

Keywords: *synergetic paradigm, information approach, system, sociogeosystem, geoinformation, human geography, human-geographical approach, sociogeoprocess, society and nature, nature management, human-geographical research.*

References

1. *Hakenn, Hermann (2006). Synergetik in der Psychologie. Göttingen: Hogrefe, 780.*
2. *Mezentsev, K., Pidgrushnyi, G. & Mezentseva, N. (2015). Challenges of the Post-Soviet Development of Ukraine: Economic Transformations, Demographic Changes and Socio-Spatial Polarization. In: Lang, T., Henn, S., Sgibnev, W., Ehrlich, K. (eds) Understanding Geographies of Polarization and Peripheralization. New Geographies of Europe. Palgrave Macmillan, London. https://doi.org/10.1057/9781137415080_14*
3. *Nemets, L.M., Kobylin, P.O. & Segida, K.Y. (2014) Analysis of development trajectory for social infrastructure of Kharkiv region. Actual Problems of Economics, 161(11), 409-418 <https://eco-science.net/downloads/>*

4. Nicolis, G. & Prigogine, I. *Exploring Complexity : An Introduction*. New York: W.H. Freeman and Company, 1989, 249.
5. Niemets, L. M., Mezentssev, K. V., Sehida, K. Y., Morar, C., Husieva, N. V., Peresadko, V. A., & Telebienieva I. Y. (2018). Innovation and investment potential of region as a factor of its "smart transformation" – a case study of Kharkiv region (Ukraine). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 49, 137-159. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-11>
6. Prigogine, I. & Stengers, I. (1983). *Order out of Chaos*. Toronto, New York, London, Sydney: Bantam Books.
7. Prigogine, I. & Nicolis, G. (1977). *Self-Organisation in Nonequilibrium Systems: From Dissipative Structures to Order through Fluctuations*. New York, London, Sydney, Toronto: J. Wiley & Sons, 491.
8. Virchenko, P. O. (2010). *Prostorova orhanizatsiia systemy osvity rehionu (na prykladi Kharkivskoi oblasti) [Spatial organization of the education system of the region (on the example of the Kharkiv region)]*. Phd's thesis. Karazin Kharkiv National University, 297 [in Ukrainian].
9. Hrushka, V. V. (2014). *Suspilno-heohrafichni osoblyvosti formuvannya heoekologichnoi sytuatsii v staropromyslovomu rehioni (na prykladi Dnipropetrovskoi oblasti) [Socio-geographic features of the formation of the geoeological situation in the old industrial region (on the example of Dnipropetrovsk region)]*. Phd's thesis. Karazin Kharkiv National University, 326 [in Ukrainian].
10. Dudkina, H. Ye. (2012). *Suspilno-heohrafichni osoblyvosti investytsiinoi diialnosti Luhanskoi oblasti [Socio-geographic features of investment activity in Luhansk region]*. Phd's thesis. Karazin Kharkiv National University, 239 [in Ukrainian].
11. Kobylin, P. O. (2017). *Terytorialni osoblyvosti systemy torhovelnoho obsluhovuvannianaseleння Kharkivskoi oblasti [Territorial features of the system of the population trading service in Kharkiv region]*. Phd's thesis. Karazin Kharkiv National University, 386 [in Ukrainian].
12. Kornus, O. H. (2009). *Terytorialna orhanizatsiia systemy obsluhovuvannya naseleння Sumskoi oblasti ta shliakhy vdoskonalennia [Territorial organization of the population service system of Sumy region and ways of improvement]*. Phd's thesis. Karazin Kharkiv National University, 256 [in Ukrainian].
13. Kravchenko, K. O. (2018). *Suspilno-heohrafichni osoblyvosti formuvannya ta rozvytku systemy rozselennia Kharkivskoi oblasti [Human-geographical features of the formation and development of the resettlement system of Kharkiv region]* Phd's thesis. Karazin Kharkiv National University, Available at: http://soc-econom-region.univer.kharkov.ua/wp-content/uploads/2017/07/На-сайті_Дисертаційна-робота-Кравченко-К.О..pdf [in Ukrainian].
14. Kulieshova, H. O. (2010). *Suspilno-heohrafichni osoblyvosti prykordonnykh sotsioheosystem (na prykladi Kharkivskoho rehionu) [Socio-geographic features of border socio-geosystems (on the example of the Kharkiv region)]*. Phd's thesis. Karazin Kharkiv National University, 257 [in Ukrainian].
15. Mazurova, A. V. (2018). *Suspilno-heohrafichni osoblyvosti funktsionuvannya miskoi sotsioheosystemy (na prykladi mista Kharkiv) [Socio-geographic features of the functioning of the urban socio-geosystem (on the example of the city of Kharkiv)]*. Phd's thesis. Karazin Kharkiv National University, 312 [in Ukrainian].
16. Mashkov, O. A. & Niemets, K. A. (2010). *Hrafoanalitichnyi metod bahatovymirnoi klasyfikatsii suspilno-heohrafichnykh ob'ektiv [Graphoanalytical method of multidimensional classification of socio-geographical objects.]*. *Human Geography Journal*, 8(1), 30-35 [in Ukrainian].
17. Niemets, K. A., Sehida, K. Yu. & Niemets, L. M. (2016). *Bahatovymirnyy analiz u suspil'niy heohrafiyi (netradytsiyni metody) [Multidimensional analysis in human geography (non-traditional methods)]: monograph*, Kharkiv, V. N. Karazin Kharkiv National University, 120 [in Ukrainian].
18. Niemets, K. & Niemets, L. (2015). *Kontseptsiiia sotsialno-heohrafichnoi systemy yak metodolohichni konstrukt suspilnoi heohrafiyi [The concept of the socio-geographical system as a methodological construct of social geography]*. *Human Geography Journal*, 18(1), 24-32. DOI: <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2015-18-04> [in Ukrainian].
19. Niemets K. & Niemets L. (2014). *Novi metodolohichni mozhlyvosti doslidzhennia suspilno-heohrafichnogo protsesu [New methodological possibilities for the study of the socio-geographical process]*. *Human Geography Journal*, 17(2), 7-9. DOI: <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2014-17-01> [in Ukrainian].
20. Niemets, K. A. & Niemets, L. M. (2009). *Analiz prostorovoi vzaemodii suspilno-heohrafichnykh ob'ektiv [Analysis of spatial interaction of socio-geographic objects]*. *Human Geography Journal*, 6(1), 20-32 [in Ukrainian].
21. Niemets, K. A. (2008). *Informatsiina heohrafiia yak skladova pidhotovky fakhivtsiv-heohrafov [Information geography as a component of the training of geographer specialists]*. *Problemy bezpererвної heohrafichnoi osvity i kartohrafiyi: zbirnyk naukovykh prats*. Kharkiv: V.N.Karazina KhNU; Instytut peredovykh tekhnolohii, 8, 195-199 [in Ukrainian].
22. Niemets, K. A. & Niemets, L. M. (2013). *Modeliuvannya traiektorii rozvytku sotsioheosystem: analiz i vizualizatsiia [Modeling the development trajectory of sociogeosystems: analysis and visualization]*. *Human Geography Journal*, 15 (2), 7–10 [in Ukrainian].
23. Niemets, K. & Niemets, L. (2012). *Osoblyvosti sotsioheosystemy yak ob'iekta sotsialno-ekonomichnoi heohrafiyi [Peculiarities of the sociogeosystem as an object of socio-economic geography]*. *Human Geography Journal*, 12(1), 39-42 [in Ukrainian].
24. Niemets, K. A. & Niemets, L. M. (2013). *Prostorovyi analiz u suspilniy heohrafiyi: novi pidkhody, metody, modeli: monograph [Spatial analysis in human geography: new approaches, methods, models]*. Kharkiv, V.N. Karazin Kharkiv National University, 228 [in Ukrainian].
25. Niemets, K. A. & Niemets, L. M. (2017). *Synerhetychni zasady suspilno-heohrafichnogo doslidzhennia [Synergistic principles of human-geographical research]* *Region 2017: Optimal Development Strategy*. *International Scientific*

- and Practical Conference. Kharkiv. 9-12. Available at: http://soc-econom-region.univer.kharkov.ua/wp-content/uploads/2017/07/Збірник_Реґіон-2017.pdf [in Ukrainian].
26. Niemets, K. A. & Niemets, L. M. (2014). *Teoriia i metodolohiia heohrafichnoi nauky: metody prostorovoho analizu: navchalno-metodychnyi posibnyk [Theory and methodology of geographic science: methods of spatial analysis: educational and methodological manual]*. Kharkiv, V.N. Karazin Kharkiv National University, 172 [in Ukrainian].
 27. Niemets, K. A. (2005). *Informatsiina vzaiemodiia pryrodnykh ta sotsialnykh system: monohrafiia [Information interaction of natural and social systems: monograph]*. Kharkiv: Eastern Regional Center for Humanitarian and Educational Initiatives, 428 [in Ukrainian].
 28. Niemets, K.A. & Kravchenko, K.O. (2018). *Informatsiina heohrafiia ta HIS: navchalno-metodychnyi posibnyk [Information geography and GIS: educational and methodological guide]*. Kharkiv, 108 [in Ukrainian].
 29. Niemets K. A. (2005). *Suspilno-heohrafichni osnovy informatsiinoho rozvytku sotsioheosystem [Socio-geographical foundations of informational development of socio-geosystems]*. Doctor's thesis. Kyiv, Taras Shevchenko National University of Kyiv, 433 [in Ukrainian].
 30. Niemets, L. M. & Niemets, K. A. (2003). *Do metodyky sotsialno-heohrafichnoho asosiatyvnogo analizu [To the methodology of socio-geographical associative analysis]*. *Economic and Social Geography*, 54, 13-18 [in Ukrainian].
 31. Niemets, L. M. & Niemets, K. A. (2008). *Informatsiyni resurs yak chynnyk ekolohichnoi bezpeky [Information resource as a factor of environmental safety]*. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 824, 48-56 [in Ukrainian].
 32. Niemets, L. M. (2003). *Stiiki rozvytok: sotsialno-heohrafichni aspekty (na prykladi Ukrainy): monohrafiia [Sustainable development: socio-geographical aspects (on the example of Ukraine): monograph]*. Kharkiv: Fakt, 383.
 33. Niemets, K., Sehida, K., Niemets, L., Kravchenko, K., Kobylin, P., Telebienieva, Ye., & Kliuchko, L. (2022). *Methodology of socio-geographic research: modern approaches and methods*. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 56, 143-158. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-10>
 34. Otechko S. A. (2013). *Terytorialna orhanizatsiia transportnoi systemy Kharkivskoho rehionu (na prykladi avtomobilnoho transportu) [Territorial organization of the transport system of the Kharkiv region (on the example of road transport)]*. Phd's thesis. Karazin Kharkiv National University, 220 [in Ukrainian]
 35. *Ofitsiyni veb-sait kafedry sotsialno-ekonomichnoi heohrafii i rehionoznavstva [Official website of the Department of Socio-Economic Geography and Regional Studies]*. Retrieved from <http://soc-econom-region.univer.kharkov.ua/>
 36. Pohrebskyi, T. H. (2015). *Terytorialni osoblyvosti systemy okhorony zdorovia Volynskoi oblasti [Territorial features of the health care system of the Volyn region]*. Phd's thesis. Karazin Kharkiv National University, 271 [in Ukrainian].
 37. Samoilo, O. M. (2012). *Sotsialna bezpeka rehionalnoi sotsioheosystemy (na prykladi Kharkivskoi oblasti) [Social security of the regional socio-geosystem (on the example of Kharkiv region)]*. Phd's thesis. Karazin Kharkiv National University, 331 [in Ukrainian].
 38. Sehida, K. Yu. (2017). *Otsinochno-prohnostychni modeliuvannia heodemografichnoi systemy Kharkivskoho rehionu [Assessment and prognostic modeling of the geodemographic system of Kharkiv region]*. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 46, 136-145. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2017-46-19> [in Ukrainian].
 39. Sehida, K.Yu. (2017). *Suspilno-geografichna kontseptsiya geodemografichnoi systemy regionu. [Social geographic concept of the regional geodemographic system]*. Doctor's thesis. Kyiv, Taras Shevchenko National University of Kyiv. Available at: http://scc.univ.kiev.ua/up-load/iblock/87b/dis_Sehida%20K.Y. new.pdf [in Ukrainian].
 40. Niemets, L. & Mezentsev, K. (2019). *Sotsialna heohrafiia [Social geography]*. Kyiv, 304 [in Ukrainian].
 41. Shukanov, P. V. (2014). *Suspilno-heohrafichni osoblyvosti formuvannia hlobalnoho tsyvilizatsiinoho prostoru [Socio-geographic features of the formation of the global civilizational space]*. Doctor's thesis. Odesa, Odesa I. I. Mechnikov National University, 438 [in Ukrainian].

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 15 September 2022

Accepted 7 October 2022

Культурно-ландшафтне районування України

Катерина Поливач,

к. геогр. н., незалежна наукова співробітниця відділу суспільної та регіональної географії

Інституту географії Словацької академії наук,

вул. Штефаникова, 49, м. Братислава, 81473, Словаччина,

e-mail: geogpoly@savba.sk, <https://orcid.org/0000-0001-6823-3431>

Метою цього дослідження є розроблення методичних підходів до культурно-ландшафтного районування (КЛР) України. Здійснено вивчення та аналіз досвіду диференціації та районування територій різного рівня на засадах культурно-ландшафтного підходу у зарубіжній географії, яке засвідчило про визначальну роль КЛР при вивченні культурних ландшафтів та плануванні управлінських дій щодо їх охорони, збереження та використання. Головними факторами культурно-ландшафтно-диференціації території України на макрорівні слугували природно-географічні, етнографічні, лінгвістичні, історико-географічні, історико-політичні та адміністративно-територіальні ознаки та особливості просторової локалізації і концентрації об'єктів природної та культурної спадщини – нерухокої та нематеріальної. Джерельно-інформаційною базою проведення КЛР слугували дослідження, що відображають територіальну диференціацію України за цими групами ознак та мають розроблені відповідні схеми районування з їх картографічним втіленням. Розроблено таксономічну систему КЛР країни, яка складається з двох рівнів: 14 культурно-ландшафтних країв та 52 культурно-ландшафтних макрорайонів, в якості окремого поза ієрархічного таксону виділено 26 культурно-ландшафтних регіонів згідно адміністративно-територіального поділу країни. Найважливіший результат проведеного дослідження – карта «Культурно-ландшафтне районування України» стала однією з ключових тем електронного атласу «Населення України та його природна і культурна спадщина», розроблення якого у 2020 році завершив Інститут географії НАН України. Визначені пропозиції щодо основних напрямів розвитку та практичного застосування КЛР у сфері охорони та збереження культурної і природної спадщини шляхом включення до систем загальнодержавного та регіонального стратегування, планування просторового розвитку, проведення досліджень з комплексного вивчення території, картографування та розроблення КЛР регіонів та адміністративних районів тощо.

Ключові слова: культурний ландшафт, культурна та природна спадщина, культурно-ландшафтне районування.

Як цитувати: Поливач Катерина. Культурно-ландшафтне районування України / Катерина Поливач // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 57. – С. 173-183. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-13>

In cites: Polyvach Kateryna (2022). Cultural landscape zoning of Ukraine. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (57), 173-183. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-13> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. Поняття «культурний ландшафт» є одним із засадничих в географії, однак до сфери охорони культурної та природної спадщини було введено порівняно недавно – після включення цієї дефініції в 1992 році в Керівні настанови до реалізації Конвенції про охорону всесвітньої культурної і природної спадщини 1972 року (далі – Конвенції ВКПС).

Зазначені Керівні настанови визначили культурні ландшафти як об'єкти культурної спадщини, що представляють собою «спільні творіння людини і природи», які ілюструють еволюцію людської спільноти і поселень з плином часу, що відбувалася під впливом фізичних обмежень і / або можливостей, що накладаються або надаються природним місцем існування людини, а також соціальних, економічних і культурних чинників, що змінюють один одного, як зовнішніх, так і внутрішніх.

Культурні ландшафти відбираються на підставі як видатної універсальної цінності, так і репрезентативності з точки зору чітко визначеного геокультурного регіону, а також їх здатності продемонструвати найважливіші і характерні культурні елементи таких регіонів [12].

Включення культурних ландшафтів, як окремої номінації до Списку всесвітньої спадщини та їх інтенсивне зростаюча кількість (станом на кінець 2022 року номінація включала 121 об'єкт з 65 держав або 10 відсотків від загальної кількості об'єктів Списку) [19], засвідчили про велику зацікавленість урядів, широкої громадськості та місцевих спільнот до збереження культурної та природної спадщини на засадах їх взаємозв'язку та взаємодії та застосування культурного ландшафту як однією з кращих форм збереження спадщини.

Україна, попри величезний історико-культурний та природний потенціал, в Списку представлена лише одним культурним ландшафтом – стародавнім містом Херсонесом Таврійським і його Хорою (2013). Введення в 2004 році у вітчизняне законодавство ландшафтних об'єктів як виду культурної спадщини не дало потужного поштовху для їх кількісного зростання – за даними Держстату та Міністерства культури на державному обліку в Україні на кінець 2016 року перебувало лише 8 ландшафтних об'єктів культурної спадщини (в 2010 – 5) з 125,7 тис. їх загальної кількості [2].

Тобто спостерігаємо суттєве відставання України у застосуванні культурно-ландшафтного підходу, як одного з фундаментальних на сучасному етапі у сфері охорони та збереження культурної і природної спадщини.

Першочерговим та важливим кроком з виправлення існуючої ситуації може слугувати проведення культурно-ландшафтного районування країни на різних таксономічних рівнях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. З початку 1990-х років у міжнародному праві спостерігається стала тенденція щодо законодавчого визнання культурного ландшафту як особливого типу культурної та природної спадщини. Уже невдовзі після започаткування Конвенцією ВКПС нової номінації – «Культурні ландшафти», у Списку всесвітньої спадщини у 1993 році був зареєстрований перший об'єкт – Національний парк Тонгаріро у Новій Зеландії. В Європі першими до Списку були внесені у 1996 році культурні ландшафти Сінтра (Португалія) та Ледніце-Вальтіце (Чехія), один із найбільших в Європі площею у 200 кв. км, який органічно поєднує архітектурні споруди та оточуючі їх ландшафтні парки. Серед інших видатних культурних ландшафтів – окремі райони долини Луари (2000) у Франції та долини Середнього Рейну (2002) у Німеччині, виноробний район Токай (2002) в Угорщині, Англійський край озер (2017) у Великій Британії та багато інших.

Невдовзі в Європі було прийнято ряд документів (Рекомендацію Rec(95)9 Комітету Міністрів державам – членам Ради Європи «Про комплексне збереження зон культурного ландшафту як частини політики з охорони ландшафтів» від 11 вересня 1995 року, «Європейську ландшафтну конвенцію» 2000 року (з 2016 року – Ландшафтна конвенція Ради Європи), «Керівні положення для імплементації Європейської ландшафтної конвенції», ухвалені Комітетом Міністрів Ради Європи 6 лютого 2008 року), в яких закріплені положення, що ландшафтний вимір має бути включено у підготовку всіх політик регулювання простору, як до загальних, так і до галузевих, з метою створення високоякісних пропозицій щодо захисту, регулювання або планування. Попередню стадію ландшафтної політики мають становити ідентифікація, опис та оцінювання ландшафту, що включає аналіз морфологічних, археологічних, історичних, культурних та природних характеристик та їх взаємозв'язків, а також аналіз змін.

У чинному законодавстві України відсутній термін «культурний ландшафт», прийнятий у Конвенції ВКПС. Натомість, виділяються «визначні місця» – зони або ландшафти, природно-антропогенні витвори, що донесли до нашого часу

цінність з археологічного, естетичного, етнологічного, історичного, архітектурного, мистецького, наукового чи художнього погляду та з 2004 року «ландшафтні об'єкти культурної спадщини» – природні території, які мають історичну цінність.

В той же час, у попередній Список всесвітньої спадщини (Tentative List) станом на 22.07.2019 р. внесені наступні українські об'єкти культурної спадщини та змішаного типу (культурно-природної спадщини), які можуть вважатися культурними ландшафтами: історичний центр м. Чернігова IX-XIII століть (з 1989 року); могила Тараса Шевченка і Шевченківський національний заповідник (1989); культурний ландшафт та каньйон м. Кам'янець-Подільський (1989); дендрологічний парк «Софіївка» (2000); археологічний комплекс «Кам'яна могила» (2006) [20].

Існуючий стан в Україні з виявлення культурних ландшафтів, подальшого взяття їх на облік, охороною та збереженням потребує вжиття термінових заходів, на що вказують численні публікації науковців Центру пам'яткознавства НАН України та УТОПК, НДІ пам'яткоохоронних досліджень (Українського державного інституту культурної спадщини) та інших.

Одним з найважливіших інструментів географічного дослідження культурних ландшафтів прийнято вважати культурно-ландшафтне районування (КЛР), яке серед різноманітних методів районування, розроблених в географічних дисциплінах, є найбільш адекватним по відношенню до культурної та природної спадщини та багатьма дослідниками вважається основоположною процедурою при плануванні управлінських дій щодо культурних ландшафтів.

В Україні, на жаль, відсутній досвід такого роду робіт, тому доцільно більш детально зупинитися на існуючих підходах та методах КЛР в окремих країнах зарубіжної Європи.

Протягом останніх десятиліть в **Польщі** спостерігається значний розвиток культурно-ландшафтних досліджень, в тому числі за участю географів, чому сприяло, зокрема, створення та діяльність Комісії з культурного ландшафту Польського географічного товариства. Однією з наукових цілей Комісії визначено створення методологічних засад для складання карт польських культурних ландшафтів розроблення такої карти, аналіз та оцінка напрямів розвитку культурного ландшафту окремих регіонів [6].

Як зазначає У. Мига-Піатек (2015), сучасна потреба в створенні карт культурного ландшафту виникає з кількох засадничих обставин: теоретично-концептуальних – для реалізації науково-дослідних цілей; практичних – пов'язаних з цілями діяльності в галузі планування, проектування, господарювання, збереження та охорони ландшаф-

тів, тобто у сфері широко зрозумілої ландшафтної політики; освітніх – з метою започаткування науки про ландшафти на рівні школи; правничих – для цілей виконання Європейської ландшафтної конвенції та директив ЄС, в тому числі впровадження уніфікованих систем просторової інформації (INSPIRE).

Готовність польських географів до спроб створення карт з регіоналізації культурного ландшафту пришвидшили практичні потреби, пов'язані з опрацюванням концепції просторового розвитку країни до 2030 року та змінами в національному законодавстві в 2015 році у зв'язку з впровадженням в країні ландшафтного аудиту на рівні воєводства [9].

Зокрема, до Національної концепції просторового розвитку до 2030 року (НКПР-2030), прийнятої Радою Міністрів Польщі у грудні 2011 року, в Інституті географії та просторової організації Польської Академії наук була розроблена «Карта культурного ландшафту Польщі» в масштабі 1:2 500 000. Розробник карти – П. Слешинський, включив до неї наступні інформаційні шари: межі історико-культурних районів; ступінь трансформації земель у вигляді обчислення щільності меж їх антропогенного походження (згідно Corine Land Cover 2006); частка житлового будівництва, впровадженого після 1989 року, та класифікація міст за періодами надання їм міських прав. Крім того, додаткова карта включає дані, що ілюструють насиченість території нерухомими пам'ятками (згідно з реєстром пам'яток Національного інституту культурної спадщини Польщі). Автор зазначає, що з точки зору загальної концепції культурного ландшафту видно слабке врахування природного аспекту, що на цій карті в НКПР-2030 було частково продиктовано розглядом цих питань на кількох інших картах (зокрема, на картах «Ландшафтне різноманіття» та «Охорона природи»).

Подальша робота може піти в напрямку поглиблення або розроблення нової синтетичної концепції, яка б врівноважувала історичні та сучасні проблеми, а також більшою мірою пов'язувала природні та антропогенні елементи.

Підсумковим результатом такого типу зусиль має стати всебічна культурна та природна регіоналізація Польщі, прийнята як у сфері гуманітарно-соціальних (історичних, суспільно- та економіко-географічних, економічних тощо), так і природничих (фізико-географічних, екологічних, геоботанічних тощо) досліджень [18].

Загальні теоретичні та методологічні основи історико-культурної регіоналізації сучасної Польщі розроблені у ряді досліджень І. Пліт (2015, 2016) та, як результат, представлено відповідну карту.

Регіоналізація здійснювалася за методом «зверху вниз», згідно з яким територія країни була поділена на відносно однорідні історико-культурні ландшафтні регіони. Запропонована авторкою схема на даному етапі передбачала трирівневий ієрархічний регіональний розподіл, який включає наступні історико-культурні одиниці: провінції (3), країни (14) та землі (137). Для кожного з цих рівнів були сформульовані відповідні критерії. Зокрема, верхні рівні враховують основний фактор диференціації, яким були колишні політичні поділи території Польщі між трьома державами (Росією, Пруссією та Австрією) та вплив інших культур на формування культурного ландшафту польських земель.

На нижчому рівні регіоналізації межі земель були визначені на основі аналізу сучасної структури селищних систем з урахуванням форм, щільності, концентрації та порядку просторового упорядкування сіл та міст. Їх розмір відповідає 2-3 сучасним повітам, однак, зазвичай з одмінними координатами. У запропонованих назвах культурних регіонів використовуються традиційні назви історичних земель [15].

Польські дослідники в розробленій ними ієрархії розрізняють ще кілька ландшафтних одиниць нижчого рівня, з метою їх подальшого виділення під час регіональних та місцевих досліджень [14].

У *Словаччині* зусилля представити синтез знань про формування культурного ландшафту своєї країни через просторову класифікацію, регіональну систематику чи регіональну типологію увінчалися такою важливою картографічною роботою, як «Ландшафтний атлас Словацької республіки» (2002).

До складу підрозділу атласу 8.3 «Екологічна та культурно-історична регіоналізація ландшафту» увійшла карта, яка відображає культурно-історичний потенціал 79 адміністративних районів (в градаціях від дуже високого до низького) та його культурно-історичного значення (міжнародного, національного чи регіонального). Комплексна оцінка культурно-історичного потенціалу території Словаччини здійснювалася на основі поточних реєстрових даних про пам'ятки культури згідно існуючого пам'яткоохоронного законодавства. Наприклад, найбільший культурно-історичний потенціал та культурно-історичне значення мають райони, на території яких розташовані об'єкти національного та міжнародного значення – у цій ієрархії це пам'ятки культури національного значення, пам'ятки-заповідники, пам'ятні зони та їх охоронні зони, включені до Списку всевітньої спадщини [4].

Дуже важливим завданням є виділення типів ландшафту з максимально об'єктивним вибором

істотних ознак і визначенням класифікаційних критеріїв - показників. Показниками ландшафтної типології у Словаччині виступають природні умови, природні ресурси, природні та культурні явища, з яких можна відокремити типи та регіони та в той же час встановити репрезентативні, цінні та унікальні типи ландшафтів. На їх основі можна виділити об'єкти зі збереженими традиційними формами господарювання, історичні ландшафтні структури, що документують окремі етапи суспільного розвитку, які потребують особливої уваги та можуть бути запропоновані до Списку всесвітньої спадщини. Ландшафтна типологія Словаччини є не метою, а інструментом для досягнення кращого управління ландшафтом, підвищення обізнаності про цінності ландшафту та планування його подальшого сталого розвитку. Результати типології будуть використані у рамках ландшафтного, просторового та стратегічного соціально-економічного планування, розвитку земель, інтегрованого управління вододілами, лісогосподарських планів, у концепціях охорони природи та ландшафту, навколишнього середовища. оцінці впливу тощо [13].

У Чехії склалася достатньо розвинута система законодавчих та нормативних актів з охорони ландшафтної спадщини країни, в основі якої закони №114/1992 з охорони природи і ландшафту та № 20/1987 про державну охорону пам'яток. З 2010 року збереження ландшафту є одним із пріоритетів і цілей, визначених Стратегічною програмою сталого розвитку Чеської Республіки.

Законодавством встановлено декілька категорій природоохоронних територій – великомасштабних, таких, як національний парк, охоронювана ландшафтна територія, природний парк або невеликих за розміром територіальних форм – природний заповідник, природна пам'ятка, важливий ландшафтний елемент тощо.

Згідно пам'ятоохоронного законодавства запроваджено категорію «Ландшафтної заповідної зони» (ЛЗЗ) як особливої форми територіальної охорони, в якій представлені як природні, так і культурно-історичні цінності, значення яких є визначальним для встановлення правового захисту для цієї території. Загалом за період 1992-2021 років було створено 27 ЛЗЗ, з яких Ледницько-Вальтицька – одна із найбільших штучних ландшафтів у Європі, включена до Списку всесвітньої спадщини.

Вагомим інструментом географічного дослідження ландшафтної спадщини країни стали карти «Атласу ландшафтів Чеської Республіки» (розділ 6. «Ландшафт як спадщина» та його підрозділ 6.3. «Природне та культурне значення ландшафту»), на яких знайшли своє відображення, зокрема, результати територіальної дифе-

ренціації показників насиченості природоохоронними та пам'ятоохоронними об'єктами за регіонами.

Наприклад, у карті «Значення ландшафту за природною та культурною спадщиною», природне значення ландшафту охоплює територіальну охорону природи і ландшафту (заповідні території, доповнені природоохоронними зонами), охорону лісів, охорону поверхневих і підземних вод, яке оцінюється відповідно до складності природоохоронних територій на даній території. Значимість території за культурною спадщиною визначається наявністю пам'яток з урахуванням не тільки кількості, але й їх художньої, історичної та містобудівної цінності [8].

Окрема карта в Атласі присвячена етнографічним регіонам країни, при цьому зазначено, що вони почали формуватися в ранньомодерну добу (XVI-XVIII ст.), але більш конкретної форми набули лише в другій половині XIX ст. На карті в загальних рисах зображено основні етнографічні регіони з їхніми субрегіонами та округами, а також кілька важливих культурно-географічних регіонів, визначених шляхом етнографічних та історичних досліджень [5].

Одним з головних напрямів у сфері збереження культурної спадщини, встановлених «Державною культурною політикою на 2015 – 2020 роки (з перспективою до 2025 року)» є виявлення, визначення, збереження та розвиток типових культурних характеристик ландшафтів Чеської Республіки (намір 3.1).

У цій царині, як відзначає І. Купка, результатом багатолітніх зусиль науковців є низка всебічних і цінних робіт, в багатьох з яких типології базуються переважно на властивостях природного компонента, геоморфології або поточному використанні ландшафту [7].

Основним інструментом для ідентифікації культурного ландшафту у будь-якому місці на території країни визначено методологію Типології історичного культурного ландшафту [3], яка, на відміну від попередніх, зосереджена на визначенні типів на основі культурної та історичної цінності території.

Застосування методології, яка була розроблена у відповідь на вимоги Ландшафтної конвенції Ради Європи з метою стандартизації процесу ідентифікації та класифікації культурних цінностей та отримала сертифікат Міністерства культури Чехії, дає змогу віднести досліджувані території до певного типу ландшафту, визначеного цим документом, та, в разі потреби, клопотати про надання відповідного правового захисту.

В основі створення національної типології історичного культурного ландшафту є опрацювання трьох основних категорій культурного

ландшафту, визначених Комітетом всесвітньої спадщини, тобто цілеспрямовано створених, органічно розвинених та асоціативних ландшафтів. Цей поділ уже використовується як стандартний у теорії та практиці збереження спадщини.

Застосування типології історичного культурного ландшафту може слугувати відправною точкою для подальшої роботи у сфері догляду за історико-культурним ландшафтом та для проектування можливих зон збереження ландшафту (існуючі ЛЗЗ охоплюють не всі цінні види історичного ландшафту) чи інших рівнів захисту [7]

Великий досвід з вивчення, класифікації та картографування культурних ландшафтів накопичено у *Великій Британії*, де на початку 1990-х років Комісією з сільської місцевості Англії були розроблені керівні принципи з визначення та оцінки характеру ландшафту (LCA) та характеристики історичного ландшафту (HLC), в Шотландії це називається оцінка історичного землекористування. В Уельсі поширений інший метод під назвою LANDMAP, заснований на використанні комплексної бази даних для інтегрованого ландшафтного аналізу, який охоплює декілька аспектів ландшафту, зокрема, візуальні ознаки, історичний ландшафт та культурні особливості.

Зазначені методи, які були спрямовані на інтеграцію природних і культурних аспектів ландшафту з їх сприйняття населенням, в той же час закладали просторову основу для врахування при плануванні і розвитку та з роками стали одними з центральних в характеристиці ландшафту у всій Європі.

Великий досвід з вивчення, класифікації та картографування культурних ландшафтів накопичено у Великій Британії, де на початку 1990-х років Комісією з сільської місцевості Англії були розроблені керівні принципи з визначення та оцінки характеру ландшафту (LCA) та характеристики історичного ландшафту (HLC), в Шотландії це називається оцінка історичного землекористування. В Уельсі поширений інший метод під назвою LANDMAP, заснований на використанні комплексної бази даних для інтегрованого ландшафтного аналізу, який охоплює декілька аспектів ландшафту, зокрема, візуальні ознаки, історичний ландшафт та культурні особливості.

Зазначені методи, які були спрямовані на інтеграцію природних і культурних аспектів ландшафту з їх сприйняття населенням, в той же час закладали просторову основу для врахування при плануванні і розвитку та з роками стали одними з центральних в характеристиці ландшафту у всій Європі.

Реалізація на національному рівні програм з виявлення, опису та аналізу характеру всього британського ландшафту дозволила виділити 159

національних характерних зон в Англії [10], 79 – в Шотландії [16] та 48 національних ландшафтних зон – в Уельсі [11], межі яких відповідають не адміністративним, а природним межам.

В цілому, в останні роки за кордоном спостерігається значне зростання наукових і прикладних досліджень в області типології, класифікації та ідентифікації ландшафтів, про що свідчить, наприклад, огляд норвезьких учених Т. Сіменсена, Р. Халворсена і Л. Ерікстада, які проаналізували 54 сучасних підходу до характеристики і картографування ландшафтів в різних країнах світу.

З висновків авторів, стосовно проблем, що розглядаються в даній статті, слід зазначити невеликі розміри (більш дрібні, ніж регіон або район) просторових одиниць ландшафтно-диференціації – ландшафтні зони в Великобританії, ландшафтні ділянки – в Норвегії, ландшафтні одиниці – в Іспанії і т. д.

Цей тренд зумовила поява в відкритих базах даних систематичної цифрової інформації географічного характеру з високою просторовою точністю, доступність сучасних методів статистичного аналізу в поєднанні з ГІС і комп'ютерною обробкою даних, що забезпечуються новими технологіями. У той же час автоматизація підходів картографування, що включають культурні та візуальні показники, обмежена відсутністю узгоджених просторових даних, що характеризують культурно-історичні фактори та охоплюють всю територію [17].

Формулювання мети статті. Метою даного дослідження є розроблення методичних підходів до культурно-ландшафтного районування України, що передбачає виконання таких завдань:

- вивчення та аналіз досвіду диференціації та районування територій різного рівня на засадах культурно-ландшафтного підходу у зарубіжній географії;

- розроблення основних методичних підходів до культурно-ландшафтного районування України на макрорівні;

- розроблення культурно-ландшафтного районування території України та пропозицій щодо основних напрямів його розвитку та практичного застосування у сфері охорони та збереження культурної і природної спадщини.

Виклад основного матеріалу дослідження. В цілях культурно-ландшафтного районування України під культурним ландшафтом розуміється природно-культурне локальне територіальне утворення, яке є результатом історичної та сучасної взаємодії даного суспільства і природного середовища, та цілісний образ якого сприймається і цінується за її природні та культурні якості (матеріальні та духовні) унікального (всесвітнього), видатного (національного) чи велико-

го (місцевого) значення.

Сукупність взаємопов'язаних культурних ландшафтів, які взаємодіють на певній території, формують цілісні природно-культурні системні територіальні утворення різного рівня, виявлення, виділення і розмежування яких є загальною метою культурно-ландшафтного районування.

Основні завдання, для вирішення яких розроблюється КЛР країни:

– методологічні, які полягають у створенні концептуальної основи для вивчення територіальних відмінностей у диференціації культурних ландшафтів, що сприятиме виконанню аналогічних завдань на регіональному та районному рівнях та розв'язанню інших науково-дослідних проблем в цій сфері досліджень;

– законодавчі та нормативно-правові, які полягають в стимулюванні діяльності з імплементації положень міжнародних конвенцій, підписаних Україною, до національного законодавства;

– стратегічні, що пов'язані з обґрунтуванням стратегії розвитку культурно-ландшафтного підходу в країні та її включенням до документів з реалізації державної культурної та екологічної політики та розробленням комплексу необхідних практичних управлінських заходів;

– культурно-освітні, що плануються втілюватися шляхом публікації картосхеми КЛР у складі електронного атласу «Населення України та його природна і культурна спадщина», використанням результатів дослідження для викладання окремих навчальних предметів у закладах вищої та середньої освіти тощо.

Головними ознаками культурно-ландшафтною диференціації території країни відібрані:

– природно-географічні (особливості фізико-географічної, геоботанічної, гідрографічної та ландшафтною диференціації);

– етнографічні: особливості народної (традиційної) матеріальної культури (типів господарювання та засобів виробництва, системи розселення та типової архітектури народного житла, одягу, декоративно-прикладного мистецтва) та особливості духовної культури (фольклору, звичаїв і обрядів, народних знань та вірувань);

– лінгвістичні (особливості діалектно-говіркової диференціації);

– історико-географічні (особливості історичного розвитку території), історико-політичні та адміністративно-територіальні (особливості політико- та адміністративно-територіального поділу різного часу і рівнів);

– природна, культурна та нематеріальна спад-

щина (особливості просторової локалізації і концентрації об'єктів природної та культурної спадщини – нерухомої та нематеріальної).

Джерельно-інформаційною базою проведення КЛР слугували дослідження, що відображають територіальну диференціацію України за цими групами ознак та мають розроблені відповідні схеми районування з їх картографічним втіленням, а саме з:

– фізико-географічного районування (О.М. Маринич, Г.О. Пархоменко, О.М. Петренко, П.Г. Шищенко, 2003), ландшафтного (П.Г. Шищенко, 1988), геоботанічного (Т.Л. Андрієнко, Г.І. Білик, Є.М. Брадів та ін., 1977; Я.П. Дідух, Ю.Р. Шеляг-Сосонко, 2003), гідрографічного (В.В. Гребін та ін., 2013), природно-сільськогосподарського (А.Г. Мартин, С.О. Осипчук, О.М. Чумаченко, 2015);

– історико-етнографічного (М.С. Глушко, 2018; Р.Ф. Кирчів, 2004; О.Ю. Косміна, 2005; С.А. Макаруч, 2012), фольклористичного (Р.Ф. Кирчів, 2002), лінгвістичного (Українська мова: Енциклопедія, 2000);

– історичного (Я.В. Верменич, 2005; В.О. Горбик, П.І. Скрипник, 1995; Ф.Д. Заставний, 1993; О. Маринич, 1993), етногеографічного та етнологічного-географічного (М.С. Дністрянський, 2008; Я.І. Жупанський, В.П. Круль, 2003.), географо-топонімічного (Т.Г. Купач, 2007) та ін.

Таксономічну систему КЛР країни в цілому запропоновано скласти з двох рівнів: культурно-ландшафтних країв¹ і культурно-ландшафтних макрорайонів.

Базовим таксоном в даному контексті прийнято культурно-ландшафтний край, що являє собою *природно-культурне системне територіальне утворення, цілісне та однорідне за сукупністю природно-географічних, етнографічних, лінгвістичних, історико-географічних та культурних ознак.*

Виділення культурно-ландшафтних країв та макрорайонів здійснювалось за результатами розгляду та аналізу існуючих схем районування, визначеного ними розмежування між відповідними таксономічними одиницями, накладенням один на одного та проведенням кордонів за сукупністю співпадаючих ознак.

Встановлено, що межі культурно-ландшафтних макрорайонів узгоджуються з межами адміністративних районів, що є недоліком такого районування, однак спрощує збір і обробку статистичної інформації, визначає адресність та цілеспрямованість щодо діяльності виявлення, охорони

¹ «Край», як базова одиниця районування, фігурує у багатьох дослідженнях історичного, історико-культурного чи етнографічного спрямування, які про-

дили, наприклад, В.О. Горбик, П.І. Скрипник (1995), В.П. Круль (1995), О.М. Маринич (1993) та інші.

та збереження культурної та природної спадщини тощо.

Значна частина виділених культурно-ландшафтних таксонів це вже «узвичаєні» (за висловом відомого українського етнографа та фольклориста Р.Ф. Кирчіва, 2002) за назвою та умовними кордонами історико-етнографічні та етнокультурні, історичні та історико-географічні, географічні території України (краї, області, регіони, райони).

При виділенні культурно-ландшафтних макрорайонів зростає роль фізико-географічної основи, що знаходить своє відображення у збільшеній частці назв, які мають природничий генезис.

В першу чергу, це результат застосування багосейнового підходу до виділення макрорайонів, оскільки річки відігравали величезну роль в освоєнні та розвитку українських земель, тому в їх назвах застосовані гідроніми великих (або їх суббасейнів) та середніх річок. Важливе місце серед назв макрорайонів припадає на імена обласних та деяких історико-культурних центрів, загальноприйнятих історико-етнографічних районів та ареалів розселення етнографічних груп.

Внутрішня неоднорідність культурно-ландшафтних макрорайонів потребує досліджень з подальшої диференціації їх території зі встановленням більш детальної таксономічної системи та відповідних ознак виділення. Вони мають бути цілеспрямовані на виявлення культурно-ландшафтних утворень різних розмірів для їх перспективного пам'яткоохоронного або природоохоронного заповідання.

Окремого розгляду потребує питання виділення культурно-ландшафтних регіонів в якості окремого позаієрархічного таксону КЛР, яке здійснене в межах сучасного адміністративно-територіального поділу країни та їх найменуванням, що походить від назви області з суфіксом – *чина* (–*щина*). Зрозуміло, що культурно-ландшафтні регіони в представленому вигляді не володіють властивостями цілісності чи однорідності, оскільки складаються з декількох культурно-ландшафтних макрорайонів або їх частин, що входять до різних культурно-ландшафтних країв (за винятком Закарпатської області). Однак, зважаючи на їх роль у формуванні та реалізації регіональної політики в багатьох сферах життєдіяльності та забезпеченні централізованим управлінням територією, на них може бути покладена функція з практичної реалізації культурно-ландшафтного підходу та встановлення взаємозв'язку і взаємодії з іншими територіальними підсистемами. Це також відповідає загальним цілям районування, як методології дослідження територіальної організації суспільства, одна з яких полягає в обґрунтуванні стратегії її

розвитку.

Крім того, якщо декілька регіонів відомі як історико-географічні чи історичні території та уже з 18-19-х століть були окремими одиницями адміністративного устрою (Волинь, Київщина, Полтавщина, Харківщина, Херсонщина, Чернігівщина), інші ведуть свою історію як окремі області з 30-50-х років минулого століття (Вінниччина, Львівщина, Луганщина, Одещина, Рівненщина, Сумщина, Тернопільщина, Хмельниччина тощо). Тоді ж, в основному, були закріплені межі адміністративно-територіальних одиниць, що свідчить про їх тривалу новітню історію та формування як важливих елементів сучасного ландшафту України. Тим більше, що виділення регіонів як окремих культурно-ландшафтних утворень надає можливість їх цілісного сприймання та сприятиме подальшому формуванню його культурно-географічного образу (бренду) в країні та світі.

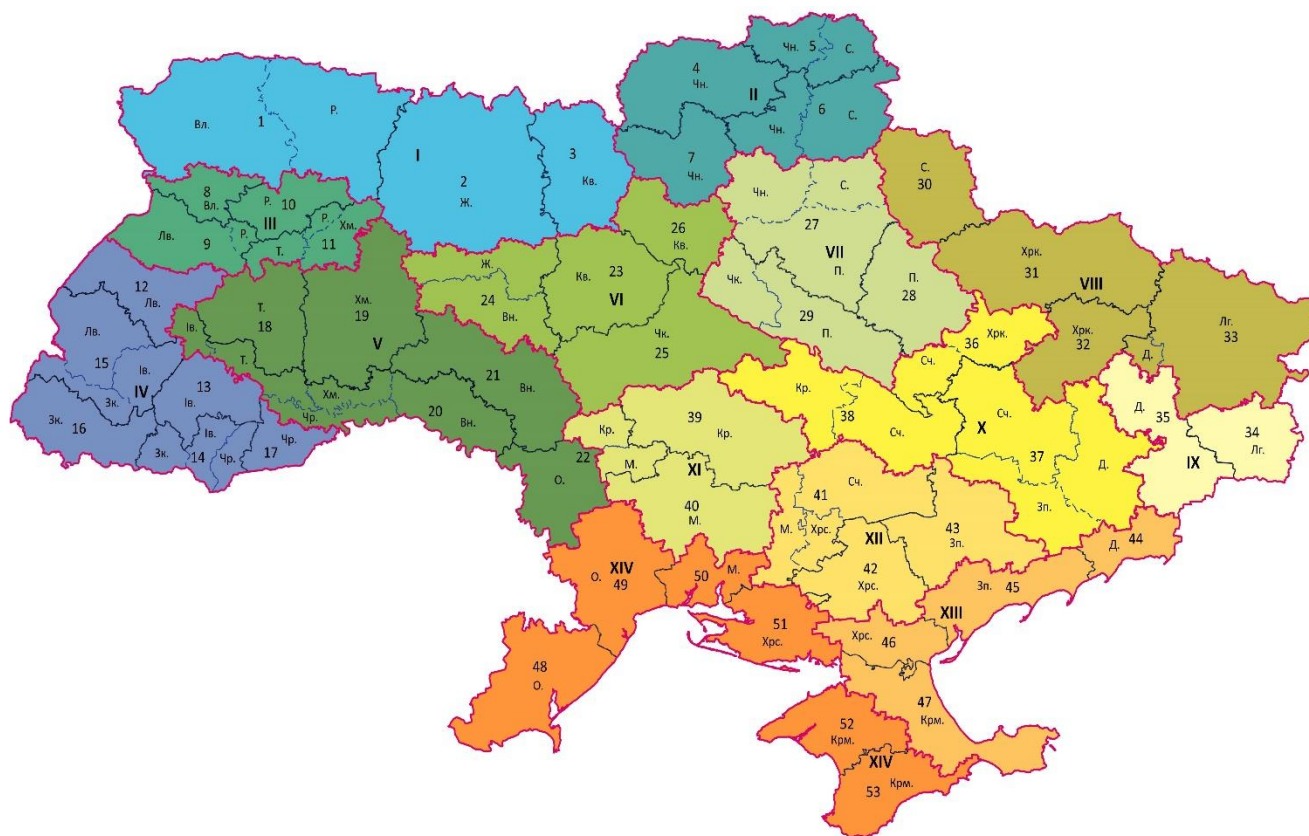
Запропонований варіант КЛР України (рис. 1) в силу свого первісного характеру не є універсальним та не позбавлений недоліків, тому передбачається його уточнення та удосконалення в процесі подальшого розроблення КЛР на мезо- та мікро рівнях (регіонів та адміністративних районів).

Головний результат проведеної роботи – карта «Культурно-ландшафтне районування України», стала однією з ключових тем електронного атласу «Населення України та його природна і культурна спадщина», розроблення у 2020 році завершив Інститут географії НАН України [1].

Висновки. Результати дослідження свідчать про велике значення культурно-ландшафтного підходу на сучасному етапі, як одного з фундаментальних у сфері охорони та збереження культурної і природної спадщини та визнаного в ряді міжнародних документів світовою спільнотою. Суттєве відставання України у застосуванні культурно-ландшафтного підходу проявляється, як у частковій або повній відсутності імплементації у вітчизняне законодавство положень ратифікованих нею міжнародних конвенцій, так і незадовільними темпами їх практичного впровадження.

Одним з найважливіших та першочергових завдань в активізації зусиль із впровадження культурно-ландшафтного підходу є розроблення системи КЛР, необхідність та висока актуальність вирішення якого вказує відсутність (на відміну від багатьох інших країн) подібного роду розробок в Україні.

Ігнорування або недооцінка культурних ландшафтів як культурної та природної спадщини при реалізації державної культурної та екологічної політики, в стратегічному та просторовому плануванні, містобудівній та господарській діяль-



КУЛЬТУРНО-ЛАНДШАФТНІ КРАЇ ТА МАКРОРАЙОНИ:

- | | |
|--|---|
| <p>I. Поліський край
 1. Волинсько Західно-Поліський район
 2. Житомирсько Середньо-Поліський район
 3. Київсько Середньо-Поліський район</p> <p>II. Чернігово-Сіверський край
 4. Чернігівсько-Поліський район
 5. Новгород-Сіверсько Поліський район
 6. Посеймський район
 7. Дніпровсько-Деснянський район</p> <p>III. Волинський край
 8. Західно-Волинський район
 9. Малополіський район
 10. Центральньо-Волинський район
 11. Верхньо Погоринський район</p> <p>IV. Карпатський край
 12. Опільський район
 13. Покутський район
 14. Гуцульський район
 15. Бойківський район
 16. Долинно-Закарпатський район
 17. Північно-Буковинський район</p> <p>V. Подільський край
 18. Західно-Подільський район
 19. Східно-Подільський район
 20. Подністровський район
 21. Середньобузський район
 22. Південно-Східно Подільський район</p> <p>VI. Київський край
 23. Київсько-Придніпровський район
 24. Північно-Західно Придніпровський район
 25. Черкасько-Придніпровський район
 26. Переяславський район</p> | <p>VII. Полтавський край
 27. Північно-Полтавський район
 28. Східно-Полтавський район
 29. Полтавсько-Придніпровський район</p> <p>VIII. Слобожанський край
 30. Сумський район
 31. Харківсько-Лісостеповий район
 32. Харківсько-Степовий район
 33. Сіверськодонецький район</p> <p>IX. Донецький край
 34. Південно-Луганський район
 35. Донецько-Степовий район</p> <p>X. Придніпровський край
 36. Приорільський район
 37. Присамарський район
 38. Надпорізький район</p> <p>XI. Побузький край
 39. Бузько-Інгульський район
 40. Нижньобузський район</p> <p>XII. Нижньодніпровський край
 41. Криворізько-Інгулецький район
 42. Херсонський район
 43. Запорізький район</p> <p>XIII. Приазовський край
 44. Донецько-Приазовський район
 45. Запорізько-Приазовський район
 46. Азово-Присиваський район
 47. Кримсько-Сиваський район</p> <p>XIV. Причорноморський край
 48. Придунайський район
 49. Одеський район
 50. Миколаївський район
 51. Херсонський район
 52. Кримсько-Степовий район
 53. Гірськокримський район</p> |
|--|---|

КУЛЬТУРНО-ЛАНДШАФТНІ РЕГІОНИ:

- | | |
|-------------------------------------|-------------------|
| Вл. Волинь | М. Миколаївщина |
| Вн. Вінниччина | О. Одещина |
| Сч. Дніпропетровщина (Січеславщина) | П. Полтавщина |
| Д. Донецщина | Р. Рівненщина |
| Ж. Житомирщина | С. Сумщина |
| Зк. Закарпаття | Т. Тернопільщина |
| Зп. Запоріжжя | Хрк. Харківщина |
| Іф. Івано-Франківщина | Хрс. Херсонщина |
| Кв. Київщина | Хм. Хмельниччина |
| Кр. Кіровоградщина (Кропивниччина) | Чк. Черкащина |
| Крм. Крим | Чн. Чернігівщина |
| Лг. Луганщина | Чр. Чернівецьщина |
| Лв. Львівщина | |

МЕЖІ

- Культурно-ландшафтних країв
- Культурно-ландшафтних регіонів
- Культурно-ландшафтних макро (мезо) районів

Рис. 1. Культурно-ландшафтне районування України / Fig. 1. Cultural landscape zoning of Ukraine

ності, може привести до їх деградації, руйнування та загрози безповоротної втрати.

Напрями подальшого розвитку культурно-ландшафтного підходу та КЛР районування можуть полягати в наступному:

- розроблення загальнодержавних стратегічних документів (концепцій, планів, програм) з виявлення, ідентифікації, охорони, збереження та використання культурних ландшафтів України як об'єктів природної та культурної (нерухомої та нематеріальної) спадщини, в тому числі зі впровадженням відповідного понятійного апарату згідно міжнародного законодавства та встановленням необхідних захисних механізмів у національному природоохоронному та пам'яткоохоронному законодавстві;

- інтеграція питань охорони та збереження культурного ландшафту в загальнодержавне та регіональне планування просторового розвитку та до діючої системи містобудівної нормативної та планувальної документації;

- проведення досліджень з комплексного вивчення території, картографування та розроблення КЛР регіонів та адміністративних районів з метою виявлення культурних ландшафтів національного та місцевого значення, їх охорони та збереження, тенденцій формування сучасних культурних ландшафтів регіону тощо;

- уточнення існуючих номінацій від України для включення до Списку Всесвітньої культурної спадщини та підготовка номінаційних документів для нових об'єктів на засадах концепції культурного ландшафту.

Перспективні напрями подальших наукових досліджень із впровадження культурно-ландшафтного підходу в Україні пов'язані з виконанням таких завдань:

- вивчення й аналіз основних правових, теоретичних та методичних засад, практики та результатів впровадження культурно-ландшафтно-

го підходу для цілей охорони всесвітньої та європейської спадщини;

- вивчення й аналіз досвіду виявлення, форм збереження, обліку та реєстрації, регламентації використання культурних ландшафтів як об'єктів культурної та природної спадщини та досвіду диференціації та районування територій різного рівня на засадах культурно-ландшафтного підходу у окремих країнах Європи та Північної Америки;

- вивчення й аналіз сучасного стану застосування та законодавчого, нормативно-правового, методичного, наукового та інституційного забезпечення культурно-ландшафтного підходу у сфері охорони культурної та природної спадщини України;

- розроблення концепту культурно-ландшафтно-ї спадщини України – визначення структурних компонентів, їх систематизація та класифікація, розроблення основних методичних підходів щодо створення системи культурно-ландшафтного районування країни на різних таксономічних рівнях тощо;

- формування комплексної інформаційно-аналітичної бази культурних ландшафтів України із застосуванням апарату геоінформаційних технологій, формування просторової та атрибутивної інформації на кожен об'єкт тощо;

- розроблення електронного атласу «Культурно-ландшафтна спадщина України» як логічного продовження електронного атласу «Населення України та його природна і культурна спадщина» (Інститут географії НАН України, 2020).

Подяки. Ця стаття є одним із результатів теми «Електронне картографування культурно-ландшафтно-ї спадщини України», що виконується у рамках гранту Словацького наукового грантового агентства VEGA №2/0043/23 «Виявлення ландшафтного різноманіття та його змін у Словаччині на основі даних дистанційного зондування в контексті Європейської зеленої угоди».

Список використаної літератури

1. Академічна географія і атласне картографування за роки незалежності України / Л.Г. Руденко, А.І. Бочковська, К.А. Поливач та ін. За ред. Л. Г. Руденка. – *Ін-т географії НАН України*, 2021. – 120 с.
2. *Заклади культури, мистецтва, фізкультури та спорту України у 2016 році. Статистичний бюлетень. Державна служба статистики України*. Київ, 2017. – 89 с.
3. Ehrlich, M. et al. *Typologie historické kulturní krajiny České Republiky*. 2020. České Budějovice: Národní památkový ústav. 170 s.
4. Husovská, L., Dvořáková, V., Berková, A., Pappová J., *Kultúrohistorický význam a potenciál územia podľa okresov // Atlas krajiny Slovenskej republiky (Landscape Atlas of the Slovak Republic)*. Bratislava: Banská-Bystrica, 2002. 342 p. – Режим доступу: <https://app.sazp.sk/atlassr/>
5. Jeřábek R., Vařeka J., Woitsch J. *Národopisné regiony. Mapa 1: 1 500 000 // Hrnčiarová, T., Mackovčín, P., Zvara, I. et al. Atlas krajiny České republiky / Landscape Atlas of the Czech Republic*. Praha, Průhonice, 2009. – P. 249
6. Komisja Krajobrazu Kulturowego Polskiego Towarzystwa Geograficznego. – Режим доступу: <https://krajobrazkulturowy.us.edu.pl/index.php>
7. Kupka, J. *Typologie historické kulturní krajiny jako podklad pro památkovou péči a regionální rozvoj // Regionální rozvoj mezi teorií a praxí 3/2022*. – P. 47-60. – Режим доступу: <http://www.regionalnirozvoj.eu/vydani/202203>

8. Mackovčín, P., Kuča K., Vágó Z. Významnost krajiny podle přírodního a kulturního dědictví. Mapa 1: 500 000 // Hrnčiarová, T., Mackovčín, P., Zvara, I. et al. Atlas krajiny České republiky / Landscape Atlas of the Czech Republic. Praha, Průhonice, 2009. – P. 254-255
9. Myga-Piątek U. Mapa krajobrazów kulturowych tradycja – potrzeby – trudności – próby – możliwości // Mapy krajobrazu kulturowego. Przegląd doswiadczen. Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego. – 2015. – №27. – P. 9-25.
10. Natural England. – Режим доступу: <https://www.gov.uk/government/publications/national-character-area-profiles-data-for-local-decision-making/national-character-area-profiles>
11. Natural Resources Wales. – Режим доступу: <https://naturalresources.wales/evidence-and-data/maps/nlca/?lang=en>
12. Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention / WHC.17/01 12 July 2017. – Режим доступу: <https://whc.unesco.org/document/163852>
13. Oťaheľ, J., Hrnčiarová, T., Kozová, M. 2008: Typológia krajiny Slovenska: regionalizácia jej prírodno – kultúrneho charakteru. Životné prostredie, 42 (2). – P. 70–76.
14. Plit F., Plit J. Hierarchia regionów krajobrazów kulturowych poziomy 3-10. Państwa krajobrazowe i regiony krajobrazowe niższych szczebli // Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego. – 2016. – №31. – P. 9-24.
15. Plit J. Krajobrazy kulturowe Polski i ich przemiany. Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. S. Leszczyckiego PAN, Warszawa, 2016. (Prace Geograficzne, 253). – 302 p.
16. Scottish Natural Heritage. – Режим доступу: <https://www.nature.scot/sites/default/files/2017-07/A736465%20-%20Landscapes%20of%20Scotland%20-%20map.pdf>
17. Simensen T., Halvorsen R., Erikstad L. Methods for landscape characterisation and mapping: A systematic review // Land Use Policy, 2018. – Vol. 75. – P. 557-569. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.04.022>
18. Śleszyński P. Mapa krajobrazu kulturowego Polski w Koncepcji Przestrzennego Zagospodarowania kraju 2030 // Mapy krajobrazu kulturowego. Przegląd doswiadczen. Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego. 2015. – №27. – P. 45-61.
19. UNESCO World Heritage Centre – List. – Режим доступу: <https://whc.unesco.org/en/list/>
20. UNESCO World Heritage Centre – Tentative list. Режим доступу: <http://whc.unesco.org/en/tentativelists/state=kg>

Cultural landscape zoning of Ukraine

Kateryna Polyvach,

PhD (Geography), Independent Researcher, Department of Geoinformatic, Institute of geography, Slovak Academy of Sciences, 49 Štefánikova St., 81473, Bratislava, Slovakia

ABSTRACT

Formulation of the problem. Nowadays in Ukraine there is a significant gap in the application of cultural-landscape approach and the lack of cultural and landscape zoning (CLZ) at different taxonomic levels, as one of the fundamental stages in the protection and preservation of cultural and natural heritage, which is recognized in a number of international documents by the world community.

The purpose of the article. The purpose of this study is to develop methodological approaches to CLZ in Ukraine.

Analysis of recent research and publications. The study and analysis of the experience of differentiation and zoning of different level territories on the basis of cultural and landscape approach in some European countries showed the crucial role of CLZ in studying cultural landscapes and planning management actions for their protection, conservation and use.

Methodology and results. The overall purpose of CLZ was to identify, define and differentiate integral natural and cultural systemic territorial formations of different levels, which form a set of interconnected cultural landscapes in a given area. The main factors of cultural-landscape differentiation of Ukraine at the macro level were natural-geographical, ethnographic, linguistic, historical-geographical, historical-political and administrative-territorial features and features of spatial localization and concentration of natural and cultural heritage - immovable and intangible. The information base for conducting the CLZ were researches that reflects the territorial differentiation of Ukraine by these groups of features and has developed appropriate zoning schemes with their cartographic implementation. The taxonomic system of the country's CLZ has been developed. It consists of two levels: 14 cultural-landscape regions and 52 cultural-landscape macro-districts; 26 cultural and landscape regions have been identified as a separate taxon, outside of the hierarchy, according to the administrative-territorial division of the country. The most important result of the study – the map "Cultural-landscape zoning of Ukraine", became one of the key topics of the electronic atlas "Population of Ukraine and its natural and cultural heritage". The development of the atlas was completed in 2020 by the Institute of Geography of NASU.

Scientific novelty and practical significance. For the first time in Ukraine, CLZ has been developed at the macro level, thus starting to fill a gap of the absence of domestic developments of this kind. The study identified proposals on the main directions of development and practical application of CLZ in the field of protection and preservation of cultural and natural heritage through inclusion in the systems of national and regional strategy, spatial development planning, research on integrated study of territory, mapping and development of CLZ regions and administrative districts, etc.

Keywords: cultural landscape, cultural and natural heritage, cultural landscape zoning.

References

1. Rudenko L., Bochkovska A., Polyvach K. (2021). *Academic geography and atlas mapping during the years of Ukraine's independence*. Kyiv: Institute of geography of NASU, 120. [in Ukrainian]
2. *Institutions of culture, physical culture, and sports of Ukraine in 2016*. (2017). *Statistical Bulletin*. State Statistics Service of Ukraine. Kyiv, 89. [in Ukrainian]
3. Ehrlich, M. et al. (2020) *Typology of Historical Cultural Landscape of the Czech Republic*. České Budějovice: Národní památkový ústav, 170. [in Czech]
4. Husovská, L., Dvořáková, V., Berková, A., Pappová J. (2002). *Cultural-historical importance and potential of the territory by districts // Landscape Atlas of the Slovak Republic*. Bratislava: Banská-Bystrica. 342. Available at: <https://app.sazp.sk/atlassr/> [in Slovak]
5. Jeřábek R., Vařeka J., Woitsch J. (2009) *Ethnographic regions. Map 1: 1 500 000 // Hrnčiarová, T., Mackovčín, P., Zvara, I. et al. Landscape Atlas of the Czech Republic*. Praha, Průhonice. 249. [in Czech]
6. *The Cultural Landscape Commission of the Polish Geographic Society* – Available at: <https://krajobrazkulturowy.us.edu.pl/index.php>
7. Kupka, J. (2022). *Typology of the historical cultural landscapes as a basis for monument conservation and regional development // Regional Development between Theory and Practice journal*. 3, 47-60. Available at: <http://www.regional-nirozvoj.eu/vydani/202203> [in Czech]
8. Mackovčín P., Kuča K., Vágó Z. (2009). *Landscape significance according to natural and cultural heritage. Map 1: 500 000 // Hrnčiarová, T., Mackovčín, P., Zvara, I. et al. Landscape Atlas of the Czech Republic*. Praha, Průhonice. 254-255. [in Czech]
9. Myga-Piątek U. (2015). *Cultural Landscape Map: Tradition – Needs – Difficulties – Attempts - Opportunities // Dissertations of Cultural Landscape Commission*, 27, 9-25. [in Polish]
10. *Natural England*. Available at: <https://www.gov.uk/government/publications/national-character-area-profiles-data-for-local-decision-making/national-character-area-profiles>
11. *Natural Resources Wales*. Available at: <https://naturalresources.wales/evidence-and-data/maps/nlca/?lang=en>
12. *Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention / WHC.17/01 12 July 2017*. Available at: <https://whc.unesco.org/document/163852>
13. O'ahel', J., Hrnčiarová, T., Kozová, M. (2008) *Landscape Typology of Slovakia: Regionalisation of its Natural – Cultural Character. // Natural environment*, 42, 2, 70–76 [in Slovak]
14. Plit F., Plit J. (2016). *The hierarchy of cultural landscape regions levels 3-10. Landscape countries and regions of lower rank // Dissertations of Cultural Landscape Commission*, 31, 9-24. [in Polish]
15. Plit J. (2016). *Cultural landscapes of Poland and their evolution/ Geographical studies*, 253, 302. [in Polish]
16. *Scottish Natural Heritage*. Available at: <https://www.nature.scot/sites/default/files/2017-07/A736465%20-%20Landscapes%20of%20Scotland%20-%20map.pdf>
17. Simensen T., Halvorsen R., Erikstad L. (2018). *Methods for landscape characterization and mapping: A systematic review // Land Use Policy*, 75, 557-569. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837717314072>
18. Śleszyński P. (2015). *The map of cultural landscape of Poland in the National Spatial Development Concept 2030 // Dissertations of Cultural Landscape Commission*, 27, 45-61. [in Polish]
19. *UNESCO World Heritage Centre – List*. Available at: <https://whc.unesco.org/en/list/>
20. *UNESCO World Heritage Centre – Tentative list*. Available at: <http://whc.unesco.org/en/tentativelists/state=kg>

Received 7 September 2022

Accepted 3 October 2022

Experience and prospects of mobile GIS use for practical training of geography students

*Nataliia Popovych*¹,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Physical Geography and Cartography,

¹V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, Ukraine, 61022,

e-mail: n.v.popovych@karazin.ua, <http://orcid.org/0000-0003-4968-6296>;

*Olena Sinna*¹,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Physical Geography and Cartography,

e-mail: o.sinna@karazin.ua, <http://orcid.org/0000-0002-7693-7348>;

*Liudmyla Nazarko*¹,

MSc (Geography), Department of Physical Geography and Cartography,

e-mail: l.nazarko@physgeo.com, <https://orcid.org/0000-0003-4857-7338>

ABSTRACT

Problem statement. In recent decades, approaches to conducting field research have been significantly modernized. The use of smartphones, tablets and other portable devices with mobile GIS for field data collection has increased significantly. The rapid change in geospatial research technologies makes it necessary to introduce them into the educational process, in particular, in practical training of geography students.

Research methodology. Paper forms of field data collection, materials and reports from practical trainings of the previous years, stored at the Department of Physical Geography and Cartography of V. N. Karazin Kharkiv National University, served us as the source materials for the research. To implement the practical part of the research, ESRI software products such as Collector for ArcGIS, ArcGIS Online, ArcGIS Desktop were used.

The purpose of the research is to substantiate the content and to create electronic forms of field data collection with mobile GIS for the physiographic part of the educational natural science training of first-year students of specialty 106 Geography of V. N. Karazin Kharkiv National University.

Results. The use of mobile GIS for practical training of future geographers is widespread in Ukrainian and foreign universities. In particular, in recent years, teachers of the Department of Physical Geography and Cartography have been introducing mobile GIS into field data collection. We have developed 4 electronic forms of field data collection for the physiographic part of the educational natural science training of first-year students. They are soil profile description, forest phytocenosis description, geological and geomorphological observations, and hydrological station. Due to the wide functionality of Collector for ArcGIS, in particular, the ability to work offline, this mobile application and ArcGIS Online were used to develop forms. To optimize the work with individual text fields in electronic forms, we created domain values that allow students to select a certain option from the drop-down list.

Practical significance and research perspectives. The implementation of mobile GIS into practical training of future geographers contributes to the formation of cartographic and geoinformation competencies and helps students master modern approaches to the organization of various types of field studies. Testing developed electronic forms during summer practical training of students or through independent research in the study area remains a relevant task. In the future, it is advisable to create electronic forms for all sections of the physiographic part of the first-year students' practical training and to adapt data collection forms for independent use.

Keywords: *mobile GIS, field data collection, practical training, training of geography students.*

In cites: Popovych Nataliia, Sinna Olena, Nazarko Liudmyla (2022). Experience and prospects of mobile GIS use for practical training of geography students. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (57), 184-194. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-14>

Formulation of the problem. Data collection is one of the key stages of any field studies. The location of certain objects (e.g., soil profiles, hydrological stations), their qualitative and quantitative attributes, and the interaction between the objects are important for physiographic research. Optimizing time and energy allocated to fieldwork through the use of convenient means of collecting high-precision data allows researchers to put greater emphasis on a meaningful and comprehensive study of an object or a phenomenon.

In recent decades, the use of smartphones, tablets and other portable devices for field data collection has increased significantly. It is caused by the general rapid development of geographic information

systems (GIS), wide internet access on these devices, growing availability of GPS and GNSS technologies, and leads to a natural change in approaches to fieldwork. In the future, due to the increase in the number of satellites and their greater signal strength, the positional accuracy of portable devices equipped with GPS and GNSS will continue to grow [12].

The rapid change in geospatial research technologies and their availability for a wide range of specialists makes it necessary to introduce them into the educational process [2]. For geography students, first of all, this concerns field training, during which they learn to collect data about the state of the environment, its indicators and characteristics. To achieve these tasks, the transition from traditional means of

collecting data on the location of terrain objects (e.g., measuring tapes, theodolites, paper maps) to modern mobile devices with appropriate software is promising. Such devices provide a number of advantages, such as: high accuracy of georeferencing, ease of measurement even for inexperienced users, improved detailing of attributes, and the automation of the process of loading results into a desktop GIS [19]. In addition, many students can work simultaneously on a certain task, entering data into a single synchronized database, which is impossible (in automatic mode) when using paper forms. As a result, the effectiveness of training increases and the results of field studies become more relevant. The long-term data can be easily accumulated, which, if properly systematized, become useful for both educational and scientific purposes.

Analysis of recent research and publications.

Mobile GIS are usually defined as cartographic applications for portable devices that are used to collect, edit, process and visualize field data in real time and are integrated into the existing geodata infrastructure. They can work both on mobile devices (smartphones, tablets with IOS and Android operating systems) and on specialized high-precision devices from Trimble, Leica, Garmin and other companies. Mobile GIS allowed scientists to use appropriate tools not only at computer-equipped workplaces, but also during fieldwork, potentially from anywhere on the earth [9]. It is no surprise that the popularity of these applications is steadily increasing every year, just as the number of features available to users.

Since the 1960s, GIS have moved from desktop solutions to server-based solutions, and then to web-based solutions, which allowed mobile GIS to be used directly in the field. Initially, this technology was used mainly for transport navigation and surveying needs. In the first mobile GIS, data and software were preloaded on the device and operated without internet access. Gradually, with the development of communication technologies, they became able to work online. Now mobile GIS are considered as a component of web GIS. The emergence and development of this technology has opened up new opportunities and prospects in many fields: emergency management, agriculture and forestry, health care, law enforcement, navigation and tourism, and others [16].

In the world scientific circles, the use of mobile GIS in the research is widely implemented. Geospatial software and information systems have long become an important part of environmental modeling and studies. They allow researchers to use a powerful arsenal of cartography, spatial analysis and modeling and provide access to large datasets, analysis and decision-making support tools [17].

An example is the study aimed at obtaining a detailed dataset on flora and fauna of the Kujawy

Mining Plant (Bielawy commune, Poland) for biodiversity management. Biotic data collection for an open-cast limestone mine was carried out by a group of specialists from the Faculty of Biology of the Adam Mickiewicz University in Poznan (Poland) using Collector for ArcGIS and ArcGIS Online (mobile application and online platform). The choice of this particular GIS software may be explained by the fact that the field survey was conducted at depths of up to 120 m below ground level. It was important to maintain the ability to collect data even without internet connection, as well as to share data from different groups of researchers within a single workspace while implementing the project [19].

Mobile GIS are actively used in the educational process. Thus, the Field Studies Council cooperates with ESRI, one of the world leaders in the field of GIS, to actively introduce modern technologies in different educational courses. In cooperation with the Open University, a web-based Field Network System was developed for data collection using mobile devices. The idea is that data collected by students in the field is uploaded via Dropbox, presented in classified tables, and further processed. Teachers, in turn, monitor data entered through mobile GIS and consult students [15].

The research of Jiří Pánek and Michael Glass is devoted to the experience of using Collector for ArcGIS in a learning task. It involved describing the sense of place for the Lawrenceville neighbourhood (Pittsburgh, the USA). For a week, students worked in the area in groups of 3–4 people, completing individual tasks, aimed at understanding people's perceptions of different parts of Lawrenceville. Collector for ArcGIS was used to capture location and upload geotagged photos and videos. The authors concluded that this mobile application serves as an effective data collection tool for student projects, in particular, socio-geographic ones [20].

The potential of using mobile GIS to improve the skills of future geographers is described in the article presenting the results of the project entitled "Geoinformation Technologies – the Tool for Improving Quality of Teaching Geography". Project tasks (measuring the areas of selected stores and the selected parameters of the Nitra River section) were implemented by students of the Department of Geography and Regional Development of Constantine the Philosopher University in Nitra (Slovakia) using Trimble Pathfinder Pro 6H device. The implementation of these exercises in traditional educational process made it possible to significantly improve practical skills of geography students [21].

Experience of foreign and domestic universities. The use of mobile GIS for practical training of future geographers is widespread both in Ukrainian and foreign universities. An example is the Depart-

ment of Geography of the University of Calgary (Canada), where students of Geography and Earth Science programs do various field trainings. Using Mapit GIS application, they collect field data and then process them [14]. The teachers at Utrecht University (the Netherlands) diversified the fieldwork of first-year students of the Bachelor program Earth Science in the French Alps with the active use of GIS [18].

Students of the Department of Geography of the Faculty of Sciences and Arts of the National University of Singapore undergo practical training in northern Thailand and Bangkok. Using Collector for ArcGIS and GIS Cloud software, they collect data on the physiographic characteristics of the Mekong River and local landscapes [10].

At the Department of Geography of Tokyo Metropolitan University (Japan), using Trimble GeoXT mobile devices, students and teachers conduct field studies, which include the analysis of hydrological indicators, soil samples, and other components of the natural environment [11].

Among the domestic universities which experience we considered, mobile GIS are implemented in practical training of geography students by Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ivan Franko National University of Lviv, Volodymyr Vynnychenko Central Ukrainian State Pedagogical University, Odessa I. I. Mechnikov National University, Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, Kamyanskyi Podilsky Ivan Ohienko National University, Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Mobile GIS in practical training of students of these universities are used, for example, to:

- collect physiographic data in Ojców National Park (Poland) [5];
- describe points of various geological observations and measurements [4];
- record visited historical places and findings [4];
- determine the consequences of denudation in Podilski Tovtry National Nature Park [8].

In general, after analyzing the experience of more than 20 universities that actively use mobile GIS for educational and research purposes, we have concluded that in the vast majority of cases they are used for primary data collection. Much less often, such GIS applications are used for data post-processing, since there is more advanced software for these tasks.

Selection of previously unsolved parts of the general problem. Although the frequency of use of mobile devices and specialized applications for field studies is constantly increasing, this aspect is not given enough attention in the methodological sections of most scientific works [19]. The need to identify the main features of the use of free mobile GIS in

practical training of geography students determines the relevance of this research.

The purpose of the research is to substantiate the content and to create electronic forms of field data collection with mobile GIS for the physiographic part of the educational natural science training of first-year students of specialty 106 Geography of V. N. Karazin Kharkiv National University.

Materials and methods of the research. Paper forms of field data collection, materials and reports from practical trainings of the previous years, stored at the Department of Physical Geography and Cartography, served us as the source materials for the research. To implement the practical part of the research, ESRI software products such as Collector for ArcGIS, ArcGIS Online, ArcGIS Desktop were used.

The following research methods have been used: analysis – to systematize the experience of using mobile GIS and to study the materials of practical trainings of the previous years (reports, paper data collection forms, diaries); comparative method – to substantiate the choice of the optimal mobile GIS for the development of electronic forms of field data collection; cartographic method – for creating maps of the plant composition of Slobozhanskyi National Nature Park and the results of field data collection (Fig. 1, 4); geoinformation method – for developing and presenting electronic forms in ArcGIS Online.

Presentation of the main research material. Students of all educational programs of the Department of Physical Geography and Cartography of V. N. Karazin Kharkiv National University do practical training every academic year. This gives them the opportunity to expand their own experience, understand their professional skills and abilities. Fieldwork is a compulsory element of training for first-year and second-year undergraduate students. Also, depending on the topic of the student's research project, fieldwork can be included in the program of the internships of the third and the fourth academic years [6].

Accordingly, the Department of Physical Geography and Cartography has a rich tradition in practical training of students, and during the last years, some teachers have been introducing mobile GIS in the field data collection process. A vivid example is the professionally-oriented educational training of second-year students. Thus, during the Carpathian part of this training, students collect physiographic data using Collector for ArcGIS, which makes it possible to conduct studies offline and optimize their time.

The second part of this training is held in Slobozhanskyi National Nature Park. It forms skills and abilities to conduct landscape studies both in the field and laboratory conditions. During this part of the training, students should identify plant facies using Sentinel-2 and Landsat 8 satellite data and perform

overlay analysis. Then they carry out field studies in the area to collect more data about the landscapes.

While conducting fieldwork in Slobozhanskyi National Nature Park, to map new objects, students actively use mobile GIS. They are ArcGIS for Windows Mobile and ArcPad (for Trimble Juno devices) and ArcGIS for Windows Mobile and NextGIS (for smartphones). However, the issue of transferring data collected in the traditional way, using paper forms, into the GIS environment arises. It is quite a time-consuming activity. In order to solve this problem, for easier data integration into a desktop GIS, the supervisors together with students created a database for ArcGIS for Windows Mobile, which is an analogue

of a paper landscape description form [1].

The developed database contains such categories of data as information about the author, time and place of observations, location, geological basis, relief, soil cover, moisture conditions, vegetation cover, names of the investigated facies [1]. It is worth noting that creating such a database takes quite a lot of time. It is not universal, because it is focused on the specific physiographic conditions of the area where this part of training takes place. A significant advantage of the created database is the possibility of integration with a desktop GIS, which speeds up further analysis of the collected data and their visualization in map form (Fig. 1).

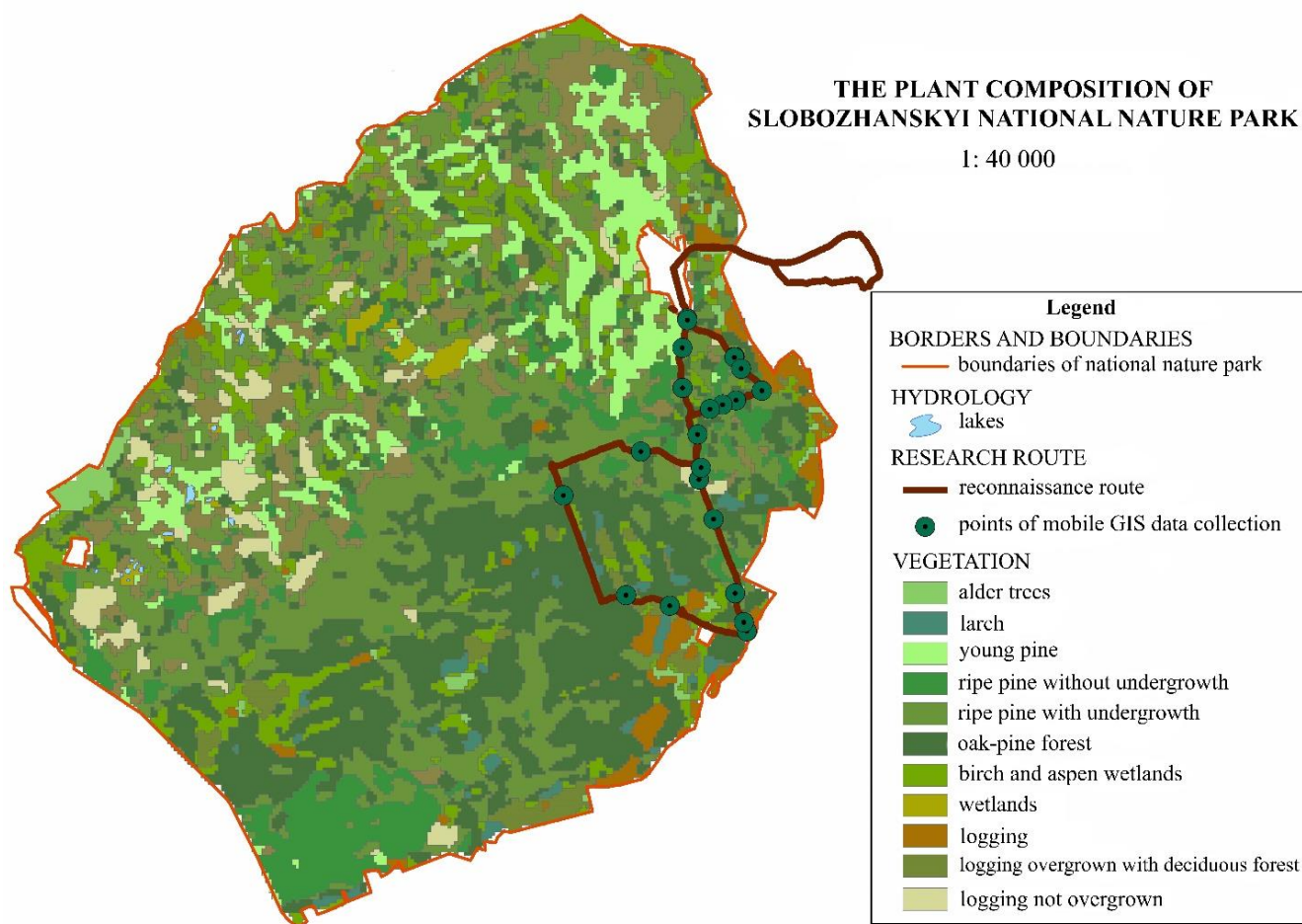


Fig. 1. The plant composition of Slobozhanskyi National Nature Park (created by the authors, scale changed)

The physiographic part of the educational natural science training of all first-year geography students of V. N. Karazin Kharkiv National University takes place at Gaidary educational and scientific base. It was created in 1978 in Gaidary village area (Kharkiv region, Ukraine), on the right bank of the Siverskyi Donets river. The uniqueness of this base lies in the fact that geographical complexes of different complexity are represented in the area. It is suitable for visual demonstration of typical natural

processes and analysis of the antropogenic impact on the environment [3].

The physiographic part of the above-mentioned training includes 5 sections: geological and geomorphological, meteorological, hydrological, soil science, and biogeographic. During each of them, students should master various methods of research, acquire skills of studying and mapping objects, both visually and instrumentally, and learn to identify patterns and interconnections in nature. For these

purposes, students write their field diaries, collect materials that can be later analyzed in laboratory conditions (e.g., soil, water and plant samples), take instrument readings and fill out data collection forms.

Students go through such stages of training as design stage, field stage, cameral stage and final stage. The design stage involves the coordination of cartographic materials of the route and key areas of study. The field stage is the actual studies of the area. During the cameral stage, students process field data, analyze selected samples in laboratory conditions, perform calculations and make necessary graphical representations. At the final stage, obtained results are analyzed, reporting materials are drawn up, and students take an assessment for each section of the training [3].

During this training, students work with traditional paper forms, in which they enter data collected during field trips. However, when conducting long-term research, this method for the transfer and storage of information is somewhat outdated and inefficient. In addition, one of the key components of modern geographic education is introducing students to new technologies for data collection and analysis of spatially distributed features of the environment. That is why we suggest implementing the use of mobile GIS into the field training of first-year geography students.

After analyzing the fieldwork experience of the Department of Physical Geography and Cartography, we concluded that at the moment there are not enough Trimble Juno devices to meet the needs of the practical training of first-year students. Therefore, when developing electronic forms for studying the components of nature, we relied on the possibilities of collecting field data with smartphones, which are used by most students.

Having studied the characteristics of different free mobile GIS applications, based on a set of parameters (synchronization with web/desktop GIS; existing data collection forms; ability to work with points, lines and polygons; GPS tracking; compatibility with Android, iOS, Windows), we chose Collector for ArcGIS. It allows users to download maps and work offline, fixing necessary points, lines and polygons, entering data into electronic forms and tracking previously visited places. The ability to work offline is one of the most valuable features of this application, as students and their supervisors are able to collect data without internet access [13].

Considering different sections of the physico-graphic part of the first-year students' practical training, we developed a general algorithm for creating electronic data collection forms for field studies. First of all, a basemap should be chosen in Collector for ArcGIS to provide a visual context for the data. All ESRI applications use OpenStreetMap as a basemap.

It is a free high-quality geographic geodatabase, which is constantly updated. Accordingly, it is also suitable for our needs.

Next, the data to be collected were determined, the structure of traditional paper forms was analyzed, and the main content data blocks were selected. During both soil science and biogeographic sections of the training, most of the data entered into the forms are textual [7]. Accordingly, it is easy to make mistakes in them. In addition, there is no single standard for processing these data, which becomes a problem at the further stage of processing and analysis of collected materials using desktop GIS. Accordingly, domain values were developed so that students could select one or another option from a drop-down list, instead of entering data into a form manually. Since our forms were developed for the specific practical training, all options in drop-down lists were limited to those that could be found in the physiographic conditions of the study area (Gaidary village and its surroundings).

After determining the view and ways of expressing specific fields, data collection models were placed in ArcGIS Online, and 4 electronic forms, that also let users attach photos and other files, were developed. In particular, it is suggested to add appropriate photos when describing a soil profile or a forest phytocenosis. These forms are publicly available in ArcGIS Online and Collector for ArcGIS (Fig. 2).

Existing paper field forms were taken as a basis for developing new electronic forms, and field diaries and reports were also analyzed. The developed forms do not cover all the needs of the fieldwork, there remains a significant part of the data collected by traditional methods. But later the content of such electronic forms could be expanded. Below is the description of each of the created electronic forms.

1) *Soil profile description.* Biogeographic studies are usually carried out together with soil studies: both soil profile description and biocenoses description are performed in a certain representative area of a particular natural complex. Therefore, common fields are distinguished in these two forms which are number of study, general relief, and anthropogenic impact. Soil science and biogeographic sections of the practical training usually include no more than 5 field days, so the domain values for the number of study are numbered from 1 to 5. Describing general relief, students may choose one of the 4 options: watershed, floodplain, the first above the floodplain terrace or the second above the floodplain terrace corresponding to the geomorphological levels of the study area (Fig. 3a).

The field of land and its economic condition defines key land types: forest land, recreational land, agricultural land, protected land and settlements (Fig. 3c). Groundwater level and hydrological conditions

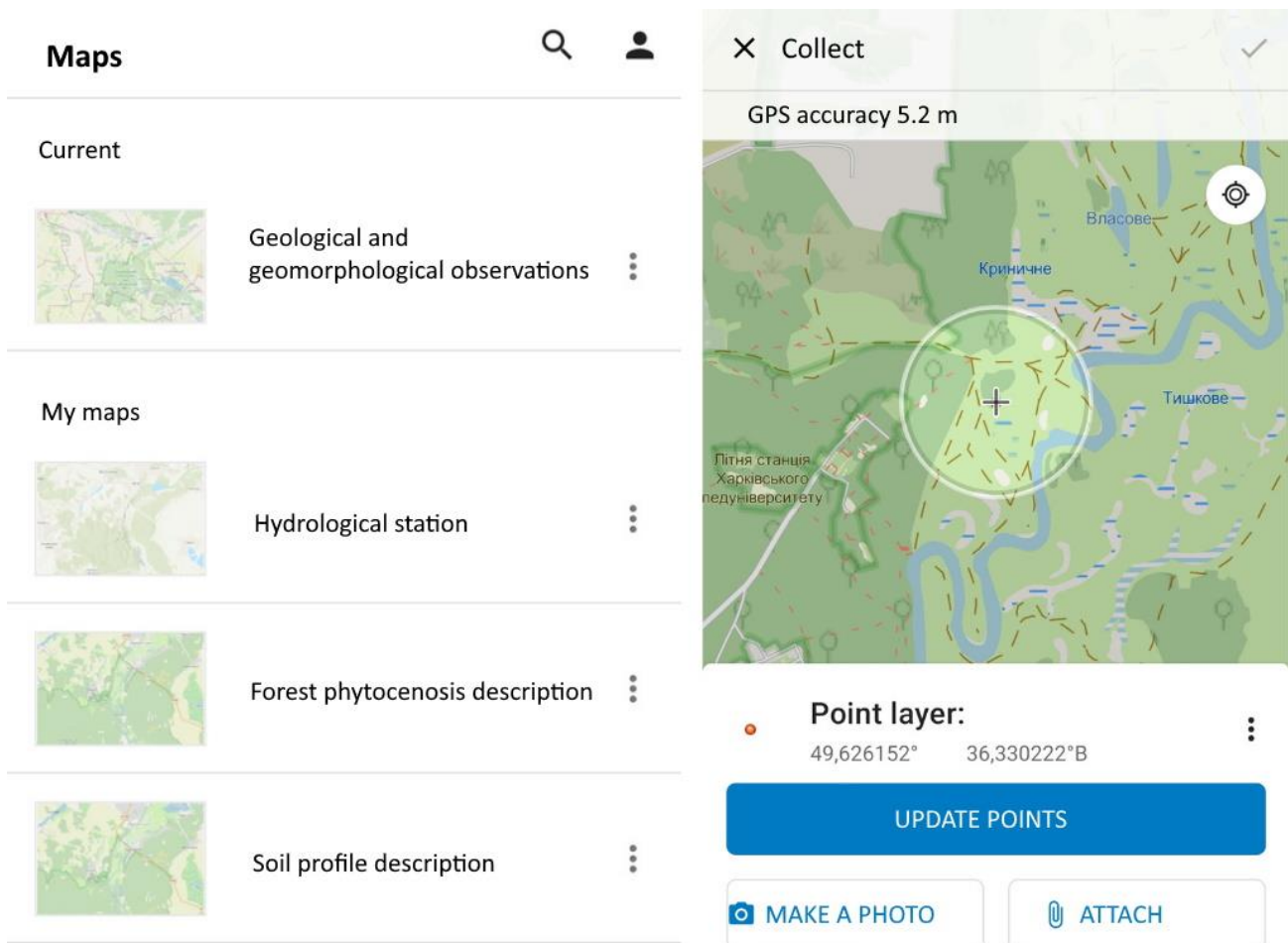


Fig. 2. The list of electronic data collection forms (created by the authors)



Fig. 3. Domain values of the fields of electronic forms: a) general relief; b) anthropogenic impact; c) land and its economic condition (created by the authors)

are divided into two separate fields, since the first indicator is quantitative, and the second is qualitative. The intervals of groundwater level, indicated in the drop-down list, correspond to the data on the existing wells and boreholes of the area. The field of hydrological conditions contains 3 domain values: hydromorphic, semi-hydromorphic and automorphic conditions.

The field of underlying and soil-forming rock contains the following options: modern alluvial sands, old sandy alluvium, and loess loam. All other fields of this electronic form (microrelief, vegetation, field identification of soil) do not have options in the drop-down list. They cannot be clearly limited by a precise number of options, but are formulated in the process and according to the results of field studies.

Therefore, it is provided that students fill in these fields by direct manual input.

3) *Forest phytocenosis description.* The field of forest edificators has a list of values corresponding to the most common types of tree vegetation in the study area such as Scots pine and European oak. The field of anthropogenic impact has such characteristics as absent, insignificant, significant and strong (Fig. 3b).

Other fields of this form (formation, association, dominants of A, B, C, D levels, size of the sample plot, microrelief, thickness and composition of the forest floor, tree crown cover, field identification of soil) do not have domain values. Manual input of these characteristics is provided.

4) *Geological and geomorphological observations.* The form contains the above-mentioned general fields (number of study and general relief), fields of microrelief and anthropogenic impact. If needed, students can also enter additional thematic information in a separate field. During this training section, students can record the places of development of erosion processes, enter the points of description of geological exposures with their mobile devices. It was decided that all the detailed characteristics of geological and geomorphological processes will be written in a paper form.

5) *Hydrological station.* The data on the water bodies are collected at hydrological stations. Accordingly, the form developed for these tasks contains such fields as number of hydrological station, water temperature, water transparency and water color. These parameters should be entered manually.

Traditional paper forms for studying the components of nature are inferior to electronic forms in the ease of working with them. They take more time for data collection and cannot provide an accurate georeferencing of the location of fieldwork. However, for soil studies a technical disadvantage is that a description of the soil profile can only be added as a text file or a photo, which implies the initial use of a paper form. It should also be noted that the process of pre-creation of the database is quite time-consuming. The database itself is not universal, since the values of the drop-down lists in electronic forms correspond to the physiographic conditions of the area and do not cover all possible options.

The annual use of electronic forms during the physiographic part of the first-year students' practical training will allow filling databases on each component of nature for a larger study and expanding options for educational work with students. In the future, these data can be visualized in map form using desktop GIS, for example, ArcGIS. This will help visually demonstrate the results of practical training, comprehensively study the physiographic conditions of the area and the laws of their formation, as well as monitor changes that occur due to the influence of

natural and anthropogenic factors (Fig. 4).

Conclusions and research perspectives. In the research, we have considered the experience of practical training of students of geographical departments with the use of mobile GIS in Ukrainian and foreign universities. In most cases, mobile GIS are used as a convenient tool for collecting primary data, and further analysis is performed in desktop GIS. The implementation of mobile GIS into practical training of future geographers contributes to the formation of cartographic and geoinformation competencies and helps students master modern approaches to the organization of various types of field studies. These are crucial aspects for training of students of all educational programs in specialty 106 Geography.

For the tasks of the physiographic part of the educational natural science training of first-year students of specialty 106 Geography of V. N. Karazin Kharkiv National University 4 electronic data collection forms have been developed. They are soil profile description, forest phytocenosis description, geological and geomorphological observations, and hydrological station. Due to the wide functionality of Collector for ArcGIS, in particular, the ability to work offline, this mobile application and ArcGIS Online were used to develop forms. To optimize the work with individual text fields in electronic forms, we created domain values that allow students to select a certain option from the drop-down list.

One of the prospects of the research is to increase the number of electronic forms to meet the needs of all sections of the physiographic part of the first-year students' practical training. Thus, for the biogeographic section, data collection forms for transect survey and for descriptions of herbaceous biocenoses should be created. It is also advisable to include in the work other basic maps, which should be developed additionally on a larger scale for the purposes of the research (e.g., biotope maps, landscape maps, geological and geomorphological maps).

Unfortunately, since February 24, 2022, due to the military aggression of the Russian Federation, martial law has been introduced in Ukraine. That is why we have not been able to test the created electronic forms during summer practical training or through independent research in the study area. This remains a relevant task for the future. At the same time, modern challenges such as the COVID-19 pandemic and the hostilities have led to the widespread introduction of distance education in Ukraine, so it is advisable to adapt data collection forms for independent use. Then students will be able to collect field data at their places of stay in case of distance practical training.

A promising area is the retrospective analysis of the results of long-term studies at Gaidary educational and scientific base, which can be performed by

RESULTS OF FIELD DATA COLLECTION

(by biogeographic and soil science sections of the practical training)

1 : 30 000

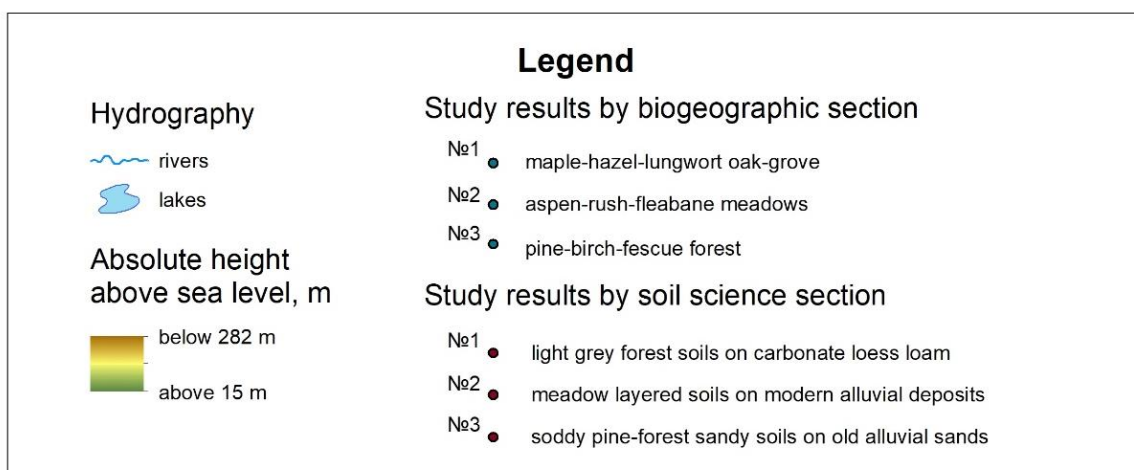
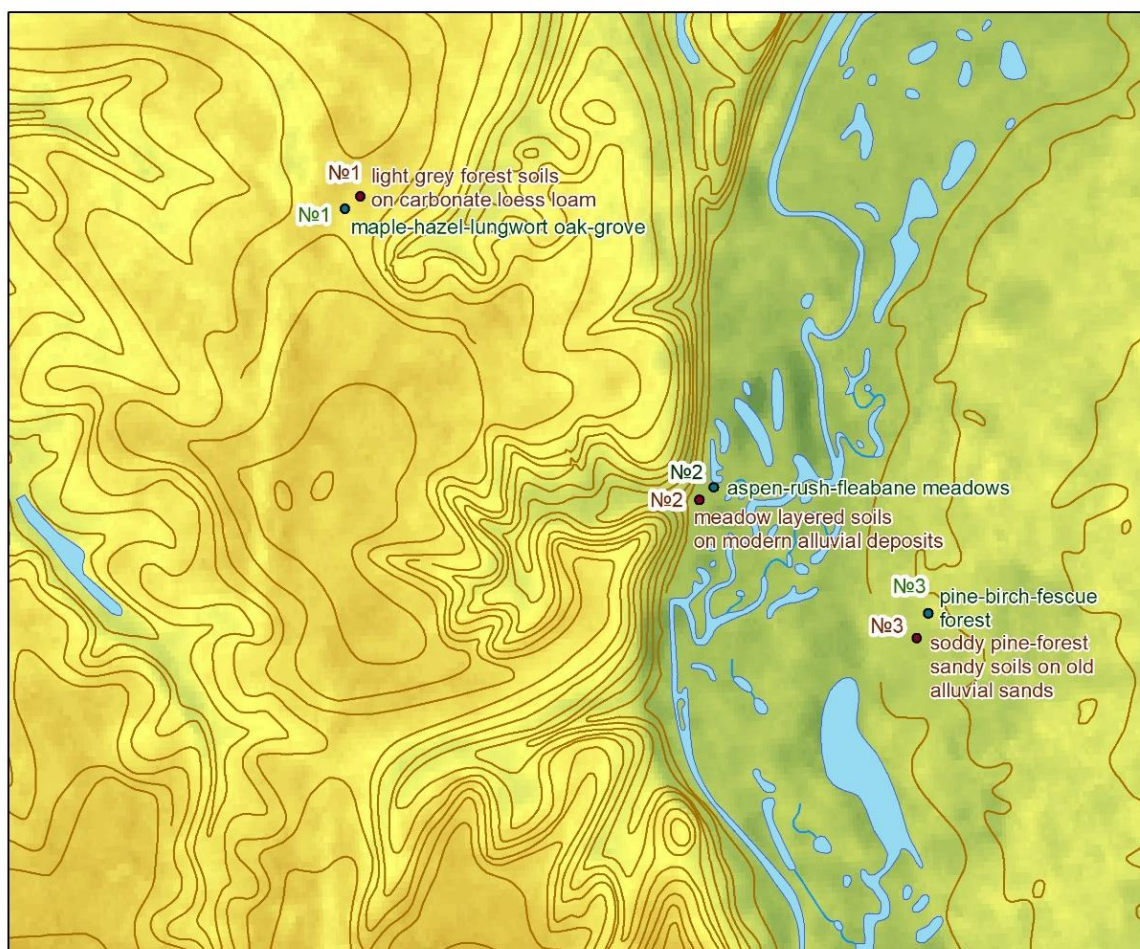


Fig. 4. Visualization of the results of field data collection by biogeographic and soil science sections of the practical training (created by the authors, scale changed)

digitizing paper data collection forms from previous years. Since field materials are stored at the Department of Physical Geography and Cartography for many years, and several student groups carry out

studies simultaneously during a certain training section, the amount of data collected is significant, and their analysis may become the subject of a separate study.

Bibliography

1. Бодня О. Ландшафтне картографування НПП «Слобожанський» засобами мобільних, настільних та веб-додатків ArcGIS / О. Бодня, О. Сінна, І. Олійников, А. Овчаренко // *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. – Харків : ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2016. – Вип. 23. – С. 15–21.
2. Лунячек В. Е. Оптимізація методики гідролого-геоморфологічних досліджень як інструменту формування спеціальних компетентностей сучасного фахівця-географа / В. Е. Лунячек, О. І. Сінна, К. Б. Борисенко, В. С. Попов // *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. – 2019. – Вип. 29. – С. 6–16. DOI: <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2019-29-01>
3. Навчальна природничо-наукова практика для студентів I курсу спеціальності «Географія» (с. Гайдари, Зміївський район Харківської області) кафедри фізичної географії та картографії Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://physgeo.univer.kharkov.ua/education/practice/практики-студентів-1-курсу/>
4. Навчальні практики природничо-географічного факультету ЦДПУ імені В. Винниченка [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.cuspu.edu.ua/ua/kafedry-heohrafii-ta-heoekolohii/osvitnia-diialnist-praktychna-pidhotovka/navchalni-praktyky>
5. Практика студентів географічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка в Ойцовському національному парку [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://lnu.edu.ua/zavershylas-praktyka-studentiv-heohrafichnoho-fakultetu-v-ojsovskomu-natsionalnomu-parku/>
6. Практики студентів кафедри фізичної географії та картографії Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://physgeo.univer.kharkov.ua/education/practice/>
7. Прасул Ю. Досвід організації ґрунтознавчо-біогеографічного розділу навчальної природничо-наукової практики студентів-географів / Ю. Прасул, О. Сінна // *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. – Харків : ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2016. – Вип. 24. – С. 91–95.
8. Проєкт «Товтрова стежка. Дністровська ділянка»: від теорії до практичної реалізації [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://meridian.kpnu.edu.ua/2020/07/30/proiekt-tovtrova-stezhka-dnistrovska-dilianka-vid-teorii-do-praktychnoi-realizatsii/>
9. Bârliba F. C. The Advantages of Using Mobile GIS Technology / F. C. Bârliba, I. C. Cheorghescu, A. Moscouici // *Research Journal of Agricultural Sciences*. – 2017. – Vol. 49 (4). – P. 20–28.
10. Department of Geography of National University of Singapore [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://fass.nus.edu.sg/geog/>
11. Department of Geography of Tokyo Metropolitan University [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.ues.tmu.ac.jp/geog/en/index.html>
12. Dodd M. Where Are My Quadrats? Positional Accuracy In Fieldwork / M. Dodd // *Methods in Ecology and Evolution*. – 2011. – Vol. 2 (6). – P. 576–584. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2011.00118.x>
13. ESRI. ArcGIS Collector. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-collector/resources>
14. Field programs of Department of Geography of University of Calgary [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://arts.ucalgary.ca/geography/current-students/undergraduate/field-programs>
15. GIS for Data Collection // Field Studies Council. – Режим доступу : <https://www.field-studies-council.org/resources/16-18-geography/gis/gis-for-data-collection/>
16. Huang Q. Programming of Mobile GIS Applications [Електронний ресурс] / Q. Huang // *The Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge (1st Quarter 2020 Edition)*, John P. Wilson (ed.). – 2019. – Режим доступу : <https://gistbok.ucgis.org/bok-topics/programming-mobile-gis-applications> DOI: <https://doi.org/10.22224/gistbok/2020.1.2>
17. Jolma A. Free and Open Source Geospatial Tools for Environmental Modeling and Management / A. Jolma, D. P. Ames, N. Horning et al. // *Developments in Integrated Environmental Assessment*. – Vol. 3. – Elsevier, 2008. – P. 163–180. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1574-101X\(08\)00610-8](https://doi.org/10.1016/S1574-101X(08)00610-8)
18. Marra W. A. Using GIS in an Earth Sciences Field Course for Quantitative Exploration, Data Management and Digital Mapping / W. A. Marra, L. Grint, K. Alberti, D. Karssenbergs // *Journal of Geography in Higher Education*. – 2017. – Vol. 41 (2). – P. 213–229. DOI: <https://doi.org/10.1080/03098265.2017.1291587>
19. Nowak M. M. Mobile GIS Applications for Environmental Field Surveys: A State of the Art / M. M. Nowak, K. Dziób, Ł. Ludwisiak, J. Chmiel // *Global Ecology and Conservation*. – 2020. – Vol. 23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01089>
20. Pánek J. Gaining a Mobile Sense of Place with Collector for ArcGIS / J. Panek, M. Glass // *Journal of Geography in Higher Education*. – 2018. – Vol. 42 (4). – P. 603–616. DOI: <https://doi.org/10.1080/03098265.2018.1515190>
21. Vojtek M. Potential of Using Mobile Geoinformation Technologies (GPS/GNSS) in Teaching Geography Students / M. Vojtek, G. Repaska, K. Vilianova, J. Vojteková // *Proceedings of the 6th International Conference on Cartography and GIS (Albena, Bulgaria, 13-17 June 2016)*. – 2016. – Vol. 1. – P. 127–135.

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

References

1. Bodnia, O., Sinna, O., Oliinykov, I., Ovcharenko, A. (2016). Landshaftne kartografuvannya NPP «Slobozhans'kyj» zasobamy` mobil'ny`x, nastil'ny`x ta veb-dodatkov ArcGIS [Landscape mapping of national park «Slobozhansky» using mobile, desktop and web applications ArcGIS]. *Problems of Continuous Geographic Education and Cartography*, 23, 15–21 [in Ukrainian].
2. Luniachek, V., Sinna, O., Borysenko, K., Popov, V. (2019). Opty`mizaciya metody`ky` gidrologo-geomorfologichny`x doslidzhen` yak instrumentu formuvannya special`ny`x kompetentnostej suchasnoho faxivcya-geografa [Optimization of the method of hydrological and geomorphological research as an instrument in the formation of a modern geographer`s special competences]. *Problems of Continuous Geographic Education and Cartography*, 29, 6–16 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2019-29-01>
3. Educational natural science practical training of first-year geography students (Gaidary village, Zmiiv district of Kharkiv region) of Department of Physical Geography and Cartography of V. N. Karazin Kharkiv National University. Available at : <https://physgeo.univer.kharkov.ua/education/practice/npaktyku-studenmis-1-kyrc/> [in Ukrainian]. – 28.06.2022
4. Practical training of Department of Natural and Geographical Sciences of V. Vynnychenko Central Ukrainian State Pedagogical University. Available at : <https://www.cuspu.edu.ua/ua/kafedry-heohrafii-ta-heoekolohii/osvimia-diiialnist/praktychna-pidhotovka/navchalni-praktyky> [in Ukrainian]. – 28.06.2022
5. Practical training of students of Faculty of Geography of Ivan Franko National University of Lviv in Oytsovsky National Park. Available at : <https://lnu.edu.ua/zavershylas-praktyka-studentiv-heohrafichnoho-fakultetu-v-oytsovskomu-natsionalnomu-parku/> [in Ukrainian]. – 28.06.2022
6. Practical training of students of Department of Physical Geography and Cartography of V. N. Karazin Kharkiv National University. Available at : <https://physgeo.univer.kharkov.ua/education/practice/> [in Ukrainian]. – 28.06.2022
7. Prasul, Yu., Sinna, O. (2016). Dosvid organizaciyi g`runtoznavcho-biogeografichnogo rozdilu navchal`noyi pry`rodny`cho-naukovoyi prakty`ky` studentiv-geografiv [Experience in organization of soil science–biogeographical part of educational natural science practical work of students-geographers]. *Problems of Continuous Geographic Education and Cartography*, 24, 91-95 [in Ukrainian].
8. The project «Tovtrova path. Dniester site»: from theory to practical implementation. Available at : <https://meridian.kpnu.edu.ua/2020/07/30/proiekt-tovtrova-stezhka-dnistrovska-dilianka-vid-teorii-do-praktychnoi-realizatsii/> [in Ukrainian]. – 28.06.2022
9. Bârliba, F. C., Cheorghescu, I. C., Moscouici, A. (2017). The Advantages of Using Mobile GIS Technology. *Research Journal of Agricultural Sciences*, 49 (4), 20–28.
10. Department of Geography of National University of Singapore. Available at : <https://fass.nus.edu.sg/geog/> – 28.06.2022
11. Department of Geography of Tokyo Metropolitan University. Available at : <https://www.ues.tmu.ac.jp/geog/en/index.html> – 28.06.2022
12. Dodd, M. (2011). Where Are My Quadrats? Positional Accuracy In Fieldwork. *Methods in Ecology and Evolution*, 2 (6), 576–584. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2011.00118.x>
13. ESRI. ArcGIS Collector. Available at : <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-collector/resources> – 28.06.2022
14. Field programs of Department of Geography of University of Calgary. Available at : <https://arts.ucalgary.ca/geography/current-students/undergraduate/field-programs> – 28.06.2022
15. GIS for Data Collection // Field Studies Council. Available at : <https://www.field-studies-council.org/resources/16-18-geography/gis/gis-for-data-collection/> – 28.06.2022
16. Huang, Q. (2019). Programming of Mobile GIS Applications. *The Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge (1st Quarter 2020 Edition)*, John P. Wilson (ed.). Available at : <https://gistbok.ucgis.org/bok-topics/programming-mobile-gis-applications> – 28.06.2022. DOI: <https://doi.org/10.22224/gistbok/2020.1.2>
17. Jolma, A., Ames, D. P., Horning, N., Mitsova, H., Neteler, M., Racicot, A., Sutton, T. (2008). Free and Open Source Geospatial Tools for Environmental Modelling and Management. *Developments in Integrated Environmental Assessment*, 3, 163–180. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1574-101X\(08\)00610-8](https://doi.org/10.1016/S1574-101X(08)00610-8)
18. Marra, W. A., Grint, L., Alberti, K., Karssenber, D. (2017). Using GIS in an Earth Sciences Field Course for Quantitative Exploration, Data Management and Digital Mapping. *Journal of Geography in Higher Education*, 41 (2), 213–229. DOI: <https://doi.org/10.1080/03098265.2017.1291587>
19. Nowak, M. M., Dziób, K., Ludwisiak, Ł., Chmiel, J. (2020). Mobile GIS Applications for Environmental Field Surveys: A State of the Art. *Global Ecology and Conservation*, 23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01089>
20. Pánek, J., Glass, M. (2018). Gaining a Mobile Sense of Place with Collector for ArcGIS. *Journal of Geography in Higher Education*, 42 (4), 603–616. DOI: <https://doi.org/10.1080/03098265.2018.1515190>
21. Vojtek, M., Repaska, G., Vilinova, K., Vojteková, J. (2016). Potential of Using Mobile Geoinformation Technologies (GPS/GNSS) in Teaching Geography Students. *Proceedings of the 6th International Conference on Cartography and GIS (Albena, Bulgaria, 13-17 June 2016)*, 1, 127–135.

Досвід і перспективи застосування мобільних ГІС для навчальних практик студентів-географів

Наталія Попович¹,

к. геогр. н., доцент кафедри фізичної географії та картографії,
¹Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
майдан Свободи 4, Харків, 61022, Україна;

Олена Сінна¹,

к. геогр. н., доцент кафедри фізичної географії та картографії;

Людмила Назарко¹,

магістр географії, кафедра фізичної географії та картографії

Статтю присвячено аналізу досвіду застосування мобільних ГІС для навчальних практик студентів-географів, висвітленню первинних розробок за цим напрямом і перспектив його розвитку на факультеті геології, географії, рекреації і туризму Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Актуальність цієї теми зумовлена необхідністю визначення особливостей застосування мобільних ГІС-додатків у ході проведення навчальних фізико-географічних практик студентів, а також обґрунтування методики створення електронних форм для польового збору даних. Мобільні ГІС мають низку переваг над традиційними засобами збору первинних даних: висока точність, зручність роботи, удосконалена деталізація атрибутів, автоматизація процесу завантаження результатів польового опису в настільну ГІС. У контексті навчальних практик використання мобільних ГІС дозволяє оптимізувати час на збір даних, сприяє формуванню у студентів-географів картографічної та геоінформаційної компетентностей, опануванню сучасних підходів до організації різних видів польових досліджень. Аналіз досвіду показав, що зарубіжні й вітчизняні університети активно використовують ці застосунки для практичної підготовки студентів. У дослідженні здійснено розробку електронних форм збору польових даних для фізико-географічної частини навчальної природничо-наукової практики студентів 1 курсу спеціальності 106 «Географія» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. На основі додатку Collector for ArcGIS створено 4 електронні форми: опис ґрунтового розрізу, опис лісового фітоценозу, геолого-геоморфологічні спостереження, гідрологічний пост. Для оптимізації роботи для окремих текстових полів в електронній ГІС-формі створено доменні значення, що дозволяють обирати з випадючого списку певну географічну характеристику, що відповідає території проведення практики. Перспективами дослідження є збільшення кількості електронних форм для забезпечення потреб усіх розділів практики студентів 1 курсу, що передбачають збір польових даних, та подальша апробація цих форм.

Ключові слова: мобільні ГІС, польовий збір даних, навчальні практики, підготовка студентів-географів.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 30 червня 2022 р.

Прийнята 13 жовтня 2022 р.

The system for near-real time air pollution monitoring over cities based on the Sentinel-5P satellite data

Mykhailo Savenets¹,

PhD (Geography), Senior Researcher, Department of the Atmosphere Monitoring,
¹Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency Service of Ukraine and
the National Academy of Sciences of Ukraine, 37 Nauky Prospekt, Kyiv, 03028, Ukraine,
e-mail: savenets@uhmi.org.ua, <https://orcid.org/0000-0001-9429-6209>;

Andrii Oreshchenko¹,

PhD (Geography), Senior Researcher, Department of Applied Meteorology and Climatology
e-mail: andrey_o@uhmi.org.ua, <https://orcid.org/0000-0002-8363-6885>;

Liudmyla Nadtochii¹,

PhD (Geography), Senior Researcher, Department of the Atmosphere Monitoring,
e-mail: onoslyuda@uhmi.org.ua, <https://orcid.org/0000-0003-3038-5960>

ABSTRACT

Introduction. Air pollution heterogeneity and rapid urbanization impose numerous constraints on available near-surface air quality monitoring. The solution for effective warning comes with the integration of different data, including remote sensing. Satellite data cannot answer whether dangerous pollution levels are observed; however, it provides a complete picture and may detect air pollution transportation towards or away from cities. The possibilities for effective near-real time (NRTI) monitoring have significantly improved with the launch of the Sentinel-5P satellite. **The study aimed** to describe the developed system for NRTI air pollution monitoring over Kharkiv, Kryvyi Rig, Kyiv, and Odesa based on NO₂ and CO data derived from the Sentinel-5P satellite.

Data and methodology. The NRTI System was developed for tropospheric NO₂ and total CO column number densities based on the Sentinel-5P NRTI products. After satellite scanning of Ukrainian territory, the NRTI System goes live in 2-3 hours. It is fully automatic, and modules were written using Python, VB.NET, and batch-scripting.

Results. The NRTI System includes four main phases: preparatory, source data downloading, processing and post-processing with visualization, archiving, and result distribution among users. Source data filtering with a quality assurance index and downscaling with linear kriging interpolation were developed. The output of the NRTI System is data in regular grids with a spatial resolution of 0.02°×0.02°. Based on the NRTI System work during October – December 2021, we conducted preliminary analyses to understand the possibilities of data usage. Higher NO₂ content was observed in Kyiv and Kharkiv, where traffic emissions play a crucial role in air quality worsening. The use of daily time series allowed the detection of an increase in NO₂ variance during the heating season, as well as plume distribution from cities to rural areas due to the prevailing wind. CO content is more homogeneous; however, higher values were observed in industrial Kryvyi Rig and Odesa. It is emphasized the huge impact of shipping CO emissions on air quality in Odesa. The temporal averaging of the NRTI System output allowed us to define the most polluted districts within the cities of interest. We intend to continue developing the presented NRTI System and develop the same algorithms for all cities with populations greater than 500 000 people in order to provide operational air pollution monitoring based on satellite data.

Keywords: atmospheric air quality, nitrogen dioxide, carbon monoxide, TROPOMI, monitoring, pollution.

In cites: Savenets Mykhailo, Oreshchenko Andrii, Nadtochii Liudmyla (2022). The system for near-real time air pollution monitoring over cities based on the Sentinel-5P satellite data. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (57), 195-205. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-15>

Introduction. The problem of atmospheric air pollution in cities and industrial regions requires activities in two main directions: 1) the development of effective monitoring by using data integration; and 2) the implementation of measures for air quality improvement. Atmospheric air pollution monitoring should be based on near-surface observations. It enables us to determine whether or not dangerous levels of air pollution exist. However, the spatial distribution of chemical substances in the urban atmosphere is highly heterogeneous [1,2]. Consequently, ground-based air quality network could not provide a full picture of processes that might cause elevated air pollution episodes [3]. Particularly if the emission sources are located outside of cities or if transboundary air pollution is present. Rapid growth of urban areas

complicates the situation, and fixed locations of ground-based sensors very often become unable to capture the influence of new emission sources.

The solution for point-based ground-level measurements comes together with the integration of remote sensing data by using satellites that observe atmospheric composition. Satellite data provide us with close to full global coverage [4-7]. It is obvious that cloudiness remains challenging [8], but its negative influence could be minimized with temporal averaging. Near-real time remote sensing is more sensitive to cloudiness. Nevertheless, very often torn in the clouds are observed; hence, the overall picture is not significantly distorted.

Remote sensing of atmospheric composition plays a significant role in our knowledge about the

emission sources [9-11], air pollution transport [12,13], chemicals dispersion and accumulation [14-16], which were shown at regional and synoptic scales. Despite available satellite data, it was not possible for all satellite missions before 2017 to provide any downscaling in order to analyze sub-urban scale due to coarse spatial resolution [4,17]. At the end of 2017, a new satellite mission started its operation after the launch of the TROPOspheric Monitoring Instrument (TROPOMI) onboard the Sentinel-5 Precursor (Sentinel-5P) [18]. The spatial resolution was increased to 7.0×3.5 km (and later to 5.5×3.5 km [19]) allowing for detailed exploration at the sub-city scale. As Sentinel-5P covers the entire Ukrainian territory every day, its data could be used not only for scientific research based on offline (OFFL) information but also to provide near-real time (NRTI) air pollution monitoring.

Wide opportunities for Sentinel-5P data usage in Ukraine were discussed in studies [20-24]. The test version of a fully automatic atmospheric air quality monitoring system was developed by the Ukrainian Hydrometeorological Institute of State Emergency Service of Ukraine and the National Academy of Sciences of Ukraine (UHMI) in 2020. The first assessment was conducted during the wildfire events in April 2020 in the northern part of Ukraine [23]. The system was used to analyze the air pollution transport by the State Emergency Service of Ukraine for decision-making. Since May 2020, the System has been processing Sentinel-5P data every day in the NRTI regime, providing interested users with detailed information and data on nitrogen dioxide (NO₂), carbon monoxide (CO), sulfur dioxide (SO₂), ozone (O₃), formaldehyde (HCHO), and cloudiness over the territory of Ukraine [21]. At the end of 2020, the System was developed by adding testing programming modules for NRTI NO₂ data processing and downscaling over the cities of Kyiv and Kryvyi Rig [21].

After being successfully tested in the first half of 2021, the System for atmospheric air quality monitoring over Ukraine in the NRTI regime was ready for further improvements. Now it is being developed in several branches. One of the branches is the system for NRTI air pollution monitoring over cities presented in this study.

The aim of this study is to describe the developed system for NRTI air pollution monitoring over the cities of Kharkiv, Kryvyi Rig, Kyiv, and Odesa based on NO₂ and CO data derived from Sentinel-5P (the NRTI System).

As this study is being done as the first stage of the project within the framework of the ERA-PLANET-UA project [25], the overall aim is to develop the NRTI System for all Ukrainian cities with a population of more than 500 000 inhabitants

(Dnipro, Donetsk, Kharkiv, Kryvyi Rig, Kyiv, Lviv, Mykolaiv, Odesa, and Zaporizhzhia).

Data and key methodological aspects. Source Sentinel-5P data is represented at different levels, which correspond to different levels of data processing [26]. 0-level contains the initial signal data from four spectrometers. This data is not available to the public. 1-level contains calibrated irradiance data for the following spectral bands: 270-300 nm, 300-320 nm, 320-405 nm, 405-500 nm, 675-725 nm, 725-775 nm, 2305-2345 nm, and 2345-2385 nm [27]. Moreover, calibrated solar irradiance data of 270-775 nm, and 2305-2385 nm is available. 1-level data is available to the public.

2-level data contains information about the atmospheric composition for the following chemical species: total and tropospheric column of ozone (O₃), nitrogen dioxide (NO₂), sulfur dioxide (SO₂), carbon monoxide (CO), methane (CH₄), formaldehyde (HCHO), and aerosol [27]. Using NO₂ and CO, the influence of the majority of anthropogenic emission sources could be estimated [28]. Moreover, its relationship could be used as a predictor of combustion efficiency (and as a result of gasoline type) [29-31]. Therefore, NO₂ tropospheric column density and CO total column density were selected as the basic pollutants for the NRTI System described in this study.

Sentinel-5P data is available as OFFL and NRTI products. OFFL data is more accurate, but its late ingestion makes impossible the operational air quality monitoring. NRTI data was chosen for the NRTI System because it is available within 2-3 hours of sensing. Sentinel-5P covers the territory of Ukraine at 12:30-14:00 EEST, hence the final output (considering the source data ingestion, further downloading to local servers, full processing, and visualization) from the developed NRTI System could be distributed among interested users in Ukraine at 17:30-18:00 EEST.

The NRTI System works with an initial spatial resolution of source data, which is crucial for NRTI monitoring and further downscaling. The coordinates of pixels change from day to day, forming a 16-day cycle. NRTI data ingests in separate blocks with corresponding files. As Ukrainian territory is rather large, up to 10 files are needed to cover it every day. It is obvious that the processing of all files is too time-consuming for NRTI monitoring and operative warnings concerning elevated pollution levels. The time for files to download exceeds the time for data processing. As a result, preliminary analyses revealed that the most effective method was to download 2-5 files that covered the entire territory, depending on the date. All other blocks cross each other and could be omitted to save time.

The NRTI System was written using Python, VB.NET, and batch-scripting.

Results. Preparatory phase and data downloading. Despite the simplicity of the preparatory phase, it is the most time-consuming stage. The NRTI System starts working at 15:40 EEST with a basic check of local computer availability. As the NRTI System is fully automatic and works every day, it is possible that unforeseen events may happen. For example, a power cut and draining the uninterruptible power supply (UPS), resulting in a computer shutdown. If the computer is not available after the shutdown, the NRTI System automatically restarts it. This procedure ensures everyday work.

Some unforeseen events may occur during the data processing, e.g., prolonged internet disconnection during the data downloading. As a result, a number of temporary files were not removed. Therefore, at 16:00 EEST, the NRTI System checks the availability of unremoved temporary files. If they are

[https://s5phub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products?\\$select=\[sensing time\]](https://s5phub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products?$select=[sensing time])

The request is being sent using the “wget.exe” utility (<https://www.gnu.org/software/wget/>). The output is an XML file with a list of available data files. The list contains descriptions and UUIDs. It

[https://s5phub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products\('" & \[UUID\] & '\)/\\$value](https://s5phub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products(')

After downloading the NetCDF file, it is renamed as “*XXX_I.nc*”, where “*XXX*” – chemical formula of the pollutant, “*I*” – the file index (e.g., “*NO2_2.nc*”). These files are temporary and are being removed after data processing.

Data processing. During its development, the NRTI System algorithm was divided into several branches for more effective work. After the data has been downloaded, the branches start working independently. A separate branch was developed for the purpose of NRTI air pollution monitoring over cities.

First and foremost, the data are filtered in order to identify statistically unreliable data. Cloudiness has the most negative impact on remote sensing retrievals. The filtering uses a quality assurance index (QA), which is dimensionless and varies from 0 to 1. QA=0 corresponds to totally unreliable data, whereas QA=1 – totally reliable data. A QA value is given for each grid of satellite data. Despite the ability to use values with $QA \geq 0.5$, it is better to filter Sentinel-5P data with $QA \geq 0.75$, saving those NRTI values that are the most statistically significant. Therefore, if a certain value is characterized by $QA < 0.75$, it is removed from the datasets.

After the filtering, all values are binned by longitude/ latitude which allowed us to arrange the data into regular grids. This procedure is necessary due to the differences in the area covered by Sentinel-5P. As it was mentioned, the same grid appears only once

found, the NRTI System removes them and prepares working directories for the new run.

At 16:20 EEST, the NRTI System launches the modules that are responsible for Sentinel-5P data downloading. All the data is being stored at the Sentinel-5P Pre-operations Data Hub [32]. Data downloading requires the indication of a special UUID (Universally Unique Identifier) code, which consists of 32 randomly generated symbols. The UUID is taken from the output file after a special request to the Hub. The output list is limited to 50 files. Considering the large area of Ukraine, the total number of files may exceed the limit. Therefore, the request must be well-thought-out. To meet the limit, our request is based on the Sentinel-5P sensing time. It was calculated to within one minute for each day ahead. So, the NRTI System reads the file with sensing time (from *hh.mm* to *hh.mm*) and creates a request to the Hub:

must be noted that the NRTI System downloads data for the entire Ukrainian territory, not just over the cities of interest. Knowing the UUIDs, the data files are downloaded using the following “wget” command:

every 16 days. This is not necessary for NRTI monitoring itself; however, we would like to create regular grids in order to create time series. The procedure of binning is described in [21]. For the sub-city scale, the regular grid is $0.02^\circ \times 0.02^\circ$ that is finer than the original spatial resolution of TROPOMI. Our regular grids are designed for downscaling. All centers of source TROPOMI pixels are being overlaid on regular grids. If the center of the pixel falls into the grid cell – the cell of the regular grid is filled with the original pollutant’s content value. Those grids that do not coincide with the centers of pixels remain blank at this phase. Linear Kriging interpolation is used to fill in the blank grids [33]. As a result, the territory of the city has better visible maxima of air pollutants. The regular grid is divided into particular domains for certain cities (Table 1). The NRTI System generates new NetCDF files with localized NO_2 and CO content over cities after filtering and binning.

Post-processing phase. The output visualization is based on Python modules. Each city and each pollutant used their own post-processing modules, which were combined into a joint block. As a result, there are 8 separate visualization modules (2 pollutants in 4 cities). The figures 1-4 illustrate an example of the NRTI System output.

After the visualization, the NRTI System removes all temporary files that were created during the run. While it is finishing, another module provides

the distribution of results among users. Nowadays, the NRTI System output is distributed via e-mail; however, the other types of results distribution could

be implemented, e.g., FTP, Telegram, etc. Fig. 5 represents the whole scheme of the NRTI System's work.

Table 1

Boundaries of city domains

City	North point (°N)	South point (°N)	West point (°E)	East point (°E)	Size N-S (°)	Size W-E (°)
Kharkiv	50.20	49.75	35.80	36.60	0.45	0.80
Kryvyi Rig	48.60	47.20	32.90	34.00	1.40	1.10
Kyiv	50.70	50.00	30.00	31.00	0.70	1.00
Odesa	46.65	46.20	30.40	31.00	0.45	0.60

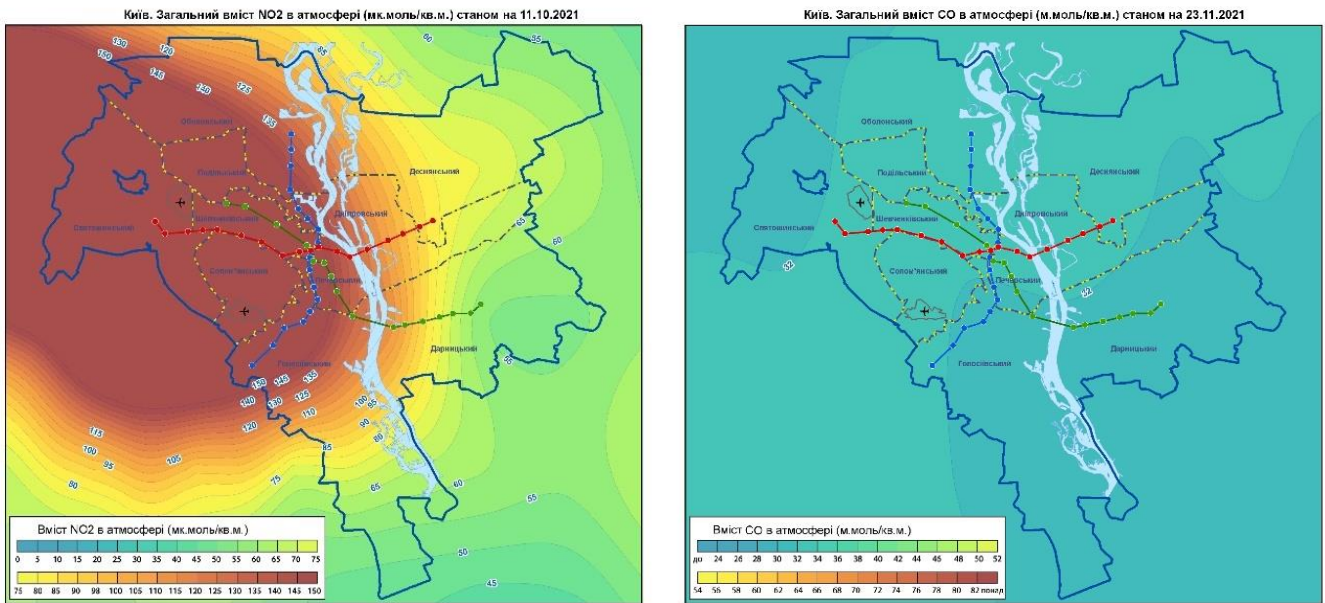


Fig. 1 The example of the NRTI System output for NO₂ and CO in Kyiv

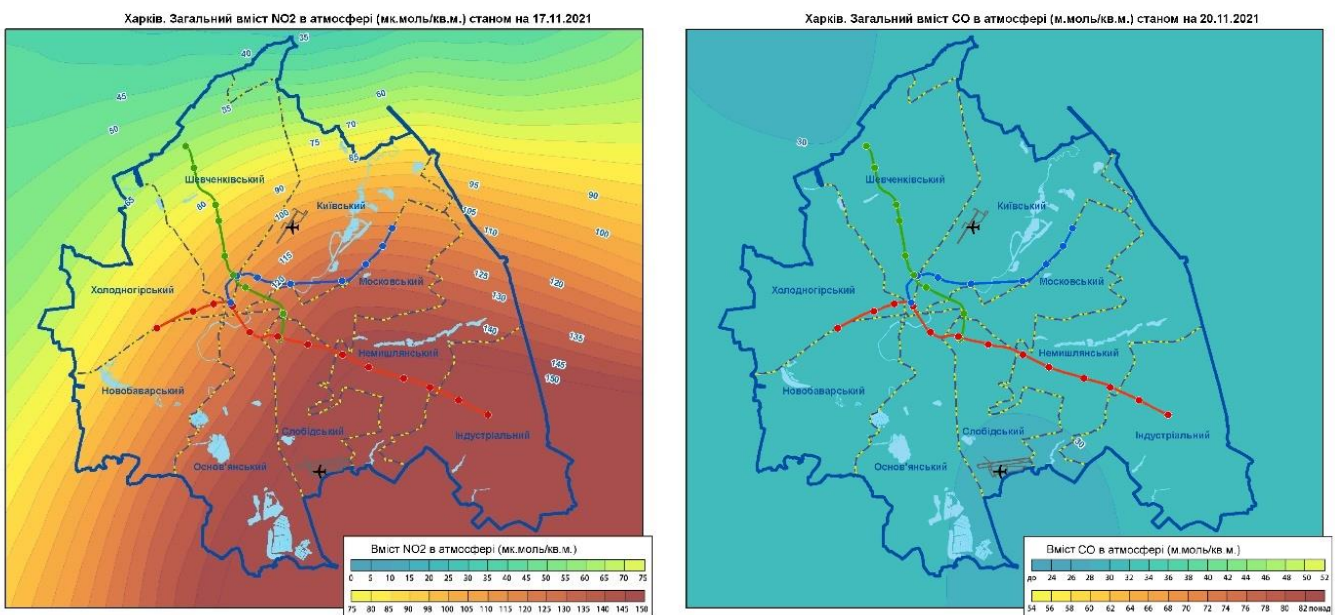


Fig. 2 The example of the NRTI System output for NO₂ and CO in Kharkiv

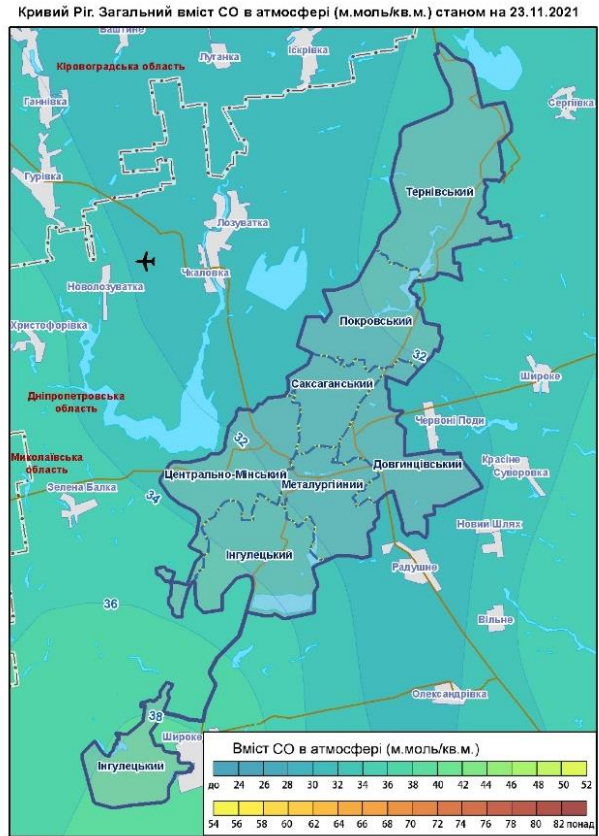
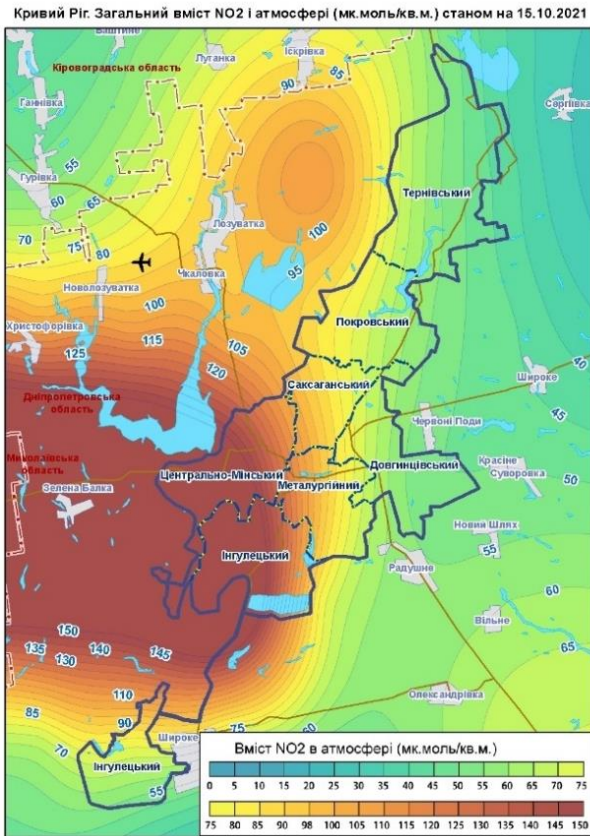


Fig. 3 The example of the NRTI System output for NO₂ and CO in Kryvyi Rih

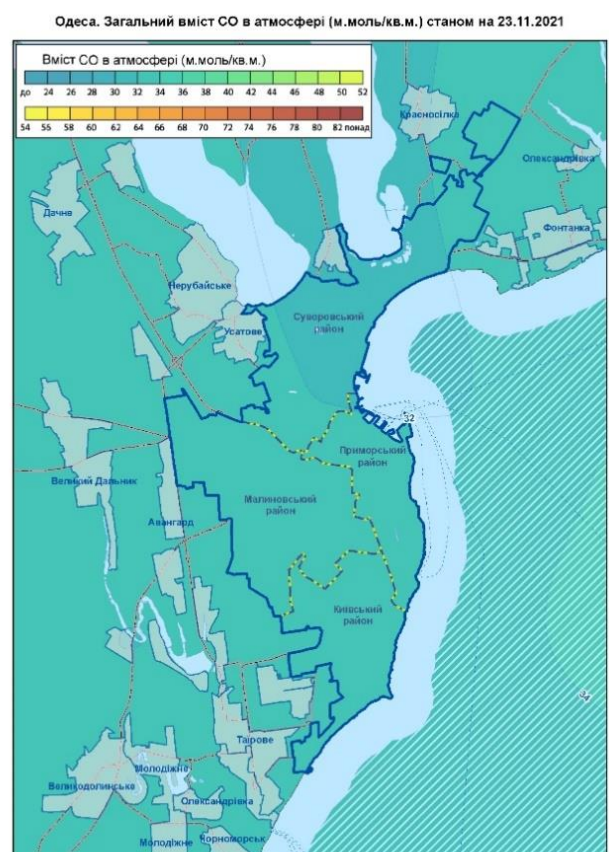
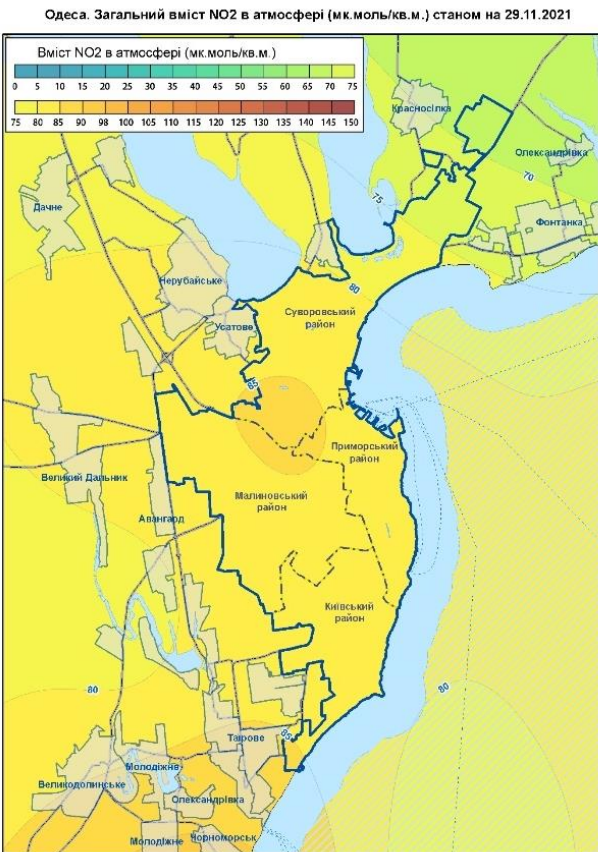


Fig. 4 The example of the NRTI System output for NO₂ and CO in Odesa

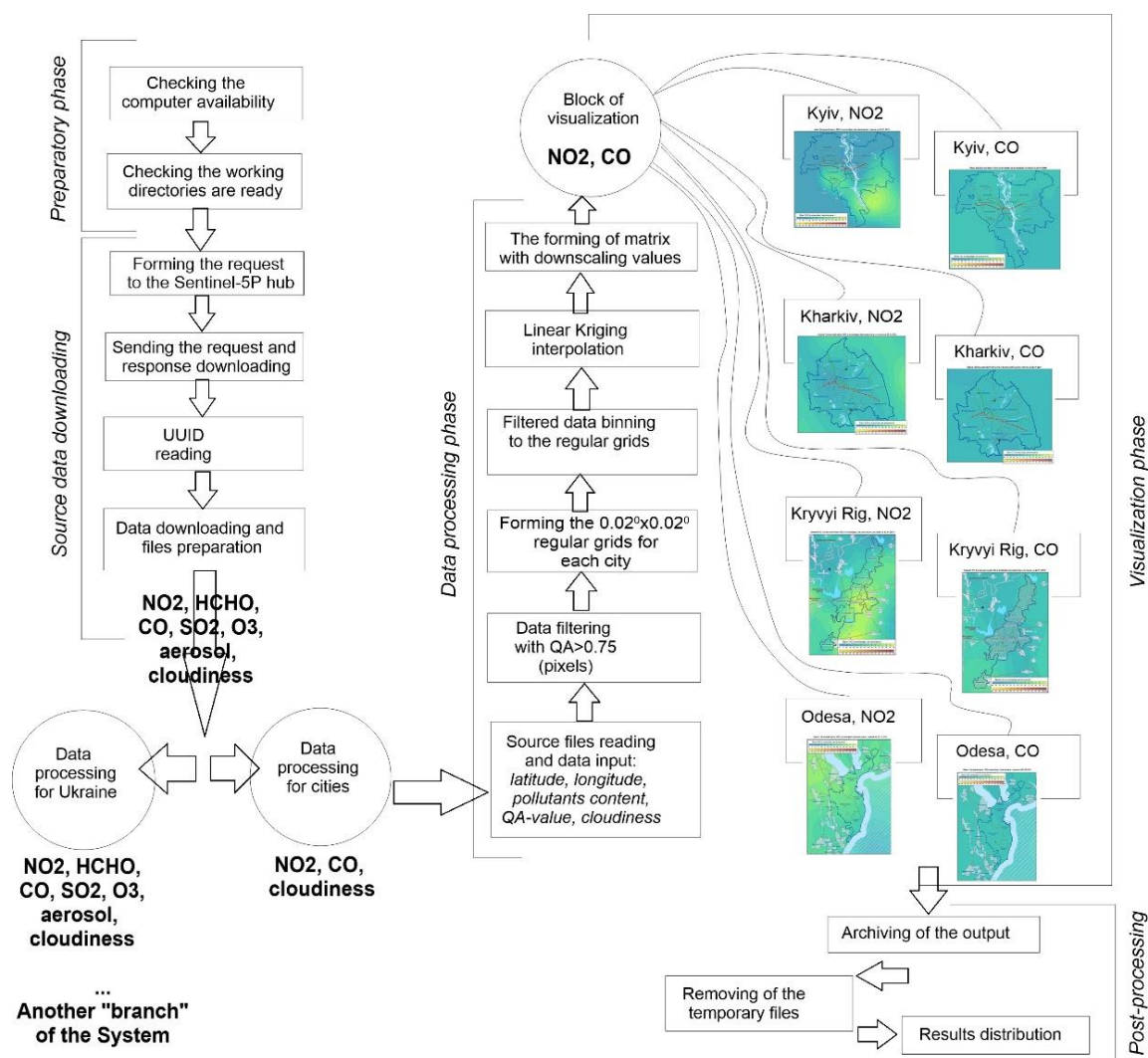


Fig. 5 The scheme of the NRTI System for air pollution monitoring over cities

First results derived from the NRTI System.

The NRTI System for selected cities was launched in October 2021. Further improvements and corrections were not critical for the NRTI System's work; hence, the total period for preliminary analyses covers three months until the end of 2021. Overall, the NRTI System rather well reflects NO_2 and CO variability and coincides with pollutants' emissions. Very often, we observed plumes distributed from the cities to rural areas by the prevailing wind, which allowed us to estimate potentially endangered areas (examples of plume distribution can be seen in fig. 1-3). The NRTI System output also shows the spatial distribution of pollutants during unfavorable meteorological conditions (e.g., air temperature inversions and low wind speeds).

The highest NO_2 content during October – December 2021 was observed in Kyiv and Kharkiv, reaching $7.9 \cdot 10^{-5} \text{ mol/m}^2$ and $7.1 \cdot 10^{-5} \text{ mol/m}^2$ respectively (fig. 6B). Traffic emissions in these cities play a significant role in the formation of higher NO_2 levels. Despite huge industrial emissions in Kryvyi Rig, NO_2 content was lower, reaching $5.7 \cdot 10^{-5} \text{ mol/m}^2$

which is comparable to observed values in Odesa (fig. 6B). It showed that traffic plays an important role in urban air quality nowadays and that the consequences of traffic emissions could be more serious than industrial ones.

The heating season impacts the day-to-day NO_2 variability in cities. It is seen from the NO_2 time series in Fig. 6A how the variance increases in November – December after the heating season starts.

In contrast to NO_2 , CO content is mostly formed under the influence of industrial emissions. The highest CO average values were observed in Odesa and Kryvyi Rig, reaching $3.39 \cdot 10^{-2} \text{ mol/m}^2$ and $3.38 \cdot 10^{-2} \text{ mol/m}^2$ respectively (Fig. 7B). CO is emitted into the atmosphere after the solid fuel is burned, which is still used in the majority of industrial processes in Ukraine. Moreover, active shipping causes SO_2 and CO emissions. Increased CO content in Odesa is frequently caused by the influence of shipping emissions during the sea-to-land wind, which transports polluted air masses towards the city. CO content in Kyiv and Kharkiv was lower, reaching $3.37 \cdot 10^{-2} \text{ mol/m}^2$ and $3.36 \cdot 10^{-2} \text{ mol/m}^2$ respectively (Fig. 7B).

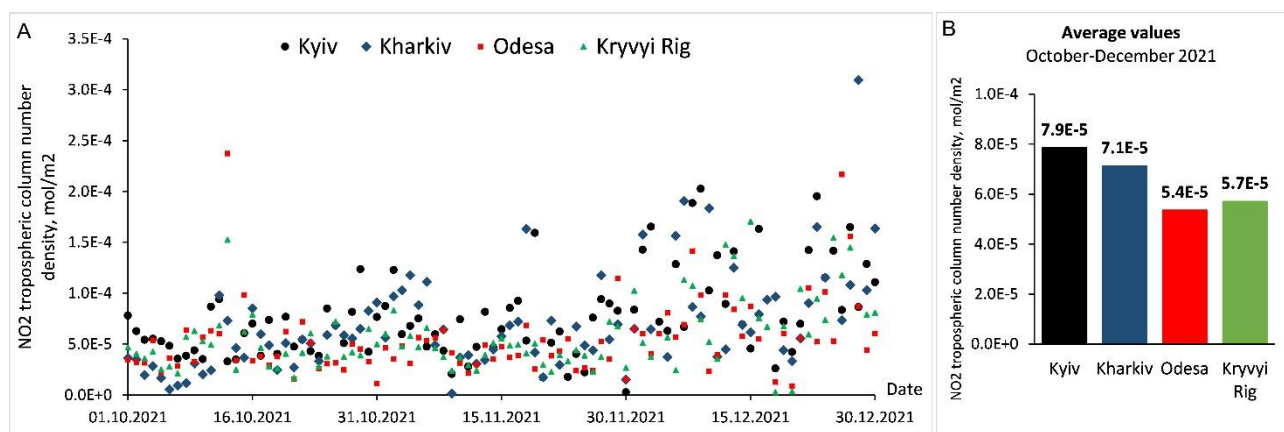


Fig. 6. Time series (A) and average values (B) of NO_2 tropospheric column number density (mol/m^2) spatially averaged over cities in October – December 2021

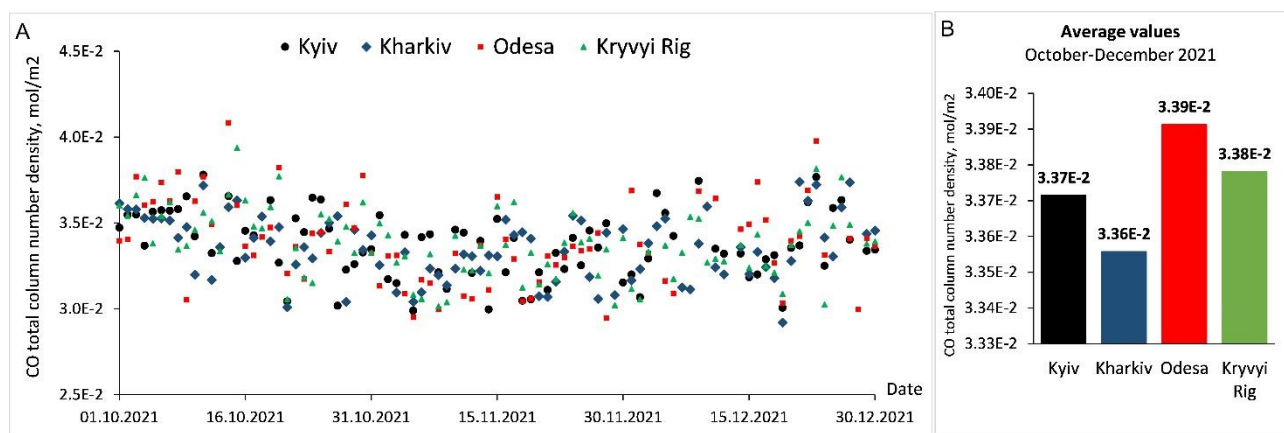


Fig. 7. Time series (A) and average values (B) of CO total column number density (mol/m^2) spatially averaged over cities in October – December 2021

The variance of CO values was low during October – December 2021 (Fig. 7A). However, this period coincides with the lowest CO content in the annual cycle in Ukraine [24], hence the day-to-day variability will become more heterogeneous at the end of the cold season.

The NRTI System allowed us to define the most polluted districts in the cities during October – December 2021. Overall, in Kyiv, three maxima were observed in Shevchenkivskiyi, Pecherskiyi, and Solomianskiyi Districts; in Kharkiv – Novobarskiyi, Slobidskiyi, and Osnovianskiyi Districts; in Kryvyi Rig – Inguletskiyi District. There was not a clear maximum observed in Odesa.

Conclusions. A system for NRTI air pollution monitoring was developed for the cities of Kharkiv, Kryvyi Rig, Kyiv, and Odesa based on NO_2 and CO data derived from Sentinel-5P. The algorithm of the NRTI System includes four main phases: preparatory, source data downloading, data processing, and post-processing with visualization. The NRTI System output is statistically reliable and provides more detailed information than the source data due to the implementation of data filtering and downscaling. The NRTI System was integrated into the general, fully

automatic system for air quality monitoring previously developed for the entire Ukrainian territory. It began providing daily NRTI data in October, based on fully automated algorithms. The NRTI System output allowed us to make preliminary analyses of NO_2 and CO spatio-temporal distribution over Kyiv, Kharkiv, Odesa and Kryvyi Rig. There was detected the days with the maximal emission and plumes which were distributed out of cities by the prevailing wind. NO_2 content is higher in Kyiv and Kharkiv with more intense traffic emissions, whereas increased CO content was observed in Odesa and Kryvyi Rig with prevailing shipping and industrial emissions, respectively. It was detected the increase of variance in NO_2 time series as a response to the heating season. Temporal averaging enabled the identification of the most polluted districts within cities. Overall, the NRTI System showed acceptable results and the possibility for operative monitoring. The NRTI System will be expanded to cover all cities with populations greater than 500 000 inh. in order to provide detailed operational monitoring of air pollution.

Acknowledgements. This study is supported by the project 0121U111519 “Development of the system for atmospheric air pollution operational monito-

ring over Ukrainian cities based on the satellite data” (2021–2023) within National Academy of Sciences of Ukraine Target programme for research “Aerospace Environment Observations towards sustainable development and safety (ERA-PLANET/UA project)”. Some parts of this study is linked to two national governmental projects 0121U109319 “Current trends in

the spatio-temporal distribution of pollutants in the atmosphere over the territory of Ukraine based on the integration of measurement data” (2021–2023) by order of State Emergency Service of Ukraine; and “Development of multi-purpose geo-portal for environmental monitoring and prediction” (2021–2025) by order of National Academy of Sciences of Ukraine.

Bibliography

1. El-Khoury C. Assessing the intra-urban variability of nitrogen oxides and ozone across a highly heterogeneous urban area [Text] / C. El-Khoury, I. Alameddine, J. Zalzal, M. El-Fadel, M. Hatzopoulou // *Environ Monit Assess.* – 2021. – Vol. 193(10). – 657 [<https://doi.org/10.1007/s10661-021-09414-2>].
2. Han W. The Urban–Rural Heterogeneity of Air Pollution in 35 Metropolitan Regions across China [Text] / W. Han, Z. Li, J. Guo, T. Su, T. Chen, J. Wei, M. Cribb // *Remote Sensing.* – 2020. – Vol. 12(14). – 2320. [<https://doi.org/10.3390/rs12142320>]
3. Pinder R.W. Opportunities and Challenges for Filling the Air Quality Data Gap in Low- and Middle-Income Countries [Text] / R.W. Pinder, J.M. Klopp, G. Kleiman, G.S.W. Hagler, Y. Awe, S. Terry // *Atmospheric environment.* – 2019. – Vol. 215. – 116794. [<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.06.032>]
4. Bovensmann, H. SCIAMACHY: Mission Objectives and Measurement Modes [Text] / H. Bovensmann, J.P. Burrows, M. Buchwitz, J. Frerick, S. Noël, V.V. Rozanov, K.V. Chance, A.P.H. Goede // *Journal of the Atmospheric Sciences.* – 1999. – Vol. 56(2). – P. 127-150 [[https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1999\)056%3C0127:SMOAMM%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1999)056%3C0127:SMOAMM%3E2.0.CO;2)]
5. Burrows, J.P. Atmospheric remote-sensing reference data from GOME-2. Temperature-dependent absorption cross sections of O₃ in the 231–794 nm range [Text] / J.P. Burrows, A. Richter, A. Dehn, B. Deters, J. Orphal // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.* – 1999. – Vol. 61. – P. 509-517 [[https://doi.org/10.1016/S0022-4073\(97\)00197-0](https://doi.org/10.1016/S0022-4073(97)00197-0)].
6. Salomonson, V.V. MODIS: advanced facility instrument for studies of the Earth as a system [Text] / V.V. Salomonson, W.L. Barnes, P.W. Maymon, H.E. Montgomery, H. Ostrow // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.* – 1989. – Vol. 27(2). – P. 145-153. [<https://doi.org/10.1109/36.20292>].
7. Veefkind, J.P. TROPOMI on the ESA Sentinel-5 Precursor: A GMES mission for global observations of the atmospheric composition for climate, air quality and ozone layer applications [Text] / J.P. Veefkind, I. Aben, K. McMullan, H. Förster, J. de Vries, G. Otter, J. Claas, H.J. Eskes, J.F. de Haan, Q. Kleipool, M. van Weele, O. Hasekamp, R. Hoogeveen, J. Landgraf, R. Snel, P. Tol, P. Ingmann, R. Voors, B. Kruizinga, R. Vink, H. Visser, P.F. Leveltag // *Remote Sensing of Environment.* – 2012. – Vol. 120. – P. 70-83. [<https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.09.027>].
8. Richter A. Satellite remote sensing of tropospheric composition – principles, results, and challenges [Text] / A. Richter // *EPJ Web of Conferences.* – 2010. – Vol. 9. – P. 181–189. [<https://doi.org/10.1051/epjconf/201009014>]
9. Borsdorff, T. Mapping carbon monoxide pollution from space down to city scales with daily global coverage [Text] / T. Borsdorff, J. aan de Brugh, H. Hu, O. Hasekamp, R. Sussmann, M. Rettinger, F. Hase, J. Gross, M. Schneider, O. Garcia, W. Stremme, M. Grutter, D.G. Feist, S.G. Arnold, M. De Mazière, M. Kumar Sha, D.F. Pollard, M. Kiel, C. Roehl, P.O. Wennberg, G.C. Toon, J. Landgraf // *Atmos. Meas. Tech.* – 2018. – Vol. 11. – P. 5507–5518. [<https://doi.org/10.5194/amt-11-5507-2018>]
10. Griffin, D. High-Resolution Mapping of Nitrogen Dioxide With TROPOMI: First Results and Validation Over the Canadian Oil Sands [Text] / D. Griffin, X. Zhao, C.A. McLinden, F. Boersma, A. Bourassa, E. Dammers, D. Degenstein, H. Eskes, L. Fehr, V. Fioletov, K. Hayden, S. K. Kharol, S.-M. Li, P. Makar, R.V. Martin, C. Mihele, R.L. Mittermeier, N. Krotkov, M. Sneep, L.N. Lamsal, M. ter Linden, J. van Geffen, P. Veefkind, M. Wolde // *Geophys. Res. Lett.* – 2019. – Vol. 46. – P. 1049–1060. [<https://doi.org/10.1029/2018GL081095>]
11. Saw G.K. Tracking NO₂ emission from thermal power plants in North India using TROPOMI data [Text] / G.K. Saw, S. Dey, H. Kaushal, K. Lal // *Atmospheric Environment.* – 2021. – Vol. 259. – 118514. [<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118514>]
12. Griffith S.M. Long-range air pollution transport in East Asia during the first week of the COVID-19 lockdown in China [Text] / S. M. Griffith, W.-S. Huang, Ch.-Ch. Lin, Y.-Ch. Chen, K.-E. Chang, T.-H. Lin, Sh.-H. Wang, N.-H. Lin // *Science of The Total Environment.* – 2020. – Vol. 741. – 140214. [<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140214>]
13. Ikeda K. Model and Satellite Analysis of Transport of Asian Anthropogenic Pollution to the Arctic: Siberian and Pacific Pathways and Their Meteorological Controls [Text] / K. Ikeda, H. Tanimoto, T. Sugita, H. Akiyoshi, C. Clerbaux, P.-F. Coheur // *JGR Atmospheres.* – 2021. – Vol. 126(7). – e2020JD033459. [<https://doi.org/10.1029/2020JD033459>]
14. Oluleye A. Satellite Observation of Spatio-temporal Variations in Nitrogen Dioxide over West Africa and Implications for Regional Air Quality [Text] / A. Oluleye // *J. Health Pollut.* – 2021. – Vol. 11(31). – 210913. [<https://dx.doi.org/10.5696%2F2156-9614-11.31.210913>]
15. Shah, V. Effect of changing NO_x lifetime on the seasonality and long-term trends of satellite-observed tropospheric NO₂ columns over China [Text] / V. Shah, D.J. Jacob, K. Li, R.F. Silvern, S. Zhai, M. Liu, J. Lin, Q. Zhang // *Atmos. Chem. Phys.* – 2020. – Vol. 20. – P. 1483–1495. [<https://doi.org/10.5194/acp-20-1483-2020>]

16. Stirnberg R. Mapping and Understanding Patterns of Air Quality Using Satellite Data and Machine Learning [Text] / R. Stirnberg, J. Cermak, J. Fuchs, H. Andersen // *JGR Atmospheres*. – 2020. – Vol. 125(4). – e2019JD031380. [<https://doi.org/10.1029/2019JD031380>]
17. Levelt P.F. The ozone monitoring instrument [Text] / P.F. Levelt, G.H. Oord, M.R. Dobber, A. Mälkki, H. Visser, J.W. Vries, P. Stammes, J. Lundell, H. Saari // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. – 2006. – Vol. 44. – P.1093-1101. [<https://doi.org/10.1109/TGRS.2006.872333>]
18. Sentinel-5P. Sentinel Online/ ESA [Електронний ресурс]/ Режим доступу: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5p> (Дата звернення: 02.02.2022).
19. S5P Mission Performance Centre Nitrogen Dioxide Readme [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://sentinel.esa.int/documents/247904/3541451/Sentinel-5P-Nitrogen-Dioxide-Level-2-Product-Readme-File> (Дата звернення: 02.02.2022)
20. Савенець М. В. Сучасний стан забруднення атмосферного повітря в Україні за даними супутника Sentinel-5P [Текст] / М.В. Савенець, І.В. Дворецька, Л.М. Надточій // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія». – 2019. – Вип. 51. – С.221-233. [<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-16>]
21. Савенець М.В. Моніторинг якості атмосферного повітря над територією України з деталізацією для міст за даними супутника Sentinel-5P [Текст] / М.В. Савенець, В.І. Осадчий, А.В. Орещенко // Вісник НАН України. – 2021. – №3. – С. 50-58 [<https://doi.org/10.15407/vism2021.03.050>]
22. Babii V. Comparative analysis of air quality in Kyiv by GIS and remote sensing in 2019–2020 [Text] / V. Babii, O. Gordiienko, I. Tsyura // *Geoinformatics (May 2021)*. – 2021. – Vol. 2021. – P.1-6. [<https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521138>]
23. Savenets M. Air Quality Changes in Ukraine during the April 2020 Wildfire Event [Text] / M. Savenets, V. Osadchyi, A. Oreshchenko, L. Pysarenko // *Geographica Pannonica*. – 2020. – Vol.24. – P.271-284 [<https://doi.org/10.5937/gp24-27436>]
24. Savenets M. Air pollution in Ukraine: a view from the Sentinel-5P satellite [Text] / M. Savenets/ *Idojaras*. – 2021. – Vol. 125(2). – P. 271–290 [<https://doi.org/10.28974/idojaras.2021.2.6>]
25. Концепція Цільової програми наукових досліджень НАН України «Аерокосмічні спостереження довкілля в інтересах сталого розвитку та безпеки» (ERAPLANET/UA) на 2021-2023 роки [Електронний ресурс]/ Режим доступу: <https://www.nas.gov.ua/legaltexts/DocPublic/P-210217-44-1.pdf> (Дата звернення: 02.02.2022)
26. Sentinel-5P Data Products. Sentinel Online [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5p/data-products> (Дата звернення: 02.02.2022)
27. Sentinel-5P Products and Algorithms. Sentinel Online [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-5p/products-algorithms> (Дата звернення: 02.02.2022)
28. Air pollution: sources, impacts and controls [Text] / Editors: P. Saxena, V. Naik // *CABI*. – 2019. – 216 P. [<http://dx.doi.org/10.1079/9781786393890.0000>]
29. Lama, S. Quantifying burning efficiency in megacities using the NO₂/CO ratio from the Tropospheric Monitoring Instrument (TROPOMI) [Text] / S. Lama, S. Houweling, K.F. Boersma, H. Eskes, I. Aben, H.A. van der Gon, M.C. Krol, H. Dolman, T. Borsdorff, A. Lorente // *Atmos. Chem. Phys.* – 2020. – Vol. 20. – P. 10295–10310 [<https://doi.org/10.5194/acp-20-10295-2020>]
30. Silva S.J. Characterizing Regional-Scale Combustion Using Satellite Retrievals of CO, NO₂ and CO₂ [Text] / S.J. Silva, A.F. Arellano // *Remote Sensing*. – 2017. – Vol. 9(7). – 744. [<https://doi.org/10.3390/rs9070744>]
31. van der Velde I.R. Biomass burning combustion efficiency observed from space using measurements of CO and NO₂ by the Tropospheric Monitoring Instrument (TROPOMI) [Text] / I.R. van der Velde, G.R. van der Werf, S. Houweling, H.J. Eskes, J.P. Veefkind, T. Borsdorff, I. Aben // *Atmos. Chem. Phys.* – 2021. – Vol. 21. – P. 597–616. [<https://doi.org/10.5194/acp-21-597-2021>].
32. Sentinel-5P Pre-Operations Data Hub [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://s5phub.copernicus.eu/dhus/#/home> (Дата звернення: 03.02.2022)
33. Papritz A. Spatial prediction by linear kriging [Text] / A. Papritz, A. Stein / In: Stein A., Van der Meer F., Gorte B. // *Spatial Statistics for Remote Sensing. Remote Sensing and Digital Image Processing*. – 1999. - Vol I. – Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/0-306-47647-9_6]

Authors Contribution: Savenets M. – conceptualization, methodology, development of modules, computations, text writing; Oreshchenko A. – development of modules for mapping and visualization, text writing; Nadtochii L. – computations.

References

1. El-Khoury C., Alameddine I., Zalzal J., El-Fadel M., Hatzopoulou M. (2021). Assessing the intra-urban variability of nitrogen oxides and ozone across a highly heterogeneous urban area. *Environ Monit. Assess.*, (193): 657 [<https://doi.org/10.1007/s10661-021-09414-2>]
2. Han W., Li Z., Guo J., Su T., Chen T., Wei J., Cribb M. (2020). The Urban–Rural Heterogeneity of Air Pollution in 35 Metropolitan Regions across China. *Remote Sensing*, (12): 2320. [<https://doi.org/10.3390/rs12142320>]

3. Pinder R.W., Klopp J.M., Kleiman G., Hagler G.S.W., Awe Y., Terry S. (2019). Opportunities and Challenges for Filling the Air Quality Data Gap in Low- and Middle-Income Countries. *Atmospheric environment*, (215): 116794. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.06.032>
4. Bovensmann H., Burrows J.P., Buchwitz M., Frerick J., Noël S., Rozanov V.V., Chance K.V., Goede A.P.H. (1999). SCIAMACHY: Mission Objectives and Measurement Modes. *Journal of the Atmospheric Sciences*, (56): 127-150 [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1999\)056%3C0127:SMOAMM%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1999)056%3C0127:SMOAMM%3E2.0.CO;2)
5. Burrows J.P., Richter A., Dehn A., Deters B., Orphal J. (1999). Atmospheric remote-sensing reference data from GOME-2. Temperature-dependent absorption cross sections of O₃ in the 231-794 nm range. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.*, (61): 509-517 [https://doi.org/10.1016/S0022-4073\(97\)00197-0](https://doi.org/10.1016/S0022-4073(97)00197-0)
6. Salomonson V.V., Barnes W.L., Maymon P.W., Montgomery H.E., Ostrow H. (1989). MODIS: advanced facility instrument for studies of the Earth as a system. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, (27): 145-153. <https://doi.org/10.1109/36.20292>
7. Veeffkind J.P., Aben I., McMullan K., Förster H., de Vriese J., Otter G., Claas J., Eskes H.J., de Haan J.F., Kleipool Q., van Weele M., Hasekamp O., Hoogeveen R., Landgraf J., Snel R., Tol P., Ingmann P., Voors R., Kruizinga B., Vink R., Visser H., Levelt P.F. (2012). TROPOMI on the ESA Sentinel-5 Precursor: A GMES mission for global observations of the atmospheric composition for climate, air quality and ozone layer applications. *Remote Sensing of Environment*, (120): 70-83. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.09.027>
8. Richter A. (2010). Satellite remote sensing of tropospheric composition – principles, results, and challenges. *EPJ Web of Conferences*, (9): 181–189. <https://doi.org/10.1051/epjconf/201009014>
9. Borsdorff T., van de Brugh J., Hu H., Hasekamp O., Sussmann R., Rettinger M., Hase F., Gross J., Schneider M., Garcia O., Stremme W., Grutter M., Feist D.G., Arnold S.G., De Mazière M., Kumar Sha M., Pollard D.F., Kiel M., Roehl C., Wennberg P.O., Toon G.C., Landgraf J. (2018). Mapping carbon monoxide pollution from space down to city scales with daily global coverage. *Atmos. Meas. Tech.*, (11): 5507–5518. <https://doi.org/10.5194/amt-11-5507-2018>
10. Griffin D., Zhao X., McLinden C.A., Boersma F., Bourassa A., Dammers E., Degenstein D., Eskes H., Fehr L., Fioletov V., Hayden K., Kharol S.K., Li S.-M., Makar P., Martin R.V., Mihele C., Mittermeier R.L., Krotkov N., Sneepe M., Lamsal L.N., ter Linden M., van Geffen J., Veeffkind P., Wolde M. (2019). High-Resolution Mapping of Nitrogen Dioxide With TROPOMI: First Results and Validation Over the Canadian Oil Sands. *Geophys. Res. Lett.*, (46): 1049–1060. <https://doi.org/10.1029/2018GL081095>
11. Saw G.K., Dey S., Kaushal H., Lal K. (2021). Tracking NO₂ emission from thermal power plants in North India using TROPOMI data. *Atmospheric Environment*, (259): 118514. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118514>
12. Griffith S.M., Huang W.-S., Lin Ch.-Ch., Chen Y.-Ch., Chang K.-E., Lin T.-H., Wang Sh.-H., Lin N.-H. (2020). Long-range air pollution transport in East Asia during the first week of the COVID-19 lockdown in China. *Science of The Total Environment*, (741): 140214. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140214>
13. Ikeda K., Tanimoto H., Sugita T., Akiyoshi H., Clerbaux C., Coheur P.-F. (2021). Model and Satellite Analysis of Transport of Asian Anthropogenic Pollution to the Arctic: Siberian and Pacific Pathways and Their Meteorological Controls. *JGR Atmospheres* (126): e2020JD033459. <https://doi.org/10.1029/2020JD033459>
14. Oluleye A. (2021). Satellite Observation of Spatio-temporal Variations in Nitrogen Dioxide over West Africa and Implications for Regional Air Quality. *J. Health Pollut.*, (11): 210913. <https://dx.doi.org/10.5696%2F2156-9614-11.31.210913>
15. Shah V., Jacob D.J., Li K., Silvern R.F., Zhai S., Liu M., Lin J., Zhang Q. (2020). Effect of changing NO_x lifetime on the seasonality and long-term trends of satellite-observed tropospheric NO₂ columns over China. *Atmos. Chem. Phys.*, (20): 1483–1495. <https://doi.org/10.5194/acp-20-1483-2020>
16. Stirnberg R., Cermak J., Fuchs J., Andersen H. (2020). Mapping and Understanding Patterns of Air Quality Using Satellite Data and Machine Learning. *JGR Atmospheres*, (125): e2019JD031380. <https://doi.org/10.1029/2019JD031380>
17. Levelt P.F., Oord G.H., Dobber M.R., Mälkki A., Visser H., Vries J.W., Stammes P., Lundell J., Saari H. (2006). The ozone monitoring instrument. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, (44): 1093-1101. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2006.872333>
18. Sentinel-5P. Sentinel Online/ ESA. Available at: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5p>
19. S5P Mission Performance Centre Nitrogen Dioxide Readme Available at: <https://sentinel.esa.int/documents/247904/3541451/Sentinel-5P-Nitrogen-Dioxide-Level-2-Product-Readme-File>
20. Savenets M.V., Dvoretzka I.V., Nadtochii L.M. (2019). Current state of atmospheric air pollution in Ukraine based on Sentinel-5P satellite data. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology"*, (51): 221-233. [in Ukrainian] <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-16>
21. Savenets M.V., Osadchyi V.I., Oreshchenko A.V. (2021). Atmospheric air quality monitoring over the territory of Ukraine with specification over the cities using Sentinel-5P satellite data. *Visnyk of the National Academy of Sciences of Ukraine*, (3): 50–58. [in Ukrainian] <https://doi.org/10.15407/visn2021.03.050>
22. Babii V., Gordiienko O., Tsyupa I. (2021). Comparative analysis of air quality in Kyiv by GIS and remote sensing in 2019–2020. *Geoinformatics (May 2021)*, 1-6. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521138>
23. Savenets M., Osadchyi V., Oreshchenko A., Pysarenko L. (2020). Air Quality Changes in Ukraine during the April 2020 Wildfire Event. *Geographica Pannonica*, (24): 271-284 <https://doi.org/10.5937/gp24-27436>

24. Savenets M. Air pollution in Ukraine: a view from the Sentinel-5P satellite. *Idojaras*, (125): 271–290 <https://doi.org/10.28974/idojaras.2021.2.6>
25. *Konceptsia Tsiliovoi program naukovykh doslidzhen' NAN Ukrainy "Aerokosmichni sposterezhennya dovkillia v interesah stalogo rozvytku ta bezpeky"* (ERAPLANET/UA) na 2021-2023 rr. Available at: <https://www.nas.gov.ua/le-galtexs/DocPublic/P-210217-44-1.pdf> [in Ukrainian]
26. Sentinel-5P Data Products. Sentinel Online. Available at: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5p/data-products>
27. Sentinel-5P Products and Algorithms. Sentinel Online Available at: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-5p/products-algorithms>
28. *Air pollution: sources, impacts and controls* (2019). Editors: P. Saxena, V. Naik. CABI, 216 <http://dx.doi.org/10.1079/9781786393890.0000>
29. Lama S., Houweling S., Boersma K. F., Eskes H., Aben I., Denier van der Gon H. A. C., Krol M.C., Dolman H., Borsdorff T., Lorente, A. (2020). Quantifying burning efficiency in megacities using the NO₂/CO ratio from the Tropospheric Monitoring Instrument (TROPOMI). *Atmos. Chem. Phys.*, (20), 10295–10310. <https://doi.org/10.5194/acp-20-10295-2020>
30. Silva S.J, Arellano A.F. (2017). Characterizing Regional-Scale Combustion Using Satellite Retrievals of CO, NO₂ and CO₂. *Remote Sensing*, (9): 744. <https://doi.org/10.3390/rs9070744>
31. van der Velde I.R., van der Werf G.R., Houweling S., Eskes H.J., Veeffkind J.P., Borsdorff T., Aben I. (2021). Biomass burning combustion efficiency observed from space using measurements of CO and NO₂ by the TROPospheric Monitoring Instrument (TROPOMI). *Atmos. Chem. Phys.*, (21): 597–616. <https://doi.org/10.5194/acp-21-597-2021>
32. Sentinel-5P Pre-Operations Data Hub. Available at: <https://s5phub.copernicus.eu/dhus/#/home>
33. Papritz A., Stein A. (1999) Spatial prediction by linear kriging. *Spatial Statistics for Remote Sensing. Remote Sensing and Digital Image Processing*, (1). https://doi.org/10.1007/0-306-47647-9_6

Система моніторингу забруднення атмосферного повітря над містами у режимі «близькому до реального часу» за даними супутника Sentinel-5P

Михайло Савенець¹,

к. геогр. н., ст. наук. співроб. відділу моніторингу атмосфери,

¹Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України,
просп. Науки, 37, Київ, 03028, Україна;

Андрій Орещенко¹,

к. геогр. н., ст. наук. співроб. відділу прикладної метеорології та кліматології;

Людмила Надточій¹,

к. геогр. н., ст. наук. співроб. відділу моніторингу атмосфери

У статті представлено розроблену повністю автоматичну систему моніторингу забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту (NO₂) та монооксидом вуглецю (CO) для міст території України на основі супутникових даних Sentinel-5P у режимі «близькому до реального часу». Розроблена система дозволяє отримувати деталізовану інформацію про загальний вміст NO₂ та CO в атмосфері над містами Київ, Харків, Одеса та Кривий Ріг. Загалом робота системи реалізується у чотири основні етапи: підготовчий, завантаження вихідних супутникових даних, обробка та завершальний етап з візуалізацією, архівуванням та розсилкою результатів. Для роботи системи розроблено процеси фільтрування за індексом якості даних, впорядкування та деталізації даних з використанням лінійної крігінг інтерполяції. Результати роботи системи представляють собою координатно-прив'язані відфільтровані дані з просторовою роздільною здатністю 0.02°×0.02°. За результатами роботи системи у жовтні – грудні 2021 р. проведено попередній аналіз стану забруднення атмосферного повітря за загальним вмістом NO₂ та CO. Вищий вміст NO₂ характерний для Києва та Харкова, де викиди від автотранспорту відіграють провідну роль у формуванні забруднення атмосферного повітря. На основі щоденних даних вдається чітко прослідкувати зростання дисперсії вмісту NO₂ під час опалювального сезону; та спостерігати поширення шлейфу забрудненого повітря від міст у сільську місцевість за переважаючим напрямком вітру. Загальний вміст CO є більш однорідним як у просторі, так і у часі, проте вищі значення характерні для промислового Кривого Рогу та Одеси. Наголошено, що у окремі дні викиди від морського транспорту можуть відігравати значну роль у формуванні високого вмісту CO в Одесі. Використання даних системи дозволило виявити найбільш забруднені райони в межах досліджуваних міст за умови часового осереднення щоденних даних. Планується подальше удосконалення системи шляхом розробки подібних алгоритмів для усіх міст України із населенням більше 500 000 осіб в цілях проведення оперативного моніторингу якості атмосферного повітря за супутниковими даними.

Ключові слова: *якість атмосферного повітря, діоксид азоту, монооксид вуглецю, TROPOMI, моніторинг, забруднення*

Внесок авторів: Савенець М. – концептуалізація, методологія, розробка модулів, обчислення, написання тексту; Орещенко А. – розробка модулів картографування та візуалізації, написання тексту; Надточій Л. – розрахунки

Надійшла 15 лютого 2022 р.

Прийнята 14 листопада 2022 р.

Експериментальна оцінка пожежонебезпечної погоди в періоди лісових пожеж в Україні в 2020 році

Інна Семенова¹,

д. геогр. н., професор кафедри військової підготовки,

¹Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016, Україна,

e-mail: in_home@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3383-4848>;

Валерій Мансарлійський¹,

к. ф.-м. н., доцент кафедри військової підготовки,

e-mail: mansmet@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-4688-8626>;

Наталя Міщенко¹,

к. геогр. н., доцент кафедри метеорології та кліматології,

e-mail: minatami@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-1152-0103>;

Руслан Коваль¹,

аспірант кафедри військової підготовки,

e-mail: ruslanmw97@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3848-8374>

Сучасні кліматичні умови території України є сприятливими для частого виникнення посушливих явищ різної інтенсивності та тривалості (бездошові періоди, посухи, сухоті), які, в свою чергу, призводять до підвищення рівня пожежної небезпеки в усіх ландшафтних зонах країни. Через прогнозоване подальше зростання посушливості клімату України актуальною залишається проблема моніторингу і прогнозування посух та пожежної небезпеки за умовами погоди, одним з шляхів вирішення якої є відбір найбільш ефективних фізичних показників, що описують ці явища. В даній статті представлені результати аналізу просторово-часового розподілу нового індексу пожежонебезпечної погоди HDW (Hot-Dry-Windy Index) для періодів лісових пожеж в Чорнобильській зоні і Луганській області в 2020 р. Даний індекс поєднує основні метеорологічні параметри, які визначають ступінь сприятливості погодних умов для загоряння та підтримки лісової пожежі: температура і вологість повітря, швидкість вітру в приземному шарі атмосфери. В якості вихідної інформації для розрахунку індексу HDW використані дані глобальної чисельної моделі GFS з кроком сітки 0,25 градусів. Для оцінки інформативності індексу HDW обчислені поля та графіки часового ходу порівнювалися з інформацією про розташування зон відкритого вогню, отриманою за допомогою даних супутникового зондування, а також із синоптичною ситуацією для встановлення відповідності щодо метеорологічних умов. Показано, що індекс HDW на території України варіюється в широких межах, в залежності від сезону року та синоптичної ситуації, при цьому зони максимальних щоденних значень, звичайно, відповідають осередкам фактичних загорянь. Велику інформативність має характерний часовий хід індексу, осередненого для зони лісової пожежі, в якому спостерігається наростання значень HDW до моменту спалаху та/або посилення вогню, коли індекс досягає максимуму, після чого значення HDW різко зменшується, що нерідко пов'язано зі зміною погодних умов. Подальше визначення відповідних критеріїв небезпеки за значеннями індексу HDW для території України становитиме основу альтернативного методу для прогнозування пожежонебезпечної погоди.

Ключові слова: індекс пожежонебезпечної погоди, лісова пожежа, зона вигорання, пожежна небезпека за умовами погоди, індекс посухи.

Як цитувати: Семенова Інна. Експериментальна оцінка пожежонебезпечної погоди в періоди лісових пожеж в Україні в 2020 році / Інна Семенова, Валерій Мансарлійський, Наталя Міщенко, Руслан Коваль // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 57. – С. 206-217. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-16>

In cites: Semenova Inna, Mansarliysky Valery, Mishchenko Natalia, Koval Ruslan (2022). Experimental evaluation of fire weather conditions during periods of wildfires in Ukraine in 2020. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (57), 206-217. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-16> [in Ukrainian]

Вступ. Територія України майже щороку потерпає від посушливих явищ різної інтенсивності та тривалості. Посушливі явища супроводжуються підвищенням рівня пожежної небезпеки, наслідком чого стають як природні, так й техногенні пожежі. Проблема завчасного передбачення посушливих умов та умов погоди, що сприяють природним пожежам, короткострокової та середньострокової тривалості, є вельми актуальною як у глобальному сенсі, так й в Україні, адже через зміни клімату ці явища мають тенденцію до збільшення і вкрай негативно впливають на різні галузі економіки та населення. Так, за даними

дослідження [1], кліматичні зміни, що спостерігалися в останні декілька десятиліть, призвели до збільшення площі пожеж у лісовому фонді України в усіх агрокліматичних зонах через зростання середньомісячної температури повітря впродовж пожежонебезпечного сезону, що призвело до інтенсивнішого підсушування природних горючих матеріалів в лісах. В майбутньому, за кліматичними сценаріями (наприклад, А1В) майже на всій території рівнинної України кліматичні умови будуть мало сприятливими або навіть критичними для вирощування лісів через очікуване подальше потепління [2, 3]. Підвищення температури повіт-

ря до кінця XXI століття по регіонах України може становити +3...+4 °С відносно доіндустріального періоду, що вкупі зі зменшенням кількості опадів, переважно у вегетаційному періоді, призведе до тривалих теплих і посушливих періодів, в яких створюватиметься небезпечний водний та температурний стрес для лісових насаджень, наприклад, через хвили тепла, що сприятиме підвищенню горючості лісових матеріалів.

Особливу увагу привертають природні пожежі, що виникають в Чорнобильському радіаційно-екологічному біосферному заповіднику, через можливість поширення радіаційних забруднюючих речовин з продуктами горіння. За період з 1993 по 2011 рр. у зоні відчуження Чорнобильської АЕС зареєстровано 1035 випадків пожеж на площі понад 2600 га, що свідчить про постійну наявність джерел вогню та високу пожежну небезпеку на радіоактивно забруднених територіях [4].

Погода є найбільш мінливим компонентом пожежного середовища, який впливає на умови виникнення і поведінку пожежі. Існуючі методи оцінки пожежної небезпеки за умовами погоди наразі є недосконалими, тому актуальним залишається питання щодо вибору найбільш ефективних підходів для такої оцінки і прогнозу, в тому числі, з використанням сучасних досягнень у технологіях спостереження за природним середовищем.

Постановка проблеми. Одним з шляхів вирішення проблеми короткострокового прогнозування є системи моніторингу посушливих явищ та пожежонебезпечної погоди, які діагностують стан посушливості атмосфери та попереджають про розвиток майбутніх умов, використовуючи аналіз погодних тенденцій у порівнянні із кліматичним станом. Для цих цілей зазвичай використовують індекси посушливості та індекси пожежонебезпечної погоди, які дозволяють описати основні характеристики стану атмосфери та підстильної поверхні, що відповідають посушливому стану та погодним умовам, сприятливим для виникнення природних пожеж. Відсутність в Україні єдиної системи моніторингу посушливих умов та пов'язаних з ними пожежонебезпечних умов погоди суттєво обмежує своєчасне надходження такої інформації та доступ до неї як державних структур, так й приватного сектору і населення, що, загалом, знижує спроможність до реагування на всіх рівнях з метою запобігання та пом'якшення наслідків від природних явищ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Територія Східної Європи є регіоном, де нерідко спостерігаються посухи різної інтенсивності і тривалості [5]. Особливо схильні до посухи південні райони в теплий період року, коли в атмо-

сфері переважають антициклонічні процеси, які сприяють інтенсивному радіаційному прогріванню і висушуванню повітря і ґрунту через дефіцит опадів [6]. Метеорологічні та сільськогосподарські посухи можуть значно знизити врожайність зернових культур, особливо, якщо трапляються навесні і влітку. Так, посуха 2019-2020 років в Україні, через тривалу відсутність опадів і теплу зиму, була найсильнішою з 1947 р. по зниженню вологи ґрунту, доступної для сільськогосподарських культур, і привела до загибелі до 80 % посівів в південно-західних областях країни навесні 2020 р., що катастрофічно позначилося на регіональній економіці аграрного сектора і призвело до зниження експорту зернових культур [7].

Посуха є комплексним явищем, пов'язаним з компонентами гідрологічного циклу, аналіз якого необхідний для виявлення умов та періоду часу, в які виникає дефіцит вологи [8]. Будь-яка посуха характеризується інтенсивністю, тривалістю, площею охоплення і термінами настання. Моніторинг посухи включає спостереження за індикаторами та індексами, які оцінюють зміни в гідрологічному циклі регіону. На теперішній час відомо більше ста різноманітних індикаторів і індексів посух, процедури розрахунку яких постійно вдосконалюються і модифікуються, крім того, з'являються й нові індекси [9].

На території України найбільш поширені метеорологічні (або атмосферні) посухи, які формуються за умов дефіциту опадів на фоні високих температур і при низькій вологості повітря, які створюються завдяки високому рівню інсоляції за відсутності хмарності [10]. Таке поєднання метеорологічних параметрів веде, з одного боку, до збільшення випаровування і транспірації, з іншого боку, до зниження стоку, інфільтрації і підживлення ґрунтових вод. В свою чергу, ключовими метеорологічними характеристиками, які визначають умови поширення природної пожежі і можливість її контролювання, є температура повітря, відносна вологість повітря, вітер та опади [11]. Оцінка пожежонебезпечних умов погоди, загалом, здійснюється також з використанням чисельних показників або індексів, які враховують в тому чи іншому ступені перелічені метеорологічні характеристики, а також стан лісових горючих матеріалів, який формується під впливом погодних умов [12]. У світі найбільш відомою системою, що ґрунтується на індексах, є Канадська інформаційна система лісових пожеж CWFIS (Canadian Wildland Fire Information System; <https://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/home>). Пожежна небезпека за умовами погоди враховується через відповідні індекси, які входять до підсистем CWFIS: 1) система оцінки пожежної небезпеки за умова-

ми погоди FWI (Fire Weather Index System) та 2) система прогнозу поведінки лісової пожежі FBP (Fire Behavior Prediction System) [13]. На базі Канадської інформаційної системи в Європі у 1998 р. була створена Європейська інформаційна система лісових пожеж EFFIS (European Forest Fire Information System; <https://effis.jrc.ec.europa.eu/>), в якій критерії індексу FWI були уточнені та адаптовані для умов території Європи [14].

В Україні з 40-х років минулого століття використовується комплексний показник пожежної небезпеки (КПН) за метеорологічними умовами, розроблений В.Г. Нестеровим [15], який враховує сумісний вплив температури повітря та дефіциту вологи на висихання лісових горючих матеріалів протягом бездошового періоду. Проте, такий підхід, як доведено багатьма дослідженнями (наприклад, [16]), має суттєві недоліки. Зокрема, він не враховує кліматичні особливості території, швидкість вітру і має досить грубу поправку на кількість опадів, що приводить до похибок при оцінці початку та закінчення пожежонебезпечного періоду та, відповідно, класу і ступеню пожежної небезпеки. Крім того, дослідження показали, що показник Нестерова має дуже слабкий зв'язок з наявністю лісової пожежі. Найкраще цей показник характеризує умови формування пожежної небезпеки у весняно-літній сезон, а у літньо-осінній сезон, навпаки, не відображає реальних умов виникнення лісових пожеж в Україні [17]. Хоча показник Нестерова неодноразово змінювався та адаптувався з моменту його уведення в оперативну практику [18, 19], недоліки не було подолано остаточно, що залишає відкритим питання пошуку та впровадження нових індексів пожежної небезпеки за умовами погоди.

Незважаючи на те, що індекси посухи та пожежонебезпечної погоди, як правило, мають різні масштаби часу, їх поєднання може бути основою в схемі прогнозування, в якій індекс посухи виступає як індикатор фону, на якому посилюється або зменшується поточний індекс пожежонебезпечної погоди. Як показують дослідження, індекс посухи SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) може вказувати на ризик пожеж на початку літа, а усереднені сезонні показники пожежонебезпечної погоди добре співвідносяться з індексом посухи на річному масштабі часу [20, 21]. Ці співвідношення можуть бути використані в системі моніторингу та попередження одночасно як для посухи, так й пожежонебезпечної погоди, проте для території України залишається відкритим питання щодо обрання найбільш ефективних індексів, які б могли увійти до такої системи.

Метою даної роботи є оцінка інформативності для території України нового індексу пожежо-

небезпечної погоди, який враховує основні метеорологічні показники, необхідні для опису ступеня пожежної небезпеки за умовами погоди, і водночас є досить зручним для реалізації алгоритму розрахунків, тому цей індекс може стати компонентом системи моніторингу посушливого та пожежонебезпечного стану.

Дослідження виконано в рамках науково-дослідної роботи „Методичні основи моніторингу посушливих і пожежонебезпечних умов в Україні” (номер державної реєстрації 0121U109935).

Методика дослідження та вихідні дані. Запропонований в роботі [22] індекс HDW (Hot-Dry-Windy Index) для оцінки погодних умов, сприятливих для виникнення пожеж, має під собою фізичне обґрунтування того, як атмосфера впливає на вогонь. А саме, узгодження трьох атмосферних параметрів характеризують наявність умов для виникнення та розповсюдження вогню: вітер, температура, вологість. Якщо вітер безпосередньо впливає на швидкість розповсюдження пожежі та можливість її контролю [23], то температура і вологість мають непрямий вплив на вогонь [24]. Первинний вплив тепла та вологи полягає в тому, щоб змінити швидкість, при якій волога випаровується з палива, що, в свою чергу, впливає на витрати палива, швидкість розповсюдження пожежі та її інтенсивність.

Індекс HDW ґрунтується, окрім швидкості вітру, на змінній, яка містить у себе температуру та вологість, а саме, дефіциті насичення водяної пари, який добре узгоджується з рівнем випаровування в рослинному покриві і відображує ступінь сприятливості для загоряння підстилки.

Індекс HDW розраховується за формулою:

$$HDW = U \times VPD(T, q), \quad (1)$$

де U – швидкість вітру,

$VPD(T, q)$ – дефіцит насичення водяної пари (різниця між тиском насичення $e_s(T)$ та парціальним тиском водяної пари $e(q)$ при даній температурі T):

$$VPD(T, q) = e_s(T) - e(q). \quad (2)$$

З формул (1)-(2) витікає, що одиниця виміру HDW [$\text{гПа} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-1}$], але, як зазначають автори індексу в [22], для уникнення незручностей при використанні цього індексу одиниці виміру не застосовують, тому в нашому дослідженні вони також не вказані.

Для врахування стану атмосфери, а саме, товщини шару приземного повітря, який може вплинути на поведінку вогню, слід враховувати середню товщину шару перемішування, притаманну для конкретного району, періоду року та періоду доби. Загалом, безпосередній вплив по-

вітря вище шару перемішування значно менший, ніж в середині шару. Враховуючи той факт, що в денні години шар перемішування переважно більше 500 м, автори методики пропонують розглядати саме товщину приземного шару 0-500 м для обрання максимальних для даного строку вхідних параметрів при розрахунку індексу HDW. Вибір більш глибоких шарів (до 1000 м та більше) вносить певну ймовірність того, що в розрахунок будуть включені атмосферні умови, які не впливають безпосередньо на підтримання вогню.

Оскільки в HDW входять основні параметри стану атмосфери (температура, вологість і вітер), порівнюючи значення HDW в різних місцях і в різні періоди часу, можна визначити сезонну та регіональну мінливість цього індексу.

В даному дослідженні для визначення предикторів U і VPD, необхідних для розрахунку індексу HDW, використовувалися дані глобальної чисельної моделі GFS з кроком сітки 0,25 градусів. В якості вихідних, використовувалися дані по температурі (T), температурі точки роси (DPT), відносній вологості (RH) і складових вітру (U і V) на трьох ізобаричних поверхнях: поверхня землі, 975 гПа і 950 гПа. Розроблений алгоритм дозволяє розраховувати індекс HDW для території будь-якої площини з кроком сітки 0,25 градусів, і, в залежності від потреб споживача, отримувати середні або максимальні значення параметру на обмежених ділянках області розрахунку.

Розрахунок індексу HDW був проведений по території України і окремо для району Чорнобильської зони для квітня 2020 р., коли спостерігалось декілька періодів загорянь в лісовій зоні, а також окремо для Луганської області, де лісові пожежі виникали влітку та восени 2020 р. За розрахованими значеннями HDW побудовані щоденні поля для всій території України для зіставлення з синоптичною ситуацією, а також побудовані графіки часового ходу HDW, осередненого по площі загорянь, для відповідних зон та періодів пожеж.

Для локалізації осередків загорянь в дослідженні використаний веб-ресурс FIRMS (Fire Information for Resource Management System; <https://firms2.modaps.eosdis.nasa.gov/>), в якому показником активного вогню є так звані «гарячі точки» (hotspots), які визначаються за допомогою супутникових інструментів MODIS (супутники Aqua and Terra) та VIIRS (супутники S-NPP та NOAA-20).

Результати досліджень.

Коротка хронологія лісових пожеж.

Чорнобильська радіоактивна зона, квітень 2020 р. Лісова пожежа почалася на західному краю Чорнобильської радіоактивної зони 3 квітня 2020 р. поблизу с. Звиздаль Народицького району на території Народицького та Кліщівського ліс-

ництв ДП «Народицький спецлісгосп» Житомирської області з подальшим поширенням вогню на територію інших лісництв зони відчуження [25]. У перший день вогонь поширився на площі понад 20 гектарів, а 5 квітня площа пожежі оцінювалася в 100 гектарів лісу. Інтенсивне поширення вогню спостерігалось до 13 квітня, коли вогонь досягнув Прип'яті і був зафіксований в двох кілометрах від сховища радіоактивних відходів Підлісний. Другий спалах був зафіксований 16 квітня 2020 р., коли увечері через сильний вітер знову з'явився відкритий вогонь. Загалом, під час пожеж протягом квітня 2020 р. вигоріло близько 11 тис. га лісу (рис. 1, а).

Луганська область, 6-7 липня 2020 р. Лісова пожежа виникла 6 липня 2020 р. на території Борівського та Охтирського лісництв у Новоайдарському районі Луганської області. Через сильний поривчастий вітер до 25 м·с⁻¹ змінних напрямків та високу температуру повітря (до +38 °С) пожежа швидко поширилась на хвойні ліси поблизу сіл Капітанове та Воронове, а також на територію села Смолянинове. Загальна площа пожежі становила близько 5 тис. га (рис. 1, б), внаслідок пожежі вогнем знищено 35 та пошкоджено 24 житлових будинків.

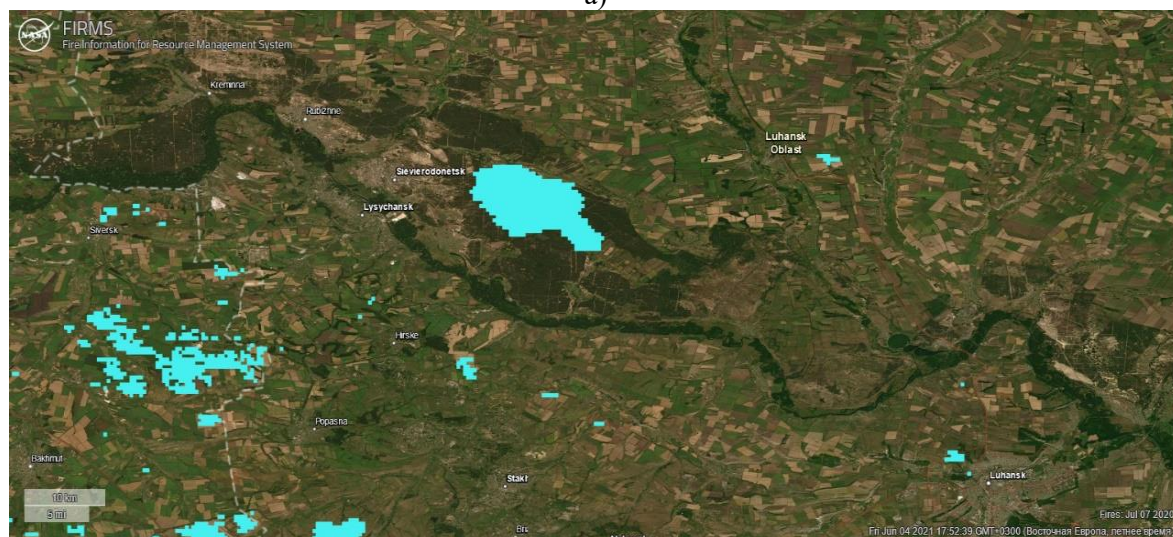
Луганська область, 30 вересня – 1 жовтня 2020 р. Протягом 30 вересня - 1 жовтня 2020 р. на території Станічно-Луганського, Северодонецького та Новоайдарського лісомисливських господарств Луганської області виникло 146 пожеж в лісових масивах. Внаслідок сильного вітру до 25 м·с⁻¹ та попереднього тривалого посушливого періоду пожежі швидко охопили площу понад 20 тис. га (рис. 1, в). На території Станічно-Луганського, Новоайдарського, Северодонецького районів до зони ураження потрапило 32 населених пункти, підтверджено загибель 10 осіб, вогнем знищено та пошкоджено близько 250 будівель [25].

Погодні умови.

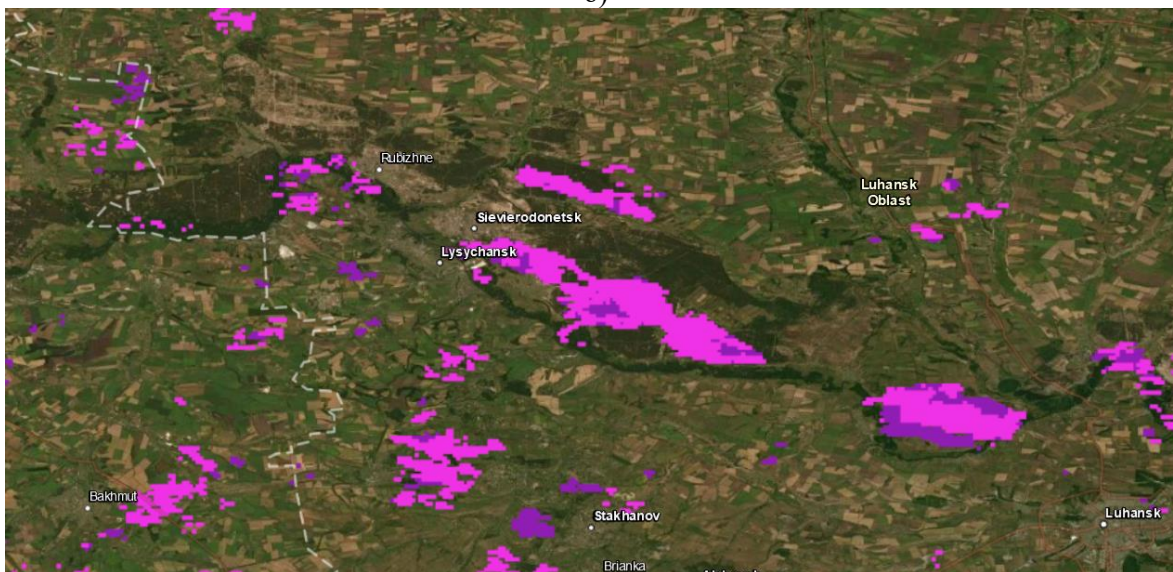
Весна 2020 р. в Україні відзначалася вельми посушливими умовами, які сформувалися через безсніжну та теплу зиму. На півдні країни спостерігалася сильна посуха, а в північних районах - пилові бурі та лісові пожежі. Такі умови сформувалися внаслідок незвичайного для попереднього холодного періоду року температурно-вологісного режиму, який спостерігався в усіх областях країни [26]. Вже на початку холодного періоду, з листопада 2019 р. в усіх агрокліматичних зонах відмічалися позитивні аномалії температури повітря, які досягали +5...+6 °С, а в Поліссі в грудні перевищили +7 °С. Подібний температурний режим зберігався й в січні-лютому 2020 р., при цьому на початок лютого в Україні не було зафіксовано настання метеорологічної зими.



a)



b)



b)

Рис. 1. Положення зон вигорання: а) Житомирська область, Чорнобильська зона, за квітень 2020 р.; б) Луганська область, за липень 2020 р.; в) Луганська область, за жовтень 2020 р. / Fig. 1. Burnt area locations: a) Zhytomyr region, Chernobyl zone, in April 2020; b) Luhansk region, in July 2020; c) Luhansk region, in October 2020

Тепла зима відзначилася й невеликою в порівнянні з більшістю областей країни кількістю опадів – протягом листопада-грудня 2019 р. опадів випало менше норми, за винятком першої декади листопада в Поліссі та останньої декади грудня в Поліссі та Лісостепу. Січень видався дуже сухим, в деяких областях опадів майже не було. Загалом, дослідження показали [27], що запаси вологи в верхньому шарі ґрунту по території України в останні десять років мали тенденцію до зменшення у літні та осінні місяці, що призвело до збільшення кількості сільськогосподарських посух в цей період. Тому тепла безсніжна зима 2019-2020 рр. тільки підтримала цей негативний тренд, і на початок весни 2020 р. в Україні сформувалися посушливі умови від помірної до екстремальної інтенсивності в південно-західних та північних областях.

Аналіз синоптичних процесів під час виникнення та поширення лісових пожеж в Чорнобильській зоні показав, що в квітні 2020 р. спостерігалися три типи синоптичних ситуацій: теплий сектор циклону, центр антициклону, малоградієнтне поле підвищеного тиску. Під час пожеж в Луганській області влітку та восени 2020 р. основним синоптичним процесом над цим регіоном була стаціонарна південно-західна периферія антициклону з великими градієнтами тиску і, відповідно, сильними вітрами. Об'єднує всі ці циркуляційні умови наявність адвекції теплої та сухої повітряної маси в приземному шарі в зоні лісових пожеж, яка зберігалася тривалий час.

Просторовий розподіл індексу HDW.

Для розглянутих періодів пожеж в квітні, липні, вересні-жовтні 2020 р. були розраховані поля індексу HDW для всієї території країни з метою визначення характеру розподілу величин індексу і для зіставлення з поточними термодинамічними умовами. Аналіз щоденних полів індексу HDW показав, що вони мають велику просторову і часову мінливість, відповідно до спостережних синоптичних процесів. В більшості випадків окреслені зони максимумів індексу ($HDW > 200$) розташовувалися в теплих секторах циклонів, центральних або периферійних частинах антициклонів та переміщувалися разом з цими об'єктами, тобто, пов'язані з гребнями тепла й сухим повітрям в нижніх шарах тропосфери.

На рис. 2 наведений приклад розрахованого поля індексу HDW по території України в порівнянні з розподілом «гарячих точок», та поля метеорологічних характеристик, що ілюструють синоптичну ситуацію 16 квітня 2020 р., коли в Чорнобильській зоні відбувся другий спалах лісової пожежі. Можна бачити, що максимальні значення індексу HDW зосереджені в районі пожеж на півночі України (рис. 2, а, б), невеликі осередки спо-

стерігаються й в інших районах. Порівняння з синоптичною ситуацією показує, що максимум HDW знаходиться в центральній частині теплового сектору циклону з центром на півночі Європейської території Росії, тобто в районі виникнення пожежі спостерігалася інтенсивна адвекція тепла в нижній тропосфері (рис. 2, в) та підвищенні швидкості вітру (рис. 2, г), що сприяло активізації та поширенню вогню.

Часовий хід індексу HDW.

Аналіз часового ходу індексу HDW, осередненого по зонах загорянь, виконаний для кожного випадку на періоді не менше двох тижнів, які включали до себе дати виникнення пожеж, з метою визначення меж коливань індексу та періодів його зростання і падіння по відношенню до конкретних дат пожеж.

В квітні 2020 р. середні значення індексу HDW знаходилися в межах 25-215, максимальні досягали майже 250 (рис. 3, а). Порівняльний аналіз часового ходу індексу HDW з хронікою пожеж в Чорнобильській зоні протягом квітня виявив, що максимумами індексу добре узгоджуються з періодами посилення вогню і поширенню зон загорянь, при цьому індекс різко зменшується після спалаху, що пов'язано зі зміною погодних умов. Так, перший максимум індексу HDW спостерігався 3 квітня, коли виникла перша пожежа. В період з 7 по 9 квітня зберігалися високі значення індексу, в цей же час пожежа інтенсивно поширювалася майже до 13 квітня, коли виник новий осередок загоряння і спостерігався новий максимум індексу HDW. Проходження атмосферного фронту з випадінням дощу призвело до різкого зменшення значень індексу 14 квітня, але в наступний сухий період індекс HDW досяг максимального значення у цьому місяці, і як свідчать хроніки пожеж, саме 16-17 квітня виник наступний інтенсивний осередок вогню. Після 17 квітня відбулося різке зниження значень індексу HDW і до кінця квітня максимальні значення не перевищували ті, що спостерігалися в першій половині місяця.

Аналіз часового ходу індексу HDW для району Луганської області, де протягом 6-7 липня 2020 р. спостерігалися інтенсивні лісові пожежі, проведено для періоду 25 червня – 9 липня 2020 р. (рис. 3, б). Середні значення індексу коливалися в межах 50-370, максимальні досягали 560. Загалом, період характеризувався поступовим наростанням значень індексу і 7 липня, коли спостерігався максимум HDW, пожежа набула найбільшої інтенсивності, після чого значення індексу різко зменшилося.

Аналіз часового ходу індексу HDW для району Луганської області, де протягом 30 вересня – 1 жовтня 2020 р. виник дуже інтенсивний осередок лісової пожежі, проведено для періоду 23 ве-

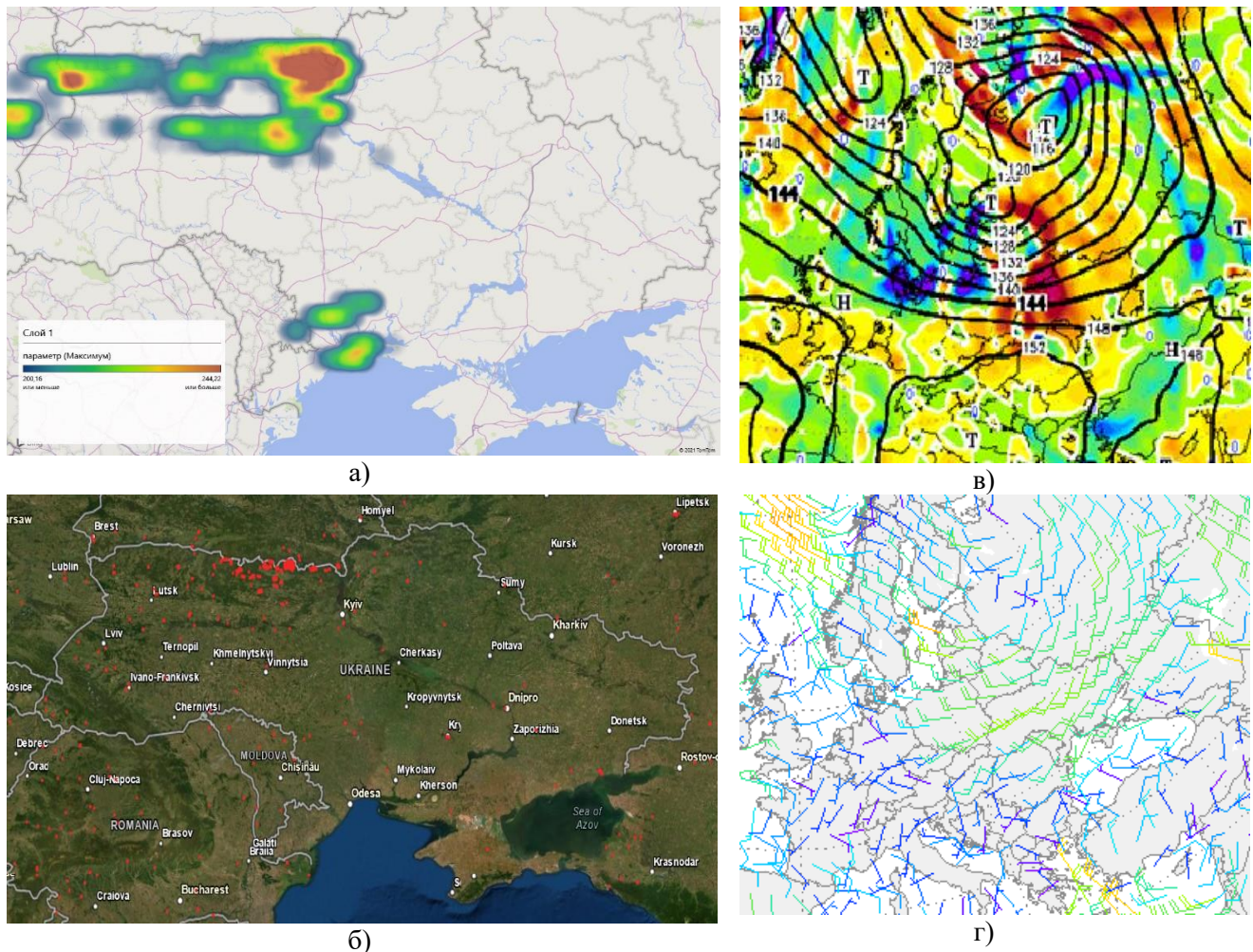


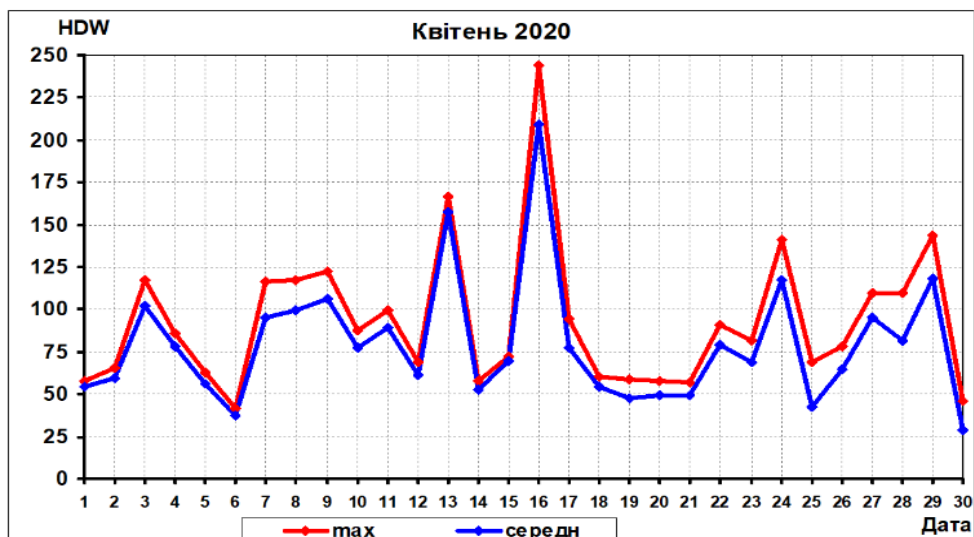
Рис. 2. Поля метеорологічних характеристик за 16.04.2020 р.: а) індекс HDW (>200), осереднений за добу; б) положення «гарячих точок», за добу; в) адвекція температури ($K \cdot год^{-1}$) на рівні АТ-850 гПа (колір) та ізогіпси АТ-850 гПа (чорні лінії), 06.00 СГЧ; г) вітер на рівні 10 м, 12.00 СГЧ /
 Fig. 2. Fields of meteorological characteristics on April 16, 2020: a) HDW index (>200) average per day; b) location of "hot spots" per day; c) temperature advection ($K \cdot h^{-1}$) at the level AT-850 hPa (color) and isohypsers AT-850 hPa (black lines), 06.00 UTC; d) wind at 10 m, 12.00 UTC

ресня – 8 жовтня 2020 р. (рис. 3, в). В цей період середні значення індексу коливалися в межах 120-430, максимальні перевищували 450. Часовий хід індексу HDW мав два максимуми – 26 та 30 вересня, але лише останній збігся з подією пожежі. Обидва максимуми мали наступний різкий спад значень індексу.

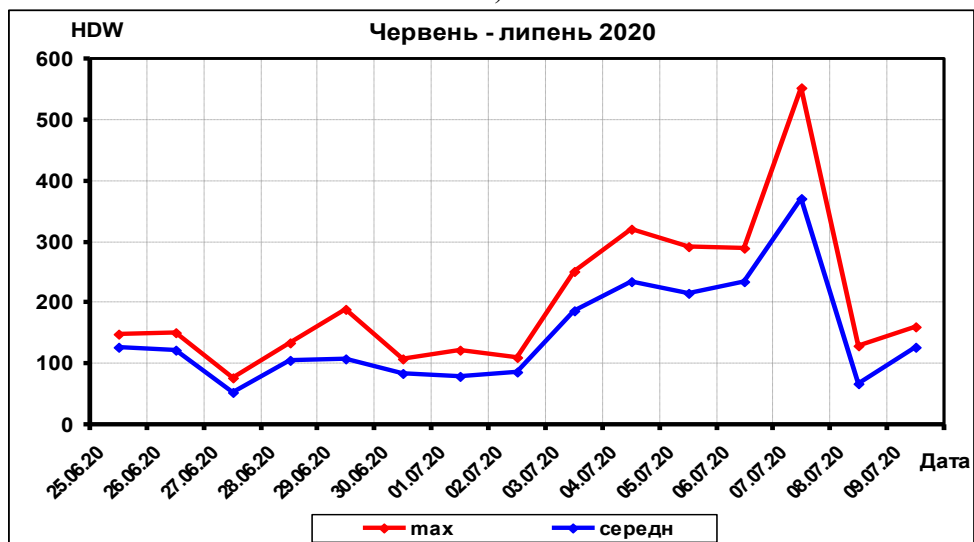
Висновки. В даному дослідженні проведено експериментальні розрахунки нового індексу пожежонебезпечної погоди HDW для випадків виникнення та поширення лісових пожеж в Чорнобильській зоні та Луганській області в 2020 р., з метою оцінки інформативності цього індексу у відображенні метеорологічних та синоптичних умов, які сприяли поширенню лісових пожеж в Україні. Аналіз результатів розрахунків показав, що поля та локальний часовий хід індексу HDW добре відбивають характерні температурно-вологісні умови та режим вітру в приземному шарі, які складаються за певних синоптичних процесів в

період перед виникненням пожеж, тому даний індекс може застосовуватися для відстеження процесу наростання пожежної небезпеки за умовами погоди з виділенням пікових значень, в тому числі й з використанням даних чисельних моделей короткострокового та середньострокового прогнозування, які надають змогу розраховувати прогностичний індекс.

Слід відмітити, що індекс HDW має добре фізичне підґрунтя, яке дозволяє в одному показнику поєднати необхідні компоненти умов підтримки пожежі, що вигідно вирізняє його від показників, які використовуються наразі в Україні. Подальші дослідження цього індексу мають зосередитися на встановленні певних критеріїв, які б характеризували ступень пожежної небезпеки за умовами погоди. Адже, як показали попередні дослідження розробників індексу HDW та результати даного дослідження, цей індекс може коливатися в дуже широких межах, а довільно обраний нами



а)



б)



в)

Рис. 3. Графіки часового ходу індексу HDW, осереднені по районам загорянь:
 а) 1-30 квітня 2020 р., Чорнобильська зона; б) 25 червня – 9 липня 2020 р., Луганська область;
 в) 23 вересня – 8 жовтня 2020 р., Луганська область /

Fig. 3. Time course of the HDW index averaged over the areas of fires: a) April 1-30, 2020, Chernobyl zone;
 б) June 25 – July 9, 2020, Lugansk region; c) September 23 – October 8, 2020, Lugansk region

критерій у 200 одиниць дозволив лише чіткіше окреслити райони вже існуючих пожеж. Наразі індекс HDW в експериментальному режимі розраховується та представляється для території США (<https://www.hdwindex.org/>), при цьому для характеристики ступеня пожежонебезпечної погоди використовуються перцентілі (від 25 до 95), які дають змогу оцінити поточне щоденне значення індексу по відношенню до його кліматичного значення [28]. Подібний аналіз індексу

HDW для території України дасть змогу отримати як кліматичний просторово-часовий розподіл пожежонебезпечних умов погоди в різні сезони року, так й визначити пікові значення для різних регіонів, які можуть бути використані в якості критеріїв пожежної небезпеки за умовами погоди певного ступеня як в оперативній практиці, так й в автоматизованій системі моніторингу посушливої і пожежонебезпечної погоди.

Список використаної літератури

1. Яворовський П. Аналіз пожежостійкості лісів України в умовах змін клімату [Текст] / П. Яворовський // *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*. – 2015. – № 216. – С. 88-92. Режим доступу: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Lisivnytstvo/article/view/5003/4930>
2. Швиденко А.З. Уразливість лісів України до зміни клімату. Монографія [Текст] / А.З. Швиденко, І.Ф. Букиша, С.В. Краковська – Київ: Ніка-Центр, 2018. – 184 с.
3. Балабух В.О. Вплив зміни клімату на кількість та площу лісових пожеж у північно-чорноморському регіоні України [Текст] / В.О. Балабух, С.В. Зібцев // *Український гідрометеорологічний журнал*. – 2016. – Вип. 18. – С. 60–72. DOI: <https://doi.org/10.31481/uhmj.18.2016.07>
4. Борсук О.А. Комплексна оцінка пожежної небезпеки лісів зони відчуження Чорнобильської АЕС [Текст] / О. Борсук // *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*. – 2013. – Вип. 187. – С. 167-176. Режим доступу: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Lisivnytstvo/article/view/981/940>
5. Jaagus J. Long-term changes in drought indices in eastern and central Europe [Text] / J. Jaagus, A. Aasa, S. Aniskevich, B. Boincean, R. Bojariu, A. Briede, I. Danilovich, F.D. Castro, A. Dumitrescu, M. Labuda, L. Labudová, K. Lõhmus, V. Melnik, K. Mõisja, R. Pongracz, V. Potopová, L. Řezníčková, E. Rimkus, I. Semenova, E. Stonevičius, P. Štěpánek, M. Trnka, S.M. Vicente-Serrano, J. Wibig, P. Zahradníček // *International Journal of Climatology*. – 2021. – Vol. 42(1). – P. 225-249. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.7241>
6. Семенова І.Г. Синоптичні та кліматичні умови формування посух в Україні. Монографія [Текст] / І. Г. Семенова. – Харків: ФОРМ Панов А.М., 2017. – 236 с.
7. Semenova I. Some Meteorological Aspects of Severe Agricultural Drought in the Northern Black Sea Region in 2019–2020 / I. Semenova // *Environmental Sciences Proceedings*. – 2021. – Vol. 8(1):18. DOI: <https://doi.org/10.3390/ecas2021-10299>
8. Хлебникова Е.И. Засухи. В книге: Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем [Текст] / Е.И. Хлебникова, Т.В. Павлова, Н.А. Сперанская. – М.: Росгидромет, 2012. – С. 126-164.
9. World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), 2016: Handbook of Drought Indicators and Indices / M. Svoboda and B.A. Fuchs. - Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines. Series 2. Geneva, 45 p. Режим доступу: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3057
10. Бучинский И.Е. Засухи и суховеи [Текст] / И.Е. Бучинский. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 214 с.
11. Стандарти і навчальний посібник EuroFire [Текст] – Фрайбург-Київ, 2014. – 147 с. – Режим доступу: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u184/eurofire_ukr.pdf
12. Ходаков В.Е. Лесные пожары: методы исследования [Текст] / В.Е. Ходаков, М.В. Жарикова. – Херсон: Гринь Д.С., 2011. – 470 с. – Режим доступу: https://kafedra-it.at.ua/lesnye_pozhary_2.pdf
13. Development and Structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System. Forestry Canada Fire Danger Group. Information report ST-X-3. - Forestry Canada Science and Sustainable Development Directorate, Ottawa, 1992. – 63 p. Режим доступу: <https://cfs.nrcan.gc.ca/pubwarehouse/pdfs/10068.pdf>
14. User Guide to EFFIS applications. Version 2.3.3. – The European Forest Fire Information System, May 2018. – 20 p. Режим доступу: <https://effis-gwis-cms.s3-eu-west-1.amazonaws.com/effis/reports-and-publications/effis-related-publications/effis-userguide-23.pdf>
15. Нестеров В. Г. Горимость леса и методы ее определения [Текст] / В.Г. Нестеров. – М.: Гослесбумиздат, 1949. – 76 с.
16. Кузик А.Д. Оцінювання пожежної небезпеки лісів за умовами погоди [Текст] / А.Д. Кузик // *Науковий вісник НЛТУ України*. – 2011. – № 1. – С. 74-81. – Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsinyuvannya-pozhezhnoyi-nebezpeki-lisiv-za-umovami-pogodi>
17. Балабух В.О. Сучасний стан прогнозування природної пожежної небезпеки за умовами погоди в Україні [Текст] / В.О. Балабух // *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції „Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку”*. – Київ, Україна, 10-11 жовтня 2017 року. – С. 25-29.
18. Балабух В.О. Ефективність врахування кількості опадів та швидкості вітру при оцінці природної пожежної небезпеки за метеорологічними умовами [Текст] / В.О. Балабух // *Другий Всеукраїнський гідрометеороло-*

- гічний з'їзд: тези доповідей. – Одеса, Україна, 7-9 жовтня 2021 року. – С. 149-150. Режим доступу: http://umhs.org.ua/wp-content/uploads/2021/11/Proceedings_Hydrometeorological_congress2021.pdf
19. Софронов М.А. Оценка пожарной опасности по условиям погоды с использованием метеопрогнозов [Текст] / М.А. Софронов, Т.М. Софронова А.В. Волокитина // Лесное хозяйство. – 2004. – № 6. – С. 31-32. – Режим доступу: http://forest.akadem.ru/Articles/04/sofronov_1.pdf
 20. McEvoy D.J. Establishing Relationships between Drought Indices and Wildfire Danger Outputs: A Test Case for the California-Nevada Drought Early Warning System / D.J. McEvoy, M. Hobbins, T.J. Brown, K. VanderMolen, T. Wall, J.L. Huntington, M. Svoboda // *Climate*. – 2019. – Vol. 7 (4). – 52 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/cli7040052>
 21. Riley K.L. The relationship of large fire occurrence with drought and fire danger indices in the western USA, 1984–2008: the role of temporal scale / K.L. Riley, J.T. Abatzoglou, I.C. Grenfell, A.E. Klene, F.A. Heinsch // *International Journal of Wildland Fire*. – 2013. – Vol. 22. – P. 894-909. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF12149>.
 22. Srock A.F. The Hot-Dry-Windy Index: A New Fire Weather Index / A.F. Srock, J.J. Charney, B.E. Potter, S.L. Goodrick // *Atmosphere*. – 2018. – Vol. 9. – P. 279. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos9070279>
 23. Beer T. The interaction of wind and fire [Text] / T. Beer // *Boundary-Layer Meteorology*. – 1991. – Vol. 54. – P. 287–308.
 24. Potter B.E. Atmospheric interactions with wildland fire behavior. I. Basic surface interactions, vertical profiles and synoptic structures / B.E. Potter // *Int. J. Wildland Fire*. – 2012. – Vol. 21. – P. 779–801. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF11128>
 25. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. Інформаційно – аналітична довідка про виникнення НС в Україні у 2020 році [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Dovidka-zakvartal/119288.html>
 26. Адаменко Т. Особливості погодних умов зимового періоду та їх вплив на озимі культури [Електронний ресурс] / Т. Адаменко // *Агроном*. – Дата публікації 25.02.2020. – Режим доступу: <https://www.agronom.com.ua/osoblyvosti-pogodnyh-umov-zimovogo-periodu-2019-2020-rr-v-ukrayini/>
 27. Semenova I. Spatiotemporal Distribution of Soil Moisture Content over Ukraine and Its Relationship to Atmospheric Conditions / I. Semenova // *Environmental Sciences Proceedings*. – 2021. – Vol. 4(1):20. DOI: <https://doi.org/10.3390/ecas2020-08117>
 28. McDonald J.M. Development and Application of a Hot-Dry-Windy Index (HDW) *Climatology* / J.M. McDonald, A.F. Srock, J.J. Charney // *Atmosphere*. – 2018. – Vol. 9(7):285. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos9070285>

Внесок авторів: Семенова І. – постановка задачі, аналіз та узагальнення результатів, текст статті; Мансарлійський В. – підготовка вихідних даних, проведення розрахунків та візуалізація результатів; Міщенко Н. – аналіз синоптичних процесів; Коваль Р. – огляд літературних джерел

Experimental evaluation of fire weather conditions during periods of wildfires in Ukraine in 2020

Inna Semenova¹,

DSc (Geography), professor, Department of military training,
Odessa State Environmental University, 15 Lvivska Str., Odessa, 65016, Ukraine;

Valery Mansarliysky¹,

PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor, Department of military training;

Natalia Mishchenko¹,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of meteorology and climatology;

Ruslan Koval¹,

PhD student, Department of military training

ABSTRACT

Introduction. Almost every year, the territory of Ukraine is affected by drought of different intensity and duration, what is a favorable condition for wildfires. In the forest areas of the country arose about 106.8 thousand fires with a total area of 139.2 thousand hectares during 1990-2017. An analysis of the long-term dynamics shows that wildfires in Ukraine are a sustainable phenomenon. In 2020, under the severe drought conditions, 209 forest fires occurred, the most significant of them were in the Chernobyl zone and in the Lugansk region.

Formulation of the problem. There is still no universally accepted method to describe all drought related processes due to complexity of drought phenomena. Although drought indices and fire weather indices usually have different time scales, their combination can be a basis in the prediction scheme in which the drought index acts as a background indicator, which enhances or decreases the current fire weather index.

The purpose of this study is evaluate informativeness of a new fire weather index HDW (Hot-Dry-Windy Index) for the territory of Ukraine, which takes into account the main meteorological parameters necessary to describe the degree of wildfire danger due to weather conditions, so this index may become a component of the drought and fire monitoring system.

Data and methods. The HDW index has a physical justification as the atmosphere affects the fire, namely, the combination of three atmospheric parameters characterizes the current conditions for the ignition and distribution of fire: wind, temperature, humidity. For the calculation of the HDW index, the data of GFS global numerical model with grid step 0.25 degrees is used. The calculation of the daily fields of the HDW index was carried out for the territory of Ukraine and for local areas. To localize areas of wildfires, in the study were used daily hotspots data provided by the web-resource FIRMS (<https://firms2.modaps.eosdis.nasa.gov/>), which are determined using satellite instruments MODIS (AQUA and Terra Satellites) and VIIRS (S-NPP and NOAA-20 satellites).

Research results. Comparison of the calculated HDW fields in Ukraine with the position of hotspots showed that the maximum values of the HDW index are generally concentrated in fire areas. Comparison with the synoptic situation showed that the maximum values of the HDW are located in the zones of advection of warm and dry air in the lower troposphere and zones of strong surface winds, which usually correspond to the periphery of anticyclone or the warm sector of cyclone. The analysis of the time courses of the HDW index showed the typical feature, which expressed in the fact that in all cases there was an increase in the index values in the period before the wildfire, maximum of the HDW is fixed at the time of ignition and after that the index values sharply decreases.

Scientific novelty and practical significance. The fields of new HDW index reflects the weather conditions typical for wildfires periods in the territory of Ukraine. The presence of specific features and extreme values in the index time course can be used to track the process of increase of fire danger under changing weather conditions to make short- and medium-range fire danger forecasts with evaluation of fire danger classes.

Keywords: fire weather index, wildfire, burned area, fire danger due to weather conditions, drought index.

References

1. Yavorovskiy, P. (2015). *Analiz vohnestiikosti lisiv Ukrainy v umovakh zminy klimatu. [Analysis of fire resistance of forests of Ukraine in climate change]. Ukrainian Journal of Forest and Wood Science, 216, 88–92.* <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Lisivnytstvo/article/view/5003/4930> [in Ukrainian]
2. Shvydenko, A.Z., Buksha, I.F., Krakovska, S.V. (2018). *Urazlyvist lisiv Ukrainy do zminy klimatu. [Vulnerability of Ukraine forests to climate change]. Kyiv: Nika-Tsentr, 184.* [in Ukrainian]
3. Balabukh, V.O., Zibtsev, S.V. (2016). *Vplyv zminy klimatu na kilkist ta ploshchi lisovykh pozhezh u Pivnichnomu Prychornomori Ukrainy. [Impact of climate change on quantity and area of forest fires in the northern part of the Black Sea Region of Ukraine]. Ukrainian Hydrometeorological Journal, 18, 60-71.* <https://doi.org/10.31481/uhmj.18.2016.07> [in Ukrainian]
4. Borsuk, O.A. (2013). *Kompleksna otsinka pozhezhnoi nebezpeky lisiv u zoni vidchuzhennia Chornobylskoi AES. [Comprehensive assessment of fire hazard of forests in the exclusion zone of the Chernobyl NPP]. Ukrainian Journal of Forest and Wood Science, 187, 167-176.* <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Lisivnytstvo/article/view/981> [in Ukrainian]
5. Jaagus, J., Aasa, A., Aniskevich, S., Boincean, B., Bojariu, R., Briede, A., Danilovich, I., Castro, F.D., Dumitrescu, A., Labuda, M., Labudova, L., Lohmus, K., Melnik, V., Moisja, K., Pongracz, R., Potopova, V., Reznickova, L., Rimkus, E., Semenova, I., Stonevicius, E., Stepanek, P., Trnka, M., Vicente-Serrano, S.M., Wibig, J., Zahradnicek, P. (2022). *Long-term changes in drought indices in eastern and central Europe. International Journal of Climatology, 42(1), 225–249.* <https://doi.org/10.1002/joc.7241>
6. Semenova, I.G. (2017). *Sinoptichni ta klimatichni umovi formuvannya posukh v Ukraini. [Synoptic and climatic conditions for the formation of droughts in Ukraine]. Kharkiv: FOP Panov A.M., 236.* [in Ukrainian]
7. Semenova, I. (2021). *Some Meteorological Aspects of Severe Agricultural Drought in the Northern Black Sea Region in 2019–2020. Environmental Sciences Proceedings, 8(1):18.* <https://doi.org/10.3390/ecas2021-10299>
8. Khliebniukova Ye.I., Pavlova T.V., Speranska N.A. (2012). *Zasukhi. V knige: Metody otsenki posledstviy izmeneniya klimata dlya fizicheskikh i biologicheskikh sistem [Droughts. In the book: Methods for assessing the effects of climate change on physical and biological systems]. Moscow, Roshidromet, 126-164.* [in Russian]
9. *World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), 2016: Handbook of Drought Indicators and Indices (M. Svoboda and B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines. Series 2. Geneva, 45.* https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3057
10. Buchynskiy, I.I. (1976). *Zasukhi i sukhovei. [Droughts and dry winds]. Leninhrad, Hidrometeoizdat, 214.* [in Russian]
11. *Standarty i navchal'nyy posibnyk EuroFire. [EuroFire Standards and Handbook]. (2014). Fraiburh - Kyiv, 147.* https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u184/eurofire_ukr.pdf [in Ukrainian]
12. Khodakov, V.I., Zharikova, M.V. (2011). *Lesnyye pozhary: metody issledovaniya. [Forest fires: research methods]. Kherson, Hryn D.S., 470.* https://kafedra-it.at.ua/lesnye_pozhary_2.pdf [in Russian]
13. *Development and Structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System. Forestry Canada Fire Danger Group. Information report ST-X-3. (1992). Forestry Canada Science and Sustainable Development Directorate, Ottawa, 63.* <https://cfs.nrcan.gc.ca/pubwarehouse/pdfs/10068.pdf>
14. *User Guide to EFFIS applications. (2018). The European Forest Fire Information System, Version 2.3.3, May 2018, 20.* <https://effis-gwis-cms.s3-eu-west-1.amazonaws.com/effis/reports-and-publications/effis-related-publications/effis-userguide-23.pdf>
15. Nesterov, V.H. (1949). *Gorimost' lesa i metody yeye opredeleniya. [Flammability of the forest and methods for its determination]. Moscow, Goslesbumizdat, 76.* [in Russian]

16. Kuzyk, A.D. (2011). Otsinka pozhezhnoi nebezpeky lisiv za pohodnyumy umovamy. Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy. [Estimation of fire danger of forests by weather conditions]. Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine, 1, 74–81. <https://cyberleninka.ru/article/n/otsinyuvannya-pozhezhnoyi-nebezpeki-lisiv-za-umovami-pogodi> [in Ukrainian]
17. Balabukh, V.O. (2017). Suchasnyi stan prohnozuvannya pryrodnoi pozhezhnoi nebezpeky za pohodnyumy umovamy v Ukraini. Materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Suchasnyi stan tsyvilnoho zakhystu Ukrainy ta perspektyvy rozvytku». [Current state of forecasting of natural fire danger by weather conditions in Ukraine]. Proceedings of the All-Ukrainian scientific-practical conference "Current state of civil defense of Ukraine and prospects for development", Kyiv, Ukraine, 25–29. [in Ukrainian]
18. Balabukh, V.O. (2021). Efektyvnist' vrakhuvannya kilkosti opadiv ta shvydkosti vitru pry otsyntsi pryrodnoi pozhezhnoi nebezpeky za meteorolohichnymy umovamy. [Efficiency of taking into account the amount of precipitation and wind speed in assessing the natural fire hazard by meteorological conditions]. Druhyi Vseukrainskyi hidrometeorolohichnyi konhres: tezy dopovidei. 7-9 October 2021, Odesa, Ukraine, 149–150. http://umhs.org.ua/wp-content/uploads/2021/11/Proceedings_Hydrometeorological_congress2021.pdf [in Ukrainian]
19. Sofronov, M.A., Sofronova, T.M., Volokitina, A.V. (2004). Otsenka pozharnoy opasnosti po usloviyam pogody s ispol'zovaniyem meteoprognozov [Assessment of fire danger according to weather conditions using weather forecasts]. Forestry, 6, 31–32. http://forest.akadem.ru/Articles/A_04.html [in Russian]
20. McEvoy, D.J., Hobbins, M., Brown, T.J., VanderMolen, K., Wall, T., Huntington, J.L., Svoboda, M. (2019). Establishing Relationships between Drought Indices and Wildfire Danger Outputs: A Test Case for the California-Nevada Drought Early Warning System. Climate, 7(4), 52. <https://doi.org/10.3390/cli7040052>
21. Riley, K.L., Abatzoglou, J.T., Grenfell, I.C., Klene, A.E., Heinsch, F.A. (2013). The relationship of large fire occurrence with drought and fire danger indices in the western USA, 1984–2008: the role of temporal scale. International Journal of Wildland Fire, 22, 894–909. <https://doi.org/10.1071/WF12149>
22. Srock, A.F., Charney, J.J., Potter, B.E., Goodrick, S.L. (2018). The Hot-Dry-Windy Index: A New Fire Weather Index. Atmosphere, 9, 279. <https://doi.org/10.3390/atmos9070279>
23. Beer, T. (1991). The interaction of wind and fire. Boundary-Layer Meteorology, 54, 287–308.
24. Potter, B.E. (2012). Atmospheric interactions with wildland fire behavior. I. Basic surface interactions, vertical profiles and synoptic structures. Int. J. Wildland Fire, 21, 779–801. <https://doi.org/10.1071/WF11128>
25. Derzhavna sluzhba Ukrainy z nadzvychaynykh sytuatsii. (2020). Informatsiino-analitychna informatsiia shchodo vynykennia nadzvychaynykh situatsii v Ukraini u 2020 rotsi. [The State Emergency Service of Ukraine. Information and analytical information on the emergence of emergencies in Ukraine in 2020], <https://www.dsns.gov.ua/Dovidka-za-kvartal/119288.html> [in Ukrainian]
26. Adamenko, T. (2020). Osoblyvosti pohodnykh umov zymovoho periodu ta yikh vplyv na ozymi kultury. [Features of winter weather conditions and their impact on winter crops]. Journal Agronom, 25 February 2020. <https://www.agronom.com.ua/osoblyvosti-pogodnykh-umov-zymovogo-periodu-2019-2020-rr-v-ukrayini/> [in Ukrainian]
27. Semenova, I. (2021). Spatiotemporal Distribution of Soil Moisture Content over Ukraine and Its Relationship to Atmospheric Conditions. Environmental Sciences Proceedings, 4(1):20. <https://doi.org/10.3390/ecas2020-08117>
28. McDonald, J.M., Srock, A.F., Charney, J.J. (2018). Development and Application of a Hot-Dry-Windy Index (HDW) Climatology. Atmosphere, 9(7):285. <https://doi.org/10.3390/atmos9070285>

Authors Contribution: Semenova I. – statement of the problem, analysis and generalization of the results, text of the article; Mansarliysky V. – preparation of initial data, calculations and visualization of results; Mishchenko N. – analysis of synoptic processes; Koval R. - review of literary sources

Received 7 February 2022

Accepted 17 February 2022

Принципи обробки та тривимірного моделювання через лідарні дані для прикладних досліджень міського середовища

Денис Серьогін,

аспірант кафедри соціально-економічної географії і регіонознавства,
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна,
e-mail: den.seryogin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0169-4468>

У статті розглядається один із видів дистанційного зондування Землі – лідарна зйомка, як спосіб дослідження міського середовища. Подається огляд методик, спрямованих на обробку лідарних даних та вилучення з них інформації про об'єкти міської місцевості. Коротко характеризується принцип роботи та особливості даних лідарного зондування, заснованих на отриманні інформації про віддалені об'єкти за допомогою лазерного сканування місцевості. Розкривається роль тривимірного моделювання через лідарні дані для різнопредметних міських досліджень. Описуються різні підходи до виокремлення будівель з наборів лідарних даних за допомогою фільтрації точок та сегментації дахів. Виокремлення тривимірних моделей будівель за певний часовий відрізок дозволяє також відстежити зміни у забудові місцевості за допомогою обробки у середовищі геоінформаційних систем (ГІС) цифрових моделей місцевості. У роботі наводиться приклад автоматизованої оцінки пошкоджень будівель з використанням лідарних даних та ГІС-засобів. Наводяться оптимізовані автором алгоритми вилучення доріг та ліній електропередавання за допомогою аналізу та фільтрації цифрових моделей поверхні. Відфільтровані цифрові моделі також можуть бути використані для моделювання ризиків міських повеней – у роботі коротко описуються дослідження на цю тему. Наводиться приклад застосування лідарних даних для оцінок чисельності населення та сонячної радіації за допомогою аналізу об'єму, площі будівель та будови дахів. Таке застосування можливе завдяки тому, що лідарні дані забезпечують надвисоку геометричну точність та архітектурну відповідність моделей будинків реальним об'єктам. У висновку, автором наголошується, що використання лідарної інформації істотно сприяє урбаністичним дослідженням та відкриває нові можливості. Також пропонується подальші застосування лідарних даних з метою виокремлення та аналізу урбогеосистемних властивостей міської забудови.

Ключові слова: лідар, ГІС, обробка лідарних даних, тривимірне моделювання, дистанційне зондування міського середовища, автоматизоване виокремлення будівель, урбогеосистема, урбаністичні дослідження.

Як цитувати: Серьогін Денис. Принципи обробки та тривимірного моделювання через лідарні дані для прикладних досліджень міського середовища / Денис Серьогін // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 57. – С. 218-233. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-17>

In cites: Serohin Denys (2022). Principles of processing and three-dimensional modelling through lidar data for applied research of the urban environment. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (57), 218-233. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-17> [in Ukrainian]

Вступ. У сучасних дослідженнях міст дедалі більше використовуються дані дистанційного зондування землі. Ефективність таких даних вже неодноразово була доведена у багатьох дослідженнях, пов'язаних з моніторингом міських змін, аналізом міської щільності, класифікацією міських ландшафтів, дослідженням фізико-хімічного складу міського середовища та багатьох інших. Багато в чому дані дистанційного зондування користуються популярністю завдяки можливості їх завантаження у геоінформаційні системи (ГІС) та автоматизації окремих процесів їх обробки та візуалізації, що суттєво прискорює та полегшує дослідження міста.

Одним із напрямків дистанційного зондування землі є зйомка земної поверхні за допомогою технології *LiDAR* (*Light Detection and Ranging*). Ця технологія заснована на отриманні та обробці інформації про віддалені об'єкти за допомогою активних оптичних систем, що використовують явища поглинання і розсіювання світла в прозорих і напівпрозорих середовищах [9]. Сама

зйомка виконується за допомогою активного оптичного сенсора - лідара, який кріпиться до певного транспортного засобу та випускає лазерні промені на земну поверхню під час руху за спеціальними знімальними маршрутами. Відбивання лазера від поверхні об'єктів приймається і аналізується сенсорним пристроєм, в результаті чого фіксуються дані про відстань між сенсором та об'єктом, а також інформація про внутрішню і зовнішню позиціювання (*GPS i INS*), в сукупності з якою дані про відстані перетворюються в тривимірні точки, що відображають (імітують) поверхню відбивання лазерних імпульсів, тобто, формують тривимірну модель місцевості.

Отримана в результаті лідарної зйомки тривимірна модель міської місцевості є первинним набором даних, який піддається додатковій обробці за допомогою різних методик аналізу та отримання інформації про земні об'єкти. Результатом такої обробки вже є безпосередньо тривимірна модель забудови місцевості або цифрова модель рельєфу, які можуть бути проаналізовані і

візуалізовані в ГІС в рамках дослідження різних властивостей урбогеосистем [46]. Ряд методик аналізу лідарних даних, а також відомі способи їхнього прикладного застосування будуть розглянуті в даній статті.

Метою публікації є огляд методик аналізу даних лідарної зйомки в урбаністичних дослідженнях і подання окремих елементів авторської оптимізації цих методик. Стаття спрямована на опис можливостей використання лідарних даних для конкретних прикладних застосувань з виявленням їх переваг та недоліків.

Попередні дослідження. Дослідження міського середовища на підставі обробки лідарних даних розглядалося у ряді публікацій, в яких, перш за все, пропонуються різні алгоритми вилучення об'єктів з наборів лідарних даних та подальше їх моделювання [13, 25, 29, 30, 34, 35, 36, 41, 43].

Важливий внесок у дослідження міст з використанням засобів дистанційного зондування в цілому зробили автори роботи, присвяченої огляду розроблених додатків дистанційного зондування [40]. В даній роботі детально розглядаються додатки спрямовані на розрахунок морфологічного індексу будівель, обробку стереофонічних зображень, виявлення локальних кліматичних зон, розрахунок різницевого індексу рослинності та температури земної поверхні, обробку аеротеплових інфрачервоних зображень, та багато інших. Так само використання лідарних даних в безлічі додатках, а також технологічні аспекти лідарної зйомки розглядаються у наступному літературному джерелі [6].

Використання лідарних даних для дослідження урбогеосистем та виокремлення їх властивостей розглядалося у публікаціях С.В. Кострікова [19-22, 44, 45]. В даних роботах також пропонується залучення веб-ГІС додатків для обробки лідарних даних та їх подальшої візуалізації у вигляді тривимірних моделей забудови в стандартному ГІС-інтерфейсі. Також у публікації С.В. Кострікова пропонується використання лідарних даних у рамках концепції розумного міста [21]. Нарешті, застосування результатів обробки лідарних даних вже розглядалося для цілей візуального аналізу урбаністичного середовища автором даної публікації у співавторстві з вищезазначеним автором [44].

Виклад основного матеріалу. Методика лідарної зйомки в останні два десятиліття поступово стає домінуючою як в локальному, так і в регіональному масштабі, що пояснюється значною доступністю різних апаратних засобів сканування та наявністю програмного забезпечення для обробки похідних даних у вигляді хмара точок [21]. Скануючі лідарні засоби в системах машинного зору формують двовимірну або тривимірну кар-

тину навколишнього простору, що вдало корегується із можливостями ГІС-платформ надавати тривимірну візуалізацію у вигляді тривимірної сцени.

Тривимірне моделювання на основі лідарних даних є дуже корисним інструментом для різних міських досліджень, серед яких виділяються дослідження морфології міста і аналіз зелені, моделювання ризику міських повеней, картографування ліній електропередачі, моделювання перешкод сигналам *GPS* / аеропорту і оцінка сонячної радіації [43]. Крім того, існує безліч інших прикладних застосувань лідарних даних при аналізі міського середовища, серед яких виокремлення та моделювання будівель, картування непроникних поверхонь, оцінка чисельності населення, виявлення змін, оцінка пошкоджень будівель, оцінка блокування доріг, тощо. Деякі з перерахованих прикладів будуть докладніше розглянуті в даному розділі.

Виокремлення будівель з даних лідарної зйомки стало важливою областю досліджень. Існує безліч різних підходів до виявлення та вилучення будівель з хмари лідарних точок, які можуть призвести до різних результатів залежно від пріоритету до швидкості обробки даних або якості одержуваних моделей.

Один із найпростіших підходів полягає у вилученні будівель із цифрових моделей рельєфу (ЦМР), які побудовані на суміщенні моделей наземних і не наземних точок. У цьому підході з високою точністю класифікуються об'єкти земної поверхні, визначаючи їх контури, за якими надалі виконується вилучення будівель. Однак зі зниженням щільності точок знижуватиметься і точність класифікації. Також у наборах даних по місцевості з високою рослинністю контури об'єктів будівель будуть неточними, оскільки їм перешкоджатимуть дерева. Таким чином, такий підхід ефективний лише при задоволенні ряду додаткових умов [24].

Інший підхід передбачає виявлення та вилучення з хмари точок спрямлених ліній, як шаблонів, що визначають форму дахів будівель. Точки із класу не наземних об'єктів перевіряються на близькість та відповідність лінійним примітивам. Ті точки хмари, які задовольняють критерію близькості, використовуються для моделювання площин дахів та реконструкції всього даху окремої будівлі [3]. Використання шаблонів параметрів дахів суттєво полегшує вилучення будівель та прискорює процес генерації моделей, однак такий підхід робить низку припущень щодо відповідності моделей архітектурі реальних будівель [27].

Для більш ефективного використання лідарних даних при моделюванні будівель необхідна реалізація різних додаткових алгоритмічних рі-

шень, які допомагають з високою точністю розрізняти будівельні конструкції та міську рослинність без втрати в якості моделей. Було запропоновано безліч алгоритмів для вилучення будівель, серед яких слід виділити роботу, в якій описувалася *модель суміші Гаусса* для сегментації даху будівлі [41]. Розподіл Гаусса широко використовується в природознавстві як проста модель для опису складних явищ з безліччю розподілів ймовірностей, а тривимірний гауссовий розподіл може бути використаний для обчислення розподілу лідарних точок в межах плоскої ділянки. Через обмежену точність, та наявність перешкод у хмарах точок будівель, утворених сторонніми об'єктами, виокремлення будівель може бути ускладнено – хмари точок плоских дахів не точно лежать на математичній площині, а розсіюються з незначними відхиленнями біля даху – таке відхилення точок від площини відповідає гауссовому розподілу з центром у нулі. Таким чином, окрема будівля з багатоплощинним дахом може бути представлена тривимірною гауссовою моделлю суміші, яка складається з наблизених та усереднених значень розподілу точок біля даху.

Гауссова модель ефективно застосовується при наявності незначних перешкод біля дахів, які не завдають суттєвих відхилень від математичної площини даху. Але при великій кількості перешкод і надто хаотичному розкиданню точок площина даху буде обчислена зі значним відхиленням від її реального положення – в такому випадку можна виконати фільтрацію точок перешкод та змодельовати гауссову модель повторно, але тоді кількість точок навколо даху може бути недостатньою для коректного моделювання.

У даній моделі сегментації даху будівель також застосовується метод *RANSAC* – метод оцінки параметрів моделі на основі випадкових вибірок, запропонований Фішлером і Боллесом [10]. На рис. 1 можна побачити, як для будівлі 1 (рис. 1А) модель суміші Гаусса виявляє два перетини площини даху (рис. 1Б), тоді як *RANSAC* виявляє тільки дві площини даху і не може виявити перетини площини даху (рис. 1В). Для будівлі 2 (рис. 1Г) модель суміші Гаусса успішно виявляє три перетини даху і площини (рис. 1Д), тоді як метод *RANSAC* виявляє тільки один перетин даху і площини (рис. 1Е).

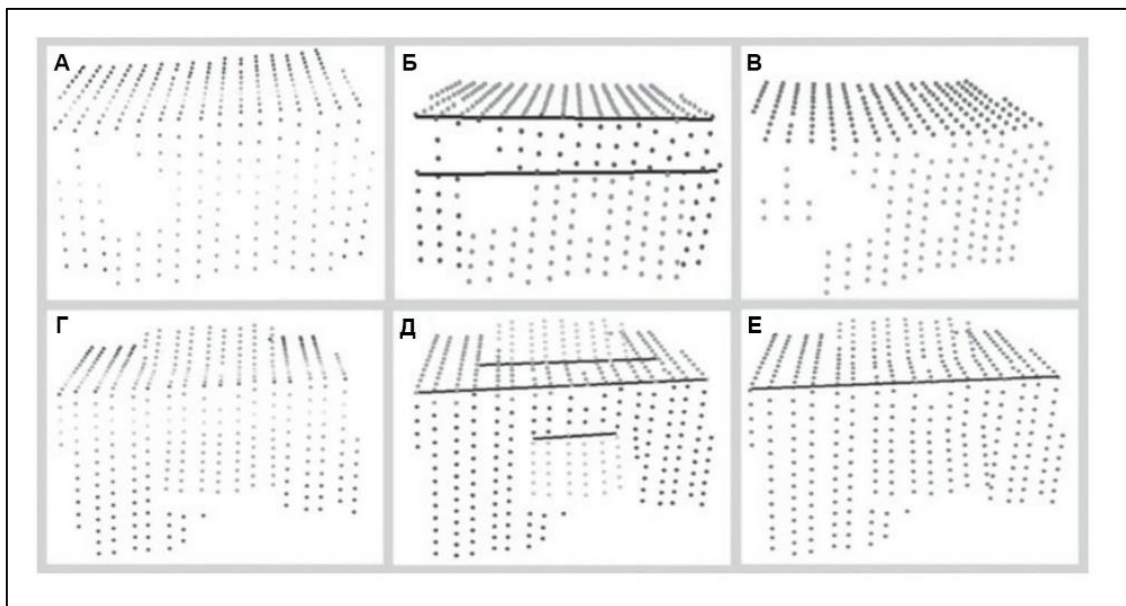


Рис. 1. Порівняння площин дахів, витягнутих за допомогою моделі суміші Гаусса та методу *RANSAC*. А – необроблені лідарні точки; Б – площини даху, витягнуті з А за допомогою моделі суміші Гаусса; В – площини даху, витягнуті з А за допомогою методу *RANSAC*; Г – необроблені лідарні точки для будівлі 2; Д – площини даху, витягнуті з Г за допомогою моделі суміші Гаусса; Е – площини даху, витягнуті з Г за допомогою методу *RANSAC* [6, с. 153] /

Fig. 1. Comparison of roof planes extracted using the Gaussian mixture model and the *RANSAC* method.

A – unprocessed lidar points; Б - roof planes extruded from A using a Gaussian mixture model; В – roof planes extracted from A using the *RANSAC* method; Г – unprocessed lidar points for building 2; Д – roof planes extruded from Г using a Gaussian mixture model; Е – roof planes extracted from Г using the *RANSAC* method [6, p. 153]

Вилучення будівель методом *RANSAC* було доповнено алгоритмом *PolyFit*, заснованим на пошуку відповідних комбінацій площин, які форму-

ють багатокутну модель. При такому підході під час аналізу фрагмента хмари точок генерується певний набір граней-кандидатів, які можуть в

різних конфігураціях моделювати один і той же фрагмент хмари точок [31]. Далі алгоритм підбирає найбільш оптимальну підмножину таких граней, за допомогою яких з мінімізацією топологічних помилок може бути сформована безмежна і водонепроникна модель. Даний підхід показує високий рівень якості моделей, але при цьому швидкість виконання алгоритму може істотно сповільнитися за рахунок включених процедур оптимізації.

В одному з досліджень метод *RANSAC* також порівнювався з алгоритмами стандартної та рандомізованої *трансформації Хафа*, заснованими на параметричній ідентифікації геометричних елементів [28]. У порівняльному аналізі використовувалася класифікація неповних площин моделей, у результаті якої виділялися чотири типи площин: несегментовані площини, недостатньо сегментовані, надмірно сегментовані і несправжні площини [42]. Дослідження показало, що алгоритм рандомізованої *трансформації Хафа* при додатковому уточненні значною мірою задовольняє компроміс між точністю моделей та часом обчислень. Хоча метод *трансформації Хафа* зазвичай використовується для двовимірних наборів даних, були докладно розглянуті безліч способів використання методу для виявлення площин у тривимірних хмарах точок та запропоновані різні оптимізаційні рішення для такого застосування *трансформації* [4].

Відомо також комбіноване використання алгоритмів *RANSAC* та *Трансформації Хафа* для реконструкції будівель за наборами лідарних даних [36]. Зокрема, було розширено алгоритм *RANSAC* з урахуванням переваг *трансформації Хафа* – запропоноване рішення оптимізувало математичний аспект алгоритму з геометрією даху, за рахунок чого вдалося уникнути помилкового фіксування сторонніх площин будівлі як площин дахів.

Частина з описаних раніше підходів до вилучення будівель відносяться до параметричних підходів, які засновані на створенні певної бібліотеки шаблонів дахів будівель – їх топологічних примітивів. При аналізі хмари точок для кожної будівлі обирається той шаблон даху, який найкраще відповідає його фрагменту хмари точок [14]. У такому разі навіть за невисокої якості лідарних даних очікується прийнятна якість моделей з коректними формами дахів. Однак, при такому підході неможливо врахувати всі можливі форми дахів і знайти для них відповідні шаблони, тому часто побудована модель може суттєво спростувати архітектуру реальної будівлі або зовсім її ігнорувати [35]. По суті, для простоти візуального сприйняття моделей забудови втрачається деталізація окремих моделей і достовірність їх форм [16].

Більшість параметричних підходів ґрунтуються на припущенні, що будівля є багатогранним об'єктом [11]. Моделювання будівель виконується у кілька етапів: 1) виконується фільтрація точок, які не належать до класу будівель; 2) з точок, що залишилися, витягуються лінійні об'єкти; 3) виконується продовження похідних ліній у ділянках з недостатньою щільністю точок за справжніми контурами будівлі (тут можуть бути задіяні двовимірні контури); 4) об'єднання первинних ліній з похідними та формування повної моделі будівлі; 5) суміщення моделі з відповідним шаблоном. Під лінійними об'єктами в даному випадку маються на увазі межі між сегментами. Внутрішні межі визначаються між суміжними сегментами, зовнішні – визначаються на основі положення козирків дахів [33].

Процедура відновлення частини будівлі шляхом продовження похідних ліній відноситься до узагальнених підходів, за яких генерується очікувана модель на основі наявних даних [23]. Алгоритми фіксують у хмарі точок площини, лінії, опорні точки, а потім за цими даними генерують очікувану модель. Відповідно, чим більше вдається зафіксувати таких даних, тим більш достовірною виходить підсумкова модель. Іноді аналіз даних виконується у кілька ітерацій задля забезпечення всієї повноти зібраних точок, які відносяться до будівлі [2].

До категорії таких підходів також можна віднести алгоритм, у якому спочатку для кожної точки виконується аналіз власних значень з подальшим визначенням розмірності точок і обчисленням полігонів Вороного для точок з найбільшою вагою. Такі точки формують двовимірні площини даху і є основою для подальшого сегментування, яке виконується через поступову кластеризацію точок, яка ґрунтується на геометричних відстанях до центрів кластерів, а також на топологічній вазі – розмірності точок (рис.2). Кластеризація відбувається в кілька етапів, тим самим регулюючи та уточнюючи просторове положення та напрямок окремих площин даху. Надалі межі між обчисленими площинами визначаються точками переривання – це точки ребер дахів, які були відкинуті на етапі аналізу розмірності точок. Однак визначення таких точок може бути ускладнене через наявність різних перешкод у хмарі точок.

У разі, якщо алгоритм не здатен виокремити складні архітектурні особливості будівлі, такі підходи все одно можуть бути корисними для побудови узагальнених моделей забудови та встановлення їх просторового екстенду, ґрунтуючись лише на надмірній інформаційній щільності у тих фрагментах хмари точок, які класифіковані як будівлі [17]. Так, у деяких дослідженнях відфільтровані точки будівель використовувалися для вилучення

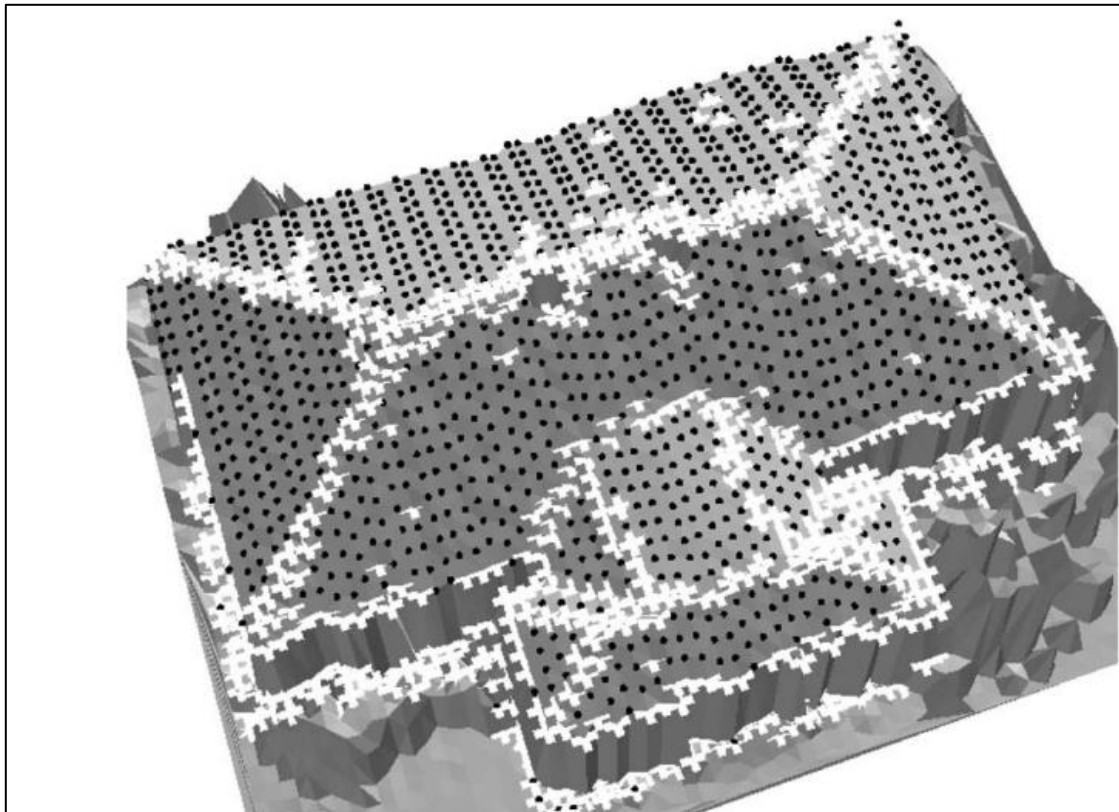


Рис. 2. Точки двовимірних площин даху (чорні точки) та точки переривання (білі хрестики) [35, с. 1557] /
Fig. 2. Points of 2D roof planes (black dots) and breakpoints (white crosses) [35, p. 1557]

чення їх двовимірних контурів, в межах яких потім витягувалася висота кластера точок, що відповідає певній площині будівлі [32, 34]. В результаті по витягнутій висоті і позначеним контурам будівлі генерується узагальнена модель. При такому підході з високою швидкістю може бути згенерована велика кількість моделей, але його недоліком є те, що в деяких випадках у межі контуру будівлі можуть потрапити кластери точок, що належать до сторонніх об'єктів і саме такі помилкові кластери можуть послужити для отримання помилкової висоти та площин будівлі [9].

Таким чином, в залежності від сформованого запиту обраний підхід до автоматичного вилучення будівель може варіюватися між пріоритетом до якості отриманих моделей, їх архітектурно-морфологічної точності та пріоритетом до обсягу вилучених моделей та швидкості обробки даних. Питання оптимізації вилучення будівель щодо таких запитів досі є актуальним.

Із зростанням використання даних лідарної зйомки, важливою темою для міських досліджень стало тривимірне виявлення змін горизонтального і вертикального розростання міст. Тривимірні моделі, сформовані лідарними даними можуть бути ефективно використані для такого запиту.

Один із методів виявлення змін в будівлях на підставі земельних ділянок запропонований для підтримки таких додатків, як міське планування і

управління земельними ресурсами [5]. У методі використовуються цифрові моделі місцевості (ЦММ), цифрові моделі поверхні (ЦМП), цифрові моделі висоти (ЦМВ = ЦМП - ЦММ) і різниці цифрові моделі поверхні (рЦМП). Після серії етапів обробки в ГІС пропонується метод створює вихідну карту будівель, на якій показані чотири типи будівель (рис. 3):

- Тип I (нові будівлі, побудовані після видалення середньої / високої рослинності);
- Тип II (нові будівлі, побудовані на голій землі або з низькою рослинністю, або поверх існуючих будівель);
- Тип III (знесені або пошкоджені будівлі);
- Тип IV (існуючі будівлі, в яких мало змін чи вони відсутні).

В даному методі виявлення змін будівлі на основі ділянок відбувається в кілька етапів:

1. Використання зональної статистики а також статистики околиць, щоб визначити правильний поріг ухилу, що розділяє дахи і середню або високу рослинність.

2. Обчислення середнього зонального ухилу S_i з растра ухилу, використовуючи полігони контурів будівель пізнього періоду в якості зон.

3. Позначення зміни обсягу V_{ij} як об'ємної зміни наземних об'єктів (будівель, дерев, поверхонь землі, тощо.) з раннього по пізній період, після чого обчислюється V_{ij} з рЦМП, з використан-

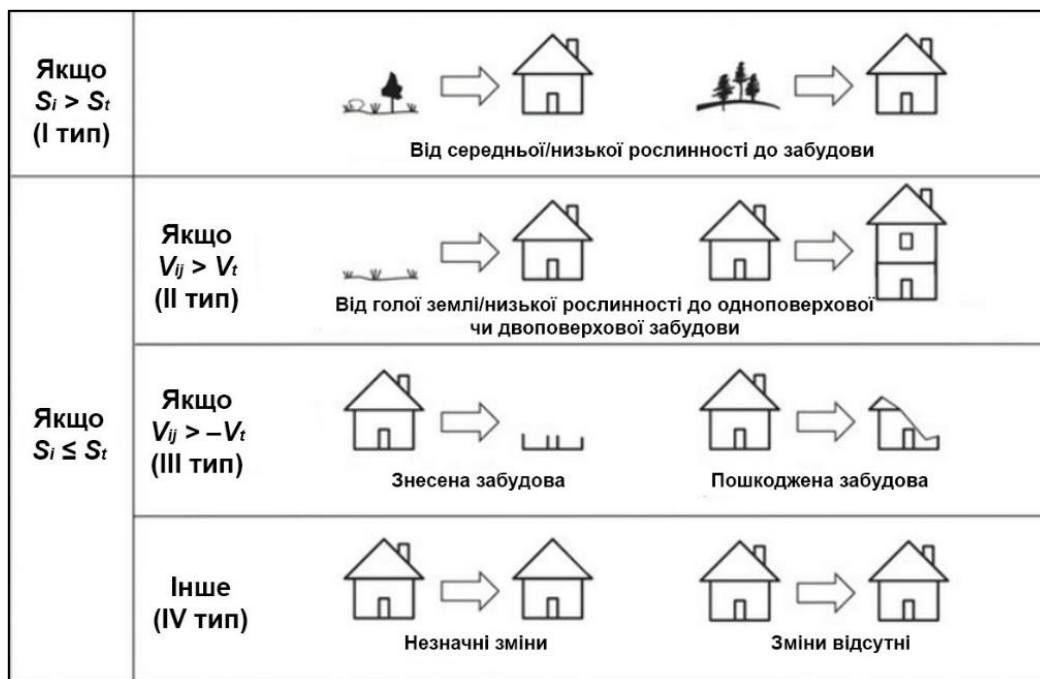


Рис. 3. Визначення чотирьох типів змін забудови з використанням середнього зонального ухилу даху (S_i), порогового значення ухилу (S_t), зональної зміни об'єму (V_{ij}) і порогового значення об'єму (V_t) [5, с. 9] /
Fig. 3. Determination of four types of building changes using the average zonal roof slope (S_i), slope threshold (S_t), zonal volume change (V_{ij}) and volume threshold (V_t) [5, p. 9]

ням зональної суми осередків рЦМП в кожному з полігонів контуру будівлі пізнього періоду.

4. Встановлення S_i і V_{ij} для кожного полігону контуру будівлі пізнього періоду. У цьому процесі використовується порогове значення об'єму V_t , встановлене на основі стандарту будівництва і безпеки будинку.

Відстеження змін на основі лідарних даних також може використовуватися для швидкої оцінки пошкоджень будівель та інфраструктури, викликаних різними стихійними лихами, наприклад, землетрусами.

Щоб оцінити потенційне застосування лідарних даних для оцінки пошкоджень будівель після руйнувань, можна змодельовати обвалення м'яких поверхів та інші типи великих пошкоджень будівель з плоскими, двохсхилими, і шатровими дахами [7]. *Триангульовані нерегулярні мережі (TIN)* змодельованих лідарних точок були створені за допомогою триангуляції Делоне. Визначення пошкоджень виконується за рахунок створення випадкових точок на стінах і поверхнях будівель, які формують спрощені контури будівель. Випадкові точки дозволяють порівнювати контури тривимірних форм моделей будівель для виявлення пошкоджених будівель. Цей приклад показує, що основні зміни в тривимірних формах будівель можуть бути виявлені за допомогою контурів тривимірних форм, отриманих з лідарних даних. Також, якщо відомі ознаки тривимірної форми будівлі до руйнування, можна виявити серйозне пошкод-

ження або обвалення будівлі, порівнявши його тривимірні контури форми до руйнування з тривимірними контурами форми після руйнування, отриманими з лідарних даних.

На підставі огляду літератури та нових результатів в оцінці пошкоджень будівель з використанням лідарних даних, створена блок-схема з чотирма основними компонентами для автоматизованої оцінки пошкоджень будівель після руйнування з використанням лідарних даних і ГІС (рис. 4) [7].

Окрім відстеження руйнувань, технологія виявлення зміни застосовна також для моніторингу міського та приміського середовища на наявність незаконних будівель. Відомий приклад такого дослідження з використанням цифрових моделей поверхні [12]. Було запропоновано систему моніторингу місцевості спрямовану негайне виявлення неформальної забудови ще до її закінчення.

Оброблені лідарні дані також знайшли застосування в оцінці населення. Один із методів оновлення та оцінки даних про чисельність населення (метод кореляції) полягає у співставленні змін чисельності населення зі змінами кількості зайнятих житлових одиниць. Такий метод ефективно впроваджується з використанням лідарних даних, супутникових знімків *Landsat TM* і даних з переписних ділянок. В рамках даного методу в ГІС будуються звичайні моделі найменших квадратів, а також моделі географічно зваженої регресії на основі вибірових блоків перепису населен-

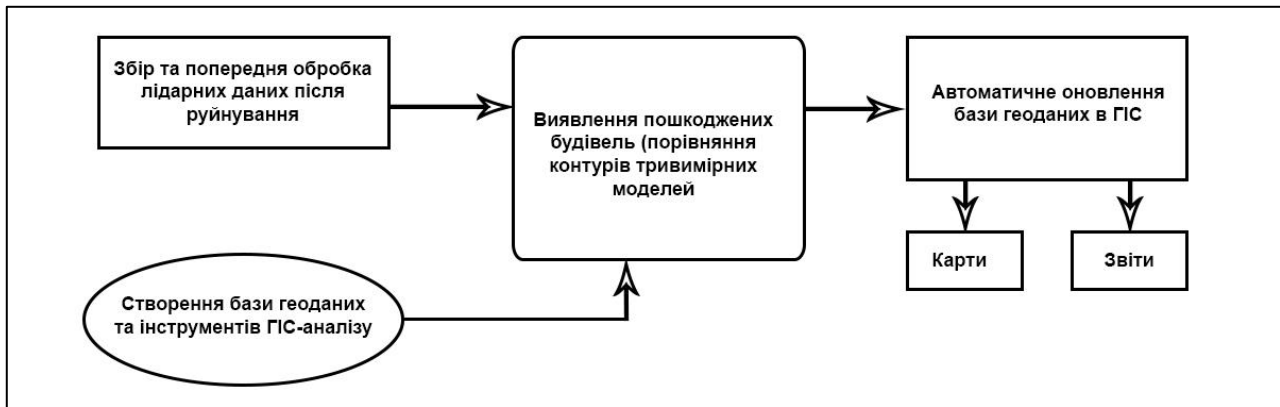


Рис. 4. Схема автоматизованої оцінки пошкоджень будівель після землетрусу з використанням лідарних даних та ГІС /

Fig. 4. Scheme of automated assessment of damage to buildings after an earthquake using lidar data and GIS

ня. При цьому використовуються три типи даних:

- чисельність населення в порівнянні з кількістю будівель;
- чисельність населення в порівнянні з площею забудови;
- чисельність населення в порівнянні з об'ємом будівлі.

В одному з таких досліджень, використовувалися дані про кількість населення з 91 випадково вибраної ділянки перепису в якості залежної змінної, і дані про кількість, площу та об'єм будівель отриманих в результаті лідарної зйомки в якості незалежної, були створені моделі лінійної регресії і географічно зваженої регресії для оцінки населення [8]. Результати показали, що кількість населення сильно корелює з кількістю, площею і об'ємом житлових будинків, отриманими з тривимірних моделей. Проблема даного дослідження полягає в тому, що вихідні лідарні дані були повторно дискретизовані до відстані між точками 3-5 м, що впливає на точне представлення будівель. Більш точні результати можна було б отримати, якби були доступні лідарні дані з більш високою щільністю точок.

В іншому дослідженні використовувалися чотири моделі регресії (проста та множинна лінійна регресія, а також дерево регресії з однією та безліччю змінних) для зіставлення переписної чисельності населення з показниками площі та обсягу будівель, отриманих з лідарних даних. Модель дерева регресії з безліччю змінних на основі обсягу будівель дала найточнішу оцінку населення [26].

У проєкті *EOS LiDAR Tool (ELiT)*, у розробці якого брав участь автор цієї статті, проводилося дослідження чисельності населення місті Бостон, штат Массачусетс, США з урахуванням тривимірної моделі забудови даного міста отриманої з допомогою узагальненого моделювання лідарних даних. Для оцінки населення використовувався

просторово-метричний метод, спрямований на обчислення населення на основі геометричних показників будівлі та топологічних параметрів міського простору. В результаті було змодельовано урбаністичне середовище міста Бостон з візуалізацією розподілу розрахованого населення по кожній будівлі. Хоча для деяких моделей чисельність населення була оцінена не точно через помилкове віднесення великих комерційних будівель до житлових зон землекористування, все одно цей підхід продемонстрував значну ефективність для оцінки населення в житлових районах [22]. Особливо такий підхід може активно застосовуватися для міст із публічною недостатністю реальних показників чисельності населення [26].

Можливість побудови дискретних тривимірних моделей будівель на основі обробки лідарних даних дозволяє задати певну атрибутивну інформацію кожній окремій будівлі у ГІС-середовищі. У тому числі, може бути занесена інформація про чисельність населення будівель, розрахована за описаними раніше методами. Така інформація може бути візуалізована для тривимірних моделей у ГІС-середовищі за допомогою тематичного картографування і заданого методу класифікації даних (рис. 5).

Також у багатьох дослідженнях лідарні дані використовуються для вилучення доріг. Повністю автоматизоване вилучення доріг в міських районах може бути ускладнене через складність міських особливостей, в той час як оцифровка доріг вручну із зображень може зайняти багато часу. Доцільним є використання напівавтоматичного підходу до вилучення доріг для підвищення ефективності, точності і рентабельності діяльності по розробці даних [6].

Об'єкти земної поверхні, такі як водойми і асфальтове покриття, зазвичай мають дуже низькі значення інтенсивності лазерного імпульсу, також, як і дахи деяких будинків. Отже, поєднання

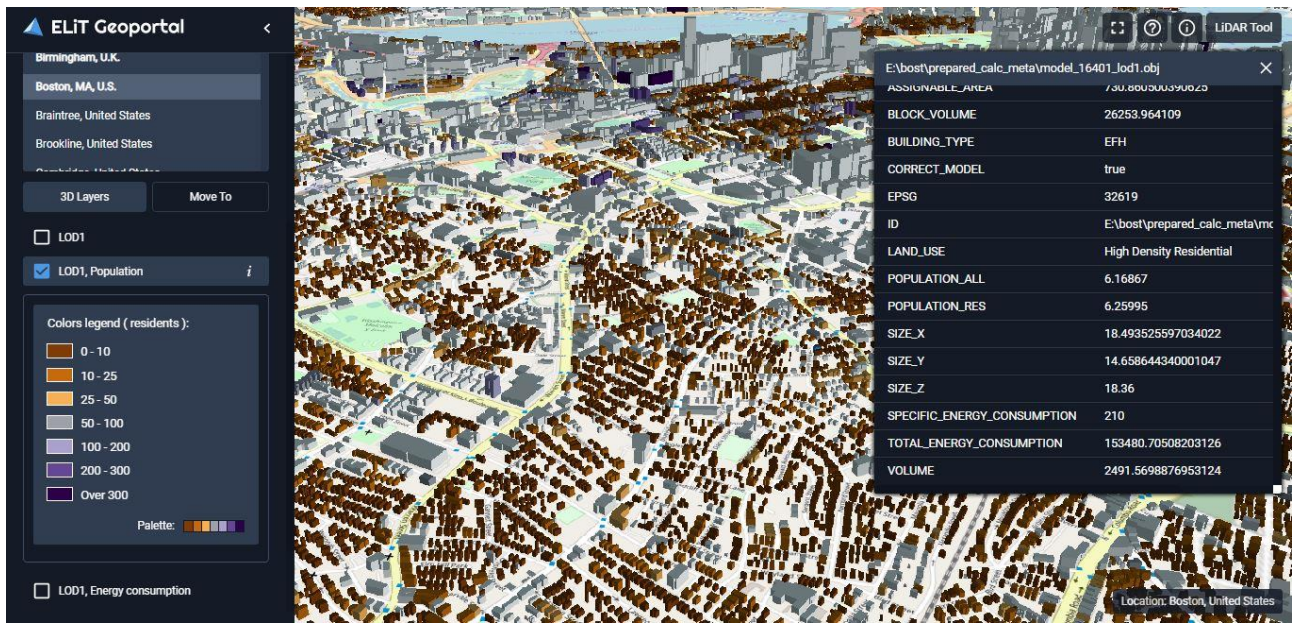


Рис. 5. Тривимірна візуалізація розподілу населення по будівлях в середовищі веб-ГІС ELiT / Fig. 5. 3D visualization of the building population distribution in the ELiT web-GIS environment

лідарних даних інтенсивності і ЦМП або ЦМВ може використовуватися для виокремлення доріг. По-перше, створюється зображення інтенсивності з хмар точок з використанням просторової інтерполяції; потім з наземних точок будується ЦМП. Після злиття зображення інтенсивності і ЦМП об'єднане зображення може бути сегментоване з використанням порогу. Отримане двійкове

зображення може бути додатково оброблене з використанням математичних морфологічних операторів. Після векторизації витягнуті дороги можна виправити за допомогою інтерактивного редагування (рис. 6).

Схожі методи фільтрації лідарних даних зйоми можуть використовуватися для виокремлення та картування ліній електропередач. В од-

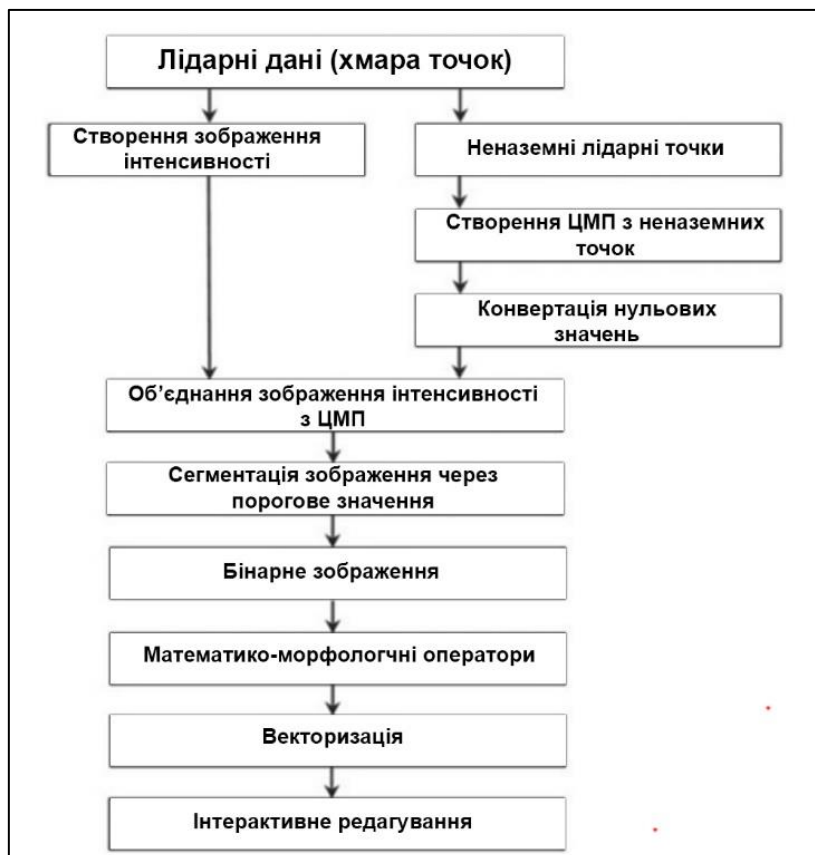


Рис. 6. Схема вилучення доріг з лідарних даних / Fig. 6. Scheme for extracting roads from lidar data

ному з досліджень застосовується двоетапний алгоритм для вилучення ліній електропередачі з даних лідарної зйомки з початковою класифікацією наземних об'єктів і подальшим вилученням ділянок ліній електропередачі [30]. Даний метод правильно визначив 86,9% точок лідарних даних, прокладених на лініях передачі, і вилучив 72,1% ділянок лінії передачі. Для виокремлення ліній електропередач також розроблений список рекомендацій, заснований на температурі провідника, швидкості вітру, сонячної радіації, електричної навантаженні для точного моделювання ліній електропередачі з використанням лідарної зйомки [25]. Також в одному з досліджень була запропонована модель контактної кривої, при якій спочатку визначаються передбачувані лідарні точки на лінії електропередачі, які потім помножуються та поширюються за очікуваною траєкторією для моделювання всієї лінії електропередачі. Експеримент продемонстрував задовільний рівень успіху 96% при точності 3D-моделювання лінії електропередачі менше 5,2 см [15]. Таке моделювання може бути ефективним навіть при наявності даних з невисокою щільністю точок, проте у таких даних має бути мінімальна кількість перешкод навколо ліній електропередач.

Якщо для набору лідарних даних виконується класифікація точок, вилучення таких об'єктів як дороги і лінії електропередач може бути спрощено за умови коректно виконаної класифікації. У LAS-файлах (формат лідарних даних) точки дорожнього покриття мають відповідний код класифікації – 11, точки дровів – 14, опора ліній електропередач – 15. За цими кодами з наборів лідарних даних можна вилучати точки за допомогою спеціального програмного забезпечення. Автор для таких цілей використовував інструмент

Las2Las із набору інструментів вільного доступу *LasTools*. За допомогою командного запиту інструмент дозволяє фільтрувати з хмари точок лише ті точки, які закодовані під відповідним класом. Цей інструмент також дозволяє вирізати необхідні ділянки хмари точок для оптимізації її подальшої обробки та моделювання.

Можливість фільтрації лідарних даних для поділу наземних і неназемних об'єктів дала підстави для застосування лідарних даних з метою моделювання ризиків міських повеней. На підставі даних фільтрації та інтенсивності можна отримати ЦМР для імітаційного моделювання повеней в прибережних міських районах, викликаних штормовими нагонами [29]. За рахунок такого моделювання можна відстежити найбільш небезпечні ділянки, до яких слід вжити заходи щодо мінімізації ризиків. Отримана за допомогою лідарних даних ЦМР дає найменшу середньо-квадратичну помилку з точки зору точності висоти і передбачуваних площ затоплення (рис. 7). У деяких дослідженнях лідарні дані використовувалися для створення неструктурованої сітки, яка представляє складний міський ландшафт, і оцінки глибини води, при побудові різних моделей затоплення [37]. Також цифрова модель поверхні використовувалася з метою оцінки просторового розподілу передбачуваного ризику затоплення міських районів. Оціночні значення ризику використовувалися для порівняння різних заходів із модернізації будівель та міського простору. У дослідженні також задіялися дані з переписних ділянок з метою оцінки потенційних втрат з погляду офіційного доходу душу населення [1].

Оскільки лідарні дані дозволяють точно моделювати міське середовище, отримані дані можна використовувати для оцінки потенційної со-



Рис. 7. ЦМР, побудована в середовищі веб-ГІС ELiT, для оцінки ризиків повеней /
Fig. 7. DEM built in the ELiT web-GIS environment for flood risk assessment

нячної радіації, що може сприяти розвитку значних поновлюваних джерел енергії. ЦМП, побудовані за допомогою лідарної зйомки можна використовувати для визначення розміру, нахилу та експозиції площини даху окремої будівлі, а також потенціалу сонячної енергії, що потрапляє на дах [38]. Проте, складні конструкції даху з об'єктами (слухові вікна, вікна, димарі, антен, тощо.) можуть стати перешкодами при вилученні правильної площини даху за допомогою ЦМП. Тому повідомлялося про деякі спроби розробки алгоритмів для ідентифікації та вилучення дахів і виконання аналізу сонячного потенціалу на основі хмари точок даних.

Було представлено успішне тематичне дослідження з великомасштабною оцінкою сонячної радіації в міській забудованій середовищі в місті Кембридж, штат Массачусетс [13]. Окрім обліку сонячного випромінювання на дах, ефект затінення, викликаний навколишніми елементами, також може впливати на рівень сонячного освітлення. Згодом було визначено новий метод, який поєднує в собі топографію міста, витягнуту з лідарних даних, з піранометричними вимірами глобальної та розсіяної сонячної радіації. Цей метод враховує ефекти затінення від різних навколишніх об'єктів. Результати показали більш високу загальну точність, порівняно з фактичними вимірами електростанції, однак сам процес обрахування потребує значних обчислювальних ресурсів.

У статті вже неодноразово згадувався проект *ELiT*, у розробці якого брав участь автор. Даний проект є геоінформаційним веб-додатком, що надає інструменти обробки та аналізу лідарних даних. *ELiT* складається з ГІС-серверу, клієнту та ядра – структурованої платформної сукупності базових алгоритмів та бібліотек функцій. Серед цієї сукупності алгоритмів знаходяться також алгоритми фільтрації та вилучення об'єктів, які розглядалися у цій статті. Крім інструментів обробки лідарних даних в *ELiT* також реалізовано якісну візуалізацію результатів моделювання у вигляді тривимірної сцени та інструменти управління цією візуалізацією у середовищі *Cesium Viewer* [20]. Для обробки лідарних даних *ELiT* на вхід подаються дані формату *LAS/LAZ*, а також допоміжні дані контурів будівель у форматі *SHP*.

У *ELiT* було реалізовано такі основні категорії інструментів обробки даних:

1) *Building Extraction (BE)* – інструмент, спрямований на виокремлення та детальне, високоточне тривимірне моделювання будівель із строгим покриттям витягнутих фрагментів хмари точок, що належать до класу будівель (рис. 8А);

2) *Change Detection (CD)* – інструмент, який автоматично фіксує зміну в архітектурній морфології окремих будівель за допомогою порівняння

двох файлів лідарних даних, зібраних в одній місцевості, але в різні проміжки часу (рис. 8В);

3) *DEM Generation* – інструмент призначений для побудови растрової моделі поверхні – цифрової моделі рельєфу у вигляді ґрид-матриці надвисокої роздільної здатності на основі вхідного файлу лідарних даних (рис. 8Г).

2) *Building Extraction Rural Area (BERA)* – інструмент для вилучення будівель сільської місцевості, при якому моделі генеруються за певними шаблонами будівель та їх контурами, отриманими з допоміжних *SHP*-файлів. Для даного інструменту реалізовано ряд додаткових модифікацій, які виконують автоматичне виокремлення будівель за різними алгоритмами точкової сегментації та кластеризації, серед них оптимізовані алгоритми *RANSAC*, *PolyFit*, а також алгоритм заснований на аналізі власних значень точок [20]. В результаті моделювання за допомогою даного інструменту генеруються низькополігональні моделі, що відображають загальні властивості будівель (рис. 8Б).

Сегментація точок при виокремленні будівель у середовищі *ELiT* істотно оптимізована за рахунок використання у розрахунках додаткових *SHP*-файлів футпрінтів – двомірних контурів будівель. Футпрінти визначають чіткі фрагменти хмари точок, у яких буде виконуватися сегментація. Точки, які не потрапляють у межі футпрінтів – відкидаються. Самі футпрінти будівель можуть бути отримані з різних відкритих карт глобального покриття, таких як *OpenStreetMap* та *GoogleMaps*. Моделі, побудовані таким чином, мають коректну географічну прив'язку і можуть бути візуалізовані прямо на картах глобального покриття.

На пізніших стадіях розробки у проекті було також реалізовано середовище перегляду результатів обробки лідарних даних – *ELiT Geoportal* (рис. 8Д). У цьому середовищі у вигляді узагальнених моделей забудови були візуалізовані великі масиви оброблених лідарних даних, що покривають цілі міста. Для окремих міст було виконано оцінки чисельності населення та енергоспоживання будівель на основі геометричних показників одержаних моделей забудови. Результати таких оцінок також були візуалізовані у тривимірній сцені.

Ще один окремий інструмент аналізу лідарних даних – *Visibility Analysis* – був представлений в *ELiT* для моделювання тривимірної півсфери видимості, що візуалізує видимий обсяг міського простору з певної точки спостерігача (рис. 8Е). Функціональні особливості даного інструменту, а також прикладні аспекти візуального аналізу міського середовища були детально викладені в одній із публікацій автора [44].

Висновки. Таким чином, лідарні дані у ком-

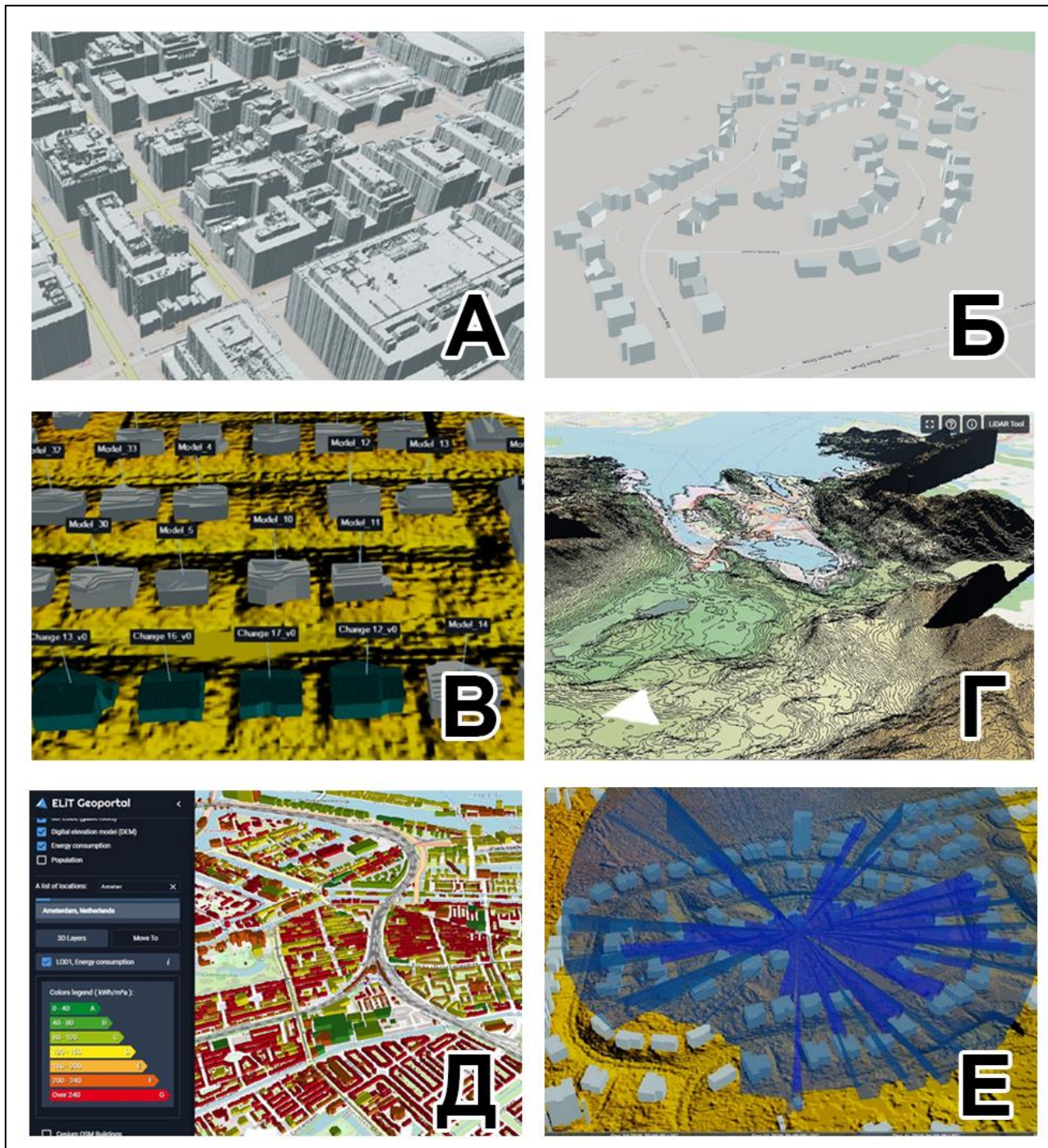


Рис. 8. Візуалізація результатів обробки лідарних даних в середовищі ELiT /
 Fig.8. Visualization of the lidar data processing results in the ELiT environment

бінації з ефективними алгоритмами обробки, зчитування та фільтрації даних мають широкий прикладний потенціал для їх використання у різних урбаністичних дослідженнях. Отримувана з лідарних даних тривимірна модель міської місцевості може суттєво полегшити вирішення низки завдань, що стосуються моніторингу місцевості, міського планування, відстеження змін тощо, але, крім того, тривимірне подання міського середовища відкриває можливість виділення нових урбогеосистемних властивостей міста, які складно було виявити на двовимірних картах. Такими

властивостями можуть бути, наприклад, розподіл щільності забудови у міському середовищі, закономірності поширення різноманітних архітектурних форм та міської інфраструктури. З вилученням таких властивостей міста можна буде простежити різні проблеми міської забудови, різні конфлікти між будівлями окремих функціональних зон та в результаті запропонувати рішення щодо оптимізації забудови та запобігання таким проблемам у майбутньому.

Тривимірне моделювання на підставі обробки даних лідарної зйомки місцевості може бути

реалізовано в сучасних ГІС. Отримані моделі мають високу точність, а сам спосіб їх отримання є економічно ефективним. Таким чином, тривимірне моделювання виводить урбаністичні дослідження на якісно новий рівень. Важливою перевагою такого підходу є те, що сама обробка лідарних даних і подальша побудова моделей може

бути повністю автоматизована, що дозволяє регулярно проводити лідарну зйомку міського середовища і відслідковувати будь-які істотні зміни просторової структури урбогеосистеми, які в свою чергу свідчать про зміни соціально-економічних характеристик міста.

Список використаної літератури

1. Arrighi C. Urban micro-scale flood risk estimation with parsimonious hydraulic modelling and census data [Text] / C. Arrighi, M. Brugioni, M. Castelli, S. Franceschini, B. Mazzanti // *Natural Hazards and Earth System Science*. – 2013. – Vol.13. – No.5. – P. 1375-1391. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-13-1375-2013>
2. Awrangjeb M. Automatic building detection using LIDAR data and multispectral imagery [Text] / M. Awrangjeb, M. Ravanbakhsh, C.S. Fraser // *Proc. Digital Image Computing: Techniques and Applications*. Sydney, Australia. 2010. – P. 45-51. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DICTA.2010.17>
3. Awrangjeb M. Automatic extraction of building roofs using LiDAR data and multispectral imagery [Text] / M. Awrangjeb, C. Zhang, C.S. Fraser // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2013. – Vol. 83. – P. 1-18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.05.006>
4. Borrmann D. The 3D hough transform for plane detection in point clouds: a review and a new accumulator design [Text] / D. Borrmann, J. Elseberg, K. Lingemann, A. Nüchter // *3D Research*. – 2011. – Vol. 2. – P. 1-13. DOI: [http://dx.doi.org/10.1007/3DRes.02\(2011\)3](http://dx.doi.org/10.1007/3DRes.02(2011)3)
5. Dong P. Automated parcel-based building change detection using multitemporal airborne LiDAR data [Text] / P. Dong, R. Zhong, A. Yigit // *Surv. Land Inf. Sci.* – 2018. – Vol. 77. – P. 5-13.
6. Dong P. LiDAR Remote Sensing and Applications [Text] / P. Dong, Q. Chen (Editors). – Boca Raton: CRC Press, 2018. – 246 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.4324/9781351233354>
7. Dong P. A framework for automated assessment of post-earthquake building damage using geospatial data [Text] / P. Dong, H.D. Guo // *International Journal of Remote Sensing*. – 2012. – Vol. 33. – P. 81-100. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2011.582188>
8. Dong P. Evaluation of small area population estimation using LiDAR, Landsat TM and parcel data [Text] / P. Dong, S. Ramesh, A. Nepali // *International Journal of Remote Sensing*. – 2010. – Vol.31. – P. 5571-5586. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2010.496804>
9. Dorninger P. A comprehensive automated 3D approach for building extraction, reconstruction, and regularization from airborne laser scanning point clouds [Text] / P. Dorninger, N. Pfeifer // *Sensors*. – 2008. – Vol.8. – P. 7323-7343. DOI: <https://doi.org/10.3390%2Fs8117323>
10. Fischler M.A. Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography [Text] / M.A. Fischler, R.C. Bolles // *Communications of the ACM*. – 1981. – Vol. 24. – P. 381-395. DOI: <https://doi.org/10.1145/358669.358692>
11. Huang H. Rule-based roof plane detection and segmentation from laser point clouds [Text] / H. Huang, C. Brenner // *Urban Remote Sensing Event (JURSE)*. – 2011. – P. 293-296. DOI: <https://doi.org/10.1109/JURSE.2011.5764777>
12. Ioannidis, C. Towards a strategy for control of suburban informal buildings through automatic change detection [Text] / C. Ioannidis, C. Psaltis, C. Potsiou // *Computers, Environment and Urban Systems*. – 2009. – Vol.33. – P. 64-74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2008.09.010>
13. Jakubiec J. A. A method for predicting city-wide electricity gains from photovoltaic panels based on LiDAR and GIS data combined with hourly Daysim simulations [Text] / J.A. Jakubiec, C.F. Reinhart // *Solar Energy*. – 2013. – Vol.93. – P: 127-143. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.03.022>
14. Jochem A. Area-wide roof plane segmentation in airborne LIDAR point clouds [Text] / A. Jochem, B. Höfle, V. Wichmann, M. Rutzinger, A. Zipf // *Computers, Environment and Urban Systems*. – 2012. – Vol. 36. No 1. – P. 54-64. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2011.05.001>
15. Jwa Y. A piecewise catenary curve model growing for 3D power line reconstruction [Text] / Y. Jwa, G. Sohn // *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. – 2012. – Vol.78. – No.12. – P. 1227-1240. DOI: <http://dx.doi.org/10.14358/PERS.78.11.1227>
16. Jwa Y. An implicit geometric regularization of 3D building shape using airborne LiDAR data [Text] / Y. Jwa, G. Sohn, W. Cho, V. Tao // *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. – 2008. – Vol. 37. – P. 69-75.
17. Kim K. Building footprints extraction of dense residential areas from LiDAR data [Text] / K. Kim, J. Shan // *Annual Conference of the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2011. – Vol. WI. – P. 193-198.
18. Kostrikov S. ELiT, multifunctional web-software for feature extraction from 3D LiDAR point clouds [Text] / S. Kostrikov, R. Pudlo, D. Bubnov, V. Vasiliev // *ISPRS International Journal of Geo-Information*. – 2020. – Vol.9. – No.11. – P. 650-885. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/ijgi9110650>
19. Kostrikov S. Geoinformation approach to the urban geographic system research (case studies of Kharkiv region) [Text] / S. Kostrikov, L. Niemets, K. Sehida [and other] // *Вісник Харківського національного університету імені*

- V. H. Karazina, seriya "Геологія. Географія. Екологія". – Вип. 49. – X.: ХНУ, 2018. – С. 107-121. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-09>
20. Kostrikov S. Urban environment 3D studies by automated feature extraction from LiDAR point clouds [Text] / S. Kostrikov, D. Vubnov, R. Pudlo // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія "Геологія. Географія. Екологія". – Вип.52. – X.: ХНУ, 2020. – С. 156-182. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-52-12>
 21. Kostrikov S. Urban remote sensing with LIDAR for the Smart City concept implementation [Text] / S. Kostrikov // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія "Геологія. Географія. Екологія". – Вип. 50. – X.: ХНУ, 2019. – С. 101-124. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-50-08>
 22. Kostrikov S. Urbogeosystemic Approach to Agglomeration Study within the Urban Remote Sensing Frameworks. Urban Agglomeration [Text] / S. Kostrikov, D. Seryogin / Edited by A. Battisti and S. Baiani. – London – Milan – Zagreb: INTECH Open. – 2022. – P. 1-23. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.102482>
 23. Lafarge F. Creating large-scale city models from 3D-point clouds: A robust approach with hybrid representation [Text] / F. Lafarge, C. Mallet // International Journal of Computer Vision . – 2012. – Vol.1. – P. 69-85. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11263-012-0517-8>
 24. Li Y. An improved building boundary extraction algorithm based on fusion of optical imagery and LIDAR data [Text] / Y. Li, H. Wu, R. An, H. Xu, Q. He, J. Xu // Optik. – 2013. – Vol. 124. – P. 5357-5362. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2013.03.045>
 25. Lu M. Accuracy of transmission line modeling based on aerial LiDAR survey [Text] / M. Lu, Z. Kieloch // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2008. – Vol.23. – No.3. – P. 1655-1663. DOI: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2007.911164>
 26. Lu Z. A volumetric approach to population estimation using Lidar remote sensing [Text] / Z. Lu, J. Im, L. Quackenbush // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2011. – Vol.77. – No.11. – P. 1145-1156. DOI: <http://dx.doi.org/10.14358/PERS.77.11.1145>
 27. Maas H. Two Algorithms For Extracting Building Models From Raw Laser Altimetry Data [Text] / H. Maas, G. Vosselman // Isprs Journal Of Photogrammetry & Remote Sensing. – 1999. – Vol. 54. – P. 153-163. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(99\)00004-0](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(99)00004-0)
 28. Maltezos E. Automatic extraction of building roof planes from airborne lidar data applying an extended 3d randomized hough transform [Text] / E. Maltezos, C. Ioannidis // ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2016. – Vol.III-3. – P. 209-216. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-annals-III-3-209-2016>
 29. Mason D.C. Use of fused airborne scanning laser altimetry and digital map data for urban flood modelling [Text] / D.C. Mason, M.S. Horritt, N.M. Hunter, P.D. Bates // Hydrological Processes. – 2007. – Vol. 21. – No.11. – P. 1436-1447. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.6343>
 30. McLaughlin R.A. Extracting transmission lines from airborne LiDAR data [Text] / R.A. McLaughlin // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. – 2006. – Vol.3. – No.2. – P. 222-226. DOI: <https://doi.org/10.1109/LGRS.2005.863390>
 31. Nan L. Polyfit: Polygonal surface reconstruction from point clouds / L. Nan, P. Wonka // Proceedings International Conference on Computer Vision. – 2017. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCV.2017.258>
 32. Nizar A. Reconstruction Of Buildings From Airborne Laser Scanning Data [Text] / A. Nizar, S. Filin, Y. Doytsher // ASPRS Annual Conference, Nevada. – 2006.
 33. Rottensteiner F. Automatic Generation of Building Models From LiDAR Data and the Integration of Aerial Images [Text] / F. Rottensteiner, C. Briese // ISPRS. – 2003. – Vol. 34. – P. 1335-1339. DOI: <https://doi.org/10.1109/MCG.2003.1242381>
 34. Sampath A. Clustering Based Planar Roof Extraction From LiDAR Data [Text] / A. Sampath, J. Shan // American Society For Photogrammetry And Remote Sensing Annual Conference, Reno, Nevada, May 1-6. – 2006. – P. 1-6
 35. Sampath A. Segmentation and reconstruction of polyhedral building roofs from aerial LIDAR point clouds [Text] / A. Sampath, J. Sham // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2010 – Vol.48. – No.3. – P. 1554–1567. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2009.2030180>
 36. Tarsha-Kurdi F. Hough-transform and extended RANSAC algorithms for automatic detection of 3d building roof planes from Lidar data [Text] / F. Tarsha-Kurdi, T. Landes, P. Grussenmeyer // IAPRSSIS – 2007. – Vol. XXXVI-3/W52 – P. 407-412.
 37. Tsubaki R. Unstructured grid generation using LiDAR data for urban flood inundation modelling [Text] / R. Tsubaki, I. Fujita // Hydrological Processes. – 2010. – Vol.24. – No.11. – P. 1404-1420. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.7608>
 38. Voegtle T. Airborne laser scanning data for determination of suitable areas for photovoltaics [Text] / T. Voegtle, E. Steinle, D. Tovari // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2005. – Vol.36. – P. 215-220.
 39. Webster T.L. Flood-risk mapping for storm-surge events and sea-level rise using lidar for southeast New Brunswick [Text] / T.L. Webster, D.L. Forbes, E. MacKinnon, D. Roberts // Canadian Journal of Remote Sensing. – 2006. – Vol. 32. – No.2. – P. 194-211. DOI: <https://doi.org/10.5589/m06-016>
 40. Weng A. Urban Remote Sensing, 2nd ed. [Text] / A. Weng, D. Quattrochi, P. Gamba (Editors). Boca Raton, USA: CRC Press, 2018. – 387 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781138586642>

41. Xiao Y. *Building segmentation and modeling from airborne LiDAR data* [Text] / Y. Xiao, C. Wang, J. Li [and other] // *International Journal of Digital Earth*. – 2014. – Vol. 8. – P. 694-709. DOI: <https://doi.org/10.1080/17538947.2014.914252>
42. Yan J. *Quality analysis on RANSAC-based roof facets extraction from airborne LIDAR data* [Text] / J. Yan, W. Jiang, J. Shan // *IAPRSSIS*. – 2012. – Vol. XXXIX-B3. – P. 367-372. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXIX-B3-367-2012>
43. Yan W.Y. *Urban land cover classification using airborne LiDAR data: a review* [Text] / W.Y. Yan, A. Shaker, N. El-Ashmawy // *Remote Sensing of Environment*. – 2015. – Vol.158. – P. 295-310. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.11.001>
44. Костріков С. Візуальний аналіз урбаністичного середовища як складова урбогеосистемного підходу [Текст] / С. Костріков, Д. Серьогін, В. Бережний // *Часопис соціально-економічної географії*. – 2021. – Вип.30(1). – С. 7-23. DOI: <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2021-30-01>
45. Костріков, С. В. Програмне забезпечення ГІС для LiDAR-технології дистанційного зондування в цілях аналізу урбогеосистем [Текст] / С. В. Костріков, Д. Л. Кулаков, К. Ю. Сегіда // *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. – 2014. – Вип. 19. – С. 45-52.
46. Серьогін Д.С. *Особливості та переваги ГІС-моделювання міського середовища на підставі лідарної інформації* [Текст] / Д.С. Серьогін, С.В. Костріков // *Регіон – 2020: стратегія оптимального розвитку: матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 8 – 9 жовтня 2020 р.)*. – Харків, 2020. – С. 34-36.

Principles of processing and three-dimensional modelling through lidar data for applied research of the urban environment

Denys Serohin,

PhD Student of the Department of Human Geography and Regional Studies,
V.N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

ABSTRACT

Introduction. The 3D modeling technology of the urban environment using LiDAR survey data expands the possibilities of urban research. With proper use of various methods, models and algorithms for processing and analyzing LiDAR data, they can significantly facilitate and open up new opportunities for many applications discussed in this paper.

The **main research objective** of the paper is to review methods for analyzing LiDAR survey data in urban studies and to present individual elements of the author's optimization of these methods.

Results. LiDAR data obtained as a result of laser scanning of the earth's surface from a certain vehicle form a three-dimensional terrain model in the point cloud form of varying density degrees. The post-processing of such data can branch out into many applications, which are discussed in this paper. The building extraction from a cloud of LiDAR points is performed using complex computational operations, the essence of which is to calculate the points of separate planes of the buildings roofs and then extract these points for 3D building modeling. There are many approaches to building extraction that aim to either improve the quality and accuracy of the extracted models or to speed up the data processing. Finding the optimal solution for 3D modeling of the urban environment is an urgent task in this area of research. Tracking changes in urban buildings involves comparing digital models of urban areas for different time periods in order to obtain the changes volume for each building. In a similar fashion, LiDAR data is used to assess damage to buildings by creating random points on the buildings walls and comparing their displacements before and after the damage. The population estimate using LiDAR data is based on a comparison of population data for census tracts with data on the number, area and volume of buildings in the same tracts obtained from processed LiDAR data. As a result, the expected population in each individual building can be calculated. Roads extraction from LiDAR data is performed by creating an image of the LiDAR laser pulse intensity and then comparing this image with a digital surface model. The article provides an example of a scheme for such road extraction. In addition, methods for extracting and mapping power lines by filtering the corresponding points are also considered. The ability to determine the exact size, slope, and exposure of a building's roof plane also makes it possible to estimate the potential level of solar radiation received by the roof, which can contribute to the optimal placement of solar power plants. Such an assessment may cause some difficulties, which are discussed in the article. The article proposes various optimization solutions for the considered methods, which were partially implemented in the ELiT software. In addition to effective tools for automatic data processing, the ELiT Project also provides an environment for high-quality visualization of results in a standard web-GIS interface.

Conclusions. LiDAR data, in combination with efficient algorithms for processing and filtering data, greatly facilitates the solution of a number of tasks related to area monitoring and urban planning. In the future, the high accuracy of LiDAR data and the possibility of their visualization in GIS will make it possible to analyze the urban development features in order to identify the urban geosystemic properties of the city.

Keywords: *LiDAR, GIS, LiDAR data processing, 3D modeling, urban remote sensing, automated feature extraction, urban geosystem, urban studies.*

References

1. Arrighi C., Brugiioni M. [and other]. (2013). Urban micro-scale flood risk estimation with parsimonious hydraulic modelling and census data. *Natural Hazards and Earth System Science*. 13(5), 1375-1391. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-13-1375-2013>
2. Awrangjeb M., Ravanbakhsh M., Fraser C.S. (2010). Automatic building detection using LIDAR data and multispectral imagery. *Proc. Digital Image Computing: Techniques and Applications*. Sydney. 45-51. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DICTA.2010.17>
3. Awrangjeb M., Zhang C., Fraser C.S. (2013). Automatic extraction of building roofs using LiDAR data and multi-spectral imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 83, 1-18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.05.006>
4. Borrmann D. Elseberg J. [and other]. (2011). The 3D hough transform for plane detection in point clouds: a review and a new accumulator design. *3D Research*. 2, 1-13. DOI: [http://dx.doi.org/10.1007/3DRes.02\(2011\)3](http://dx.doi.org/10.1007/3DRes.02(2011)3)
5. Dong P., Chen, Q. (Editors). (2018). *LiDAR Remote Sensing and Applications*. Boca Raton: CRC Press, 246. DOI: <http://dx.doi.org/10.4324/9781351233354>
6. Dong P., Guo H.D. (2012). A framework for automated assessment of post-earthquake building damage using geospatial data. *International Journal of Remote Sensing*. 33, 81-100. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2011.582188>
7. Dong P., Ramesh S., Nepali A. (2010). Evaluation of small area population estimation using LiDAR, Landsat TM and parcel data. *International Journal of Remote Sensing*. 31, 5571-5586. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2010.496804>
8. Dong P., Zhong R., Yigit A. (2018). Automated parcel-based building change detection using multitemporal airborne LiDAR data. *Surv. Land Inf. Sci.* 77, 5-13.
9. Dorninger P., Pfeifer N. (2008). A comprehensive automated 3D approach for building extraction, reconstruction, and regularization from airborne laser scanning point clouds. 8, 7323-7343. DOI: <https://doi.org/10.3390%2Fs8117323>
10. Fischler M.A., Bolles R.C. (1981). Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. *Communications of the ACM*. 24, 381-395. DOI: <https://doi.org/10.1145/358669.358692>
11. Huang H., Brenner C. (2011). Rule-based roof plane detection and segmentation from laser point clouds. *Urban Remote Sensing Event (JURSE)*. 293-296, DOI: <https://doi.org/10.1109/JURSE.2011.5764777>
12. Ioannidis C., Psaltis C., Patsiou C. (2009). Towards a strategy for control of suburban informal buildings through automatic change detection. *Computers, Environment and Urban Systems*. 33, 64-74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2008.09.010>
13. Jakubiec J. A., Reinhart C. F. (2013). A method for predicting city-wide electricity gains from photovoltaic panels based on LiDAR and GIS data combined with hourly Daysim simulations. *Solar Energy*. 93, 127-143. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.03.022>
14. Jochem A., Höfle B. [and other]. (2012). Area-wide roof plane segmentation in airborne LIDAR point clouds. *Computers, Environment and Urban Systems*. 36(1), 54-64. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2011.05.001>
15. Jwa Y., Sohn G. (2012). A piecewise catenary curve model growing for 3D power line reconstruction. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 78 (12) 1227-1240. DOI: <http://dx.doi.org/10.14358/PERS.78.11.1227>
16. Jwa Y., Sohn G., Cho W., Tao V. (2008). An implicit geometric regularization of 3D building shape using airborne LiDAR data. 37, 69-75.
17. Kim K., Shan J. (2011). Building footprints extraction of dense residential areas from LiDAR data. *Annual Conference of the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*. WI, 193-198.
18. Kostrikov S, Bubnov D, Pudlo R. (2020). Urban environment 3D studies by automated feature extraction from LiDAR point clouds. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 52, 156-182. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-52-12>
19. Kostrikov S. (2019) Urban remote sensing with LIDAR for the Smart City concept implementation. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series in Geology, Geography, and Ecology*, 50, 101-124. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-50-08>
20. Kostrikov S., Pudlo R., Bubnov D., Vasiliev V. (2020). ELiT, multifunctional web-software for feature extraction from 3D LiDAR point clouds. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 9(11), 650-885. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/ijgi9110650>
21. Kostrikov S., Seryogin D. (2022). Urbogeosystemic Approach to Agglomeration Study within the Urban Remote Sensing Frameworks. *Urban Agglomeration: INTECH Open*. 1-23, DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.102482>
22. Kostrikov, S., Niemets, L., Sehida, K. [and other]. (2018) Geoinformation approach to the urban geographic system research (case studies of Kharkiv region). *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series "Geology. Geography. Ecology"*, 49, 107-121. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-09>
23. Lafarge F., Mallet C. (2012). Creating large-scale city models from 3D-point clouds: A robust approach with hybrid representation. *International Journal of Computer Vision*. 1, 69-85. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11263-012-0517-8>
24. Li Y., Wu H., An. R [and other]. (2013). An improved building boundary extraction algorithm based on fusion of optical imagery and LIDAR data. *Optik*. 124, 5357-5362. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2013.03.045>

25. Lu M., Kieloch Z. (2008). Accuracy of transmission line modeling based on aerial LiDAR survey. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 23(3), 1655-1663. DOI: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2007.911164>
26. Lu Z, Im J, Quackenbush L. (2011). A volumetric approach to population estimation using Lidar remote sensing. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 77(11), 1145-1156. DOI: <http://dx.doi.org/10.14358/PERS.77.11.1145>
27. Maas H., Vosselman G. (1999). Two Algorithms For Extracting Building Models From Raw Laser Altimetry Data. *Isprs Journal Of Photogrammetry & Remote Sensing*. 54, 153-163. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(99\)00004-0](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(99)00004-0)
28. Maltezos E., Ioannidis C. (2016). Automatic extraction of building roof planes from airborne lidar data applying an extended 3d randomized hough transform. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. III-3, 209-216, DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-annals-III-3-209-2016>
29. Mason D.C., Horritt M.S., Hunter N.M., Bates P.D. (2007). Use of fused airborne scanning laser altimetry and digital map data for urban flood modelling. *Hydrological Processes*. 21(11), 1436-1447. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.6343>
30. McLaughlin R.A. (2006). Extracting transmission lines from airborne LiDAR data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. 3(2), 222-226. DOI: <https://doi.org/10.1109/LGRS.2005.863390>
31. Nan, L., Wonka, P. (2017). Polyfit: Polygonal surface reconstruction from point clouds / L. Nan, P. Wonka // *Proceedings International Conference on Computer Vision*. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCV.2017.258>
32. Nizar A., Filin S., Doytsher Y. (2006). Reconstruction Of Buildings From Airborne Laser Scanning Data. *ASPRS Annual Conference, Nevada*.
33. Rottensteiner F., Briese C. (2003). Automatic Generation of Building Models From LiDAR Data and the Integration of Aerial Images. *ISPRS*. 34, 1335-1339. DOI: <https://doi.org/10.1109/MCG.2003.1242381>
34. Sampath A., Jie Shan. (2006). Clustering Based Planar Roof Extraction From LiDAR Data. *ASPRS Annual Conference, Reno, Nevada*.
35. Sampath A., Shan J. (2010). Segmentation and reconstruction of polyhedral building roofs from aerial LIDAR point clouds. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 48(3), 1554-1567. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2009.2030180>
36. Tarsha-Kurdi F., Landes T., Grussenmeyer P. (2007). Hough-transform and extended RANSAC algorithms for automatic detection of 3d building roof planes from Lidar data. *IAPRSSIS*. XXXVI-3/W52, 407-412.
37. Tsubaki R., Fujita I. (2010). Unstructured grid generation using LiDAR data for urban flood inundation modelling. *Hydrological Processes*. 24(11), 1404-1420. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.7608>
38. Voegtle T., Steinle E., Tovari D. (2005). Airborne laser scanning data for determination of suitable areas for photovoltaics. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 36, 215-220.
39. Webster T. L., Forbes D.L., MacKinnon E., Roberts D. (2006). Flood-risk mapping for storm-surge events and sea-level rise using lidar for southeast New Brunswick. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 32(2), 194-211. DOI: <https://doi.org/10.5589/m06-016>
40. Weng A, Quattrochi D, Gamba P. (Editors). (2018). *Urban Remote Sensing*, 2nd ed. Boca Raton, USA: CRC Press, 387. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781138586642>
41. Xiao, Y., Wang, C. Li, J. [and other]. (2014). Building segmentation and modeling from airborne. *International Journal of Digital Earth*, 8, 694-709. DOI: <https://doi.org/10.1080/17538947.2014.914252>
42. Yan J., Jiang W., Shan, J. (2012). Quality analysis on RANSAC-based roof facets extraction from airborne LIDAR data. *IAPRSSIS*. XXXIX-B3, 367-372. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXIX-B3-367-2012>
43. Yan W.Y., Shaker A., El-Ashmawy N. (2015). Urban land cover classification using airborne LiDAR data: a review. *Remote Sensing of Environment*. 158, 295-310. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.11.001>
44. Kostrikov S., Serohin D., Berezhnoy V. (2021). Vizualnyi analiz urbanistychnoho seredovyshcha yak skladova urboheosystemnoho pidkhotu. *Human Geography Journal*, 30(1), 7-23. DOI: <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2021-30-01>
45. Kostrikov, S., Kulakov, D., Sehida, K. (2014). Programme zabezpechennya GIS dlya LiDAR-technologiei dustantsiijnogo zonduvannya v tsilyah analizu urbogeosystem [GIS-software for the urban geosystem analysis with LiDAR-technique]. *Proceedings of GIS Forum*, 19, 45-52.
46. Serohin D.S., Kostrikov S.V. (2020). Osoblyvosti ta perevahy GIS-modeliuvannya miskoho seredovyshcha na pidstavi lidarnoi informatsii. *Region 2020: Human-Geographical aspects. Proceedings of the International Conference for young scientists and post-graduate students*. Kharkiv, 34-36.

Received 17 June 2022

Accepted 6 July 2022

Lean-logistics in constructive geography: theoretical and methodological foundations

*Viktoriia Udovychenko*¹,

DSc (Geography), Associate Professor, Geography of Ukraine Department,

¹Taras Shevchenko National University of Kyiv, Faculty of Geography,

64/13 Volodymyrska St., Kyiv, MSP-01601, Ukraine,

e-mail: udovychenko.vv@knu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4588-8149>;

*Iryna Udovychenko*²,

DSc (Pedagogy), Professor,

Vice-rector for scientific-pedagogical and methodological work,

²Sumy Regional Institute of Postgraduate Pedagogical Education,

5 R-Korsakova St., Sumy, 40007, Ukraine,

e-mail: hafran@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0002-1980-5402>

ABSTRACT

Research problem introduction. The main research goal of this paper is to provide the lean-logistics geosystem research concept as a contemporary approach of constructive geography closely connected with industry as a part of the service sector based on leading scientific principles, GIS-technologies and remote sensing data processing software involvement, and to give some details about this concept applied implementation. All these arguments allow us to specify and to study in-depth the peculiarities, key types, and specificities of the lean-logistics.

In this paper, Lean-logistics is **understood** as an environmental service that helps to improve biodiversity and a stable environment. Lean-logistics itself can be developed as a type of modelling land use and land management activities. This activity can be even thought of as educational innovation with nature-based solutions.

The key geographic-centered ideas of the concept of Lean-logistics are integration, engineering, economization, ecologization, socialization, and humanization of modern human activities.

The methodological basis of Lean-logistics is presented by three sections, such as Section I. Theory of logistics (for instance, such aspects as general characteristics of logistics and its key features, Varieties of logistics and its classification, Lean logistics as a science: its place in logistics, key distinct features, etc.), Section II. Applied logistics (with such aspects as Military logistics, Business logistics, Environmental logistics, Urban logistics, and Logistics services), and Section III. Logistical construction (Lean-construction of commodity flows and Lean-construction in the field of services).

The practical basis of Lean-logistics is formed by logic modelling (studios). Logic modelling in Lean-logistics are called *logistics studios* and are understood as a form of active practical activities of researchers.

Summarizing and generalizing key ideas discussed in the text, the authors underline that **the conceptual framework** of the lean-logistics geosystem research is based on the implementation of four cross-cutting lines such as environmental security and sustainable development, health and safety, civic responsibility, business undertaking, and financial literacy. All of them aimed at forming a conscious citizen, all areas of activity of which are permeated by logistics chains.

Concluding the research, the authors emphasize that the lean-logistics concept may be quite useful within the proposed content of Lean-logistics as a page navigator E-collection in the form of a book trailer. Some pages of it contain examples of the multimedia scrapbook of interactive exercises (deal with some definite sections and/or topics) which are presented using the Print Screen-visualization of the logistics lotto. The use of such tools, forms, technologies, techniques in the study of the content of "Lean-logistics in geography", as E-collection, book-trailer, hotlist, multimedia scrapbook, mind mapping software, QR-coding, Print Screen-visualization, with active use of GIS, educational Internet services, modernizes the learning process and with systematic use in practice makes them necessary and appropriate in the knowledge about geography and constructive geography.

Keywords: *logistics, Lean-logistics, constructive geography, theory, methodology, practice, theoretical background, lean-logistics practices, lean-logistics scrapbook.*

In cites: Udovychenko Viktoriia, Udovychenko Iryna (2022). Lean-logistics in constructive geography: theoretical and methodological foundations. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (57), 234-250. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-18>

Research problem introduction. According to the United Nations Department of Economic and Social Affairs, more than half of the world's population lives in cities today, and by 2050 the share of urban residents will increase and exceed 66%. At the same time, studies and estimations of the United Nations experts (<http://esa.un.org/>) are highly relevant to the idea that if the whole world population continue to

grow up, we may face the largest urban growth wave throughout the whole mankind history, which also concurs with the drastically rapid development of the logistics systems as well as information technologies, computer sciences, and geoinformatics. It is also a well-known fact that within several last decades the world has been transforming rapidly into a globalized information society. We may also accept that this

period of time has been featured by the continuing urbanization, infrastructure, and services process development in many countries. The problem of studying the mutual influence of all of them in constructive geography is very important because infrastructure development can be a factor in the development of certain industries in the service sector, and vice versa, the development of the service sector may stimulate infrastructure development to increase profits from the joint activity. Though, all mentioned factors have been continuing to influence developing logistics as an interconnected system in which different human activities are interrelated. Taking into account all mentioned aspects, it is thought that studying logistics and its environmentally based types is a very important contemporary scientific approach, especially in constructive geography for the purpose of territory planning implementation.

Recent research and publications analysis.

For several recent decades, it has been recognized by many researchers that with the world population and urban growth more and more cities are operating and developing external and/or internal urban geosystems as more and more complicated [17] by logistics system [3, 7, 14, 25]. This complexity is also a key feature of the contemporary urbanization process that circumstance requires to be evaluated by taking into account not only spatial but purely geographic issues as well as according to the consideration a city as an urban geographic system entity (an external and/or internal urbogeosystem) [16, 17], which operates within a certain extent of the geographic space by logistics.

Another approach [27] for categorizing the forms of volatility and the world's organizing as a category of human and geographical knowledge is described in the context of human population connections and movements in relation to its social activities. For instance, based on the study of the transport networks in the Carpathian region of Ukraine, definitions of the concepts of a multimodal transport line, a multimodal route, a multimodal transport node, and related concepts have been given, the topology of the motor transport network and classification of the transport nodes have been carried out, the international transport corridors of the region in connection with the multimodal routes have been studied [28]. Transport is considered through various levels [22], including the level of interstate regulation, national government and how this affects forms of tourism, as well as marketing and management of transport operations.

Also increasing attention has been paid to distinct methodical in logistics aspects which were mentioned and depicted in some publications:

- vehicles analyzes which are used by the largest tour operators (in Poland), that based on in-depth

analysis and use of tourism and transport resources [22], a large concentration of services for organized tourist traffic on a small number of wholesale transport intermediaries in the context of the analysis the leisure travel market as the early stages of development, and provides conclusions about the future of transport and tourism, including the management of environmental impacts and new forms of tourism related to the transport;

- the method of numerical estimation of transport and logistics potential index is proposed, and transport and logistics index has been calculated [12];

- the graph of the multimodal routes creation and the motor transport microposition in urban settlements analyzing are presented [30];

- a system of geographic and mathematical models of the hotel industry of the region, a method for calculating the integral indicator and relative indicators of the first and second levels of hotel establishments of the district for absolute indicators processing has been developed [29];

- a GIS which is used every day by everyone in the world for various, both routine and complicated operations with different spatial data formats, e.g. scanned images and their processing applications, vector map data – roads, rivers, contours; digital elevation models; raster map; aerial photos, satellite images; engineering data (surface and subsurface, etc.) [15, 17, 18];

- one innovative applied derivative solution – 3D City Cadaster, which intended to resolve complex property [17] and infrastructural situations, in which a traditional 2D digital cadaster is rather limited [1];

- the relations between transport and logistics activities and characteristics of the graph of the motor transport network [30].

The relevant methodological approach had been created [3, 4, 14], as well as the introduction of a GIS and GIS technique [6, 23, 24, 26] which was involved in logistics studies [5, 23]. Only somewhat later a GIS became a routine tool for municipal planning and logistics studies [5, 8], and a sustainable part of both ambitious developing programs [2, 5], as well as a subject of the university agenda for the time being [5]. Nowadays, GIS applications are largely used in transportation systems and logistics for territory planning [5] by using such approaches as Smart growth index (EPA), CommunityViz (“what if” scenarios & growth strategies), GIS for urban and regional planning case studies (ESRI), 3D analysis in GIS for transportation planning, Transportation injury mapping system (TIMS), Integration and application of GIS into pandemic flu response.

Distribution of logistic companies, the main logistical centers within them have been identified [12] as well as transport and distribution logistics subjects,

railway and automobile networks, features of the railway and automobile cargo flows have been studied.

Some types of transportation and their network, logistic mechanisms of international tourism activity within definite regions were presented in the context of studying factors of development of international tourism, characteristics of international tourist flows and financial flows in international tourism, the influence of international transport corridors on the development of logistics of international tourism [20], an impact on transport and logistics activities on landscapes [30], a direct relationship between global tourism growth and a significant increases of transport networks [10], GIS-data operating within the tradition of digital data handling and spatial representation at all levels – global, national, regional [11, 13, 28, 32] and local [32].

On the other hand, there is still a lack of fundamental research of logistics and its types as a useful aspect of nature orientated activities with only a few exceptions, which would combine the strong spatial aspect of the urban system analysis [17] with the GIS application advantages, and study of the transport networks in the Carpathian region of Ukraine, the problems of their territorial organization [28], while, for example, a general trend of the system approach, in the research of both logistics, and environmental systems were conclusively outlined in the subject literature [21, 25].

The relevant illustration from papers, we have just mentioned and referred to, has been used by the authors as the background for outlining the reasons for the lean-logistics concept introduction. The key reasons for this are: 1) drastically changes of spatial characteristics of logistics; 2) development of logistics process which leads to more and more complicated infrastructure appearance, while logistics territories have been enlarged with a high speed; 3) fast-growing regions with extensive urban constructions which lead to extensive roads constructions; 4) more complicated techniques which are used for infrastructural objects creation; 5) logistics systems studies development and importance to nature/landscapeological based methods introduced within it; 6) a need for precise environmental surveys and accurate terrain models for regional planning and related spatial data processing (Fig. 1).

The main **research goal** of this paper is to provide the lean-logistics geosystem research concept as a contemporary approach of constructive geography closely connected with industry as a part of the service sector based on leading scientific principles, GIS-technologies and remote sensing data processing software involvement, and to give some details about this concept applied implementation as a definite aspect of regional and landscape/territory planning. All these arguments allow us to specify and to study in-depth the peculiarities, key types, and specificities of

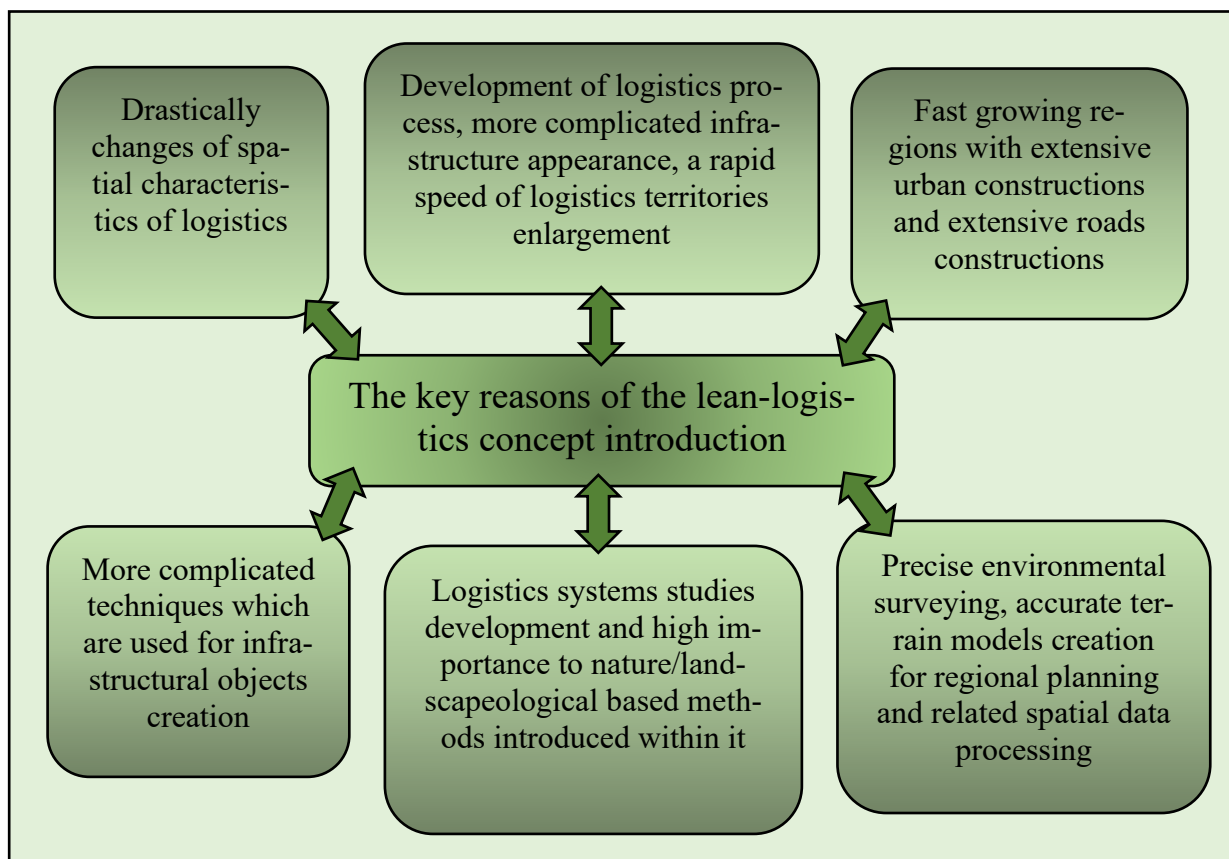


Fig. 1. The reasons outlining of the lean-logistics concept introduction
(The figure is completely the authors' original one)

the lean-logistics.

Our paper recognizes the conceptual research approach relevant to the lean-logistics geosystem, its data geoprocessing, modelling, and visualizing on the basis of either open or municipal attributive data. It is obvious that an emphasized spatial aspect of the lean-logistics research implies the geospatial procedures, tools, and operations involvement, which we attempt to examine briefly in the text below.

Results.

The conceptual framework of the lean-logistics geosystem research is based on the implementation of four *cross-cutting lines* [34] such as environmental security and sustainable development, health and safety, civic responsibility, business undertaking, and financial literacy (Fig. 2). All of them aimed at forming a conscious citizen, all areas of activity of which are permeated by logistics chains. That is why it is logical to pay much more attention to this issue especially in the context of constructive geography development.

The mentioned above conscious citizens and rapid urbanization growth allow us to accept consideration of a city as an urban geographic system entity that operates within a certain extent of the *geographic space by logistics*.

We accept the concept of logistics as the core part of the broader constructive geography methodology within which it is understood as a totality of linear objects that determine types of interactions between some dotted elements of external and/or internal urban geosystems (Fig. 3).

We understood *lean-logistics* as an environmental service that helps to improve biodiversity and a stable environment. Lean-logistics itself can be developed as a type of modelling land use and land management activities (Fig. 4). This activity can be even thought of as educational innovation with nature-based solutions.

The key *geographic-centered ideas* of the concept are integration, engineering, economization, ecologization, socialization, and humanization of modern human activities (see Fig. 2). The last one is thought of as a pragmatic one. That is why one more key idea can be added – the idea about a new form of study in constructive geography – logic studios/modelling.

The leading *purpose* of studying logistics in general and lean-logistics, in particular, is an improve ideas about logistics flows and establish the concept of logistics. In this context, logistics is thought of as a science-based on integrated and complex approaches in the formation of geographical thinking and a holistic worldview.

The key *objectives* of lean-logistics in constructive geography are (see Fig. 2):

- to improve and deepen the geographical, economic, social, and social-cultural aspects of the concept of logistics as a science;
- to study the history of logistics and stages of its development;
- to study functions of logistics, its role, and place in various spheres of human life;
- to classify and study types of logistics and logistics flows;
- to develop focusing on the individualization and independence in the process of making logistics decisions;
- to develop identification of individual logistics skills and abilities of specialists, to cultivate a culture of their communication; to develop an idea about conditions needed for them to realize themselves as logisticians;
- to develop geographical, spatial, and creative thinking of logisticians [31];
- to form and develop a geographical, economic, ecological culture and comprehensive geographical worldview of logisticians.

The methodological basis of lean-logistics is formed by three sections, such as Section I: Theory of logistics, Section II: Applied logistics, Section III: Logistical construction (see Fig. 2). For instance, Section I “Theory of logistics” includes such aspects as general characteristics of logistics and its key features, Varieties of logistics and its classification, Lean logistics as a science: its place in logistics, key distinct features, etc. Section II “Applied logistics” deals with such aspects as Military logistics, Business logistics, Environmental logistics, Urban logistics, and Logistics services. Section III “Logistical construction” means Lean-construction of commodity flows and Lean-construction in the field of services (explanations for all of them see below).

The practical basis of lean-logistics is formed by logic modelling. Logic modelling in lean-logistics also can be called *logistics studios* and understood as a new form of active practical activities of researchers.

The content of lean-logistics, depicted in the context of four cross-cutting lines (environmental security and sustainable development, civic responsibility, health and safety, business undertaking, and financial literacy), includes the concept of logistics, its history, stages of development, functions, types, roles, and places in human life, practical skills of applied modelling. It deals with the use of logistic knowledge and introduction to word circulation of such concepts, as (see also Fig. 2):

- ✓ *logistics* as planning, management, control, regulation of the movement of material and related information flows in space and time, starting from the primary source and ending with the place of final consumption;

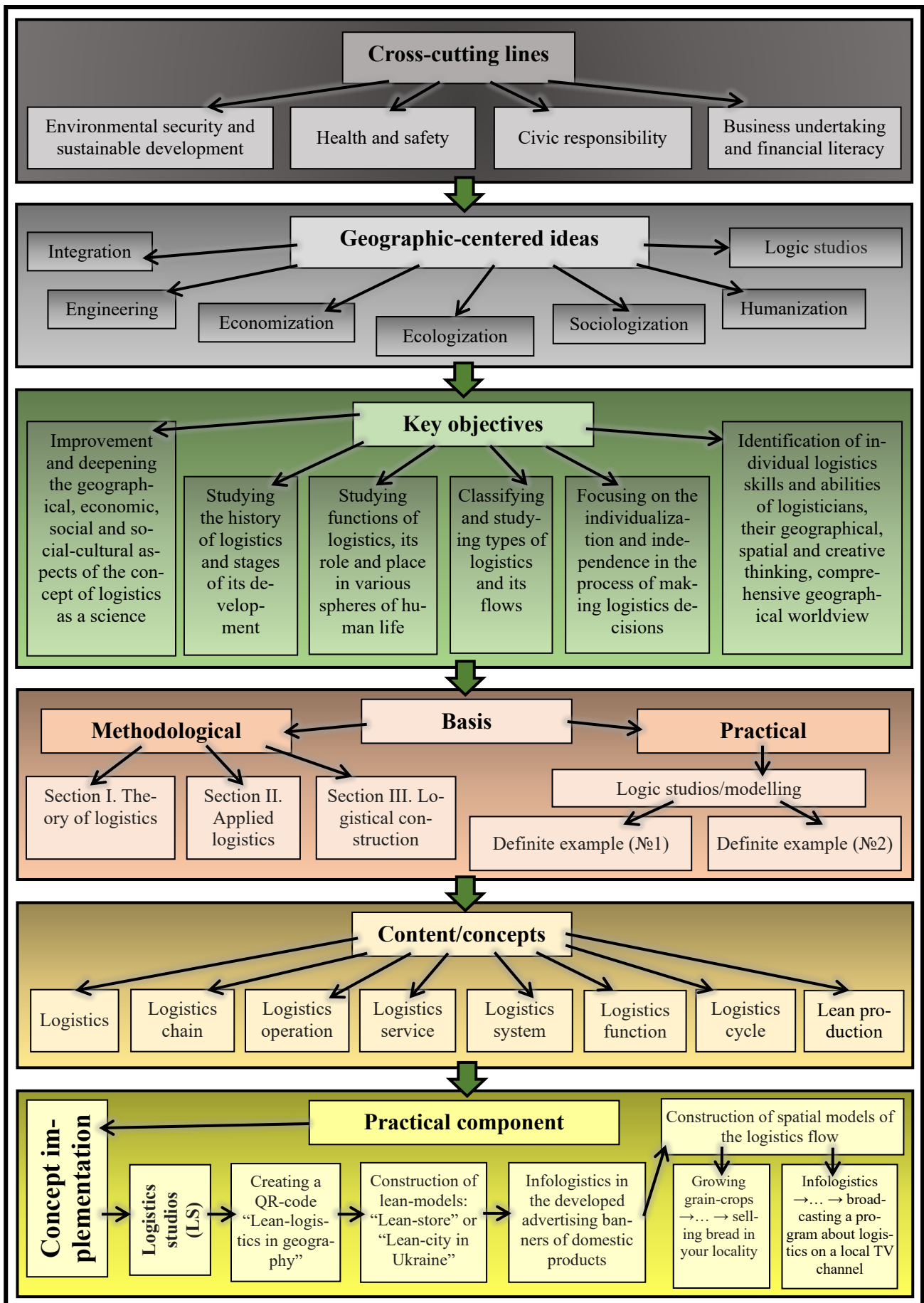


Fig. 2. The lean-logistics conceptual aspects (The figure is completely the authors' original one)

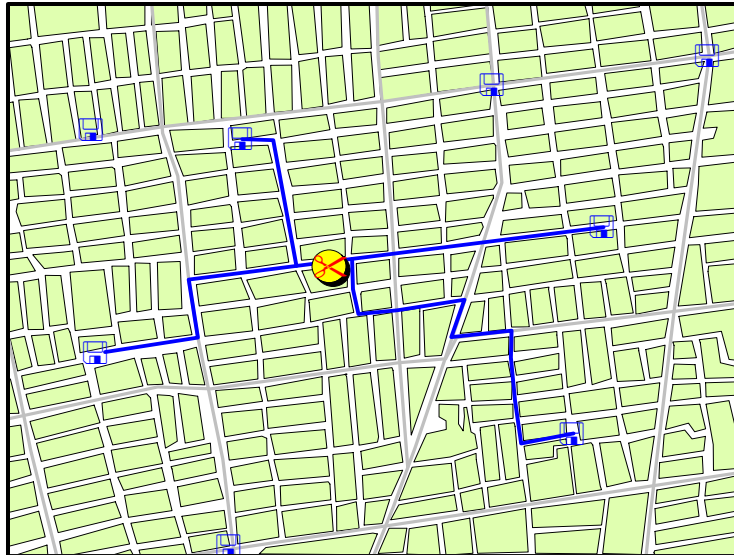


Fig. 3. Closest facilities model (when the lean-logistics is much more than transportation)
(This illustration content was originally combined by the authors of this paper)

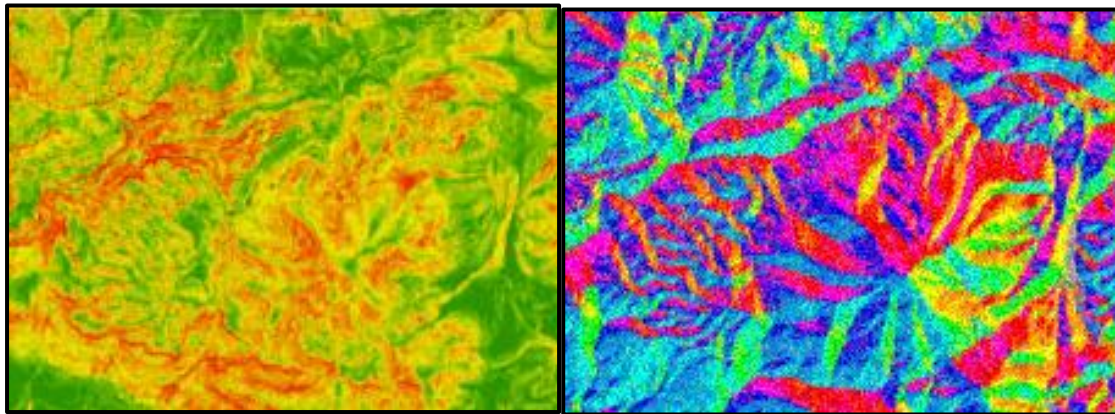


Fig. 4. Landscape structure modelling basis and surface analysis for use slope and their aspects
in lean-logistics as an environmental service
(This illustration content was originally combined by the authors of this paper)

- ✓ *logistics chain* as a linearly ordered set of participants in the logistics process, which carry out logistics operations to bring the external flow from one logistics system to another;
- ✓ *logistics operation* as a separate set of actions for the implementation of logistics functions, aimed at transforming the material and/or information flow;
- ✓ *logistics service* as a set of logistics operations that provide maximum demand for consumers in the management process of logistics flows at the optimal level of costs;
- ✓ *logistics system* as an organizational and structured interconnection of elements-links, which are united by internal and external goals;
- ✓ *logistics function* as a set of grouped logistics operations aimed at achieving the goals of the logistics system;
- ✓ *logistics cycle* as a period of time between ordering and delivery of ordered products (services);
- ✓ *lean-production* which is understood as a management concept based on the optimization of business (production, services) to minimize losses with maximum focusing on the consumers (their demands, needs).

Thus, a geographer-logistician needs to develop both a reliable **research approach** and advanced innovative **technological tools** to identify the nature and spatial peculiarities of the logistics process in a given area. We accept that this concept methodology and its applied derivative solutions are widely using GIS tools: meets the necessity for more efficient *logistics mapping*, *infrastructure understanding*, and *municipal management* as a result. Practical additions to the proposed below the content of Lean-logistics in constructive geography are a page navigator E-collection in the form of a book trailer which contains examples of the multimedia scrapbook of interactive exercises (deal with some definite sections and/or topics) which are presented

using the Print Screen-visualization of the logistics lotto and such tools, forms, technologies as E-collection, book-trailer, hotlist, multimedia scrapbook, mind mapping software, QR-coding, Print Screen-visualization, with active use of GIS tools, educational Internet services, etc.

All mentioned domains may be combined in one innovative development – *3D Roads Cadaster*, intended to resolve those complex property and infrastructural situations, in which a traditional *2D digital cadaster* is rather limited. The last one derives from the point of view that the new virtual and spatial images elaboration with all GIS-data extend our

“world” and allow us to think about logistics and infrastructure in many remarkable ways. In this context, GIS data operating is simply one part of a larger tradition of digital data handling and spatial representation at all levels – global, national, and local [9, 19].

GIS applications can be largely used in transportation systems and logistics for territory planning by using such innovative approaches as *Smart growth index* (EPA), *CommunityViz* (“what if” scenarios & growth strategies), *GIS for urban and regional planning case studies* (ESRI), *3D analysis in GIS for transportation planning*, *Transportation injury mapping system* (TIMS), etc. (Fig. 5).

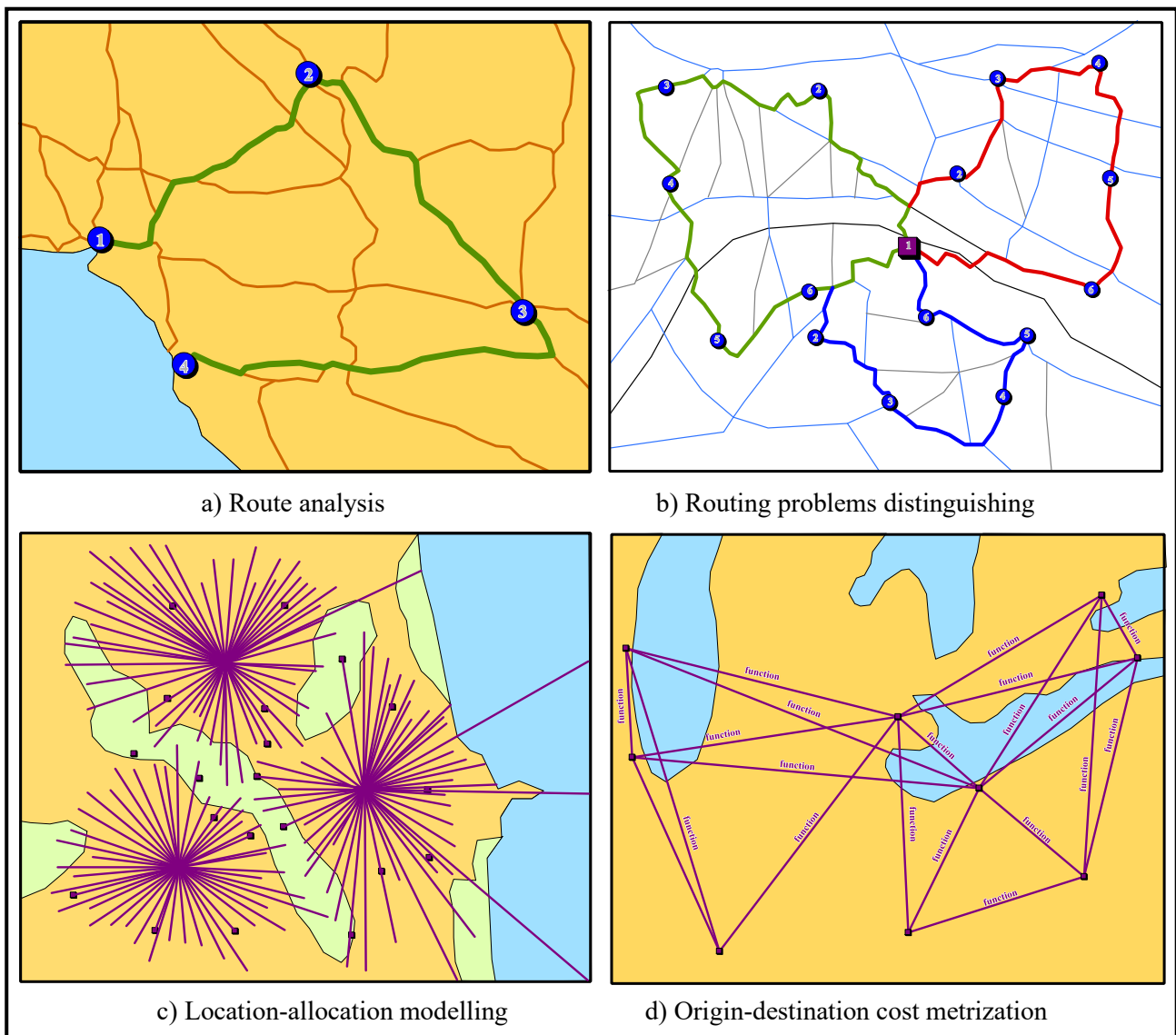


Fig. 5. GIS approaches in transportation systems and logistics modelling for territory planning
(This illustration content was originally combined by the authors of this paper)

Here we agree with [17] that the advanced GIS applications are able to solve the partial differential equations of the unsteady urban and logistics area expansion and relevant population movement by numerical techniques and describe properly different

spatial regularities of logistics types based on the models developed.

Implementation of the content of the Lean-logistics involves the use of *logistics studios* and such its elements as active and interactive forms of practical

activities of researchers while modelling some processes. In order to implement the practical component of the Lean-logistics, a new form of work – logistics studios modelling (*logistudio*) (see also Fig. 2) is proposed as a means of active learning and pragmatic form of creative activities to practice logistics skills. According to the structure of the Lean-logistics, 5 such studios are offered. All of them due to the framework nature of the lean-logistics components can be done creatively because logisticians can implement its content, selecting needed objects of study, K-direction tasks [33], and appropriate case study examples at the regional level.

Let's have a look at the tentative content of the Lean-logistics in constructive geography in the context of the implementation of cross-cutting content lines with a projection on the results of creative modelling activities of logisticians.

In an "Introduction" we propose to look at the meaning of "logistic", and study logistic as a science (Fig. 6a), logistics as an industry (function) of a corporation, symbolism of the image of the logistics business, the cognitive and constructive-geographical role of the logistics in the modern world, logistics in geography and in constructive geography, sources of knowledge about logistics.

In the context of an introductory part implementation we propose to accomplish *logistudio* №1 – Creating a QR-code "Lean-logistics in geography". The last one should depict and explain information about the meaning of "logistics", the importance of logistics in geography and constructive geography, the key features of logistics as a science and industry (function) of a corporation; give examples of sources of knowledge about logistics and symbolic image of the logistics business, determine the cognitive and constructive role of logistics in the modern world and in constructive geography, evaluate the practical significance of logistics for humans.

This part of the lean-logistics studying deals with such cross-cutting lines mentioned above as formation of a lean attitude to the environment and environmental safety, awareness of the importance of sustainable development and the constructive role of the logistics in the modern world; formation of a tolerant member of society through collective work by means of a logistics studios; formation a secure logistics environment around us; providing logisticians with a better understanding of the practical aspects of the logistics, their own logistics capabilities.

In Section I. "Theory of logistics" we propose to look at three next aspects: 1) General characteristics of logistics, 2) Varieties of logistics, 3) Lean logistics.

For instance, *Aspect I.1. General characteristics of logistics* deals with meaning, understanding and studying such concept as logistics system, logistics chain, logistics operation, object of logistics operati-

ons, origin and history of the term "logistics", stages of logistics development, and logistics functions (Fig. 6b). This aspect depicts and explains information about the meaning of the concepts "logistics system", "logistics chain", "logistics operation", give definite examples of objects of logistics operations and characteristics of the stages of logistics development, describe the functions of logistics; determine logistics own judgments about the object of logistics operations in geography and constructive geography, logisticians awareness about the applied value of knowledge in logistics. This part of studying deals with such cross-cutting lines as the formation of critical thinking about the prospects of environmental development in the context of the functioning of logistics systems, formation of a tolerant attitude to peers in making judgments about the importance and object of logistics operations in geography, and implementation of tasks on security and risks of logistics operations, the development of the ability of logisticians to operate successfully in a rapidly changing technological environment.

Aspect I.2. Varieties of logistics depicts types of logistics, classification groups of logistics, military logistics, business logistics, material and information flows in logistics, logistics costs, urban logistics, ecological logistics, and tasks and problems of logistics in the world, in geography and in constructive geography. This aspect deals with the explanation of information about the meaning of the concept of "logistics costs", the classification types of logistics groups, differences between the key types of logistics, the essence of the military, environmental, urban, and business logistics (Fig. 6c); the key characteristics of logistics costs; differences between material, and information flows; comparison the problems of logistics in the world and geography; awareness about the feasibility of implementation of "lean-"direction in environmental, urban, business and military logistics. This part of studying deals with such cross-cutting lines as forms of social activity, ecological consciousness by means of military, urban, ecological, and business logistics; formation of a tolerant, responsible member of society by means of military logistics; performing practical tasks with data operation on safety and health, material and information flow of logistics in the world, in geography, and in constructive geography; providing logisticians with an understanding of the practical aspects of financial issues by means of business logistics, solving practical problems to determine logistics costs (see Fig. 3).

Aspect I.3. Lean-logistics depicts thrifty (lean) production, basic principles of lean-production, history of lean-production (Fig. 6d), the key aspects of lean-production, methods and concepts of lean-production, types of lean-production costs, industry opti-

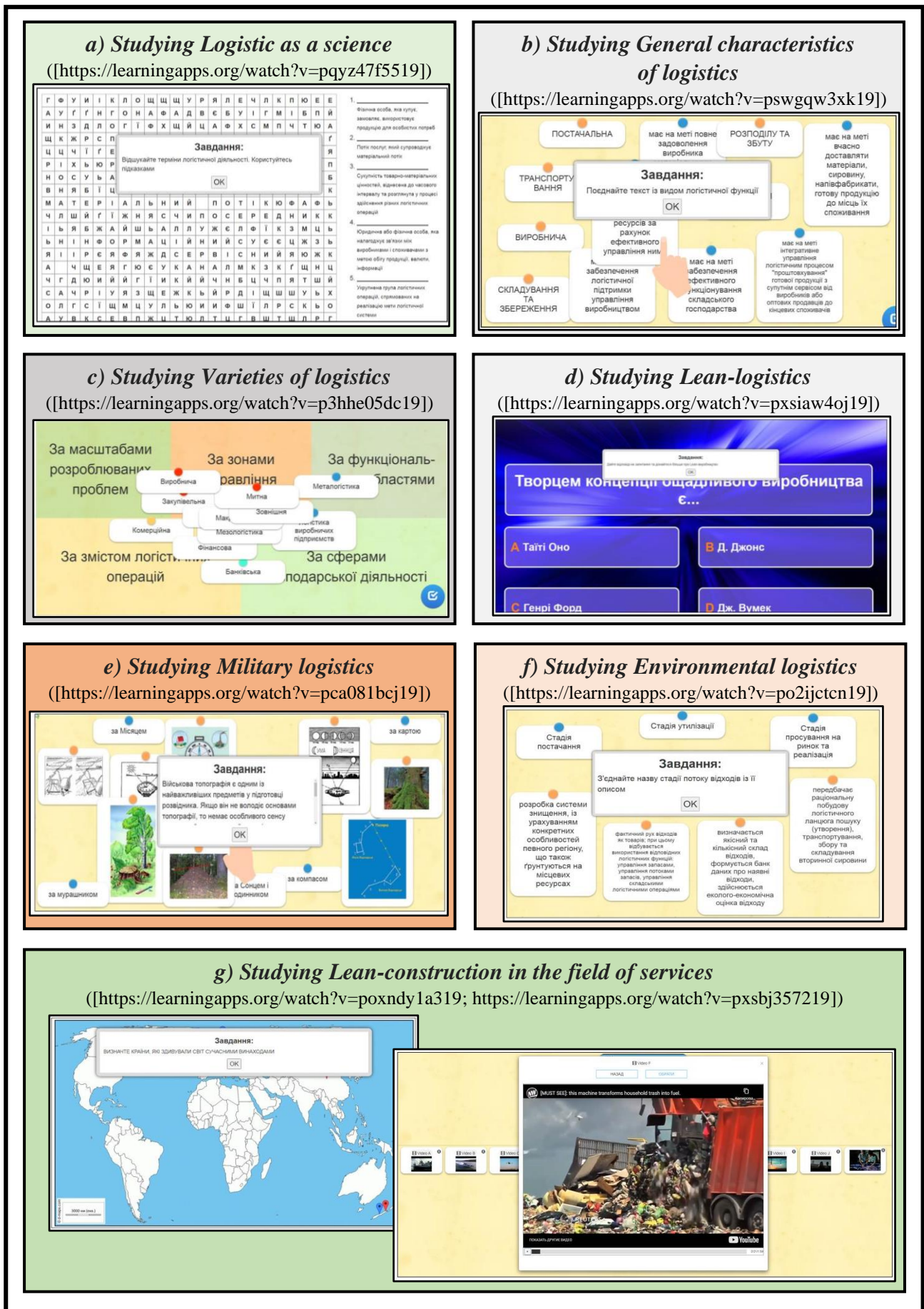


Fig. 6. Examples of the pages of the E-collection “Lean-logistics in geography”
 (The figure is completely the authors’ original one)

ons for lean-productions, lean-logistics, thrifty health care, lean-mail, lean construction, thrifty management, lean-city. In the context of this aspect imple-

mentation, we propose to accomplish logistudio №2 – Construction of lean-models: “Lean-store” or “Lean-city in Ukraine” (Fig. 7).

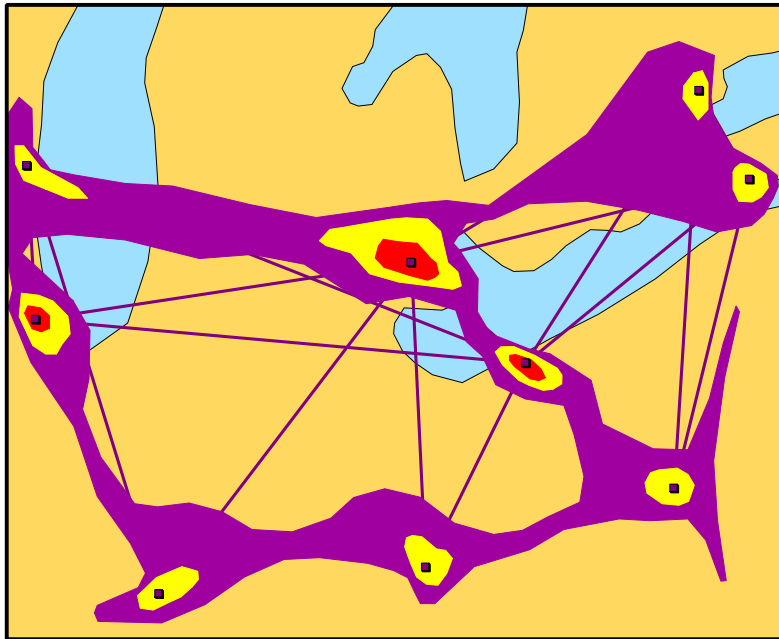


Fig. 7. Example of business analyst in lean-logistics customer segmentation for territory planning
(This illustration content was originally combined by the authors of this paper)

All together Aspect I.3 deals with information about the meaning of “lean-logistics”, the origin and history of lean-productions, features of lean-production, giving examples of lean-productions in the world and in Ukraine, concepts, and methods of lean-production. Also, it takes into account such components as the basic principles of lean production, characteristics of the main aspects of lean production, substantiation of the types of costs of lean-production; industry’s options for lean production; projects of lean-shop, lean-mail, lean-city creation, and modelling; determination: the role of lean logistics in the world, the importance of economical production, lean-construction, lean-management, lean-health care for humans; evaluation the practical significance of the lean-city (post office, store) for human life, the importance and prospects of lean-logistics in Ukraine. This part of studying deals with such cross-cutting lines as fulfillment of logistical tasks on modelling of lean-city, lean-production, lean-shop, etc.; formation of civic tolerance by means of a logistics studios; performing tasks with data operation about economic health care, practical exercises for modelling lean-productions, lean-city, lean-shop, lean-mail, etc.; the formation practical skills in calculating the costs of lean-production, recognizing industry options for lean-production, modelling cost-effective construction and providing logisticians with a better understanding of practical aspects of logistics, logistics aspects of financial issues (savings, investment, insurance, loan, credit, etc.).

In Section II. “Applied logistics” we propose to look at five next aspects: 1) Military logistics, 2) Business logistics, 3) Environmental logistics, 4) Urban logistics, 5) Logistics’ services.

For instance, *Aspect II.1. Military logistics* deals with meaning, understanding, and studying such a concept as “Military logistics” as a type of logistics, history of military logistics, logistics system of military logistics, military logistics flows in history and modernity, rear provision, logistics in topography (Fig. 6e), elements of military logistics in the geography of settlement of continents and land conquest. This aspect deals with the explanation of information about the meaning of the concept of “military logistics” and understanding its importance, the history of military logistics, the system of military logistics and rear logistics provision, the military logistics flows in the historical perspective, the instruments of obtaining logistical information from topographic maps, examples of military logistics currents of modernity; the importance of knowledge of military logistics for peaceful purposes, adhering the peaceful coexistence. This part of studying deals with such cross-cutting lines as the formation of logisticians’ responsibility for sustainable peaceful coexistence in society; a tolerant attitude to others, a conscious citizen by means of studying military logistics; fulfillment of practical tasks with elements of military logistics in topography, geography settlement of continents and land conquest; the use of knowledge of military logistics for business undertaking benefit and financi-

al literacy increase.

Aspect II.2. Business logistics depicts logistics systems of business logistics, logistics management tasks, purchasing logistics, distribution logistics, obtaining logistics, transport logistics, customs logistics, logistics of reserves, storage facilities logistics, infologistics, complex logistics, logistics flows of business logistics, lean-business-logistics, business logistics in the Ukrainian economy. In the context of this aspect implementation, we propose to accomplish *logistudio №3* – “Infologistics in the developed advertising banners of domestic products”. All together Aspect II.3 deals with information about the meaning of “lean-business logistics” and the explanation of its key features; examples of info-logistics in the world and in Ukraine; business logistics systems; characteristics of the key features of purchase, distributional, transportation, customs, sales, information, integrated logistics; the tasks of logistics management; the logistics flow of business logistics descriptions; projects modelling of advertising banners of domestic products on the basis of infologistics; awareness of the importance of logistics supplies for people, knowledge of business logistics for consumers of goods and services; assessment the practical importance of business logistics in the Ukrainian economy. This part of studying deals with such cross-cutting lines as performance of practical tasks on sales logistics with real data operation about natural resources, their conservation, multiplication; formation of civic tolerance by means of logistics modelling, implementation of practical tasks related to business logistics in the Ukrainian economy; formation of a safe living environment; the formation of logistics skills, entrepreneurship, financial literacy in the development, understanding infoload advertising banner of domestic products based on infologistics, understanding of business logistics and its components.

Aspect II.3. Environmental logistics depicts information about ecological logistics and ecological security of the world, production processes and production waste, utilization; unauthorized emissions; lean-conservation and ecologically appropriate human behavior; logistics flow of ecological logistics; lean-logistics of ecological attractiveness of regions of Ukraine; logistics and geographical forecasting (Fig. 6f). Also, this aspect deals with the explanation of the meaning of the concept of “eco-logistics”, production processes, the relationship between production processes and production waste; meaning and characteristics of the flows of environmental logistics; causative links in the systems: “environmental logistics ↔ environmental security”, “environmental security ↔ logistics”, “logistics ↔ geographical forecasting”; description the options for disposal of industrial and household wastes, applying the

acquired knowledge in practice; selection examples of unauthorized waste emissions in the world and in Ukraine; realizing the importance of knowledge of lean-logistics in ecological attractiveness of the regions of Ukraine; critical attitude to careless waste disposal and environmentally appropriate human behavior. This part of studying deals with such cross-cutting lines as formation of ecological consciousness, ecologically expedient behavior by means of ecological logistics and performance of practical tasks on modelling of variants of the utilization of industrial and household waste; formation of civic consciousness about the ecological attractiveness of the regions of Ukraine; implementation of practical tasks to determine the environmental attractiveness of the regions of Ukraine, safety for a living taking into account the risks to human life and health (Fig. 8); the formation of an economical attitude to natural resources, training culture of savings through eco-packaging and ecologistics.

Aspect II.4. Urban logistics depicts information about such type of logistics as “city-logistics”, urban and rural population, the infrastructure of cities, the metropolis and agglomeration, urbanization; types of cities, their functions, and problems; urban lean-logistics; lean-logistics of demographic processes and demographic policy; lean-logistics of your locality (Fig. 9). Also, this aspect deals with the explanation of the meaning of the concept of “city-logistics”, “metropolis”, “agglomeration” (Fig. 10), “urbanization”; the differences between urban and rural population; recognizing the types of cities in the context of lean-logistics; characteristics the functions of cities and their problems; selection examples of megapolises, agglomerations, their location on the geographical map; awareness about the importance of knowledge of urban lean-logistics for cities development; making judgments about the effectiveness of lean-logistics of demographic processes; evaluation the infrastructure of the regional center from the standpoint of lean-logistics. This part of studying deals with such cross-cutting lines which were mentioned above as formation of critical thinking, awareness of the importance of sustainable development for future generations; formation of a responsible member of the community, settlement; formation of an emotionally stable resident (guest, visitor) of a metropolis; providing logisticians with a better understanding of the practical aspects of financial issues of successful existence in the urban world, the formation of a surplus family budget of a resident of a modern city (village).

Aspect II.5. Logistics services depicts information about outsourcing and audit in logistics; logistics providers, logisticians, and managers of logistics: professions, professional qualities; logistics educational institutions; museums of logistics, etc. This

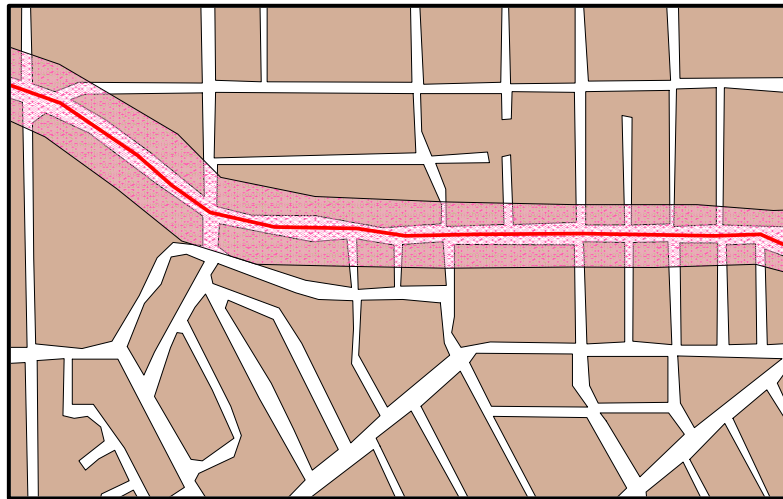


Fig. 8. Example of safety for a living analyst (parcels of the road) of lean-logistic for territory planning
(This illustration content was originally combined by the authors of this paper)

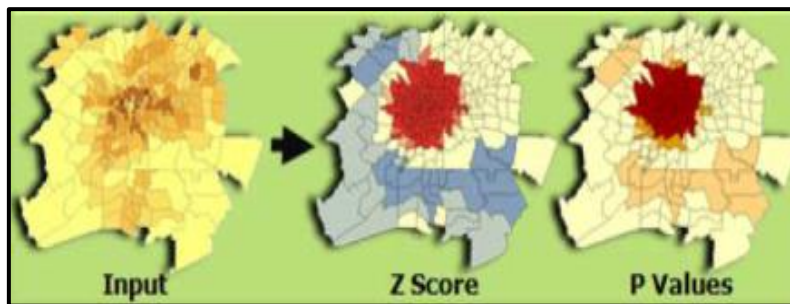


Fig. 9. Lean-logistic of the locality analyst and hot spot analysis

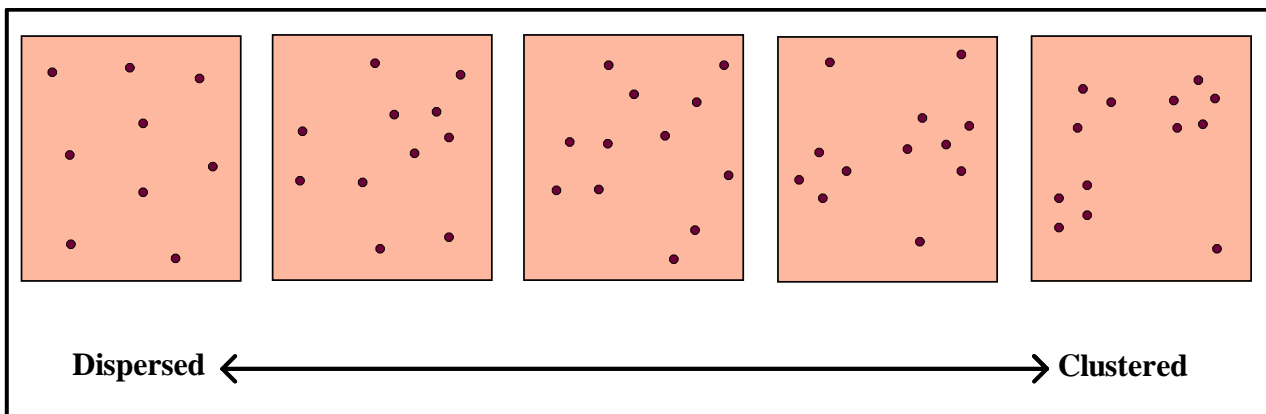


Fig. 10. Agglomeration analyst example of average nearest neighbor for lean-logistic modelling
(This illustrations content was originally combined by the authors of this paper)

aspect also deals with the explanation of the meaning of the term “logistician”, knowledge of the institutions and museums of logistics; observation and distinguishing essence of the actions of providers and logistics managers; characterizing outsourcing and audit in logistics; realizing the importance of the profession of logistician in society; evaluation from the “lean-”position the logistics to personal professional self-determination. This part of studying deals with such cross-cutting lines as formation of the ability to critically assess the prospects for the development of the environment and man in the context of outsourcing and audit; formation of a civic position about the

importance of the logistics profession in Ukrainian society; becoming a logistician as an emotionally stable member of society; fulfillment of practical tasks for modelling the actions of providers and logistics managers.

In Section III. “Logistical construction” we propose to look at two next aspects: 1) Lean-construction of commodity flows, and 2) Lean-construction in the field of services.

For instance, *Aspect III.1. Lean-construction of commodity flows* deals with meaning, understanding, and studying such a concept as “construction” in geography and logistic construction; spatial models;

logistics flow in the field of economy, logistic flows in the production of goods, logistics flows in the agro-industrial complex; lean-construction of commodity flows; logistics risks and logistics advantages, logistics shortcomings; global “chains of additional costs” and “chains of logistics”: common and different specificities. In the context of this aspect implementation we propose to accomplish logistudio №4 – “Construction of spatial models of the logistics flow “Growing grain-crops →... → selling bread in your locality” based on lean-logistics”. All together Aspect III.1 deals with information about the relationships between logistics flows in production and sales of products; the features of spatial models; the functions of logistics construction; examples of logistics flows in the production sphere; identification and characteristics of the features of logistics in industry and agriculture, making comparative tables; substantiation logistics advantages and risks; finding commonalities and differences between chains of additional costs and chains of logistics; development of spatial logistics skills and abilities; construction spatial models of logistics flows based on lean-logistics, identification their advantages and disadvantages; evaluation the logistics advantages and disadvantages in the process of constructing spatial models of the logistic flow; analyzing and realizing the importance of lean-logistics in the construction of effective spatial models of logistics flow (Fig. 11). This part of studying deals with such cross-cutting lines as

formation of awareness of the importance of sustainable development of industry and agriculture; formation of civic tolerance by means of a logistics modelling; fulfillment of practical tasks for construction spatial models of logistics flow, training consistency in decision-making on logistics construction; becoming a logistician as an emotionally stable member of society, performing practical tasks of the logistics studios on constructing spatial models of the logistics flow (e.g. “Growing grain-crops →... → selling bread in your community”), which can evoke joyful emotions; fulfillment of practical tasks on a calculation of the added costs, planning of economic activity and the family budget in a point of purchase, sale of bakery products, etc.

Aspect III.2. Lean-construction in the field of services deals with meaning, understanding, and studying such a concept as “lean-construction”, “the field of services”; logistics flows in: the service sector, the transport sector, the financial sector, in education, science, culture, tourism, and sports; political geography and logistics (Fig. 6g). In the context of this aspect implementation we propose to accomplish logistudio №5 – “Construction of spatial models of the logistics flow “Infologistics →... → broadcasting a program about logistics on a local TV channel” based on lean-logistics”. All together Aspect III.2 deals with information about the the specificities of lean-construction; the relationships between logistics flows in the service sector and the quality of services

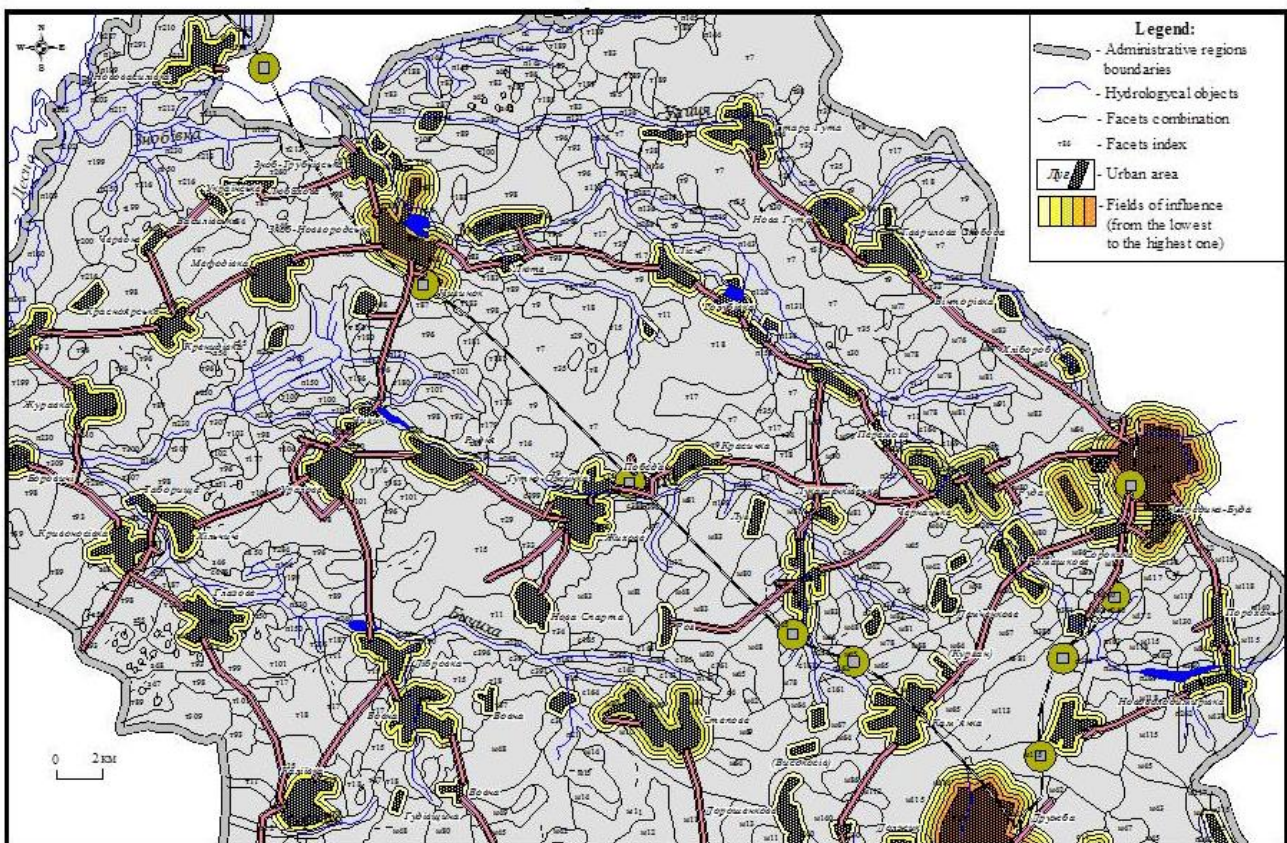


Fig. 11. Construction of spatial model of the logistics flow [32]

received by the consumer; the features of spatial models; characteristics the features of logistics in transport and financial sphere; researches results and substantiations logistics flows in the field of education, science, culture, tourism and sports; construction spatial models of logistics flows on the basis of lean-logistics; identification the relationship between logistics and political geography; evaluation the logistical advantages and disadvantages in the process of constructing spatial models of the logistic flow; awareness of the importance of lean-logistics in construction effective spatial models of logistics flow; formulation a personal “lean-”concept of the rationality of logistics actions (information, goods, services, etc.) in society and space; realization the value of the acquired knowledge of “lean-logistics in geography”. This part of studying deals with such cross-cutting lines as formation of awareness of the importance of sustainable development of services; formation of civic tolerance by means of logistics studio, political geography, and logistics; fulfillment of practical tasks on the construction of spatial models of a logistic flow; training of sequence in decision-making on logistic construction of infologistics censorship; formation of a logistician as an emotionally stable member of society, fulfillment of practical tasks on constructing spatial models of logistics flow; fulfillment of practical tasks on modelling of consumer attractiveness, planning of economic activity and family budget in the point of purchase, sale in the sphere of services.

Conclusions. The main results of this paper and their provision are the lean-logistics geosystem research concept as a contemporary approach of constructive geography based on leading scientific principles, some details about this concept applied implementation as a definite aspect of regional planning. For this purpose, a few examples (case studies) of its modelling and practical application were provided.

Altogether, the content of the proposed structure of “Lean-logistics in constructive geography” contributes to the learning geography at the profile level, because it deepens knowledge of logistics and its

derivatives, QR-coding (its creation and use), Lean-logistics itself, outsourcing, auditing, and development of such skills as distinguishing spatial models, describing the features of logistics in space and time; formation of skills in designing, modelling, constructing, working with cartographic material, etc.

In addition, the implementation of the proposed content of Lean-logistics is aimed at revealing facts, processes, phenomena from the perspective of the four cross-cutting content lines (environmental security and sustainable development, civic responsibility, health and safety, business undertaking, and financial literacy), the formation of key, general subject, subject geographical competencies.

Along with this, practical addition to the proposed content of Lean-logistics in constructive geography is a page navigator E-collection in the form of a book trailer. Some pages of the book trailer contain examples of the multimedia scrapbook of interactive exercises (deal with some definite sections and/or topics) which are presented using the Print Screen-visualization of the logistics lotto. The use of such tools, forms, technologies, techniques in the study of the content of “Lean-logistics in geography”, as E-collection, book-trailer, hotlist, multimedia scrapbook, mind mapping software, QR-coding, Print Screen-visualization, with active use of GIS tools and technologies, educational Internet services, modernizes the learning process and with systematic use in practice makes them necessary and appropriate in the knowledge about geography and constructive geography. Logistics lotto print screen “Lean-logistics in geography” illustrates the construction of intelligence models in the knowledge of logistics by means of test exercises, sequence and correspondence, cartographic modelling, info-construction, and example of tasks of the bank of questions, forming an appropriate training complex to disclose the proposed content of Lean-logistics in constructive geography. Also, all given theoretical and methodological aspects of lean-logistics will be a basis for the future monograph and definite case study elaboration.

Bibliography

1. Biljecki, F. *Applications of 3D City Models: State of the Art Review [Text]* / F. Biljecki, J. Stoter, H. Ledoux, et al. // *ISPRS International Journal of Geo-Information*. – 2015. – Issue 4. – P. 2842-2889. <https://doi.org/10.3390/ijgi4042842>
2. Billen, R. *3D City Models and urban information: Current issues and perspectives [Text]* / R. Billen, A. F. Cutting-Decelle, O. Marina, et al. – *European COST Action TU0801. ESF*, 2017. <https://doi.org/10.1051/TU0801/201400001>
3. Bourne, L. S. *Systems of Cities: Readings on Structure, Growth, and Policy [Text]* / L. S. Bourne, J. W. Simmons. – Oxford : Oxford University Press, 1987. –565 p.
4. Bozeman, B. *Scientific and technical information and urban policy-making [Text]* / B. Bozeman // *Urban Systems*. – 1978. – Issue 4, Volume 3. – P. 161-172.
5. Carbajales, P. *Introduction to GIS for Urban Studies (URBANST 164) [Electronic Source]* / Stanford Geospatial Center, 2013. – Available at : <https://sites.google.com/site/stanfordgis2013/introurbanstudies/> – 18.11.2022. – Name from the screen.
6. Cliff, A. D. *Spatial Processes, Models, and Applications [Text]* / A. D. Cliff, J. K. Ord. – London, 1973. – 395 p.

7. Du, G. Q. A Study on the relationship of regional urbanization and socio-economic structure in China [Text] / G. Q. Du // *Annals of Japanese Association of Economical Geographers*. – 1997. – Issue 43. – P. 151-164.
8. Du, G. Using GIS for analysis of urban system [Text] / G. Du // *GeoJournal*. – 2001. – Issue 52. – P. 213-221.
9. ESRI. *Geoprocessing in ArcGIS* [Text]. – California: ESRI Press, 2006. – 370 p.
10. Feng, Z. *Tourism and Transport: Modes, Networks and Flows* [Text] / Z. Feng // *Tourism geographies*, 2010. – Vol. 12(4). – P. 579-582.
11. Grytsevych, V. S. *The project of railway cruise activity on the example of the Western region of Ukraine* [Text] / V. S. Grytsevych // *Prospects for the development of the tourism industry in Ukraine: materials of the Interuniversity Teaching and Practical Conference, Lviv (Ukraine)*. – 2014. – P. 23-26.
12. Grytsevych, V. *Transport and logistic potential of the Western Ukrainian borderland* [Text] / V. Grytsevych, M. Senkiv // *Journal of Geography, Politics and Society*. – 2017. – Issue 7 (2). – P. 81-86. <https://doi.org/10.4467/24512249JG.17.018.6634>
13. Grytsevych, V. S. *Motor transport network in the Western region of Ukraine as a factor of tourism industry development* [Text] / V. S. Grytsevych, Kh. Ye. Podvirna, M. I. Senkiv // *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology»*. – 2019. – Issue 50. – P. 91-100. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-50-07>
14. Helly, W. *Urban Systems Models* [Text] / W. Helly. – London / New York : Academic Press, 1975. – 196 p.
15. ITC Educational Textbook Series: *Principles of Geographic Information Systems* [Text]. – Enschede, The Netherlands, 2009. – 540 p.
16. Kostrikov, S. *Geoinformation modeling of the natural & human environment* [Text] / S. Kostrikov. – Kharkiv : Karazin University Press, 2014. – 484 p.
17. Kostrikov, S. V. *Geoinformation approach to the urban geographic system research (case studies of Kharkiv region)* [Text] / S. V. Kostrikov, L. M. Niemets, K. Yu. Sehida, K. A. Niemets, C. Morar // *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology»*, 2018. – Issue 49. – P. 107-124. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-09>.
18. Murayama, Y. *Geography with GIS. GIS: contribution to geography* [Text] / Y. Murayama, et al. – Tokyo, 2001. – P. 1-22.
19. O'Looney, J. *GIS and decision-making in local government* [Text] / J. O'Looney. – Redlands, Calif. : ESRI Press, 2000. – 262 p.
20. Podvirna, Kh. *Logistical aspects of international tourist activity of Ukraine* [Electronic Source] / Kh. Podvirna // *International Scientific and Practical Conference “World Science” (Proceedings of the International Scientific and Practical Conference “Scientific and Practical Results in 2015. Prospects for Their Development”)*. Abu-Dhabi (UAE). – 2016. – Issue 1. – P. 52-55. – Available at : <https://media.neliti.com/media/publications/549497-logistical-aspects-of-international-tour-b7d5f677.pdf/> – 18.11.2022. – Name from the screen.
21. Sadahiro, Y. *Spatial analysis and GIS. GIS: contribution to geography* [Text] / Y. Sadahiro. – Tokyo, 2001. – P. 284-299.
22. Taylor, Z. *Transport means and organized tourism: empirical evidence from Poland* [Text] / Z. Taylor, A. Ciechanski // *Geographia Polonica*. – 2016. – Vol. 89(4). – P. 485-504.
23. Tomlinson, R. F. *Current and potential uses of geographical information systems: the North American experience* [Text] / R. F. Tomlinson // *International Journal of Geographical Information Systems*. – 1987. – Issue 1(3). – P. 203-218. <https://doi.org/10.1080/02693798708927808>.
24. Tomlinson, R. *Thinking about GIS* [Electronic Source] / R. Tomlinson. – Redlands: ESRI Press, 2001. – 254 p. – Available at : <https://www.e-education.psu.edu/geog583/sites/www.e-education.psu.edu/geog583/files/Thinking%20About%20GIS-Tomlinson.pdf/> – 18.11.2022. – Name from the screen.
25. Walloth, C. *Understanding Complex Urban Systems: Integrating Multidisciplinary Data in Urban Models* [Text] / C. Walloth, E. Gebetsroither-Geringer, A. Atun. – London / New York : Springer, 2016. – 148 p.
26. Wellar, B. S. *Urban data management systems. In Canada: A federal perspective* [Text] / B. S. Wellar // *Papers from the 12th Annual URISA Conference, Urban and Regional Information Systems: Resources and Results*. – 1975. – P. 377-391.
27. Грицевич, В. С. *Суспільно-географічне пізнання світу як наукова категорія і важлива сфера людської діяльності* [Текст] / В. С. Грицевич // *Регіональні проблеми України: географічний аналіз та пошук шляхів вирішення: зб. наук. праць*. – 2009. – С. 133-136.
28. Грицевич, В. С. *Полімагістралі Карпатського регіону України* [Текст] / В. С. Грицевич, Х. В. Сеньчук // *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Серія Географія*. – 2011. – Вип. 2. – С. 78-83.
29. Грицевич, В. С. *Готельні заклади Львівщини та їхня діяльність на прикладі міжнародного туризму* [Електронний ресурс] / В. С. Грицевич, Х. Є. Подвірна // *Часопис соціально-економічної географії*. – 2012. – Вип. 12(1). – С. 97-101. – Available at : <https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2015/02/%D0%93%D0%9E%D0%A2%D0%95%D0%9B%D0%AC%D0%9D%D0%86-%D0%97%D0%90%D0%9A%D0%9B%D0%90%D0%94%D0%98-%D0%9B%D0%AC%D0%92%D0%86%D0%92%D0%A9%D0%98%D0%9D%D0%98-%D0%A2%D0%90-%D0%87%D0%A5%D0%9D%D0%AF-%D0%94%D0%86%D0%AF%D0%9B%D0%AC%D0%9D%D0%86%D0%A1%D0%A2%D0%AC-%D0%9D%D0%90-%D0%9F%D0%A0%D0%98%D0%9A%D0%9B%D0%90%D0%94%D0%86-%D0%9C%D0%86%D0%96%D0%9D%D0%90%D0%A0%D0%9E%D0%94%D0%9D%D0%9E%D0%93%D0%9E-%D0%A2%D0%A3%D0%A0%D0%98%D0%97%D0%9C%D0%A3.pdf/> – 18.11.2022. – Name from the screen.

30. Грицевич, В. С. Топологія і метрика автотранспортного простору, як чинник транспортно-логістичної діяльності [Текст] / В. С. Грицевич, М. І. Сеньків // *Геополітика і екогеодинаміка регіонів*. – 2014. – Том 10. – Вип. 2. – С. 483-488.
31. State National Program "Education: Ukraine of the XXI Century" [Текст]. – 1994. – 62 p.
32. Удовиченко, В. В. Регіональне ландшафтне планування: теорія, методологія, практика: монографія [Текст] / В. В. Удовиченко. – Київ : Принт-Сервіс, 2017. – 617 с.
33. Удовиченко, І. В. Особливості «К-взаємодії» на уроках географії з використанням інформаційно-комунікаційних технологій у старшій школі [Текст] / І. В. Удовиченко // *Комп'ютер у школі та сім'ї: науково-методичний журнал*. – 2017. – Вип. № 4 (140). – С. 8-11. – Available at: https://vlapinsky.at.ua/CSF2017/CSF_4_2017i.pdf – 18.11.2022. – Name from the screen.
34. Удовиченко, І. В. *Lean-логістика в географії* [Текст] / І. В. Удовиченко. – Суми : НВВ СОІППО, 2018. – 40 с.

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

References

1. Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., et al. (2015). Applications of 3D City Models: State of the Art Review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4, 2842-2889. <https://doi.org/10.3390/ijgi4042842>
2. Billen, R., Cutting-Decelle, A.F., Marina, O. et al. (2017). 3D City Models and urban information: Current issues and perspectives. *European COST Action TU0801. ESF*. <https://doi.org/10.1051/TU0801/201400001>
3. Bourne, L.S., Simmons, J.W. (1987). *Systems of Cities: Readings on Structure, Growth, and Policy*. Oxford: Oxford University Press, 565.
4. Bozeman, B. (1978). Scientific and technical information and urban policy-making. *Urban Systems*, 4, 3, 161-172.
5. Carbajales, P. (2013). Introduction to GIS for Urban Studies (URBANST 164). Stanford Geospatial Center. Available at: <https://sites.google.com/site/stanfordgis2013/introubanstudies>
6. Cliff, A.D., Ord, J.K. (1973). *Spatial Processes, Models, and Applications*, London, 395.
7. Du, G.Q. (1997). A Study on the relationship of regional urbanization and socio-economic structure in China. *Annals of Japanese Association of Economical Geographers*, 43, 151-164.
8. Du, G. (2001). Using GIS for analysis of urban system. *GeoJournal*, 52, 213-221.
9. ESRI (2006). *Geoprocessing in ArcGIS*. California: ESRI Press, 370.
10. Feng, Z. (2010). *Tourism and Transport: Modes, Networks and Flows*. *Tourism geographies*, 12(4), 579-582.
11. Grytsevych, V.S. (2014). The project of railway cruise activity on the example of the Western region of Ukraine. *Prospects for the development of the tourism industry in Ukraine: materials of the Interuniversity Teaching and Practical Conference*. Lviv, 23-26.
12. Grytsevych, V., Senkiv, M. (2017). Transport and logistic potential of the Western Ukrainian borderland, *Journal of Geography, Politics and Society*, 7 (2), 81-86. <https://doi.org/10.4467/24512249JG.17.018.6634>
13. Grytsevych, V. S., Podvirna, Kh. Ye., Senkiv, M. I. (2019). Motor transport network in the Western region of Ukraine as a factor of tourism industry development. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 50, 91-100. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-50-07>
14. Helly, W. (1975). *Urban Systems Models*. London / New York: Academic Press, 196.
15. ITC Educational Textbook Series (2009). *Principles of Geographic Information Systems*. Enschede, The Netherlands, 540.
16. Kostrikov, S. (2014). *Geoinformatsijne modelyuvannya prurudno-antropogennogo dovkillya [Geoinformation modeling of the natural & human environment]*. Kharkiv: Karazin University Press, 484. [in Ukrainian]
17. Kostrikov, S. V., Niemets, L. M., Sehida, K. Yu., Niemets, K. A., Morar, C. (2018). Geoinformation approach to the urban geographic system research (case studies of Kharkiv region). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 49, 107-124. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-09>
18. Murayama, Y. et al. (2001). *Geography with GIS. GIS: contribution to geography*. Tokyo, 1-22.
19. O'Looney, J. (2000). *GIS and decision-making in local government*, Redlands, Calif.: ESRI Press, 262.
20. Podvirna, Kh. (2016). Logistical aspects of international tourist activity of Ukraine. *International Scientific and Practical Conference "World Science" (Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Scientific and Practical Results in 2015. Prospects for Their Development")*. Abu-Dhabi (UAE), 1, 52-55. Available at: <https://media.neliti.com/media/publications/549497-logistical-aspects-of-international-tour-b7d5f677.pdf>
21. Sadahiro, Y. (2001). *Spatial analysis and GIS. GIS: contribution to geography*, Tokyo, 284-299.
22. Taylor, Z., Ciechanski, A. (2016). Transport means and organized tourism: empirical evidence from Poland. *Geographia Polonica*, 89(4), 485-504.
23. Tomlinson, R.F. (1987). Current and potential uses of geographical information systems: the North American experience. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1(3), 203-218. <https://doi.org/10.1080/02693798708927808>
24. Tomlinson, R. (2001). *Thinking about GIS*. Redlands: ESRI Press, 254. Available at: <https://www.e-education.psu.edu/geog583/sites/www.e-education.psu.edu/geog583/files/Thinking%20About%20GIS-Tomlinson.pdf>
25. Walloth, C., Gebetsroither-Geringer, E., Atun, A. (2016). *Understanding Complex Urban Systems: Integrating Multidisciplinary Data in Urban Models*. London / New York: Springer, 148.

26. Wellar, B.S. (1975). *Urban data management systems. In Canada: A federal perspective. Papers from the 12th Annual URISA Conference, Urban and Regional Information Systems: Resources and Results*, 377-391.
27. Grytsevych, V.S. (2009). *Human and geographical knowledge of the world as a scientific category and an important sphere of human activity. Regional problems of Ukraine: geographic analysis and the search for solutions*, 133-136.
28. Grytsevych, V.S, Senchuk, Kh.V. (2011). *Polymagistrals of the Carpathian region of Ukraine. Scientific notes of the Ternopil National Pedagogical University. Geography*, 2, 78-83. [in Ukrainian]
29. Grytsevych, V.S, Podvirna, Kh.E. (2012). *Hotel establishments of Lviv oblast and their activities on the example of international tourism. Journal of Social and Economic Geography*, 12 (1), 97-101. Available at: <https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2015/02/%D0%93%D0%9E%D0%A2%D0%95%D0%9B%D0%AC%D0%9D%D0%86-%D0%97%D0%90%D0%9A%D0%9B%D0%90%D0%94%D0%98-%D0%9B%D0%AC%D0%92%D0%86%D0%92%D0%A9%D0%98%D0%9D%D0%98-%D0%A2%D0%90-%D0%87%D0%A5%D0%9D%D0%AF-%D0%94%D0%86%D0%AF%D0%9B%D0%AC%D0%9D%D0%86%D0%A1%D0%A2%D0%AC-%D0%9D%D0%90-%D0%9F%D0%A0%D0%98%D0%9A%D0%9B%D0%90%D0%94%D0%86-%D0%9C%D0%86%D0%96%D0%9D%D0%90%D0%A0%D0%9E%D0%94%D0%9D%D0%9E%D0%93%D0%9E-%D0%A2%D0%A3%D0%A0%D0%98%D0%97%D0%9C%D0%A3.pdf> [in Ukrainian]
30. Grytsevych, V.S, Senkiv, M.I. (2014). *Topology and metric of motor transport space as a factor of transport and logistics activity. Geopolitics and eco-geodynamics of the regions*, 10 (2), 483-488. [in Ukrainian]
31. State National Program "Education: Ukraine of the XXI Century" (1994). 62.
32. Udovychenko, V.V. (2017). *Regional landscape planning: theory, methodology, practice: Monograph*. Kyiv: Print-Service, 617. [in Ukrainian]
33. Udovychenko, I.V. (2017). *Features of «K-interaction» during geography lessons with the use of information and communication technologies in high school // Computer in a school and family: scientific-methodological journal*, 4 (140), 8-11. Available at: https://vlapinsky.at.ua/CSF2017/CSF_4_2017i.pdf [in Ukrainian]
34. Udovychenko, I.V. (2018). *Lean-logistics in geography*, 40. [in Ukrainian]

Lean-логістика у конструктивній географії: теоретичні та методологічні засади

Вікторія Удовиченко¹,

д. геогр. н., доцент, кафедра географії України, географічний факультет,
¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
вул. Володимирська 64/13, м. Київ, МСП-01601, Україна;

Ірина Удовиченко²,

д. пед. н., професор, проректор з науково-педагогічної та методичної роботи,
²Сумський обласний інститут післядипломної педагогічної освіти,
вул. Р-Корсакова 5, м. Суми, 40007, Україна

З метою подальшого розвитку та впровадження у практику планування територій новітнього концептуального підходу та напряму конструктивно-географічних досліджень – Lean-логістики представлена стаття була присвячена висвітленню її фундаментальних засад. У представленому доробку Lean-логістика визначається як такий напрям сучасних наукових пошуків, який спрямовано на дослідження особливого типу актуальних геосистем – логістичних, поява яких зумовлена всезростаючим впливом логістики на територію, ускладненням логістичних процесів та логістичної інфраструктури, розширенням просторових їх меж як результату екстенсивного містобудування та спорудження шляхів сполучення, удосконаленням технологічних процесів, задіяних у логістиці, посиленням енвайроментальної та ландшафтознавчої складових під час здійснення логістичних досліджень тощо. При цьому, Lean-логістика уявляється як така концепція прикладного спрямування, розвиток якої тісно пов'язаний з концептуальними засадами конструктивної географії та ГІС-технологіями, а провідними її аспектами визначено: у складі фундаментально-методологічного блоку пошуків – «теорія логістики», види логістики та їх відмінності, «прикладна логістика», зокрема, військова, бізнес, екологічна та міська логістика, надання логістичних послуг, та «логістичне конструювання» (товарних потоків та потоків у сфері послуг), а у складі практичного блоку – низка «логі-модельювання» (приміром, з QR-кодування, побудови моделей lean-магазину чи-то lean-міста, інфо-логістики, конструювання просторових моделей логістичного потоку інструментами lean-логістики тощо). Разом з тим, запропоновано приклад впровадження lean-логістичних досліджень у вигляді Е-збірника (бук-трейлера), окремі сторінки якого містять приклади мультимедіа скрепбуку інтерактивних вправ та логістичного лото, розроблених відповідно до сформованої структури Lean-логістики.

Ключові слова: логістика, Lean-логістика, конструктивна географія, теорія, методологія, практика, теоретичні засади, lean-логістичне моделювання, lean-логістичний скрепбук.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 17 серпня 2021 р.

Прийнята 17 серпня 2022 р.

Ймовірно-прогностичний метод для визначення меженних витрат води річок Південного Бугу, Причорномор'я та Нижнього Дніпра

*Жаннетта Шакірманова*¹,

д. геогр. н., професор кафедри гідрології суші,

¹Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, Одеса, 65016, Україна,
e-mail: jannetodessa@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0600-5657>;

*Валерія Овчарук*¹,

д. геогр. н., професор, директор навчально-наукового гідрометеорологічного інституту,
e-mail: valeriya.ovcharuk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5654-3731>;

*Ангеліна Докус*¹,

к. геогр. н., ст. викладач кафедри гідрології суші,
e-mail: angel.dokus@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0912-6411>;

*Лілія Кущенко*¹,

здобувач кафедри гідрології суші,
e-mail: liliakushchenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6770-1627>;

*Тимко Олена*¹,

аспірант кафедри гідрології суші
e-mail: elenatymko2018@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8410-340X>

Меженний стік формується за рахунок виснаження як запасів ґрунтових вод, так і руслових запасів, які ще залишаються у річковій мережі, озерах та болотах після припинення подачі поверхневих тало-дощових вод весняного водопілля. Але природний режим меженного стоку може бути порушений через антропогенне втручання у руслі річки чи на водозборі, впливу зміни клімату, у зв'язку з дефіцитом опадів, у поверхневому і підземному стоці та формуванням гідрологічних посух з нестачею природної води. Саме досліджувана територія перебуває в зоні суттєвого ризику внаслідок дефіциту водних ресурсів, формування екстремально низького стоку у меженний період, що потребує його визначення і прогнозування. В роботі обґрунтовано ймовірно-прогностичний метод для прогнозування меженних витрат води (літнього, осіннього та зимового періодів). В його основу покладено побудову регіональних залежностей середньодекадних модулів стоку від попередніх витрат води для груп басейнів річок Південного Бугу, Причорномор'я та Нижнього Дніпра (з урахуванням кліматичних закономірностей розподілу опадів територією) та встановлення ймовірнісних характеристик меженних витрат води у багаторічному періоді. В цілому методика територіальних короткострокових прогнозів середньодекадних витрат води меженного літнього, осіннього та зимового стоку річок оцінюється як задовільна при забезпеченості допустимої похибки від 70 до 97 %, при числі членів ряду понад 500 точок. Для визначення забезпеченості прогнозних величин середньодекадних витрат води літньої, осінньої та зимової межні встановлений емпіричний розподіл середньомісячних витрат води в сезони межні для груп річок басейнів Південного Бугу, Причорномор'я та Нижнього Дніпра. Для оцінки розмірів очікуваної межні у кожному році запропоновано представляти прогнозні величини витрат води на підставі карто-схем модулів меженного стоку, а також їх ймовірнісних величин. Такі карто-схеми прогнозних модулів меженних витрат води дозволяють здійснити просторовий моніторинг та оцінити ступінь маловоддя на річках в цілому всього досліджуваного регіону, включаючи й ті річки, по яких спостереження за стоком відсутні. Карто-схеми ймовірнісних характеристик меженних витрат води дають можливість оцінки виникнення низького стоку, навіть при досягненні його значень близьких до екологічних витрат води, що є критичним показником для функціонування екосистеми річки.

Ключові слова: меженні витрати води, територіальний прогноз, ймовірнісні характеристики, картографічна форма прогнозу.

Як цитувати: Шакірманова Жаннетта. Ймовірно-прогностичний метод для визначення меженних витрат води річок Південного Бугу, Причорномор'я та Нижнього Дніпра / Жаннетта Шакірманова, Валерія Овчарук, Ангеліна Докус та ін. // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 57. – С. 251-267. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-19>

In cites: Shakirmanova Zhannetta, Ovcharuk Valeriya, Dokus Anhelina, Kushchenko Liliia, Tymko Olena (2022). Probabilistic-forecasting method for determination of low flow discharge of Pivdennyi Buh, Black Sea area, and Lower Dnieper rivers. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (57), 251-267. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-19> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. Формування стоку річок в меженний період відбувається за рахунок виснаження як запасів ґрунтових вод, так і руслових запасів, які ще залишаються у річковій мережі, озерах та болотах після припинення подачі поверхневих тало-дощових вод весняного водо-

пілля [1], [2]. На річках переважно снігового живлення під меженным періодом прийнято розуміти літній та зимовий [3], або літньо-осінній періоди [4], [5]. На рівнинних річках цей період починається із закінченням спаду весняної повені. Власне під терміном "межень" зазвичай розумі-

ються найнижчі річні (літня межень) або зимові (зимова межень) витрати та рівні води в річках, коли живлення річок відбувається переважно шляхом підземних вод. Однак в літній та осінній періоди багато річок тою чи іншою мірою отримують додаткове живлення за рахунок дощів, а в зимовий час за поверхневого стоку під час відлиг, що є характерним явищем, особливо, для річок південного регіону України. В цілому ж, регіональні особливості формування меженного стоку річок відбувається у зв'язку з кліматичними закономірностями розподілу опадів та випаровування над їх басейнами.

Антропогенне втручання у руслі річки (створення гідротехнічних споруд, використання поверхневих вод для зрошення, вилучення ґрунтових вод для сільськогосподарських, промислових та побутових потреб та ін.) чи на водозборі (регулювання стоку, міжбасейновий перерозподіл стоку, зміни у землекористуванні, такі як вирубування та відновлення лісу або урбанізація) може сильно впливати на природний режим меженного стоку [2].

В умовах сучасної зміни клімату, що супроводжується зростанням багаторічного ходу глобальних [6] та регіональних температур повітря [7], тенденцій у зв'язку з цим до підвищення абсолютної вологості та, своєю чергою, зниження відносної вологості, що впливає на величину випаровування з поверхні водозборів і водойм [8], перерозподілом опадів у часі та просторі [9], зміщенням сезонів у році [10], [11] спостерігаються й зміни сучасної та, навіть, майбутньої водності річок [12]-[21], розподіл стоку річок протягом року [15,22].

Так, виникнення тривалих метеорологічних посух як у минулому [8], так і майбутньому [23], пов'язаних з впливом дефіциту як рідких, так і твердих опадів на поверхневий і підземний стік, призводить до гідрологічних посух з нестачею природної води нижче середніх показників водності [2, 24]. Саме територія південних регіонів України перебуває в зоні суттєвого ризику внаслідок дефіциту водних ресурсів, формуванням екстремально низького стоку у меженний період, так званих «екологічних» витрат води, що є критичним показником для функціонування екосистеми річки [25],[26] і, майже, висихання водойм, озер, струмків, річок і зниження рівня підземних вод, зниження вмісту води у ґрунті [2, 27].

Статистичний аналіз гідрологічних посух (маловоддя) є суттєвим елементом в оцінці можливості використання водних ресурсів річкового басейну для цілей водного господарства [25],[26]. За прогнозними кліматичними сценаріями у найближчі 30–50 років тенденції дефіциту водних ресурсів будуть тільки посилюватись [12]-[21].

Розробка науково-обґрунтованого методу про-

гнозування меженних витрат води в умовах сучасних кліматичних змін із визначенням ймовірності їх настання у багаторічному періоді, як й прогнозів весняного максимального стоку річок [28]-[30], є важливим науковим та практичним завданням у зв'язку з необхідністю раціонального використання водних ресурсів регіону.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Перші пропозиції по прогнозам літнього та осіннього стоку рівнинних річок полягали у встановленні суто емпіричних залежностей між величинами цього стоку за той чи інший проміжок часу та його гідрометеорологічними чинниками [31], [32]. Однак такі залежності, як правило, мають низьку точність у зв'язку не визначеністю останніх на тривалий період прогнозування стоку і тому в наш час вони порівняно рідко використовуються.

У програмах Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) [1], [2] середньострокові та короткострокові прогнози меженного стоку базуються на характеристиках виснаження стоку в басейні, при врахуванні антропогенного впливу, наприклад, забір води на зрошення, локальні відмінності зволоженості водозбору, що можуть привести до формування різного базисного стоку з окремих частин водозборів та ін.

Довгострокові прогнози меженного стоку майже завжди базуються на методах кореляційного або регресійного аналізу з урахуванням ґрунтової вологи та кліматичних характеристик, а саме дощових опадів і температури повітря, як визначальних змінних. Зазвичай в опадах за попередній період виділяються окремі сезонні складові, які входять в рівняння зв'язку з відносними ваговими коефіцієнтами. Також виділення сезонних опадів допомагає визначити час запізнювання в системі опади – стік [33], [34].

Ще одним підходом є використання довгострокових рядів стоку або водно-балансових моделей, заснованих на історичних кліматологічних даних для забезпечення ймовірнісних прогнозів низького стоку. Також для прогнозування меженного стоку потрібні оцінки фільтрації води в берега і випаровування з водної поверхні. Це має істотний вплив при прогнозуванні впливу попусків води з водосховища, а також впливу інших водогосподарських заходів [35].

В закордонній практиці, розроблені та використовуються математичні моделі гідрографів стоку річок, у тому числі й меженного, з різною деталізацією процесів стокоутворення. Так, комплексна система гідрологічного моделювання – концептуальна гідрологічна модель HBV (Hydrologiska Byrans Vatten balansavdelning model) розроблена у Шведському метеорологічному та гідрологічному інституті (SMHI), що дозволяє виконувати без-

перервний розрахунок річкового стоку на басейні (періоду весняного водопілля, зимових та осінніх паводків та межні) [36]. Це одна з перших моделей, яка розроблена ще на початку 70-х років з метою підвищення якості управління гідроенергетичного комплексу.

До математичних прогностичних моделей відносяться модель Сакраменто (розроблена в Національному центрі служби річкових прогнозів Сакраменто, США) [37], LARSIM (Large Area Runoff Simulation Model) [38], гідродинамічні математичні моделі з розподіленими параметрами – Європейська гідрологічна система (SHE) [39], модель DHSWM (Distributed Hydrology Soils and Vegetation Model), розробка американських вчених університету в Сіетлі [40], моделі WAVOS [41], FLORIS 2000 з урахуванням зарегульованості стоку гідровузлами [42], модель типу HBV – COSERO (безперервна напіврозподілена модель) [43], модель MIKE11 гідродинамічна модель для оперативного прогнозу стоку різноманітних характеристик будь-якого річкового водозбору [44], детерміністична концептуальна та напіврозподілена модель NHFS [45] та ін.

Прогностичні математичні моделі враховують витрати води основних приток або включають систему диференціальних рівнянь, що описують такі фізичні процеси на басейні, як затримання опадів рослинністю, сумарне випаровування, схиловий та руслової стік, рух води в зоні аерації та зоні насичення та сніготанення. Прогнози за моделями відносяться до короткострокових і мають завчасність від 12-24 годин та до 1-7 діб, випускаються для великої кількості постів та регулярно наводяться на офіційних веб-сайтах.

Серед досліджень останніх років слід зазначити роботу колективу французьких авторів [46], які розробили та застосували на прикладі невеликого гірського водозбору Французьких Альп, методику основу на імітаційному моделюванні низького стоку. Двовірний генератор добових значень температури повітря та опадів, розроблений авторами у співпраці з університетом Париж-Сакле оснований на схованих ланцюгах Маркова та дозволяє генерувати велику кількість часових рядів температури та опадів, які є вхідними даними у гідрологічній моделі MORDOR (Modèle à Réservoirs de Détermination Objective du Ruissellement). Використання цієї моделі дає можливість спрогнозувати величину мінімального стоку під впливом кліматичних змін.

Однак, як правило, чим точніше та детальніше модель описує гідрологічні процеси на водозборі річки, тим більше вхідних даних вона потребує. Однак, не завжди ці дані є у наявності, що часто і унеможливує використання подібних моделей на практиці.

В останні роки в Українському гідрометеорологічному інституті ДСНС України та НАН України (УкрГМІ) розроблено метод прогнозів характерних декадних рівнів води на гідрологічних постах нижньої частини Дунаю та впроваджено з 2015 р. у виробничу діяльність Дунайської гідрометеорологічної обсерваторії (м. Ізмаїл) аналітично-експертну систему прогнозування щоденних, характерних декадних та місячних рівнів води для пунктів суднохідного Дунаю – «Істер» (автор Б.Ф. Христюк) [47]. В її основу покладено методику прогнозу рівневого режиму Кілійського рукава р. Дунай, яка спирається на встановлення емпіричних залежностей зміни рівнів води поста Ізмаїл від зміни рівнів води на вище розташованому посту Рені на фоні середньобаторічного вітрового режиму морського узбережжя дельти Дунаю.

Авторами даного дослідження в низці публікацій розглядалась можливість використання індексів посух, зокрема SPEI, для розрахунків та прогнозів різних фаз водного режиму й межні у тому числі [48, 49].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. В умовах зростання прояв екстремальності клімату для раціонального використання водних ресурсів зони недостатньої водності південного регіону країни набуває актуальності удосконалення методик прогнозування низького стоку періоду сезонної межні річок. На даний час прогнози межених витрат води різної їх завчасності складаються для багатьох річок як в літньо-осінній, так і в зимовий періоди. Однак методичні основи територіальних прогнозів стоку цього періоду та встановлення їх ймовірнісних характеристик, майже не розроблені, на відміну від, наприклад, прогнозів весняного максимального стоку річок [28]-[30]. Перевагою територіальної методики прогнозування межених витрат води в річках є те, що такий підхід дає змогу їх визначення й для річок, на яких відсутні безпосередні спостереження за стоком при визначенні ймовірнісних характеристик їх настання.

Формулювання мети статті. Основною метою дослідження є обґрунтування ймовірнісно-прогностичного методу для прогнозування межених витрат води та його реалізація для річок Південного Бугу, Причорномор'я та Нижнього Дніпра з урахуванням кліматичних закономірностей розподілу опадів територією та встановлення ймовірнісних характеристик межених витрат води у багаторічному періоді.

Матеріали дослідження. Досліджувана територія розташована у лісостеповій і степовій природних зонах України та охоплює, згідно з гідрографічним районуванням, район басейну Південного Бугу, річок Причорномор'я та суббасейн

Нижнього Дніпра [50].

Річки басейну Південного Бугу характеризуються у багаторічному розрізі вираженим весняним водопіллям і низькою меженню, яка різною мірою порушується літніми та зимовими паводками внаслідок дощів влітку і танення снігу під час відлиг. Річки Інгул, Інгулець і річки Причорноморської низовини протікають у степовій зоні, яка характеризується посушливим кліматом, несталим зимовим режимом із нестійким сніговим покривом (у зв'язку з відлигами 40% зим), що призводять до часткового або повного танення снігу і формування зимових паводків різної інтенсивності та водності. Водний режим річок лівобережжя Нижнього Дніпра характеризується достатньо вираженою весняною повінню і літньо-осінньої меженню, порушуваною дощовими паводками та відлигами. Невеликі річки Причорноморської низовини не дренують основні водоносні горизонти й тому практично не мають підземного живлення, що призводить до їх пересихання влітку або перемерзання зимою.

Комплексні графіки ходу гідрометеорологічних характеристик періоду межені для деяких річок представлені на рис. 1 та рис. 2.

Для розробки методики територіального прогнозу середньодадних витрат води меженного

стоку були прийняті дані про щоденні та середньодадні витрати води за період літнього (червень-серпень), осіннього (вересень-листопад) і зимового (грудень-січень) сезонів з 1980 р. по 2015 р. для опорних гідрологічних постів досліджуваних річок України, перелічених в табл. 1 з даних Державного водного кадастру [51]. За подальші роки вихідні дані залучено з системи Автоматизованого робочого місця гідролога [52] та офіційного сайту Українського гідрометцентру ДСНС України www.meteo.gov.ua. Вихідні дані для розробки методики прогнозу середньодадних витрат води сезонного меженного стоку річок Півдня України [53] сформовано в базі даних в Excel.

Методи дослідження. Об'єм літньо-осіннього меженного стоку (середня витрата води) за деякий проміжок часу (або період) Δt , який перевищує максимальний час добігання води τ_{max} по руслах річок можна представити рівнянням [54]

$$Q\Delta t = Q_r\Delta t + Q_d\Delta t + W_{t_0}, \quad (1)$$

де $Q\Delta t$ – меженний стік за час Δt ;

$Q_r\Delta t$ і $Q_d\Delta t$ – стік річок, обумовлений відповідно припливом підземних і дощових (поталих) вод;

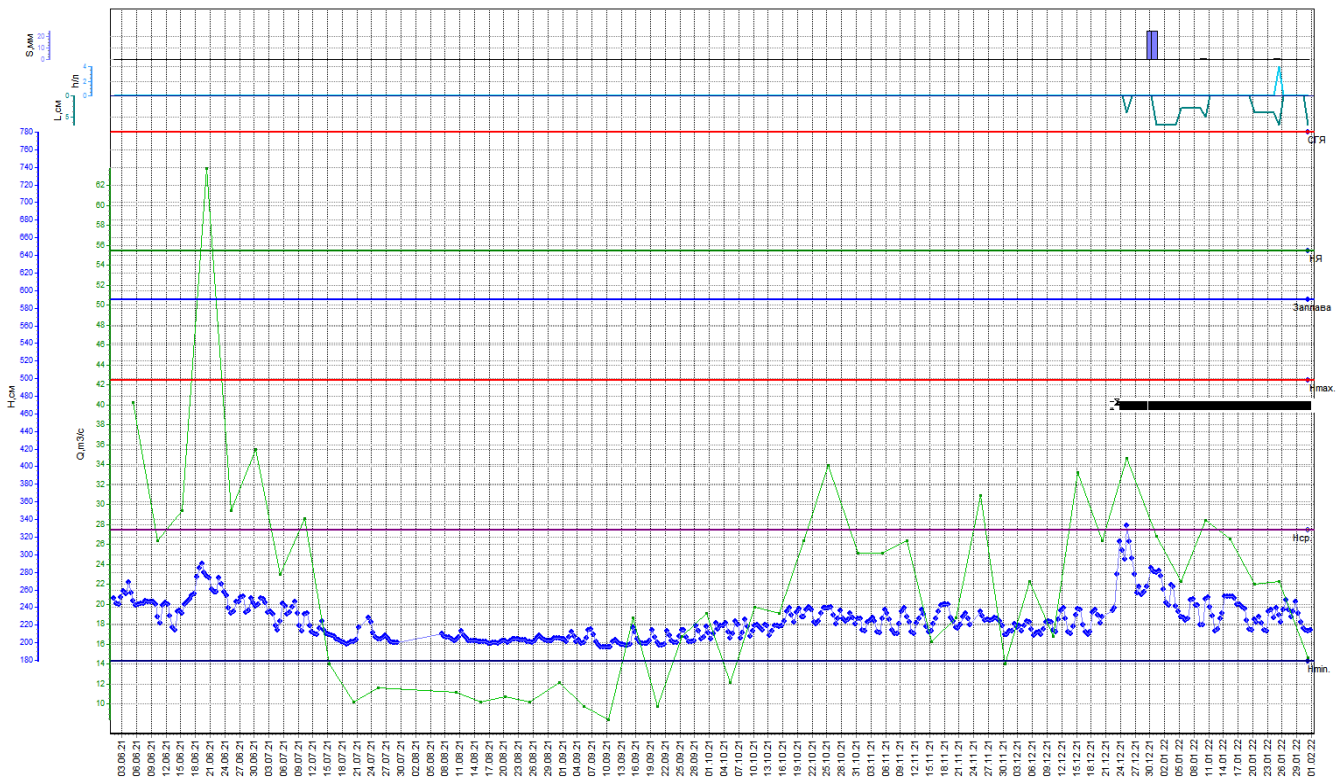


Рис. 1. Комплексний графік ходу гідрометеорологічних характеристик періоду межені р. Південний Буг – с. Підгір'я (01.06.2021-31.01.2022 рр.) /

Fig. 1. Complex graph of hydrometeorological characteristics of the low water period of the Pivdennyi Buh River – the Pidhirya water gauging station (June 1, 2021-January 31, 2022)

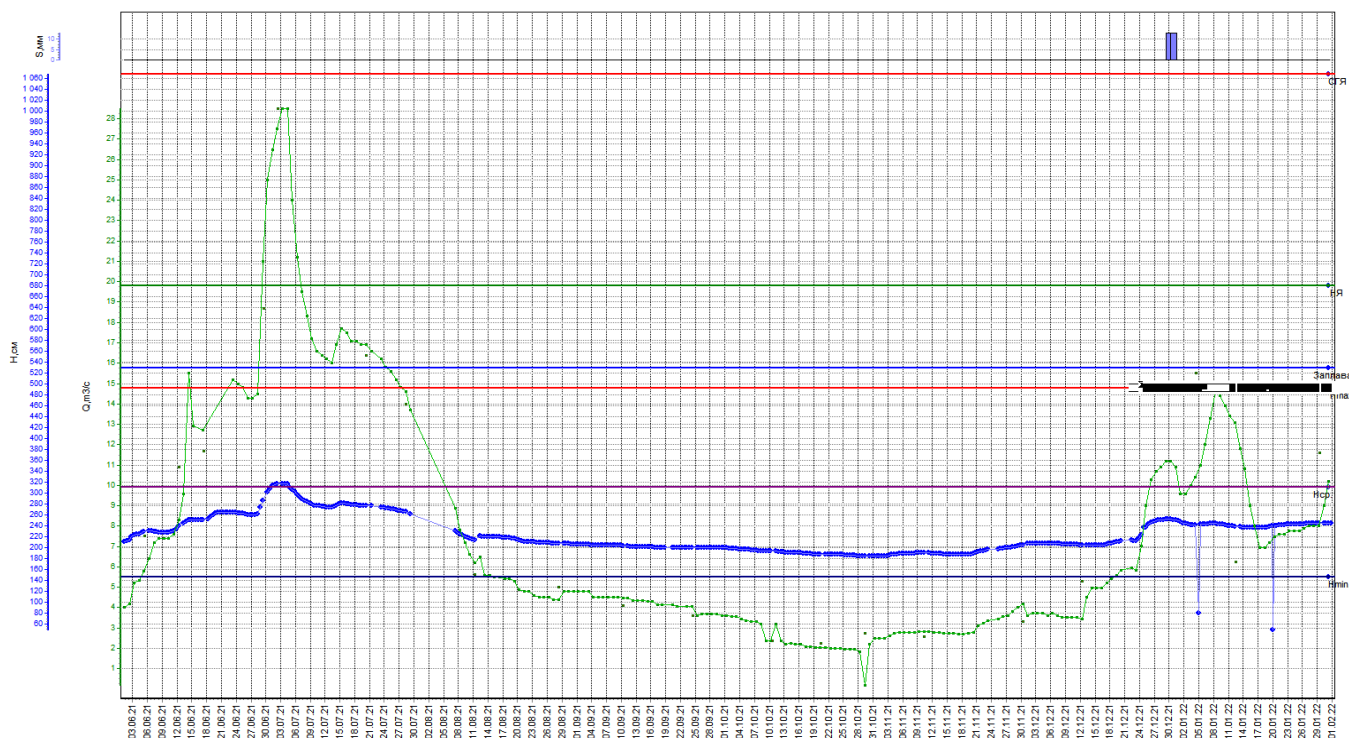


Рис. 2. Комплексний графік ходу гідрометеорологічних характеристик періоду межені р. Оріль – с. Царічанка (01.06.2021-31.01.2022 рр.)

Fig. 2. Complex graph of hydrometeorological characteristics of the low water period of the Oril River – the Tsarichanka water gauging station (June 1, 2021-January 31, 2022)

Таблиця 1 / Table 1

Перелік опорних постів для розробки регіональної методики прогнозу середньодакдних витрат води меженого літнього, осіннього і зимового стоку по гідрографічних районах України [50] / List of the base the water gauging stations for the development of the regional methodology for forecasting the average decade water discharge of the low summer, autumn, and winter flow within the hydrographic regions of Ukraine [50]

Індекс поста	Річка - пост	Площа водозбору, км ²
Район басейну р. Південний Буг (верхня та середня течії)		
81361	Південний Буг - с. Тростяничик	17400
81363	Південний Буг - с. Підгір'я	24600
81393	Рів - с. Демидівка	1130
81417	Синюха - с. Синюхін Брід	16700
81430	Велика Вись - с. Ямпіль	2820
81433	Ятрань- с. Покотилове	2140
Район басейну р. Південний Буг (нижня течія) та район річок Причорномор'я		
81414	Кодима – с. Катеринка	2390
81438	Чорний Ташлик - с. Тарасівка	2230
81450	Інгул – с. Новогорожене	6670
81338	Тилігул - с. Березівка	3170
81475	Великий Куяльник – с. Северинівка	1840
Суббасейну Нижнього Дніпра		
80473	Оріль – смт Царичанка	9100
80486	Самара – с. Кочережки	19800
80505	Вовча – смт Васильківка	11600
80513	Мокрі Яли – х. Грушівський	2660
80518	Гайчур – с. Андріївка	2100
80561	Інгулець – с. Олександро-Степанівка	4200
80568	Інгулець – м. Кривий Ріг	8600

W_{t_0} – запас води в річковій мережі в початковий момент часу t_0 .

Для періоду зимової межени за наявності зимових відлиг дощова складова ($Q_{д\Delta t}$) замінюється тало-дощовою ($Q_{ТД\Delta t}$) і рівняння має вигляд

$$Q\Delta t = Q_{г\Delta t} + Q_{ТД\Delta t} + W_{t_0}. \quad (2)$$

На сьогодні зі складових рівнянь (1) і (2) з достатньою точністю можна визначити лише запас води в річковій мережі W_{t_0} (наприклад, за гідрометричними або морфометричними даними). Ця складова має суттєве значення для великих річок з максимальним часом руслового добігання, який дорівнює або перевищує період завчасності прогнозу (наприклад, місяць). За відсутності даних для розрахунку руслових запасів води, величину W_{t_0} можна приблизно оцінити через витрату води у замикаючому створі в момент часу t_0 .

Підземну та дощову складові стоку за період завчасності прогнозу визначити значно важче ніж W_{t_0} , особливо для великих річок, де дощовий стік дуже слабо виражений. Підземне живлення, як вже говорилося, відбувається за рахунок першого від поверхні безнапірного водоносного горизонту та більш глибокого, у тому числі напірного, горизонту підземних вод, визначення яких має певні труднощі. Дощовий приплив води ($Q_{д\Delta t}$) може бути отриманий через кількість опадів, які приймають участь у формуванні стоку розглядуваного періоду.

У зв'язку з цим для прогнозів меженого стоку рівняння (1) і (2) не можуть бути використані безпосередньо. Тому в практиці гідрологічних прогнозів будуються емпіричні кореляційні залежності меженого стоку від факторів, які його визначають, зазвичай побудови графічного зв'язку між стоком або рівнем води поточного моменту часу та стоком або рівнем декілька днів тому. Залежність, отримана таким чином, може бути використана для екстраполяції на певні моменти часу в майбутньому, але при врахуванні випадіння опадів [1].

Так, для прогнозу меженого стоку (наприклад, середніх витрат води за період (або проміжок часу) Δt) зони недостатнього зволоження, якою є досліджувана територія України, при невеликій кількості опадів або малої змінності їх кількості у літньо-осінній період найбільш часто використовуються залежності вигляду [54]:

$$\bar{Q}_{t+\Delta t} = f(W_t) \quad (3)$$

або

$$\bar{Q}_{t+\Delta t} = f(Q_t), \quad (4)$$

де $\bar{Q}_{t+\Delta t}$ – середня витрата води за період часу Δt , м³/с;

W_t – запас води в річковій мережі на дату випуску прогнозу t , м³;

Q_t – витрата води у замикаючому створі річки на дату випуску прогнозу t , м³/с.

Такі прогностичні залежності, встановлюються для конкретної річки за даними багаторічних спостережень для окремих місяців літньо-осіннього і зимового періодів. Точність прогнозів при цьому буде тим вища, чим менший вплив дощів на стік меженого періоду, тобто для річок з незначною долею дощового стоку і для великих річок лісостепової та степової географічних зон [54]. При необхідності врахування поверхневого дощового стоку в прогнозах середньодадних витрат води головні труднощі полягають не тільки в складності розрахунку дощового стоку, а й обмежених можливостей прогнозу опадів з великою завчасністю.

Ще в 1939 році в ДГІ (в [32]), в основу розробки територіальних прогнозів літнього та осіннього стоку був покладений метод років-аналогів, вибір якого виконувався по величині весняного стоку й по сумі опадів за місяць, які своєю чергою бралися по прогнозу погоди.

Дослідженням статистичної структури часових рядів середніх векторів узагальнених кластерів атмосферних опадів у різні сезони року присвячені публікації авторів Л. Д. Гончарової та О. М. Прокоф'єва [55, 56]. Ними виконана кластеризація місячної кількості опадів у сезони року для всієї території України з карто-схемою цього районування, яка показала, що південні регіони України формують кластери, що відповідають закономірностям розподілу опадів над територією.

Для періоду зимової межени необхідно врахувати надходження до руслової мережі тало-дощових вод періоду зимових відлиг, що у прогнозному варіанті виконати доволі складно.

Виклад основного матеріалу дослідження.

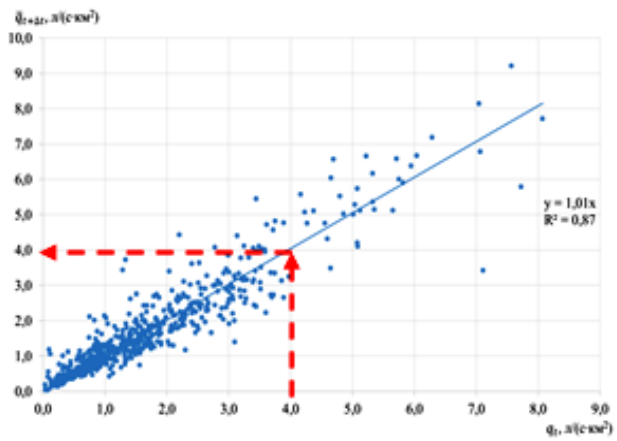
Задача територіального прогнозу літнього, осіннього та зимового стоку досліджуваних річок України вирішена в даній роботі на основі рішення рівнянь (1) чи (2) у вигляді залежностей типу (4) для низки опорних постів згідно табл. 1.

При цьому, регіональні прогностичні залежності побудовані для модулів стоку, тобто у вигляді – $q_{t+10} = f(q_t)$ окремо для кожного місяця за літній (червень-серпень), осінній (вересень-листопад) та зимовий (грудень-січень) періоди (за базовий період 1980-2015 рр.). За дату t , на яку визначаються величина q_t , тобто дату складання прогнозу декадного стоку, приймається 10, 20-те, чи 30(31) - те число кожного місяця. Період або проміжок часу Δt для річок розглядуваного регіону прийнятий за одну декаду.

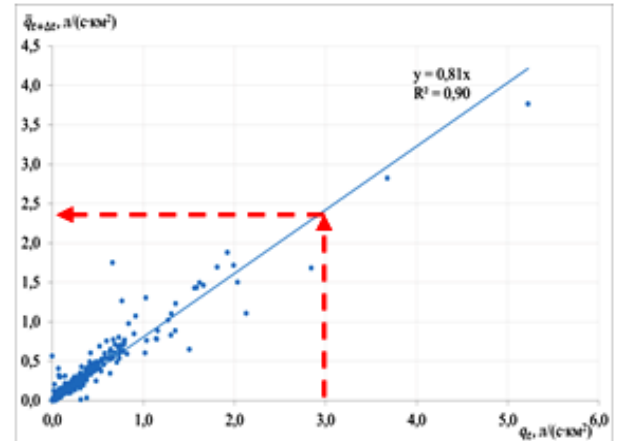
Обґрунтування регіональних залежностей і узагальнення параметрів територіальної методики короткострокових прогнозів середньодадних модулів стоку меженного періоду в межах басейнів рр. Південний Буг, Причорномор'я та Нижнього Дніпра велось з урахуванням результатів кластеризації місячної кількості атмосферних опадів на території України у зимовий, літній,

осінній сезони [55]. Приклади регіональних залежностей для територіальних короткострокових прогнозів середньодадних модулів меженного стоку в басейнах зазначених річок наведені на рис.3 а, б, а схема випуску прогнозу середньодадних модулів стоку меженного періоду – червоним пунктиром (рис.3 а,б).

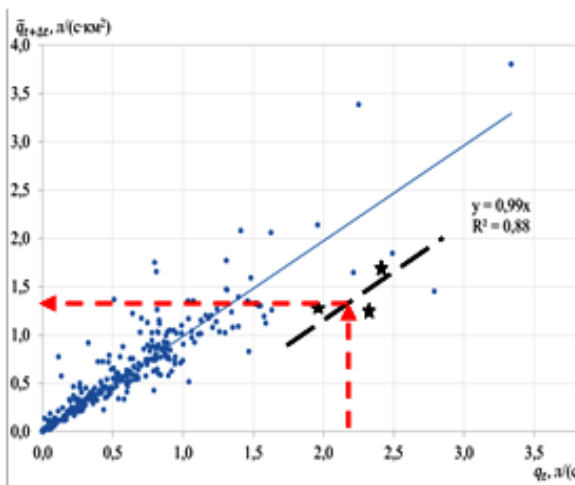
Точність залежностей для територіальних



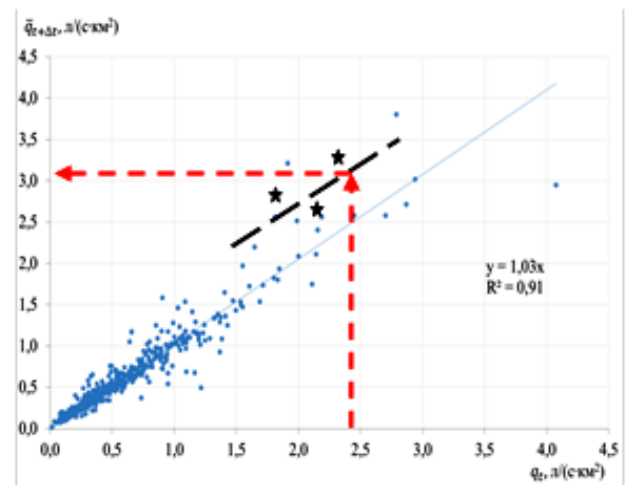
а) в басейні р. Південний Буг (для червня) /
a) in the basin of the Pivdennyi Buh river (for June)



б) в басейні лівобережжя Нижнього Дніпра
(для серпня) /
b) in the basin of the left bank of the
Lower Dnipro (for August)



в) в басейнах річок Причорномор'я
(для вересня) /
c) in the Black Sea river basins (for September)



г) в басейні лівобережжя Нижнього Дніпра
(для грудня) /
d) in the basin of the left bank of the
Lower Dnipro (for December)

Рис. 3. Регіональні залежності для територіальних короткострокових прогнозів середньодадних модулів меженного стоку (1980-2015 рр.) /

Fig. 3. Regional dependencies for the territorial short-term forecasts of the average decade modules of low flow (1980-2015)

прогнозів літнього, осіннього та зимового стоку обумовлена варіацією атмосферних опадів осіннього сезону, які можуть враховуватися за кількістю опадів у періоди випуску прогнозу стоку та метеорологічним прогнозом опадів на поточну декаду. При цьому для зимової межени форму-

вання низьких витрат води більшою мірою пов'язане з наявністю зимових відлиг і формуванням паводків, що є характерним для річок розглядуваної території.

Однак, слід зазначати, що для басейну Нижнього Дніпра у зв'язку зі значною зарегульованіс-

тю р. Інгулець розробка методики територіального короткострокового прогнозу середньодадних витрат води меженного періоду велася окремо для басейну цієї річки. Так, на річці існує каскад Інгулецьких водосховищ, який включає Войнівське, Іскрівське, Карачунівське водосховища. Верхня ділянка річки зарегульована греблями Карачунівського (3600 га) та Іскрівського водосховищ. Крім того, є дамба ГЕС у смт Велика Олександрівка, а також греблі біля сіл Могилівка, Заградівка та Мала Олександрівка. Такі гідротехнічні споруди порушують режим меженного стоку, особливо, як виявилось по точності прогностичних залежностей, в літній період у зв'язку з можливими скидами води з водосховищ.

Оцінка методики короткострокових прогнозів меженного стоку річок. За критерій якості методики короткострокових прогнозів меженного стоку річок прийняте відношення середньої квадратичної похибки перевірних прогнозів S до середнього квадратичного відхилення σ_{Δ} й забезпеченості допустимої похибки $P\%$ [57]. В цілому методика територіальних короткострокових прогнозів середньодадних витрат води меженного літнього, осіннього та зимового стоку досліджуваних річок України оцінюється як задовільна – інтервал критерію якості та ефективності методики S/σ_{Δ} становить 0,53 – 0,87, а забезпеченість допустимої похибки доволі висока – $P\%$ змінюється від 70 % до 97%, при числі членів ряду понад 500 точок.

Висока забезпеченість $P\%$ при критерії якості методики на рівні задовільних оцінок свідчить про те, що окремі значні похибки виникають при випадінні стокоформуєчих опадів, особливо восени, які формують паводки на річках і порушують режим межені. Як вже відмічалось раніше, таких похибок можна уникнути або скоротити якщо кількість опадів періоду завчасності прогнозу враховувати за метеорологічним прогнозом опадів. Для зимових місяців значну роль у виникненні похибок прогнозів відіграє наявність зимових відлиг, таненні снігу і формування паводків, а в останні роки й випадіння рідких опадів в цей період. Уточнення прогнозів досягається й при поточному їх коректуванні шляхом урахування попередніх вихідних даних методики та похибок, які виникали при випуску прогнозу в ці дати – при кількості опадів періоду завчасності прогнозу нижче за кліматичну норму (рис. 3в, чорний пункт) або вище за неї (рис.3 г, чорний пункт).

Методика визначення ймовірнісних характеристик прогнозних величин меженного стоку річок. Інформація про повторюваність низького стоку може бути отримана з аналізу, що належить до ймовірності перевищення параметрів гідрологічного явища [1].

У ймовірнісно-прогностичному методі територіальних короткострокових прогнозів величин меженного стоку досліджуваних річок України пропонується, аналогічно максимального стоку весняного водопілля [29,30], встановлення забезпеченості або ймовірності перевищення (ймовірності настання) прогнозних величин у багаторічному періоді ($P\%$), що є особливо важливим для річок, не вивчених у гідрологічному відношенні.

За наявності багаторічних рядів стокових спостережень задача встановлення ймовірності перевищення у багаторічному розрізі прогнозних величин ($P\%$) вирішується шляхом побудови емпіричних кривих забезпеченості середніх витрат води меженного періоду $q_{сер} = f(P\%)$ [58]. У прогностичній моделі $q_{сер}$ встановлюються по регіональних прогностичних залежностях вигляду (4).

Для визначення забезпеченості прогнозних величин середньодадних витрат води літньої, осінньої та зимової межені в роботі встановлений емпіричний розподіл середньомісячних витрат води в зазначені сезони межені (за період 1980-2015 рр.), що узагальнені в басейнах досліджуваних річок України, відповідно табл. 1 (рис. 4, рис. 5). З графіків емпіричного розподілу, для кожної прогнозної величини середньодадних витрат води знімаються їх забезпеченості настання у багаторічному періоді $P\%$ (червоний пункт).

Слід відмітити, що характер емпіричного розподілу середньомісячних витрат води всіх сезонів межені річок нижньої течії Південного Бугу та річок Причорномор'я (рис.5) вказує на те, що вже при забезпеченості низьких витрат води на рівні 50-55 % невеликі річки території пересихають чи перемерзають.

Картографічне представлення прогнозних модулів літнього, осіннього та зимового меженного стоку річок та їх ймовірнісних характеристик. В гідрологічній практиці для наявного представлення прогнозних величин у просторовому розподілі будують карти зміни цих величин по території. Це може відноситися й до прогнозних величин витрат води у меженний період. Такий підхід був запропонований ще у 1939 р. в методиці ДГІ територіального прогнозування меженного стоку (в [32]) (у модульних коефіцієнтах) для достатньо великої території, що дозволила б встановити очікувану величину літнього стоку за даний місяць практично для кожної річки території.

В ймовірнісно-прогностичному методі територіальних короткострокових прогнозів величин меженного стоку річок Півдня України пропонується для оцінки розмірів очікуваної межені у кожному році, представляти прогнозні величини витрат води на підставі карто-схем модулів

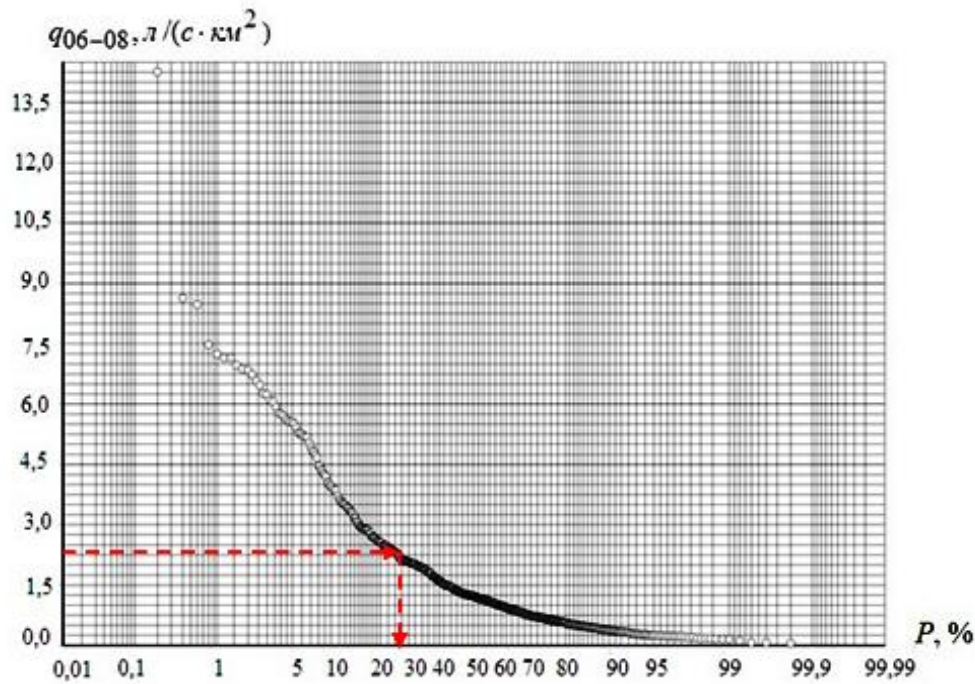


Рис. 4. Емпіричний розподіл середньомісячних витрат води періоду літньої межени річок в басейні р. Південний Буг (за період 1980-2015 рр.) /
 Fig. 4. Empirical distribution of average monthly water discharges during the summer low flow period in the Pivdennyi Buh river basin (1980-2015)

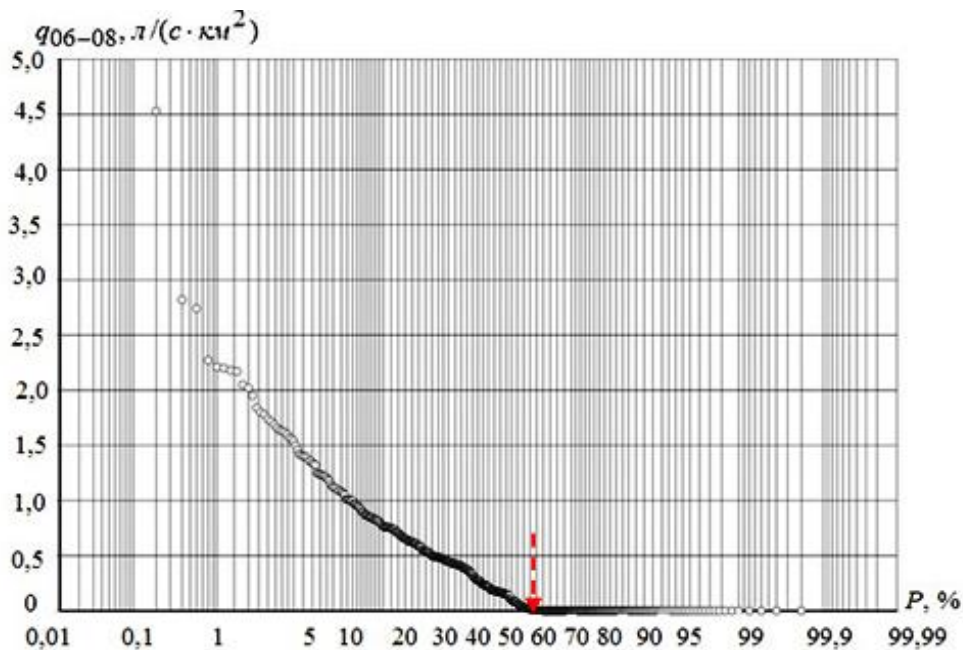


Рис. 5. Емпіричний розподіл середньомісячних витрат води періоду літньої межени річок в басейні нижньої течії Південного Бугу та річок Причорномор'я (за період 1980-2015 рр.) /
 Fig. 5. Empirical distribution of average monthly water discharges during the summer low flow period in the basin of the lower stream of the Pivdennyi Buh and Black Sea Area Rivers (1980-2015)

меженного стоку \bar{q}'_{t+10} , л/(с·км²). Одночасно з карто-схемами прогнозних значень модулів стоку меженного періоду надається й карта ймовірності перевищення прогнозних величин у багаторічному розрізі (P %) у будь-якій частині території,

незалежно від стану її гідрометеорологічної вивченості. Приклади таких карто-схем прогнозних величин модулів літнього меженного стоку та його ймовірнісних характеристик в басейнах річок Південного Бугу, Причорномор'я та Нижнього Дніпра представлено на рис. 6 і рис. 7.

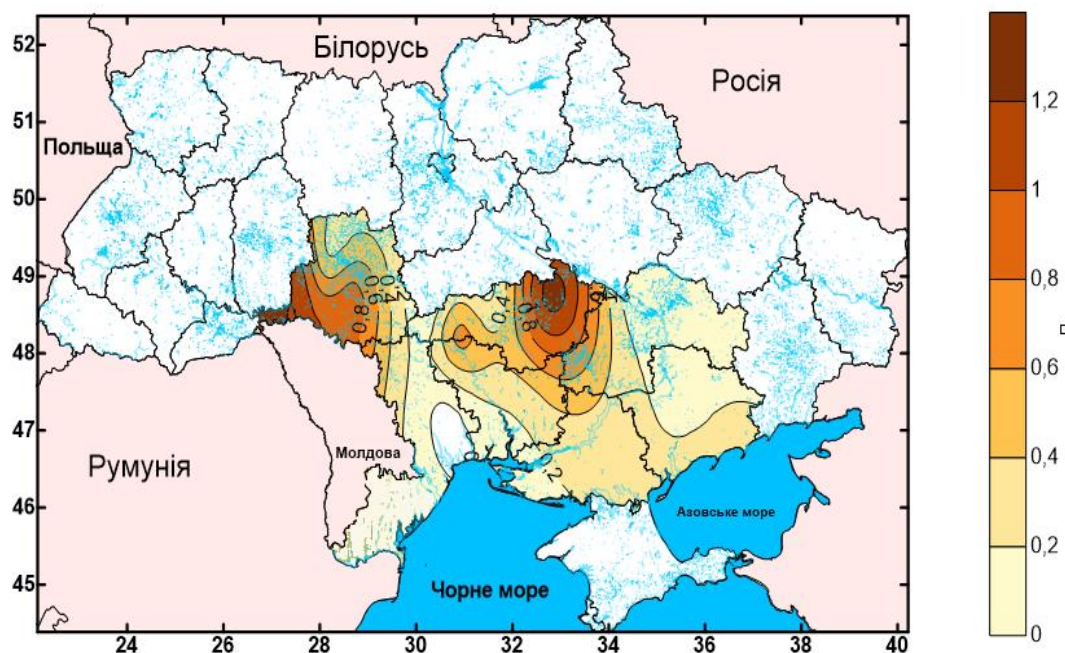


Рис. 6. Карто-схема прогнозних величин середньодакадних модулів стоку періоду літньої межні (3 декада липня) 2019 р. в басейнах річок Південного Бугу, Причорномор'я та Нижнього Дніпра / Fig. 6. Map scheme of forecast values of average decade water runoff modules during the summer low flow period (3rd decade of July) in 2019 in the basins of the Pivdennyi Buh, Black Sea area, and Lower Dniro rivers

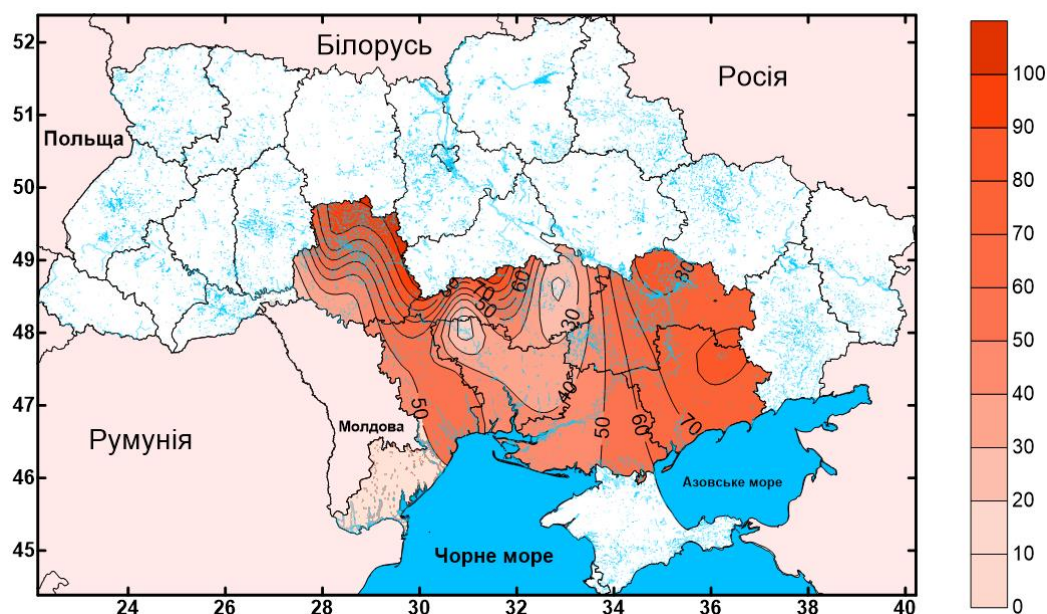


Рис. 7. Карто-схема прогнозних забезпеченостей середньодакадних витрат води періоду літньої межні (3 декада липня) 2019 р. в басейнах річок Південного Бугу, Причорномор'я та Нижнього Дніпра / Fig. 7. Map scheme of the forecasted probability of average decade water discharge during the summer low flow period (3rd decade of July) in 2019 in the basins of the Pivdennyi Buh, Black Sea area, and Lower Dniro rivers

Використання таких карто-схем прогнозних модульних коефіцієнтів межених витрат води дозволяє здійснити просторовий моніторинг водності річок меженого періоду та виконати прогноз середньодакадних витрат води на досліджуваних річках України, причому й на річках, на яких не ведуться спостереження за стоком води.

Карто-схеми прогнозних забезпеченостей середньодакадних витрат води періоду межени дають змогу ймовірнісних характеристик стоку їх настання у багаторічному періоді (рис. 7).

Так, за цими карто-схемами можливо надавати оцінку виникнення низького стоку річок території, наприклад при досягненні його значень

близьких до екологічних витрат води, які є критичним показником для функціонування такими екосистеми річки. Оцінка за ним проводиться при утриманні маловоддя (за основними критеріями) упродовж 1 місяця і більше. Значення екологічної витрати води є сталим розрахованим показником для кожного гідрологічного поста на річках [25].

Висновки. В роботі обґрунтовано ймовірно-прогностичний метод для прогнозування меженних витрат води (літнього, осіннього та зимового періодів) на основі побудови регіональних залежностей середньодекадних модулів стоку від попередніх витрат води для груп басейнів річок Південного Бугу, Причорномор'я та Нижнього Дніпра з урахуванням кліматичних закономірностей розподілу опадів територією та встановлення ймовірнісних характеристик меженних витрат води у багаторічному періоді.

В цілому методика територіальних короткострокових прогнозів середньодекадних витрат води меженного літнього, осіннього та зимового стоку досліджуваних річок України оцінюється як задовільна при забезпеченості допустимої похибки від 70 % до 97 %, при числі членів ряду понад 500 точок.

Запропонована методика територіальних прогнозів меженного літнього, осіннього та зимового стоку досліджуваних річок України дозволяє за встановленими регіональними залежностями випускати прогнози середніх за декаду витрат води для будь-якої річки території, не залежно від наявності регулярних спостережень за стоком

води. Точність прогнозів середньодекадних витрат води літнього та осіннього меженних періодів буде визначатися варіацією кількості опадів з врахуванням метеорологічного прогнозу опадів, а для зимового періоду – прогнозом температури повітря і можливим таненням снігу у періоди зимових відлиг.

Для визначення забезпеченості прогнозних величин середньодекадних витрат води літньої, осінньої та зимової межени встановлений емпіричний розподіл середньомісячних витрат води в сезони межени, що узагальнені в басейнах досліджуваних річок України.

Для оцінки розмірів очікуваної межени у кожному році прогнозні величини витрат води одержуються за карто-схемами модулів меженного стоку, а також їх ймовірнісних величин. Використання таких карто-схем дозволяє здійснити просторовий моніторинг та оцінити ступінь маловоддя на річках в цілому для всього досліджуваного регіону України, включаючи й ті річки, по яких спостереження за стоком відсутні, а їх ймовірнісні характеристики – надавати оцінку можливого виникнення низького стоку.

Перспективами подальших досліджень є використання прогностично-ймовірнісного методу для завчасного визначення меженних витрат води та їх ймовірності настання у багаторічному періоді, що є особливо важливим при досягненні прогнозних значень витрат води близьких до екологічних, які є критичним показником для функціонування екосистеми річки.

Список використаної літератури

1. *Руководство по гидрологической практике. Сбор и обработка данных, анализ, прогнозирование и другие применения [Текст]. – Пятое изд. – ВМО-№ 168., 1997. – 843 с.*
2. *Руководство по гидрологической практике. Управление водными ресурсами и практика применения гидрологических методов [Текст]. – Том II. Шестое издание. – ВМО-№ 168., 2012. – 324 с.*
3. *Загальна гідрологія [Текст] : підручник / за ред. В.К. Хільчевського, О.Г. Ободовського. – К.: ІПЦ «Київ. ун-т», 2008. – 399 с.*
4. *Горбачова, Л.О. Гідрологія [Текст]: навчальний посібник для вищих навчальних закладів / Л.О. Горбачова. – К.: НПУ ім. М.П. Драгоманова, 2010. – 125 с.*
5. *Юценко, Ю.С. Загальна гідрологія [Текст]: підручник / Ю.С. Юценко. – Ч.: Чернівецький нац.ун-т, 2017. – 591 с.*
6. *The challenges of climate change [Текст] : The outcomes of IPCC WGI (Assesment Report) / Co-Chair IPCC Working Group I : рук. Thomas Stocher. – University of Bern, Switzerland, 2013.*
7. *Лялько, В.І. Використання даних наземного та космічного моніторингу для аналізу сучасних змін клімату в Україні [Текст] / В.І. Лялько, Л.О. Єлістратова, О.А. Апостолов // Український журнал дистанційного зондування Землі. - 2014. – № 1. – С. 20-24. http://nbuv.gov.ua/UJRN/ukjdz_20141_7*
8. *Писаренко, В.М., Посухи в контексті змін клімату України [Текст] / В.М. Писаренко, П.В. Писаренко, В.В. Писаренко, О.О. Горб, Т.О. Чайка // Вісник ПДАА. – 2019. – № 1. – С. 134-146. <https://doi.org/10.31210/visnyk2019.01.18>*
9. *Мартазинова, В.Ф. Характер екстремальних опадів початку XXI століття на території України [Текст] / В.Ф. Мартазинова, А.А. Щеглов // Український гідрометеорологічний журнал. – 2018. – № 22. – С. 36-45. <https://doi.org/10.31481/uhmj.22.2018.04>*
10. *Савчук, С.В. Районування України по впливу екстремальних значень максимальної температури повітря у теплий та холодний періоди року [Текст] / С.В. Савчук, Н.М. Ювченко, В.Є. Тимофеев // Український гідрометеорологічний журнал. – 2018. – № 22. – С. 46-56. <https://doi.org/10.31481/uhmj.22.2018.05>.*

11. Хохлов, В.М. Вплив змін клімату на періоди холодної погоди в Україні [Текст] / В.М. Хохлов, К.С. Сіріченко, О.В. Уманська // Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2017. – № 22. – С. 39-44. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vodeu_2017_22_7
12. Водні ресурси України у зв'язку з кліматичними умовами. Україна: географічні проблеми сталого розвитку [Текст] : збірник наукових праць дев'ятого з'їзду Українського географічного товариства / редкол. : Н.С. Лобода, Є.Д. Гонченко. – К.: ВГЛ Обрії., 2004. – Т. 3. – С. 144-146.
13. Лобода, Н.С. Влияние изменений климата на водные ресурсы Украины (моделирование и прогнозы по данным климатических сценариев) [Текст] / Н.С. Лобода // Глобальне и региональные изменения климата. – 2011. – С. 340-351. <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/3771>
14. Лобода, Н.С. Вплив змін клімату на водні ресурси України у сучасних та майбутніх умовах (за сценарієм глобального потепління А1В) [Текст] / Н.С. Лобода, З.Ф. Сербова, Ю.В. Божок // Український гідрометеорологічний журнал. – 2014. – №15. – С. 149-159. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Uggj_2014_15_23
15. Гребінь, В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз) [Текст] / В.В. Гребінь. – К.: Ніка-Центр, 2010. – 316 с.
16. Рахматуліна, Е.Р. Майбутні тенденції змін характеристик гідрологічного режиму річок басейну, Південного Бугу в зимовий період [Текст] / Е.Р. Рахматуліна, В.В. Гребінь // Український гідрометеорологічний журнал. – 2017. – № 20. – С. 91-98. <https://doi.org/10.31481/uhmj.20.2017.11>
17. Grebin, V. Forecasting the runoff on rivers of the Dniester river basin according to the REMO numeric climatic model [Текст] / V. Grebin, K. Mudra // World science. – 2018. – № 9(37). – Pp. 26-32. https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30092018/6131
18. Горбачова, Л.О. Оцінка можливих майбутніх змін водного стоку річок України (на середину XXI століття) [Текст] / Л.О. Горбачова // Проблеми матеріальної культури. Географічні науки. – 2014. – С. 89-94. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/92902>
19. Ovcharuk, V. Engineer substantiation of estimated characteristics of maximum rivers runoff during floods under climate change : Ecological Significance of River Ecosystems. Chapter 18 [Текст] / V. Ovcharuk, E. Gopchenko; editor(s): Sughosh Madhav, Shyam Kanhaiya, Arun Srivastav, Virendra Singh, Pardeep Singh. – Elsevier, 2022. – Pages 351-382. – ISBN 9780323850452. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85045-2.00018-2>
20. Ботьбот, Г.В. Оцінка багаторічних коливань мінімальних витрат води річок басейну Сіверського Дінця [Текст] / Г.В. Ботьбот // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2019. – № 3 (54). – С. 31-33. http://nbuv.gov.ua/UJRN/glhge_2019_3_12
21. Reshetchenko, S. Climate indicators of changes in hydrological characteristics (a case of the Psyol river basin) [Текст] / S. Reshetchenko, S. Dmitriiev, N. Cherkashyna, L. Goncharova // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія». – 2020. – Вип. 53. – С. 176-189. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-12>
22. Горбачова, Л.О. Сучасний внутрішньорічний розподіл водного стоку річок України [Текст] / Л.О. Горбачова // Український географічний журнал. – 2015. – №3. – С. 16-23. <https://doi.org/10.15407/ugz2015.03.016>
23. Семенова, І.Г. Прогностичний розподіл посух теплого сезону по території України в 2021-2050 рр. [Текст] / І.Г. Семенова, А.М. Польовий // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія». – 2020. – Вип. 53. – С. 190-200. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-13>
24. Tallaksen, L.M. Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater [Текст] / L.M. Tallaksen, Van Lanen, Henny. – 2004. – 579 p.
25. Овчарук, В.А. Мінімальний та екологічний стік річок в зоні недостатньої водності України [Текст] / В.А. Овчарук, Л.В. Куценко, О.М. Прокоф'єв, М.В. Гонцій, Г.М. Андреевська // Екологічні науки. – 2021. – Вип. 2 (35). – С. 30-36. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.2-35.5>
26. Куценко, Л.В. Дослідження дефіцитів водності та індексів посухи для зони недостатньої водності України [Текст] / Л.В. Куценко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2021. – Вип. 4 (62). – С.34-46. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.4.3>
27. Tabari, H. Hydrological drought assessment in Northwestern Iran based on streamflow drought index (SDI) [Текст] / H. Tabari, J. Nikbakht, T.P. Hosseinzadeh // Water Resources Management. – 2013. – 27 (1). – Pp. 137-151. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0173-3>
28. Кочелаба, Е.И. Математическое моделирование процессов формирования половодного стока на территории Полесья с учетом отпелельных явлений [Текст] / Е.И. Кочелаба, В.П. Окорский, М.Н. Соседко // Труды УкрНИГМИ. – 1990. – Вып. 235. – С. 3-18.
29. Шакирзанова, Ж.Р. Довгострокове прогнозування характеристик весняного водопілля в басейні р. Південний Буг [Текст]: монограф. / Ж.Р. Шакирзанова, А.О. Докус. – О.: ФОП Бондаренко М.О., 2021. – 244 с. – ISBN 978-617-8005-42-9.
30. Shakirzanova, Z. Territorial long-term forecasting of hydrological characteristics of spring floods of lowland rivers : Ecological Significance of River Ecosystems. Chapter 17 [Текст] / Z. Shakirzanova, A. Dokus; editor(s): Sughosh Madhav, Shyam Kanhaiya, Arun Srivastav, Virendra Singh, Pardeep Singh. – Elsevier, 2022. – Pp. 325-350. – ISBN 9780323850452. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85045-2.00020-0>
31. Попов, Е.Г. Гидрологические прогнозы [Текст] / Е.Г. Попов. – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1958. – 386 с.

32. Аполлов, Б.А. Гидрологические прогнозы [Текст] / Б.А. Аполлов, Г.П. Калинин, В.Д. Комаров. – Л.: ГИМИЗ, 1960. – 410 с.
33. Bodwell, V.J. Regression analysis of non-linear catchment systems [Текст] / V.J. Bodwell // *Water Resources Research*. – 1971. – Vol. 7. – Pp. 1118–1125. https://doi.org/10.1029/WR007i005p_01118
34. Wright, C.E. Monthly Catchment Regression Models: Thames Basin [Текст] / C.E. Wright // *Central Water Planning Unit, Technical*, 1975. – No. 8. – Pp. 32.
35. *Proceedings of the International Symposium on Flash Floods – Measurements and Warning [Текст]* : International Association of Hydrological Sciences. – Paris, 9–12 September. 1974. – Publication No. 112.
36. Report № 34. Operational Hydrology [Текст]: Hydrological Models for Water-Resources System Design and Operation / World Meteorological Organization – Geneva, 1990. – No. 740. https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=8846#.YpPUA0pBzIU
37. *A Generalized Streamflow Simulation System : Conceptual Modelling for Digital Computers [Текст]* : National Weather Service and State of California Department of Water Resources / редкол : R.J.C. Burnash, R.L. Ferral, R.A. McGuire. – March, 1973. – P. 69.
38. Gerlinger, K., Demuth, N. The flood forecast model LARSIM: application experiences and evaluation of operational runoff forecasts in the Moselle basin [Текст] / in: Boeckx, L. (Ed.) *International Symposium on Innovations in Flood Forecasting Systems, 16-17 March 2011, Flanders Hydraulics Research Antwerp, Belgium: book of abstracts*. pp. 7-8. <https://www.vliz.be/en/imis?module=ref&refid=205639>
39. Abbott, M.B. An Introduction to the European Hydrological System – Systeme Hydrologique Europeen [Текст] / M.B. Abbott, J.C. Bathurst, J.A. Cunge et al. // "SHE," 2: Structure of a Physically-Based, Distributed Modelling System. *Journal of Hydrology*. – 1986. – No. 87. – Pp. 61-77. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(86\)90114-9](https://doi.org/10.1016/0022-1694(86)90114-9)
40. Wigmosta, M.S. A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain [Текст] / M.S. Wigmosta, L. Vail, D.P. Lettenmaier // *Water Resources Research*. – 1994. – Vol. 30. – Pp. 1665-1679.
41. Wilke, K. Operationelle Wasserstands – und Durchflussvorhersagen im Rheingebiet. Operational forecast of water level and runoff in Rhine Catchment [Текст] / K. Wilke, S. Rademacher // *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*. – 2002. – No. 54. – Pp. 9-10.
42. Reichel, G. FluxDSS und FLORIS2000 – ein leistungsfähiges Paket zur Modellierung der Fließvorgänge in komplexen Systemen [Текст] / G. Reichel // *Österreichische Wasserwirtschaft*. – 2001. – 53. – Pp. 5-6.
43. Calibration techniques used for HBV hydrological model in Savinja catchment [Текст] : conference abstracts XXIVth of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management, 2-4 June 2008 / редкол : Kobold M., Suselj K., Polajnar J. et al. – Slovenia, 2008. – Pp. 14.
44. User guide. MIKE 11. A Modelling System for River and Channels [Текст] . – DHI, 2012. – Vol.2. – 204 p.
45. Hydrological calibration scenarios of the HSPF model for the upper Iskar basin [Текст] : conference abstracts XXIII of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management, 28-31 August 2006 / редкол : Ninov P., Ribarova I., Nikolaidis N. at al. Belgrade, Serbia, 2006. – Pp. 59.
46. Parey, S. Extreme Low Flow Estimation under Climate Change [Текст] / S. Parey, J. Gailhard // *Atmosphere*. – 2022. – 13. – 164. <https://doi.org/10.3390/atmos13020164>
47. Христюк, Б.Ф. Краткосрочное прогнозирование уровней воды в Килийском рукаве Дуная [Текст] / Б.Ф. Христюк // *Energetika*. – 2014. – Т. 60. № 1. – С. 69-75. <https://doi.org/10.6001/energetika.v60i1.2874>
48. On use of drought indexes in modeling hydrological processes [Текст] : Geoconference on Water Resources: Hydrology and Water Resources, 17–26 June 2014 / редкол : Semenova I., Ovcharuk V., Shakhirzanova J. – Albena, 2014. – 1. – Pp. 503–510. https://doi.org/10.5593/SGEM_2014/B31/S12.065
49. Ovcharuk, V. Extreme hydrological phenomena in the forest steppe and steppe zones of Ukraine under the climate change [Текст] / V. Ovcharuk, E. Gopchenko, N. Kichuk, Z. Shakhirzanova, L. Kushchenko, M. Myroschnichenko // *Proc. IAHS*. – 2020. – 383. – Pp. 229–235. <https://doi.org/10.5194/piahs-383-229-2020>
50. Методики гідрографічного та водогосподарського районування території України відповідно до вимог Водної Рамкової Директиви Європейського Союзу [Текст]. – К. : Інтерпрес ЛТД, 2013. – 55 с.
51. Державний водний кадастр. Багаторічні дані про режим та ресурси поверхневих вод суші (за 2011-2015 рр. та весь період спостережень) [Текст]. Ч. 1. Річки. Вип. 1. Басейни Західного Бугу, Дунаю, Дністра, Південного Бугу: довідкове видання. – К., 2017. – 465 с.
52. Бойко, В.М. Використання геоінформаційних технологій в оперативній гідрометеорології [Текст] / В.М. Бойко, М.І. Кульбіда, Т.І. Адаменко // *Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія*. – 2010. – Вип.18. – С.25-30.
53. Методика прогнозування сезонного меженного стоку річок Півдня України для забезпечення сталого водокористування [Текст] : тез. доп. другого Всеукраїнського гідрометеорологічного з'їзду / Шакірманова Ж. Р., Погорелова М.П., Мостій А.С., Блага А.О., Стратійчук О.В. – Одеса: ОДЕКУ, 2021. – С.109-110.
54. Шакірманова, Ж.Р. Довгострокові гідрологічні прогнози : конспект лекцій [Текст] / Ж.Р. Шакірманова. – О.: Вид-во ТЕС, 2010. – 154 с.
55. Прокоф'єв, О.М. Клімато-географічні особливості розподілу опадів на території України в осінній період [Текст] / О.М. Прокоф'єв, Л.Д. Гончарова // *Екологічні науки*. – 2021. – № 2 (35). – С. 94-98. <http://eprints.library.odetu.edu.ua/id/eprint/9156>
56. Гончарова, Л.Д. Вплив атмосферних макропроцесів на просторовий розподіл опадів по території України у весняний сезон [Текст] / Л.Д. Гончарова, О.М. Прокоф'єв, С.І. Решетченко, А.В. Черниченко // *Український гідрометеорологічний журнал*. – 2021. – № 27. – С. 5-15.

57. Керівний документ. Оцінювання якості методики та точності (справджуваності) прогнозів режиму поверхневих вод суші [Текст]. – К. : Український гідрометеорологічний центр, 2015. – 70 с.
58. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик [Текст]. – Л. : Гидрометеоиздат, 1984. – 447 с.

Внесок авторів: Шакірзанова Ж. – постановка та шляхи вирішення проблеми, аналіз результатів, текст статті; Овчарук В. – аналіз останніх досліджень і публікацій, аналіз результатів; Докус А. – аналіз закордонних моделей прогнозування стоку річок, оцінка методики прогнозу; Кущенко Л. – збір вихідних даних, побудова регіональних прогнозних залежностей, побудова карто-схем прогнозних модулів меженного стоку річок та їх ймовірнісних характеристик; Тимко О. – встановлення емпіричного розподілу середньомісячних витрат води в сезони межени, побудова карто-схем прогнозних модулів меженного стоку річок та їх ймовірнісних характеристик

Probabilistic-forecasting method for determination of low flow discharge of Pivdennyi Buh, Black Sea area, and Lower Dnieper rivers

Zhannetta Shakirzanova¹,

DSc (Geography), Professor, Head of the Department of Land Hydrology,
¹Odessa State Environmental University, 15 Lvivska Str., Odessa, 65016, Ukraine;

Valeriya Ovcharuk¹,

DSc (Geography), Professor, Director of the Educational and Scientific Hydrometeorological Institute;

Anhelina Dokus¹,

PhD (Geography), Senior Lecturer, Department of Land Hydrology;

Liliia Kushchenko¹,

PhD Student in the Department of Land Hydrology;

Olena Tymko¹,

PhD Student in the Department of Land Hydrology

ABSTRACT

The aim of the study is to substantiate the probabilistic-forecasting method for forecasting the low flow discharge and its implementation for the Pivdennyi Buh, Black Sea area and Lower Dnieper rivers, taking into account climatic patterns of precipitation distribution and establishing probabilistic characteristics of low flow discharge in multi-year period. The study area is in a zone of significant risk due to the shortage of water resources, the formation of extremely low runoff in the dry flow period, which requires its definition and forecasting.

The methodological basis of forecasts is to solve the equation in determining the components of the low flow of rivers by constructing regional dependences for forecasting the average decade summer-autumn low flow from previous water discharge (in runoff modules), establishing their probabilities water discharge for a number of intakes.

Results. The paper substantiates the probabilistic-forecasting method for forecasting low flow discharge (in summer, autumn and winter periods) based on the construction of regional dependences of average decadal runoff modules on previous water discharge for groups of basins of studied rivers taking into account climatic dependences of precipitation distribution in the territory and the establishment of probabilistic characteristics of the low flow water discharge in a multi-year period. The methodology of territorial short-term forecasts of average decade water discharge of low flow of summer, autumn and winter river runoff is assessed as satisfactory with a margin of error of 70 % to 97 %, with a number of members of more than 500 points. To determine the cumulative probability of the forecast values of the average decade water discharge of the summer, autumn and winter dry weather flow, the empirical distribution of the average monthly water discharge in the limited seasons, which are generalized in the basins of the studied rivers of Ukraine, is established.

Scientific novelty. For the first time for the zone of insufficient natural water content of rivers the method of territorial forecasts of low flow discharge, determination of their probability of occurrence in a multi-year period and cartographic representation of prognostic values have been developed and practically implemented.

The practical importance is the use of forecast modules maps of low flow for spatial monitoring and assessment of low water levels on rivers in the whole region, including ungauged rivers, and their probabilistic characteristics – to assess the possible occurrence of low runoff, even when it reaches values close to the environmental runoff, which are critical for the functioning of the river ecosystem.

Keywords: low flow discharge, territorial forecast, probabilistic characteristics, cartographic form of forecast.

References

1. WMO. (1997). *Guide to hydrological practice. Data collection and processing, analysis, forecasting and other applications* (5, 843).
2. WMO. (2012). *Guide to hydrological practice. Water resources management and practice of application of hydrological methods* (6(2), 324). Available at: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=14371#_YpN710pBzIU

3. Khilchevsky, V.K., Obodovsky, O.G. (Eds.). (2008). *General hydrology: a textbook*. Kyiv: CPI "Kyiv. un-t. Available at: https://uhe.gov.ua/sites/default/files/2018-07/REP000_0672.PDF
4. Gorbacheva, L.O. (2010). *Hydrology: a textbook for higher education*. Kyiv: NPU Publishing House Dragomanova.
5. Yushchenko, Yu.S. (2017). *General hydrology: a textbook*. Chernivtsi: Chernivtsi National University. Available at: <http://odnb.odessa.ua/vnn/book/2832>
6. Thomas Stocher (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I contribution to the IPCC Fifth Assessment Report*. University of Bern, Switzerland.
7. Lyalko, V.I., Elistratova, L.O., Apostolov, O.A. (2014). Using terrestrial and space monitoring data to analyze current climate change in Ukraine. *Ukrainian Journal of Remote Sensing of the Earth*, 1, 20-24. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ukjdzz_2014_1_7
8. Pisarenko, V.M., Pisarenko, P.V., Pisarenko, V.V., Gorb, O.O., Chaika, T.O. (2019). Droughts in the context of climate change in Ukraine. *Bulletin of the PDAA*, 1, 134-146. Available at: <https://doi.org/10.31210/visnyk2019.01.18>
9. Martazinova, V.F., Shcheglov, A.A. (2018). The nature of extreme precipitation at the beginning of the XXI century in Ukraine. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 22, 36-45. Available at: <https://doi.org/10.31481/uhmj.22.2018.04>
10. Savchuk, S.V., Yuvchenko, N.M., Timofeev, V.E. (2018). Zoning of Ukraine on the influence of extreme values of maximum air temperature in warm and cold periods of the year. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 22, 46-56. Available at: <https://doi.org/10.31481/uhmj.22.2018.05>
11. Khokhlov, V.M., Sirichenko, K.S., Umanskaya, O.V. (2017). Impact of climate change on periods of cold weather in Ukraine. *Bulletin of Odessa State Ecological University*, 22, 39-44. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vodeu_2017_22_7
12. Loboda, N.S., Gopchenko, E.D. (2004). Water resources of Ukraine in connection with climatic conditions. *Ukraine: geographical problems of sustainable development: a collection of scientific papers of the ninth congress of the Ukrainian Geographical Society*, 3, 144-146.
13. Loboda, N.S. (2011). The impact of climate change on the water resources of Ukraine (modeling and forecasts based on climate scenarios). *Global and regional climate change*, 340-351. Available at: <http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/3771>
14. Loboda, N.S., Serbova, Z.F., Bozhok, Yu.V. (2014) The impact of climate change on Ukraine's water resources in current and future conditions (according to the scenario of global warming A1B). *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 15, 149-159. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Uggj_2014_15_23
15. Grebin, V.V. (2010). *Modern water regime of rivers of Ukraine (landscape-hydrological analysis)*. Kyiv: Nika-Center.
16. Rakhmatullina, E.R., Grebin, V.V. (2017). Future trends of changes in the characteristics of the hydrological regime of the rivers of the Southern Bug basin in winter. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 20, 91-98. Available at: <https://doi.org/10.31481/uhmj.20.2017.11>
17. Grebin, V., Mudra, K. (2018). Forecasting the runoff on rivers of the Dniester river basin according to the REMO numeric climatic model. *World science*, № 9(37), 26-32. Available at: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30092018/6131
18. Gorbacheva, L.O. (2014). Assessment of possible future changes in the water flow of rivers of Ukraine (in the middle of the XXI century). *Problems of material culture. Geographical sciences*, 89-94. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/92902>
19. Ovcharuk, V.A., Gopchenko, E.D. (2022). Engineer substantiation of estimated characteristics of maximum rivers runoff during floods under climate change, Editor(s): Sughosh Madhav, Shyam Kanhaiya, Arun Srivastav, Virendra Singh, Pardeep Singh, *Ecological Significance of River Ecosystems*, 18, 351-382. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85045-2.00018-2>
20. Bolbot, G.V. (2019). Estimation of long-term fluctuations of the minimum water consumption of the rivers of the Sev-ersky Donets basin. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 3 (54), 31-33. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghe_2019_3_12
21. Reshetchenko, S., Dmitriiev, S., Cherkashyna, N., Goncharova, L. (2020). Climate indicators of changes in hydrological characteristics (a case of the Psyol river basin). *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 53, 176-189. Available at: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-12>
22. Gorbacheva, L.O. (2015). Modern intra-annual distribution of water runoff of rivers of Ukraine. *Ukrainian Geographical Journal*, 3, 16-23. Available at: <https://doi.org/10.15407/ugz2015.03.016>
23. Semenova, I.G., Pol'ovyy, A.M. (2020). Forecast forecast of droughts of the warm season on the territory of Ukraine in 2021-2050. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 53, 190-200. Available at: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-13>
24. Tallaksen, L.M., Van Lanen, Henny. (2004). *Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*.
25. Ovcharuk, V.A., Kushchenko, L.V., Prokofiev, O.M., Goptsiy, M.V., Andreevskaya, G.M. (2021). Minimal and ecological runoff of rivers in the zone of insufficient water content of Ukraine. *Environmental sciences*, 2 (35), 30-36. Available at: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.2-35.5>
26. Kushchenko, L.V. (2021). Research of water deficits and drought indices for the zone of insufficient water content of Ukraine. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 4 (62), 34-46. Available at: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.4.3>

27. Tabari H., Nikbakht J., Hosseinzadeh T.P. (2013). Hydrological drought assessment in Northwestern Iran based on streamflow drought index (SDI). *Water Resources Management*, 27 (1), 137–151. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0173-3>
28. Kochelaba, E.I., Okorsky, V.P., Sosedko, M.N. (1990). Mathematical modeling of the processes of flood runoff formation on the territory of Polissya, taking into account thaw phenomena. *Works of UkrNIGMI*, 235, 3-18.
29. Shakirzanova, J.R., Dokus, A.O. (2021). Long-term forecasting of the characteristics of spring floods in the basin of the Southern Bug. Odesa: FOP Bondarenko MO. Available at: <http://eprints.library.odetu.edu.ua/id/eprint/9674>
30. Shakirzanova Z.R., Dokus A.A. (2022). Territorial long-term forecasting of hydrological characteristics of spring floods of lowland rivers. *Ecological Significance of River Ecosystems*, 17, 325-350. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85045-2.00020-0>
31. Popov, E.G. (1958). *Hydrological forecasts*. Leningrad: Hydrometeorological Publishing House.
32. Apollov, B.A., Kalinin, G.P., Komarov, V.D. (1960). *Hydrological forecasts*. Leningrad: GIMIZ.
33. Bodwell, V. J. (1971). Regression analysis of non-linear catchment systems. *Water Resources Research*, 7, 1118–1125. Available at: <https://doi.org/10.1029/WR007i005p01118>
34. Wright, C.E. (1975). *Monthly Catchment Regression Models: Thames Basin*. Central Water Planning Unit, Technical, 8, 32.
35. International Association of Hydrological Sciences. (1974). *Proceedings of the International Symposium on Flash Floods – Measurements and Warning*.
36. Operational Hydrology. (1990). *World Hydrological Models for Water-Resources System Design and Operation (34)*. Geneva: Meteorological Organization. Available at: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=8846#.YpPUA0pBzIU
37. Burnash, R.J.C., Ferral, R.L., McGuire R.A. (1973). *A Generalized Streamflow Simulation System: Conceptual Modelling for Digital Computers*. National Weather Service and State of California Department of Water Resources, 69.
38. Gerlinger, K., Demuth, N. (2011). The flood forecast model LARSIM application experience and evaluation of operational runoff forecasts in the Moselle basin. 2011. Retrieved from <http://www.watlab.be/en/events/files>
39. Abbott, M.B., Bathurst, J.C., Cunge J.A. (1986). An Introduction to the European Hydrological System – Systeme Hydrologique Europeen. "SHE," 2: Structure of a Physically-Based, Distributed Modelling System. *Journal of Hydrology*, 87, 61-77. Available at: [10.1016/0022-1694\(86\)90114-9](https://doi.org/10.1016/0022-1694(86)90114-9)
40. Wigmosta, M.S., Vail, L., Lettenmaier, D.P. (1994). A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain. *Water Resources Research*, 30, 1665-1679. Available at: https://www.uvm.edu/~bwemple/HydroModel/DHSVM/Wigmosta_et al1994.pdf
41. Wilke, K., Rademacher, S. (2002). Operationelle Wasserstands – und Durchflussvorhersagen im Rheingebiet. *Operational forecast of water level and runoff in Rhine Catchment*. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 54, 9-10.
42. Reichel, G. (2001). FluxDSS und FLORIS2000 – ein leistungsfähiges Paket zur Modellierung der Fließvorgänge in komplexen Systemen. *Österreichische Wasserwirtschaft*, 53, 5-6.
43. Kobold, M., Suselj, K., Polajnar, J. (2008). Calibration techniques used for HBV hydrological model in Savinja catchment. *Conference abstracts XXIV-th of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management*, 14.
44. User guide of MIKE 11. (2012). *A Modelling System for River and Channels (2, 204)*.
45. Ninov, P., Ribarova, I., Nikolaidis, N. (2006). Hydrological calibration scenarios of the HSPF model for the upper Iskar basin. *Conference abstracts XXIII of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management*, 59.
46. Parey, S., Gailhard, J. (2022). Extreme Low Flow Estimation under Climate Change. *Atmosphere*, 13, 164. Available at: <https://doi.org/10.3390/atmos13020164>
47. Hristyuk, B.F. (2014). Short-term forecasting of water levels in the Kili branch of the Danube. *Energetika*, 60 (1), 69-75. Available at:
48. Semenova, I., Ovcharuk, V., Shakhirzanova, J. (2014). On use of drought indexes in modeling hydrological processes. *Geoconference on Water Resources: Hydrology and Water Resources*, 1, 503–510. Available at: <https://doi.org/10.5593/SGEM2014/B31/S12.065>
49. Ovcharuk, V., Gopchenko, E., Kichuk, N., Shakirzanova, Z., Kushchenko, L., Myroschnichenko, M. (2020). Extreme hydrological phenomena in the forest steppe and steppe zones of Ukraine under the climate change, *Proc. IAHS*, 383, 229–235. Available at: <https://doi.org/10.5194/piahs-383-229-2020>
50. Hrebin, V.V., Mokin, V.B., Stashuk, V.A. (2013). *Methods of hydrographic and water management zoning of the territory of Ukraine in accordance with the requirements of the Water Framework Directive of the European Union*. Kyiv: Interpress LTD.
51. State Water Cadastre. (2017). *Long-term data on the regime and resources of land surface waters (for 2011-2015 and the entire observation period) (Part I. Rivers. V. 1. Basins of the Western Bug, Danube, Dniester, Southern Bug, 465)*. Kyiv.
52. Boyko, V.M., Kulbida, M.I., Adamenko, T.I. (2010). Use of geoinformation technologies in operational hydrometeorology. *Hydrology, hydrochemistry, hydroecology*, 18, 25-30.
53. Shakirzanova, Zh. R., Pogorelova, M.P., Mostiy, A.S., Blaga, A.O., Stratiychuk, O.V. (2021). Methodology for forecasting the seasonal boundary runoff of rivers of the South of Ukraine to ensure sustainable water use. *Second All-Ukrainian Hydrometeorological Congress: abstracts*, 109-110. Available at: <http://eprints.library.odetu.edu.ua/>

[id/eprint/9319/1/LobodaNS_OvcharukVA_ShakirzanovaJR_Proceedings_Hydrometeorological_congress_2021_71-72.pdf](#)

54. Shakirzanova, Zh.R. (2010). *Long-term hydrological forecasts: Lecture notes*. Odesa: TPP Publishing House. Available at: http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/98/1/ShakirzanovaZhR_Dovgostrokovi_gidrologichni_prognozy_KL_2010.pdf
55. Prokofiev, O.M., Goncharova, L.D. (2021). *Climatic and geographical features of precipitation distribution on the territory of Ukraine in the autumn period*. *Environmental sciences*, 2 (35), 94-98. Available at: <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/9156>
56. Goncharova, L.D., Prokofiev, O.M., Reshetchenko, S.I., Chernichenko, A.V. (2021). *Influence of atmospheric macro-processes on the spatial distribution of precipitation on the territory of Ukraine in the spring season*. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 27, 5-15. Available at: http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/8991/1/uhmj_27_2021_5.pdf
57. *Ukrainian Hydrometeorological Center*. (2015). *Guidance document. Evaluation of the quality of methodology and accuracy (validity) of forecasts of land surface water regime*. Kyiv.
58. *A guide to determine the calculated hydrological characteristics (1984)*. Hydrometeorological publishing house: Leningrad.

Authors Contribution: Shakirzanova Zh. – statement and ways of solving the problem, analysis of results, text of the article; Ovcharuk V. – analysis of the latest research and publications, analysis of results; Dokus A. – analysis of foreign river flow forecasting models, assessment of forecasting methodology; Kushchenko L. – collection of initial data, construction of regional forecast dependencies, construction of map-schemes of forecast modules of low flow of rivers and their probabilistic characteristics; Tymko O. – establishing the empirical distribution of average monthly water discharge in the low season, construction of map schemes of forecast modules of the low flow of rivers and their probabilistic characteristics

Received 6 June 2022

Accepted 3 October 2022

ЕКОЛОГІЯ

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-20>
УДК 504:001.8; 504:1

Надійшла 8 вересня 2022 р.
Прийнята 15 листопада 2022 р.

Термодинамічні аспекти системного підходу в екології

Віталій Безсонний¹,

к. техн. н., доцент, кафедра екологічної безпеки та екологічної освіти,

¹Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,

майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна,

e-mail: bezsonny@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8089-7724>;

Олег Третьяков²,

д. техн. н., професор, кафедра цивільної та промислової безпеки,

²Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058, Україна,

e-mail: mega_ovtr@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-0457-9553>;

Микола Шерстюк³,

аспірант кафедри екології та природоохоронних технологій,

³Сумський державний університет, вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна,

e-mail: l.plyacuk@ecolog.sumdu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0001-5090-046X>;

Алла Некос¹,

д. геогр. н., професор, зав. кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти,

e-mail: alnekos999@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1852-0234>

Результатом впливу на екосистему антропогенного фактора буде зниження антиентропії компонентів. Реакція екосистеми буде різною залежно від сили та тривалості збурюючого впливу. При сильному і досить тривалому впливі антиентропія компонентів падає при збереженні організації екосистеми до тих пір, поки занадто низький рівень антиентропії компонентів не включає їх власні регуляторні реакції, спрямовані на стримування падіння антиентропії навіть на шкоду організації системи. Організація починає падати. Оскільки вплив досить сильний і він не припиняється, регуляторні механізми компонентів не в змозі стабілізувати антиентропію. Процес падіння антиентропії та організації триває, система необоротно йде до загибелі. При середньому за силою, але тривалому впливі компонентам вдається за рахунок енергетичних резервів стабілізувати свою антиентропію на деякому не оптимальному, але допустимому рівні при збереженні організації. Однак, якщо вплив продовжується і не слабшає, компоненти, не будучи в змозі повернути свою антиентропію до початкового оптимального рівня, рано чи пізно не справляються з безперервним збуренням, та їх антиентропія знову починає падати, тепер вже разом з організацією. При слабкому чи нетривалому впливі компоненти, адаптуючись до нових умов, повертають антиентропію до оптимального рівня (при сильному або середньому за силою впливі це можливо лише після його припинення до незворотних змін в системі). При такому варіанті організація системи залишається постійною, оскільки збурююча дія в цьому випадку не вивела екосистему за рамки ефективної роботи гомеостатичних механізмів. Таким чином, критичним моментом при дії на екосистему антропогенного чинника є початок падіння її організації, коли гомеостаз повністю вичерпав себе у протидії збуренню, та екосистема починає незворотно деградувати. Отже, для контролю стану екосистеми, що піддається дії антропогенного фактора, достатньо стежити за організацією системи: якщо вона не зменшується, можна говорити про відносне благополуччя, якщо ж організація падає, екосистема йде до загибелі, і необхідно вживати заходів для її порятунку. Однак періодичний і досить частий вимір організації екосистеми є задачею, хоча і такою, що не викликає принципових труднощів, але дуже трудомісткою, в першу чергу через знаходження середнього модуля коефіцієнтів кореляції параметрів. Визначення ж складності екосистеми за формулою хоча і пов'язане з певними труднощами, пов'язаними з знаходженням числа зав'язків, проте не вимагає трудомісткої математичної обробки.

Ключові слова: екологічна система, термодинамічний підхід, стійкість, організація системи, ентропія, антиентропія.

Як цитувати: Безсонний Віталій. Термодинамічні аспекти системного підходу в екології / Віталій Безсонний, Олег Третьяков, Микола Шерстюк, Алла Некос // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 57. – С. 268-281. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-20>

In cites: Bezsonnyi Vitalii, Tretyakov Oleg, Sherstyuk Mykola, Nekos Alla (2022). Thermodynamic aspects of the systems approach in ecology. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (57), 268-281. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-20> [in Ukrainian]

Постановка проблеми.

Системний підхід знаходить все більш широке застосування в аналізі конкретних екологічних проблем, зокрема проблеми стійкості екосис-

тем до зовнішніх збурень, наприклад, до антропогенного фактора. Виникнення глобальних екологічних проблем і стійкість розвитку біосфери можна проаналізувати і якісно інтерпретувати з точ-

ки зору основних законів термодинаміки [1]. Ця галузь фізики не обмежується вивченням теплових процесів лише для опису та оптимізації роботи теплових двигунів, як це було на початковому етапі її формування, а аналізує загальні закономірності перетворення енергії на різних рівнях організації матерії, в тому числі і живих систем. Термодинаміка потрібна для розуміння існування і функціонування живих клітин, популяцій клітин, організмів, популяцій тварин, екосистем і біосфери в цілому. Будь-яка з цих систем знаходиться в термодинамічному дисбалансі з навколишнім середовищем, і її існування з точки зору термодинаміки є абсолютно малоімовірною подією. Необхідність надходження енергії через будь-яку організовану систему в біосфері, чи то індивід, чи популяція тварин або екосистема – є головним висновком термодинаміки, яка регулює принципи і критерії існування таких систем [2]. Термодинаміка нерівноважних процесів є теоретичною основою для вивчення відкритих систем, включаючи клітину, живі організми, їх популяції, екосистеми і біосферу в цілому [3].

Такий біофізичний підхід до проблем екології є актуальним у зв'язку з необхідністю узагальнення накопичених на сьогоднішній день експериментальних і теоретичних даних у сфері забруднення навколишнього середовища і розробки основних принципів і концепцій підтримки сталості і рівноваги у біосфері. Не виключено, що для забезпечення стабільності біосфери людині доведеться змінити деякі стандарти індивідуальної і соціальної поведінки, етику і навіть економічні цілі розвитку [4]. Саме тому екологія здатна об'єднати людей із різними політичними і релігійними поглядами, будучи своєрідним світоглядом і нормою поведінки людини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Термодинамічні особливості екологічних систем досліджуються з різних позицій. У роботі [5] розглядаються інваріантні властивості термодинамічного виробництва ентропії в її глобальних (інтегральних), локальних (диференціальних), білінійних і макроскопічних формулюваннях, включаючи масштабування розмірів, інваріантність до фіксованих переміщень, обертання або відображення координат, антисиметрію часу, інваріантність Галілея і симетрію точки Лі. За допомогою аналізу різних підсистем зсувного потоку представлено ряд керівних принципів для опису їх ентропійних властивостей сполучення та джерел негентропії. На них не впливають галілейські перетворення, і тому можна зрозуміти, що вони «лежать вище» галілейських інерційних рамок ньютонівської механіки. Аналізи дають новий погляд в область ентропійної механіки, вивчення відносних рухів об'єктів з тертям. Ентро-

пія, зазначається у [6] – це поняття, визначене другим законом термодинаміки. Застосовуючи цю концепцію до світу, в якому ми живемо, виробництво ентропії необхідно звести до мінімуму і прискорити негентропію (негативне вироблення ентропії), щоб створити здорову і стабільну екологічну систему. Нинішнє очищення стічних вод, однак, сприяє виробництву ентропії. Це означає, що звичайне очищення стічних вод, без відновлення ресурсів та енергії, поступово, але неминуче сприяє погіршенню екологічної рівноваги. Коли здатність до самоочищення природної екологічної системи обмежена, нагальною стає необхідність розвитку стійкого очищення стічних вод з метою затримки вироблення ентропії та прискорення негентропії. Відновлення ресурсів та енергії зі стічних вод має бути першим пріоритетом, оскільки вони можуть суттєво сприяти мінімізації виробництва ентропії та прискоренню негентропії.

Життєво важливою метою екології є визначення механізмів, необхідних для сталості екосистем [7]. Будь-яка шкода біорізноманіттю руйнує функціональність екосистем і за важких обставин призводить до масового вимирання видів і втрати цілих екосистем [8]. Біорізноманіття в його найширшому розумінні визначається як різноманітність форм життя на різних рівнях, починаючи від рівнів організмів і закінчуючи видами [9]. Застосовуючи індекси різноманітності, можна порівнювати різні просторові місця та часові періоди [10]. Таким чином, ці заходи є важливими інструментами для екологічного моніторингу та збереження біорізноманіття [11]. Екологічне домінування та різноманітність є широко використовуваними ознаками спільноти на альфа-, бета- та гамма-рівнях [12], і ці підходи до оцінки різноманітності широко застосовуються в екології з останніх кількох десятиліть [13]. До показників, що використовуються для визначення різноманітності спільнот, відносяться ентропія Шеннона (індекс Шеннона-Вайнера) [14], індекс Сімпсона [15], індекс Бріллюена [16], ентропія Реньї, індекс Бергера-Паркера [17] тощо.

У роботі [18] автори розширюють поняття негативної ентропії (негентропії) для вимірювання екологічного домінування і різноманітності на трьох ієрархічних рівнях характеристики спільноти. Негентропія є мірою енергії і дає опуклу криву для бінарної функції негентропії, тоді як ентропія Шеннона дає типову увігнуту криву. Аналогічно, було визначено індекси для функцій домінування Сімпсона та Бріллюена на альфа-, бета- та гамма-рівнях. Автори [19] розглядають інтелектуальну історію концепції екодинаміки людини за останні кілька десятиліть, оскільки вона виникла з класичної екології, антропології,

поведінкової екології, теорії стійкості, історичної екології та суміжних областей, особливо щодо вивчення довгострокових соціоекологічних змін. Лише завдяки інтегрованому вивченню поєднання людини та природними систем - соціоеко-систем – ми можемо сподіватися на розуміння динамічних взаємодій людини та навколишнього середовища і можемо керувати ними для досягнення сталих цілей.

Однією з головних проблем антикризового управління є завчасна оцінка стійкості системи до того, як вибухне криза (пандемія, комп'ютерна помилка з масштабними ефектами, каскадні ефекти в критичній інфраструктурі тощо). У роботі [20] пропонується узгодити багатоманітне, а іноді і нечітке визначення стійкості, пояснивши взаємодоповнюваність стабільності та адаптивності, властиву цій концепції. Крім того, інтегровано новий вимір в оцінку стійкості шляхом аналізу динаміки негентропії (порядок, стабільність) та ентропії (розладу, зміни) між факторами. Демонструється, що стійкість базується як на сприятливому порядку, так і на сприятливому хаосі, які створюють різноманітність та відповідність у системі, тоді як вразливість притаманна несприятливому порядку та несприятливому хаосу.

Як зазначають автори [21], екосистема розглядається як складний набір, що складається з різних біотичних і абіотичних частин. Природно, що кожна частина має специфічні функції, пов'язані з масою та енергією, і ці функції взаємодіють між частинами прямо чи опосередковано, та підкорюються основним законам термодинаміки. Якщо кожен частину екосистеми прийняти як термодинамічну систему, то можна оцінити генерацію її ентропії, тоді загальна генерація ентропії екосистеми має бути сумою генерації ентропії в кожній частині, щоб відповідати теоремі Гуї-Стодола. Тому екологічний показник для будь-якого типу екосистем можна визначити як функцію відношення загальної генерації ентропії для еталонного стану. Результати показують, що якщо кількість генерації ентропії невелика, стійкість екосистеми буде більшою.

У дослідженнях [22–24] автор представив нові поняття та інструменти для формалізації та розуміння ролі термодинаміки в теорії екосистем. Особлива увага приділяється цільовим функціям, зв'язку матерії, енергії, простору і часу та міждисциплінарному підходу, що з'єднує термодинаміку та біологію. Ентропія розглядається як фундаментальна цільова функція в рамках, далеких від рівноваги. У світлі ролі інформації наголошується та обговорюється взаємозв'язок між ентропією, як функцією нестану, та енергією функції стану. Теорія ймовірності також обговорюється в світлі нових теоретичних відкриттів, пов'язаних з

роллю подій, також з точки зору ентропії та еволюційної термодинаміки. Обмежені онтичні відкриті системи представляють останню модель, запропоновану професором Тієцці на основі його теорії екодинаміки, еволюційної термодинаміки та онтики Улановича. Модель має широкий спектр застосувань, включаючи екосистеми, екологічну економіку, міську організацію, надмолекулярну структуру води та моделі глобальної біосфери. Модель пояснюється з точки зору еволюційної термодинаміки та теорії екосистем Йоргенсена.

Метою даної роботи є дослідження з термодинамічних позицій властивостей екологічних систем різних типів при впливі антропогенного фактора.

Виклад основного матеріалу дослідження

Розглянемо термодинамічні властивості екосистем. У роботі [25] чітко проведено розділову лінію між живою і неживою системами. Слід зазначити, що саме формулювання питання такого роду аналізу екологічних проблем стало можливим тільки завдяки широким аналогіям термодинаміки і теорії інформації, які були проілюстровані в роботі [16].

Основною властивістю, яка відрізняє живі організми від неживих систем, є наявність в них негативної ентропії.

Фізичне значення станів з негативною ентропією, названих на відміну від брілюєнівської негентропії, яка є лише негативним приростом позитивної ентропії ($-\Delta S$), антиентропії, детально розглядалося в роботах Л. Брілюєна. Виходячи з формули Больцмана

$$S = k \ln W,$$

де k – константа Больцмана, а W – термодинамічна ймовірність, автор інтерпретував системи з антиентропією як такі, що мають термодинамічну ймовірність < 1 . Прикладами систем такого роду є частково або повністю не алгоритмічні системи, причому відношення не алгоритмічних операцій при побудові або відтворенні цієї системи до алгоритмічних буде тим більшим, чим більше значення антиентропії. Система має антиентропію, коли для неї немає повної процедури відтворення (коли вона неергідна). Постулат про повну відтворюваність макростану з певної кількості мікростанів і процедур в цілому був розроблений в ергодичній гіпотезі в припущенні періодичної самовільної повторюваності молекулярних станів у часі. Для поширення методу комплексів або мікростанів на область негативно-ентропійних явищ необхідно узагальнити поняття термодинамічної ймовірності в двох аспектах: по-перше, розуміти її як число будь-яких процедур, які її реалізують цей макростан, тільки в окремому випадку спів-

падаючих з молекулярними комплексами, а, по-друге – зняти постулат $W \geq 1$. Таким чином, оскільки принцип Пастера-Вирова «клітина з клітини» насправді є твердженням про те, що повної процедури її розмноження з фізико-хімічного молекулярного матеріалу не існує, жива система не може виникнути та існувати без негативної ентропії.

Розглядаючи поняття антиентропії, необхідно позначити ознаки, за якими можна відрізнити систему, що характеризується антиентропією, від системи з позитивною ентропією. Однією з головних таких ознак є ентропійна буферність, тобто система, яка має антиентропію при впливі дезорганізуючого, ентропійно-підсилюючого фактора, до якоїсь межі чинить йому опір, не змінюючись адекватно йому. І саме ця властивість є головною відмінною рисою живих систем. Усе це вказує на антиентропійність живих організмів, тобто тих об'єктів, з яких складаються екологічні системи.

У зв'язку з цим можна врахувати антиентропію в термодинамічному аналізі екосистем як фундаментальну характеристику живих організмів.

Отже, для нерівноважних систем ми маємо

$$\sum_i S_i > S_{\text{сист}},$$

де $i = 1, 2, 3, \dots, n$ – компоненти системи;

S_i – ентропія i -го компонента,

$S_{\text{сист}}$ – ентропія системи.

Введемо поняття організації системи ($R_{\text{сист}}$), визначивши її наступним чином:

$$R_{\text{сист}} = \sum_j S_i - S_{\text{сист}} \quad (1)$$

Як видно з виразу (1), якщо ентропія системи дорівнює сумі ентропій її складових елементів, у системі відсутня організація ($R_{\text{сист}} = 0$).

Тепер, виходячи з доповнення ентропії, подамо $S_{\text{сист}}$ у вигляді наступної суми

$$S_{\text{сист}} = \sum_j S_j + \sum_j \Delta S_j \quad (2)$$

де $j = 1, 2, 3, \dots, n$ – внутрішні зв'язки системи.

У виразі (2) ентропія j -го зв'язку позначається ΔS_j , а не S_j , оскільки, на відміну від компонентів зв'язки самі по собі (тобто поза системою) існувати не можуть і не мають ніякої ентропії, в той час як виникаючи у системі вони дають $S_{\text{сист}}$ той чи інший приріст (зазвичай негативний) ΔS . Підставивши тепер (2) в (1), ми отримуємо:

$$R_{\text{сист}} = - \sum_j \Delta S_j \quad (3)$$

Таким чином, для того, щоб у нерівноважній системі була організація, її зв'язки повинні бути негентропійними. Оскільки очевидно, що внутрішні зв'язки системи жодним чином не можуть служити джерелом вільної енергії, так як вони взагалі не здатні змінити загальну енергію системи, в цьому випадку негентропія втрачає прита-

манну їй дуальність і стає чисто інформаційною. Отже

$$\begin{aligned} -\Delta S_j &= \Delta I_j, \\ \text{де } I &\text{ – інформація, а } \\ -\sum_j \Delta S_j &= \sum_j \Delta I_j; \\ R_{\text{сист}} > 0 &\text{ при } \sum_j \Delta I_j > 0 \end{aligned}$$

Звідси випливає, що система наділена організацією в тому і тільки в тому випадку, якщо її внутрішні зв'язки збільшують обсяг інформації системи, а її організація дорівнює

$$R_{\text{сист}} = \sum_j \Delta I_j \quad (4)$$

Нехай тепер система отримала ззовні порцію ентропії $\Delta S \gg 0$. Тоді нова ентропія системи дорівнює

$$S'_{\text{сист}} = S_{\text{сист}} + \Delta S$$

Але в той же час,

$$S'_{\text{сист}} = (\sum_i S_i)' + (\sum_j \Delta S_j)', \quad (5)$$

причому $(\sum_i S_i)' = \sum_i S_i + \Delta S^*$

де ΔS^* – частина ΔS , поглинена компонентами системи,

$$(\sum_j \Delta S_j)' = \sum_j \Delta S_j + \Delta(S - S^*).$$

Можливі два граничні випадки.

По-перше,

$$\Delta S^* = \Delta S$$

а значить,

$$\Delta(S - S^*) = 0$$

та

$$(\sum_j \Delta S_j)' = \sum_j \Delta S_j \quad (6)$$

Звідси, враховуючи (3),

$$R'_{\text{сист}} = - \sum_j \Delta S_j = R_{\text{сист}}$$

Отже, організація системи не змінилася.

По-друге,

$$\Delta S^* = 0$$

а значить

$$(\sum_i S_i)' = \sum_i S_i.$$

Тоді

$$R'_{\text{сист}} = - \sum_j \Delta S_j - \Delta S$$

а

$$R'_{\text{сист}} - R_{\text{сист}} = -\Delta S. \quad (7)$$

Як видно із виразу (7), при $\Delta S > 0$ організація системи зменшиться, а при $\Delta S < 0$ – зросте.

Обидва розглянуті вище випадки 1 і 2, є граничними, але неважко помітити, що при $|\Delta S| > |\Delta S^*| > 0$ організація системи зазнає тих же змін, які в другому випадку тільки в меншій мірі. Разом з тим всяка реальна система постійно отримує із зовнішнього по відношенню до неї середовища порції ентропії ΔS того чи іншого знаку. Тому,

якщо ми визначимо стабільність параметра системи як міру його зміни в часі, то стабільність такого параметра, як організація системи (C_R), ми можемо визначити наступним чином:

$$C_R = \frac{\Delta S^*}{\Delta S}, \quad (8)$$

при цьому $1 \geq C_R \geq 0$.

Стабільність організації є деяка функція від ΔS

$$C_R = F(\Delta S).$$

Якщо ця функція симетрична відносно осі ординат, тобто

$$C_R(\Delta S) = C_R(-\Delta S), \quad (A)$$

причому

$$\left| \int_{t_1}^{t_2} (\Delta S^{(+)}) dt \right| = \left| \int_{t_1}^{t_2} (\Delta S^{(-)}) dt \right|, \quad (9)$$

або, що те ж саме, в даному інтервалі часу ($t_2 - t_1$) позитивні і негативні порції ентропії надходять із зовнішнього середовища в систему відповідно із рівною ймовірністю, то

$$\frac{dR}{dt} = 0.$$

Цей випадок відповідає сталості організації в часі і зворотності усіх флуктуацій в системі при виконанні умови (9) і для величин ΔS , які не наближаються до деякого критичного значення $\Delta S_{кр}$, що загрожує існуванню самої системи.

Якщо при тих же допущеннях

$$C_R(\Delta S) < C_R(-\Delta S), \quad (B)$$

для усього інтервалу $|\Delta S_{кр}| > |\Delta S| \geq 0$, (Б)

то

$$\frac{dR}{dt} < 0.$$

Випадок Б відповідає нестійкості системи за даних умов, вираженої в тому, що її організація незворотно деградує.

І, нарешті, якщо при тих же припущеннях

$$C_R(\Delta S) > C_R(-\Delta S), \quad (B)$$

то

$$\frac{dR}{dt} > 0.$$

тобто система незворотно самоорганізується, причому величину самоорганізації системи ($Q_{суст}$) можна визначити як

$$Q = \frac{dR}{dt}. \quad (10)$$

Як зазначалося вище, усі випадки розглядалися при припущенні дотримання умови (9). В яких ситуаціях воно виконується? По суті, умова (9) – це твердження про те, що зовнішнє середовище впродовж інтервалу часу ($t_2 - t_1$) не вилучає ентропію з системи, підвищуючи її впорядкова-

ність, і не «закачує» її в систему в тому сенсі, що хоча ентропія системи може, звичайно, рости відповідно до другого закону термодинаміки, але не за рахунок зниження ентропії середовища. Протиріччя ж умови (9) із відомим твердженням Шредінгера, про те, що живі організми живляться негативною ентропією (тобто має місце потік ентропії від організму до середовища) не є очевидним. Адже тут ми маємо справу не з характером впливу середовища, а зі здатністю самих організмів вилучати негентропію із навколишнього середовища, здатністю, механізм якої, обумовлений антиентропійним властивостям живих систем, буде показано нижче.

Розглянемо тепер поведінку функції $C_R(\Delta S)$ в системах різних типів.

Закриті системи з позитивною ентропією компонентів.

Для таких систем

$$\sum_i S_i > 0.$$

Система замкнута в тому сенсі, що вона може обмінюватися з зовнішнім середовищем тільки енергією, але не речовиною.

$$C_R(\Delta S) \leq C_R(-\Delta S),$$

Таким чином реалізується випадок Б:

$$\frac{dR}{dt} < 0 \quad \text{і} \quad Q < 0,$$

тобто організація в такого роду системах деградує. Звичайно, останнє твердження вірне тільки в тому випадку, якщо виконується умова (9). Якщо ж ми маємо у зовнішньому середовищі над системний управляючий центр, що вводить в систему негентропію в обсязі, більшому, ніж ентропія, що надходить із середовища, то організація такої системи може залишатися на одному рівні або навіть зростати. Така ситуація реалізується в будь-якому механізмі або автоматі, контрольованому або запрограмованому людиною.

Отже, за відсутності зовнішнього контролю замкнуті системи з позитивною ентропією підтримувати організації, а тим більше самоорганізуватися, не здатні.

Відкриті системи з позитивною ентропією компонентів.

Для таких систем, які знаходяться в стаціонарному стані, виконується Принцип І. Пригожина [26], відповідно до якого приріст ентропії всередині системи за одиницю часу є постійним і мінімальним для цих умов, але за рахунок рівного притоку негентропії ззовні

$$S_{суст} = \text{const} \quad (11)$$

З іншого боку, можливий приплив негентропії в систему пов'язаний прямою залежністю з її організацією, оскільки при $S_i > 0$ компоненти

системи самі по собі не здатні вилучати негентропію з середовища, і, отже, це властивість зв'язків системи, причому, чим більша їх негентропійність (чим вище організація системи), тим більший можливий приплив негентропії із середовища.

Якщо організація системи настільки мала, що забезпечуваний нею можливий приплив негентропії нижче мінімального для даних умов приросту ентропії у системі на одиницю часу, тобто умова (11) не має місця, стаціонарний стан в такій системі недосяжний, вона нестійка і приречена на загибель. Якщо ж організація системи достатня для виконання умови (11), система приходиться в стаціонарний стан, у якому швидкість приросту ентропії в системі, а значить і необхідний приплив негентропії ззовні, будуть постійні і мінімальні. Причому такий стаціонарний стан за І.Пригожиним [26] має стійкість у тому сенсі, що, якщо система буде виведена з нього в результаті якогось зовнішнього збурення, що не перевищує певного порогу (меж стійкості), вона буде прагнути повернутися в стаціонарний стан, мінімізуючи швидкість виробництва ентропії в системі, в результаті чого необхідний приплив негентропії буде зведений до мінімуму, тобто вимоги до величини організації системи будуть знижені.

З усього вищесказаного випливає, що у відкритих системах з позитивною ентропією компонентів відсутні внутрішньосистемні фактори, що забезпечують збільшення організації системи, тобто самоорганізацію. З іншого боку, зниження рівня організації в стаціонарному стані з часом неминуче призведе до зниження можливого припливу негентропії нижче необхідного (рівного швидкості виробництва ентропії всередині системи), що неминуче спричинить незворотний вихід зі стаціонарного стану, з подальшим колапсом системи.

Отже, в стаціонарному стані при дотриманні умови (9)

$$R_{\text{суст}} = \text{const}, \quad (12)$$

тобто реалізується випадок А, а значить

$$Q_{\text{суст}} = 0.$$

Якщо система виведена зі стаціонарного стану і умови (11) і (12) не виконуються, вона буде еволюціонувати в бік мінімізації швидкості виробництва ентропії [26], а внаслідок цього і зменшення необхідної організації, що несумісно з

$$Q_{\text{суст}} > 0.$$

Таким чином, системи з позитивною ентропією компонентів не здатні до самоорганізації, звичайно ж, при виконанні умов (9).

Системи з негативною ентропією компонентів (антиентропійні системи).

Для систем такого роду

$$\sum_i S_i < 0.$$

При цьому для позитивних порцій ентропії, що надходять із зовнішнього середовища $\Delta S > 0$

$$\Delta S^* = \Delta S, \quad (13)$$

оскільки за [16] антиентропія здатна ізотермічно поглинати позитивну ентропію без витрати роботи, тобто являє собою свого роду ентропійний вакуум. В той же час при надходженні із зовнішнього середовища порції негентропії $\Delta S < 0$ рівність (13) не буде мати місця, так як зв'язки системи, що вже підкреслювалося вище, вилучають ентропію із середовища. Отже, в даному випадку,

$$|\Delta S^*| < |\Delta S| \quad \text{і} \quad |\Delta S - \Delta S^*| > 0.$$

Таким чином

$$|\Delta S^*| > |\Delta S^*|$$

$$\text{при } \Delta S > 0, \quad \text{при } \Delta S < 0,$$

що означає

$$C_R(\Delta S) > C_R(-\Delta S),$$

тобто реалізується випадок В, в якому

$$Q_{\text{суст}} > 0. \quad (14)$$

Тут слід зазначити, що при розгляді антиентропійних систем ми істотно не обумовили, чи вивчаємо ми відкриті чи закриті системи, а значить, отримані висновки дійсні для будь-яких антиентропійних систем (живий організм), екосистема, біосфера, людське суспільство і т.д.). Нагадаємо ще раз, що нерівність (14) справедлива тільки при дотриманні умови (9), і розглянемо в зв'язку з цим кліматичний стан в екосистемах.

Кожна реальна екосистема в тій чи іншій мірі сукцесіонує, і стан клімаксу, як вважає Маргалєф [27] є, по суті, ідеальний і ніколи повністю не реалізується. Разом з тим, поняття клімаксу екосистеми виявилось досить продуктивним для екології, оскільки будь яка сукцесія має своєю метою за можливістю більше наближення до клімаксу.

Сталість (хоча часто періодична) зовнішніх умов при ідеальному клімаксі відповідає відсутності надходження інформації в систему ззовні. Значить

$$\Delta I^* = -\Delta S = 0, \quad (15)$$

Звідси $\Delta S > 0$ завжди, і, отже, для екосистеми як антиентропійної системи $\Delta S^* = \Delta S$

$$\text{і} \quad C_R = \frac{\Delta S^*}{\Delta S} \equiv 1,$$

звідки випливає, що

$$R_{\text{сист}} = \text{const}, \quad \frac{dR}{dt} = 0 \quad \text{і} \quad Q_{\text{сист}} = 0. \quad (16)$$

Зауважимо, однак, що це не випадок А оскільки

$$C_R(\Delta S) = C_R(-\Delta S),$$

Хоча порівнюючи вираз (12) для стаціонарного стану і вираз (16) для ідеального клімаксу, ми переконуємося в їх ідентичності, подібність в даному випадку чисто зовнішня. Адже насправді вираз (16) для екосистеми ми отримали, замінивши умову (9) умовою (15). Досить порушити умову (15) і екосистема почне самоорганізовуватися.

$$\frac{dR_{\text{сист}}}{dt} > 0.$$

Вираз же (12) для стаціонарного стану звичайних відкритих систем отримано при істотному дотриманні умови (9) і за умови (15) зовсім не має місця. А крім того, як ми бачили вище, звичайні відкриті системи до самоорганізації не здатні і, будучи виведеними із стаціонарного стану, розвиваються у напрямку зменшення необхідної організації.

Отже, вираз (16), за умови (15), може мати місце тільки для антиентропійних систем.

Перейдемо тепер до розгляду характеру стійкості замкнених і відкритих систем з позитивною і негативною ентропією компонентів. Під стійкістю (V) ми будемо розуміти діапазон змін ключового параметра системи під дією зовнішніх збурень, в рамках якого система зберігає свої відмінні властивості.

Закриті системи з позитивною ентропією компонентів.

Такі системи, будучи нерівноважними (рівноважні системи, як було зазначено на початку, ми не розглядаємо), за другим законом термодинаміки нестійкі і для них

$$V_{\text{сист}} < 0,$$

при цьому стійкість в даному випадку пов'язана з ентропією системи наступним співвідношенням:

$$V_{\text{сист}} = S - S_{\text{max}}.$$

де S – фактична ентропія системи, а S_{max} – максимальна ентропія системи при термодинамічній рівновазі.

Але з (2) і (3) випливає, що

$$V_{\text{сист}} = \sum_i S_i - R_{\text{сист}} - S_{\text{max}} \quad (17)$$

Якщо зараз прийемо, що

$$\sum_i S_i = \text{const}$$

і врахуємо, що

$$\frac{dS_{\text{max}}}{dt},$$

то, диференціюючи (17) за часом, отрима-

ємо:

$$\frac{dV_{\text{сист}}}{dt} = - \frac{dR_{\text{сист}}}{dt}. \quad (18)$$

З виразу (18) випливає, що з ростом організації стабільність закритих систем з позитивною ентропією компонентів буде знижуватися.

Відкриті системи з позитивною ентропією компонентів.

Стабільність для таких систем в рамках прийнятого нами вище загального визначення можна охарактеризувати наступним чином. Ми вносимо в систему однократне разове дезорганізуюче збурення

$$\Delta S > 0.$$

При цьому, якщо $\Delta S > \Delta S_{\text{кр}}$, система повертається до стаціонарного стану. Для $\Delta S = 0$ $\left(\frac{dS}{dt}\right)_0$ в системі за принципом І.Пригожина [26] мінімальна. В той же час для $\Delta S = \Delta S_{\text{кр}}$ $\left(\frac{dS}{dt}\right)_{\text{кр}}$ за даних умов максимальна.

Звідси визначимо стійкість системи

$$V_{\text{сист}} = \left(\frac{dS}{dt}\right)_{\text{кр}} - \frac{dS}{dt} \quad (19)$$

де $\left(\frac{dS}{dt}\right)_{\text{кр}}$ – швидкість приросту ентропії в системі за критичного зовнішнього впливу

$$\Delta S = \Delta S_{\text{кр}}.$$

а $\frac{dS}{dt}$ – фактична швидкість приросту ентропії у системі.

Звідси за стаціонарного стану, коли

$$\frac{dS}{dt} = \left(\frac{dS}{dt}\right)_0 = \text{min},$$

$$V_{\text{сист}} = \text{max}.$$

Крім того, для усього діапазону

$$\left(\frac{dS}{dt}\right)_0 \leq \frac{dS}{dt} \leq \left(\frac{dS}{dt}\right)_{\text{кр}}$$

Якщо ми тепер продиференціюємо рівняння (19) за часом, враховуючи, що

$$\left(\frac{dS}{dt}\right)_{\text{кр}} = \text{const},$$

то отримаємо

$$\frac{dV_{\text{сист}}}{dt} = - \frac{d^2 S}{dt^2}. \quad (20)$$

З рівності (20) випливає, що стабільність відкритих систем з позитивною ентропією росте зі зниженням швидкості приросту в них ентропії, а отже, як згадувалося вище, зі зменшенням припливу негентропії ззовні і, отже, зі зменшенням необхідної організації системи. Таким чином, для збільшення стійкості систем, що розглядаються,

зовсім не вимагається збільшення їх організації, але в той же час зміна організаційності в той чи інший бік безпосередньо не впливає на стабільність,

Антиентропійні закриті системи.

Стійкість для таких систем, як і в попередньому випадку, визначається через $\Delta S_{кр}$, причому під останнім будемо розуміти таке дезорганізуюче збурення, яке повністю знищує анти ентропію системи, тобто при

$$\Delta S = \Delta S_{кр}, S_{сист.} = 0.$$

а потім

$$\frac{dS}{dt} > 0,$$

і система переходить в область позитивної ентропії, гублячи свої відмінні властивості.

Звідси

$$\begin{aligned} V_{сист} &= \Delta S_{кр} \\ \Delta S_{кр} &= A_{сист}, \end{aligned} \quad (21)$$

де $A_{сист}$ – антиентропія системи.

Але, враховуючи (2), (3) і (21),

$$A_{сист} = \sum_i A_i + R_{сист}$$

де $\sum_i A_i = -\sum_i S_i$ – антиентропія компонентів, звідки

$$V_{сист} = A_{сист} = \sum_i A_i + R_{сист} \quad (22)$$

Поклавши тепер

$$\sum A_i = \text{const}$$

і диференціюючи (22) за часом, отримуємо

$$\frac{dV_{сист}}{dt} = \frac{dR_{сист}}{dt}. \quad (23)$$

З рівності (23) випливає, що для закритих антиентропійних систем підвищення стійкості вимагає збільшення організації, при чому зі збільшенням останньої в міру з необхідністю зростає стійкість.

Антиентропійні відкриті системи.

Для такого роду систем визначимо стабільність: знову ж таки з рівняння (19), підставивши в нього замість позитивної ентропії – антиентропію:

$$V_{сист} = -\left(\frac{dA}{dt}\right)_{кр} + \frac{dA}{dt}, \quad (24)$$

для таких систем визначається стійкість наступним чином: стійкі у даних умовах ті системи, які ростуть і розмножуються, тобто перетворюють в даний вид стану нові кількості матерії, енергії і психіки. З такого визначення випливає, що стійкість пропорційна швидкості приросту антиентропії, при чому при

$$\frac{dA}{dt} = 0, \quad V_{сист} = 0 \quad (26)$$

Оскільки умови (25) відповідають критич-

ним, природно припустити в рівнянні (24)

$$\left(\frac{dA}{dt}\right)_{кр} = 0.$$

Тоді

$$V_{сист} = \frac{dA_{сист}}{dt}$$

Цікаво відзначити, що вираз (26) фактично є прямим наслідком принципу стійкості нерівності Бауера, а з іншого боку, цей же вираз є розширенням принципу І. Пригожина на область негативної ентропії.

Однак повернемося до виразу (26). Оскільки

$$\begin{aligned} A_{сист} &= \sum_i A_i + R_{сист} \\ V &= \frac{d(\sum_i A_i)}{dt} + \frac{dR_{сист}}{dt}, \end{aligned}$$

і припустивши

$$\frac{d(\sum_i A_i)}{dt} = 0,$$

а потім диференціюючи за часом, отримуємо

$$\frac{dV_{сист}}{dt} = \frac{d^2 R_{сист}}{dt^2}$$

або

$$\frac{dV_{сист}}{dt} = \frac{dQ_{сист}}{dt} \quad (27)$$

З виразу (27) випливає, що для відкритих антиентропійних систем стійкість збільшується тоді і тільки тоді, коли збільшується їх самоорганізація.

Таким чином, якщо ми порівняємо вирази (18), (20), (23) і (27), то побачимо, що в той час як для систем з позитивною ентропією компонентів збільшення організації призводить до зниження стабільності (18) або, принаймні, не має прямого впливу на останню (20), для антиентропійних систем збільшення організації є, хоча необхідною умовою для підвищення стійкості (23), але недостатньою, оскільки у відкритих антиентропійних системах для збільшення стійкості необхідно збільшення самоорганізації (27). Приклади відкритих антиентропійних систем включають живу клітину, організм або популяцію. Закритими антиентропійними системами є екосистеми, біосфера, біосфера+людське суспільство. Звичайно, немає повністю закритих систем в тому сенсі, що постійно відбувається обмін матерією з навколишніми системами. Ми, однак, будемо розуміти під закритими системами такі, в яких цей обмін необхідний для функціонування системи, в той час як відкриті системи без такого обміну існувати не можуть.

Отже, умовою збереження стійкості відкритих антиентропійних систем (клітин, організмів, популяцій) є постійність їх самоорганізації. Як тільки самоорганізація падає до нуля, система втрачає стійкість і подальше за цим падіння організації призводить до смерті, тобто розпаду сис-

тем. Клітини і організми прагнуть уникнути цього неминучого (через обмеження доступних запасів матерії у зовнішньому середовищі) процесу за допомогою розмноження. Популяції, будучи стійкими на стадії sukcesії, при досягненні клімаксу в екосистемі стійкість втрачають ($Q_{\text{попул}} = 0$), і таким чином екосистема в клімаксі є стійкою системою, що складається з нестійких елементів. Стійкість же екосистеми, як і будь-якої іншої закритої антиентропійної системи, пропорційна її організації ($\sum A_i = \text{const}$) і може мати скільки завгодно велику вагу при $Q_{\text{екосист}} = 0$. Отже, якщо ми хочемо знати стійкість екосистеми до зовнішніх збурень, нам потрібно визначити її організацію.

Як визначено в рівнянні (4)

$$R_{\text{сист}} = \sum_j \Delta I_j.$$

Якщо записати це ж рівняння в такому вигляді:

$$R_{\text{сист}} = \frac{\sum_j \Delta I_j}{N} N,$$

де N – кількість зв'язків системи, або шляхом введення

$$\phi = \frac{\sum_j \Delta I_j}{N},$$

Отримаємо

$$R_{\text{сист}} = \phi N. \quad (28)$$

Тоді ϕ являє середню силу зв'язків в системі.

Тепер нормуємо всі величини в рівнянні (28). Нормалізоване значення сили зв'язування між i -тим і $i+\xi$ -тим компонентами системи можна визначити як середній модуль коефіцієнтів кореляції (r) між незалежними параметрами компонентів. Причому із статистики відомо, що

$$r = \frac{\sum_1^k \left| \frac{\sum_1^{v+1} x_i x_{i+\xi}}{v} \right|}{k}$$

де k – число параметрів,

x – нормовані відхилення,

v – число порівнюються пар без однієї.

На практиці ми вимірюємо k -й параметр відразу для великого числа компонентів (наприклад, для всіх популяцій фітопланктону) і тим самим усереднюємо його за цими компонентами. Тому, оскільки нормоване значення ϕ , визначене наступним чином

$$\phi^{\text{норм}} = |\bar{r}| = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} \sum_{\xi \neq 0}^n \frac{\sum_1^k \left| \frac{\sum_1^{v+1} x_i x_{i+\xi}}{v} \right|}{k}}{C_n^2},$$

де n_2 – число компонентів, C_n^2 – максимальна кількість зв'язків, дорівнює кількості комбінацій n елементів по 2, еквівалентна тій, що визначається

за допомогою кореляцій між параметрами ϕ -тим і $\phi+\xi$ -тими параметрами усієї системи

$$\phi^{\text{норм}} = |\bar{r}| = \frac{\sum_{\phi=1}^n \sum_{\xi \neq 0}^n \left| \frac{\sum_1^{v+1} x_{\phi} x_{\phi+\xi}}{v} \right|}{C_m^2},$$

де m – кількість вимірюваних параметрів системи, для практичних розрахунків зручніше використовувати рівняння (29). Звичайно, нормалізоване значення ϕ , отримане з (29), є наближеним, але воно прямує до істинного значення ϕ при $m \rightarrow \infty$. Тому в кожному конкретному випадку корисно визначити хід залежності ϕ від m , щоб оцінити можливу похибку, а також визначити мінімальну кількість параметрів m , що надає величини для ϕ , які не виходять за межі зазначеного поля похибки.

Тепер, щоб перейти від нормованої середньої сили зв'язку до нормованої організації, потрібно ввести ще один коефіцієнт.

$$\sigma = \frac{R_{\text{сист}}^{\text{норм}}}{\phi^{\text{норм}}}.$$

Оскільки при постійній середній силі зв'язку збільшення цього коефіцієнта збільшує організацію системи, а його зниження призводить до падіння організації, значення цього коефіцієнта, як здається, збігається з інтуїтивним уявленням про складність системи. Оскільки на сьогодні не існує загальноприйнятого визначення складності системи, в майбутньому під складністю будемо розуміти саме коефіцієнт σ , який, як ми побачимо нижче, можна досить просто виразити через число зв'язків і компонентів системи.

Отже

$$R_{\text{сист}}^{\text{норм}} = \sigma \cdot \phi^{\text{норм}}, \quad (30)$$

і, оскільки ми знаємо нормалізовану середню силу зв'язку із (29), для отримання величини організації нам залишається тільки визначити складність системи. Знайдемо вираз для складності із умов нормування організації системи:

- а) $R_{\text{min}} = 0$ (для будь-якого $\phi^{\text{норм}}$)
при $n = 0$
або тільки $N = 0$
- б) $R_{\text{max}} = 1$ (для будь-якого $\phi^{\text{норм}}=1$)
при $N = N \quad \frac{2}{n} \frac{n(n-1)}{2} \quad \text{max}$
 $n = \infty$.

З умови (а) і формули (30) випливає, що складність повинна бути нульовою при рівності нулю числа компонентів чи тільки зв'язків, а із умови (б) і формули (30) – що складність повинна дорівнювати одиниці при нескінченному числі компонентів та максимальному числу зв'язків між ними. В усіх проміжних випадках

$$0 < \sigma_{\text{сист}} < 1.$$

Якщо тепер ми можемо визначити складність системи, як

$$\sigma_{\text{сист}} = \frac{2N}{n(n-1)}(1 - e^{-n}), \quad (31)$$

то легко бачити, що вираз (31) задовольняє усім поставленим умовам. Із (31) видно, що якщо

$$N = 0,$$

то

$$\sigma_{\text{сист}} = 0.$$

Однак цей випадок ніколи не реалізується в реальності, оскільки в реальних системах кількість зв'язків (N) має мінімальне значення, рівне $n - 1$, оскільки при

$$N < n - 1$$

система фактично складається з менш ніж n компонентів. Таким чином, для заданої кількості компонентів складність системи має мінімальне значення, при

$$N = n - 1$$

Дорівнює

$$\sigma_{\text{сист}} = \frac{2}{n}(1 - e^{-n}). \quad (32)$$

З іншого боку, з (31) видно, що складність системи зростає зі збільшенням числа компонентів у тому випадку, якщо нові компоненти утворюють зі старими компонентами і між собою нові зв'язки в таких кількостях, що відносна насиченість зв'язками принаймні зберігається.

Отже

$$R_{\text{сист}}^{\text{норм}} = \frac{2|\bar{r}|N}{n(n-1)}(1 - e^{-n}),$$

де $|\bar{r}|$ визначається із (29).

Однак, знання організації системи, хоча і необхідне, але недостатнє для визначення її стійкості. Остання для екосистем як закритих антиентропійних систем відповідно до (22) дорівнює

$$V_{\text{сист}} = \sum_i A_i + R_{\text{сист}}.$$

Організація відома з (32). Залишилося визначити антиентропію компонентів. Подамо її в наступній формі:

$$\sum_i A_i = \alpha \cdot B.$$

де α – середня питома антиентропія компонентів, а B – загальна біомаса.

Тоді

$$V_{\text{сист}} = \alpha \cdot B + R_{\text{сист}} \quad (33)$$

і оскільки в (32) організація у нас нормована, аналогічно нормуємо і першу складову термін в (33), отримуючи

$$(\sum_i A_i)^{\text{норм}} = 1 - e^{-\alpha B}.$$

Тоді нормоване значення стійкості для екосистеми можна визначити наступним чином:

$$V_{\text{сист}}^{\text{норм}} = \frac{1 - e^{-\alpha B + \frac{2|\bar{r}|N}{n(n-1)} - \frac{2|\bar{r}|N}{n(n-1)}e^{-n}}}{2}. \quad (34)$$

При цьому стійкість може варіюватися в діапазоні від нуля до одиниці.

У правій частині рівності (34) зміні чи розрахунку піддаються усі змінні, за винятком середньої питомої антиентропії α . Вимірювання цієї останньої величини є досить складним завданням, яке донині повністю не вирішене. Проблема, однак, сильно спрощується, якщо прийняти, що будь-яка екосистема, за умови, що вона близька до клімаксу, характеризується одним і тим же значенням середньої питомої антиентропії, яке можна прийняти рівним одиниці.

Такого роду припущення видається нам хоч і не безспірним, але, мабуть, таким, що не відводить нас далеко від істини, оскільки, з одного боку, при клімаксі всі компоненти екосистем перебувають у стані, близькому до оптимального, а з іншого боку, дані по вимірюванню α за амплітудою деградаційного спалаху надслабкої біохемілюмінесценції показує, що для популяцій, що знаходяться в оптимальних умовах існування, цей параметр не має вираженої видової специфічності.

Отже, при прийнятому нами припущенні замість (34) отримуємо

$$V_{\text{сист}}^{\text{норм}} = \frac{1 - e^{-B + \frac{2|\bar{r}|N}{n(n-1)} - \frac{2|\bar{r}|N}{n(n-1)}e^{-n}}}{2}. \quad (35)$$

Формула (35) разом з формулою (29) дозволяють розраховувати стійкість будь-якої незбуреної екосистеми в стані, близькому до клімаксу, і тим самим порівнювати стійкості різних екосистем між собою. Однак, враховуючи деяку довільність прийнятого припущення ($\alpha = 1$), таке порівняння буде тим строгішим, чим ближче порівнювані екосистеми за географічним положенням та видовим складом. Хоча формула (35) є, можливо, наближеною, вона допускає всебічну експериментальну перевірку, оскільки стійкість екосистем у ряді випадків можна оцінити незалежно, за результатами впливу антропогенного фактора. Під останнім тут і надалі розуміється, як і прийнято у літературі, присвяченій цьому питанню, не будь-який вплив людської цивілізації на природу, а лише дезорганізуючий. Втім, як правило, дія людини на природу зрештою зводиться саме до цього типу.

До цих пір ми розглядали лише незбурені, близькі до клімаксу екосистеми і показали, як можна оцінити стійкість таких систем до можливого подальшого дії антропогенного чинника. А як же бути з екосистемами збуреними, які вже зазнали

дії антропогенного фактора? До яких меж дія цього фактора (наприклад, надходження в екосистему забруднень) не є згубною для системи і, отже, з ним ще можна в якійсь мірі миритися? Який критерій може бути покладено в основу контролю за станом таких екосистем? Розглянемо це питання.

Для екосистем, як і для будь-яких закритих антиентропійних систем, при дезорганізуючих впливах, що не наближаються до критичних, справедлива рівність (13) і закономірності, що впливають з неї. З цього витікає, що першою реакцією екосистеми на дію антропогенного фактора буде падіння антиентропії компонентів (αB) при збереженні організації системи; екосистеми прагнуть підтримувати сталість своїх функціональних характеристик за допомогою зміни структурних параметрів [28].

Висновки.

Отже, першим результатом впливу на екосистему антропогенного фактора буде зниження антиентропії компонентів (причому у добутку αB можна очікувати не тільки, а можливо і не тільки, падіння тотальної біомаси, скільки зменшення питомої антиентропії). Однак надалі реакція екосистеми буде різною залежно від сили та тривалості збурюючого впливу. Тут можливі три основні варіанти.

При сильному і досить тривалому впливі антиентропія компонентів падає при збереженні організації екосистеми до тих пір, поки занадто низький рівень антиентропії компонентів не включає їх власні регуляторні реакції, спрямовані на стримування падіння антиентропії навіть на шкоду організації системи. Організація починає падати. Оскільки вплив досить сильний і він не припиняється, регуляторні механізми компонентів не в змозі стабілізувати антиентропію. Процес падіння антиентропії та організації триває, система необоротно йде до загибелі.

При середньому за силою, але тривалому впливі компонентам вдається за рахунок енергетичних резервів стабілізувати свою антиентропію на деякому не оптимальному, але допустимому рівні при збереженні організації. Однак, якщо вплив продовжується і не слабшає, компоненти, не будучи в змозі повернути свою антиентропію до початкового оптимального рівня, рано чи пізно не справляються з безперервним збуренням, та їх антиентропія знову починає падати, тепер вже разом з організацією.

І, нарешті, при слабкому чи нетривалому впливі компоненти, адаптуючись до нових умов, повертають антиентропію до оптимального рівня (при сильному або середньому за силою впливі це можливо лише після його припинення до незворотних змін в системі). При такому варіанті орга-

нізація системи залишається постійною, оскільки збурююча дія в цьому випадку не вивела екосистему за рамки ефективної роботи гомеостатичних механізмів.

Таким чином, із трьох перелічених вище випадків впливає, що критичним моментом при дії на екосистему антропогенного чинника є початок падіння її організації, коли гомеостаз повністю вичерпав себе у протидії збуренню, та екосистема починає незворотно деградувати. Отже, для контролю стану екосистеми, що піддається дії антропогенного фактора, достатньо стежити за організацією системи: якщо вона не зменшується, тобто

$$Q_{\text{сист}} \geq 0,$$

можна говорити про відносне благополуччя, якщо ж

$$Q_{\text{сист}} < 0,$$

тобто організація падає, екосистема йде до загибелі, і необхідно вживати заходів для її порятунку.

Однак періодичний і досить частий вимір організації екосистеми є задачею, хоча і такою, що не викликає принципових труднощів, але дуже трудомісткою, в першу чергу через знаходження середнього модуля коефіцієнтів кореляції параметрів. Водночас у добутку

$$\sigma_{\text{сист}} \cdot \varphi$$

рівному організації (30) і, безумовно, являючим собою функціональну характеристику екосистеми, лише другий співмножник (φ) є суто функціональним, у той час як складність ($\sigma_{\text{сист}}$), будучи функцією лише числа зв'язків і компонентів (31), можна у відомому сенсі розглядати і як структурну характеристику. Тоді при зміні організації в першу чергу повинна змінюватися складність екосистеми при збереженні середньої сили зв'язків. Але навіть якщо це й не матиме місця, то навіряд чи можна очікувати зворотного явища: збереження складності при падінні організації. Тоді контроль за організацією екосистеми можна замінити контролем за її складністю в тому сенсі, що достатньо фіксувати зменшення складності, щоб говорити про критичний стан екосистеми. Визначення ж складності екосистеми за формулою (31) хоча і пов'язане з певними труднощами, пов'язаними з знаходженням числа зв'язків (N), проте не вимагає трудомісткої математичної обробки і, очевидно, під силу будь-якому фахівцю-екологу.

Розглянуті критерії контролю за станом екосистем на відміну від методів визначення стійкості застосовні не тільки до екосистем, близьких до клімаксу, але і до таких на будь-якій стадії суцесії, оскільки суцесія в нормі (при дотримання

умови (9)) характеризується позитивним значенням самоорганізації, отже падіння самоорганізації нижче нуля, як і при клімаксі, служить показником критичного стану.

Список використаної літератури

1. *Forecasting with maximum entropy: The interface between physics, biology, economics and information theory*. *Forecasting with maximum entropy: The interface between physics, biology, economics and information theory* / H. Fort // 2022. – 221 с. DOI: <https://doi.org/10.1088/978-0-7503-3931-5>
2. Freitas J.N. Emergent second law for non-equilibrium steady states / J.N. Freitas, M. Esposito // *Nat Commun*, 2022. – №13 – С.5084. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-022-32700-7>
3. Lucia U. Thermal Resonance and Cell Behavior / U. Lucia, G. Grisolia // *Entropy*, 2020. – №22(7) – С. 774 DOI: <https://doi.org/10.3390/e22070774>
4. Zhao Y. Economic measures for biodiversity conservation / Y. Zhao, H. Li // *Biodiversity Science*, 2022, – №30(11). DOI: <https://doi.org/10.17520/biods.2022177>
5. Niven R. K. Invariance properties of the entropy production, and the entropic pairing of inertial frames of reference by shear-flow systems / R. K. Niven // *Entropy*, 2021. – №23(11) – С. 1515. DOI: <https://doi.org/10.3390/e23111515>
6. Hao X. Making waves: A sea change in treating wastewater – why thermodynamics supports resource recovery and recycling / X. Hao, D. Wu, J. Li, R. Liu, M. van Loosdrecht // *Water Research*, 2022. – №218. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118516>
7. Tilman D. Biodiversity and ecosystem functioning / D. Tilman, F. Isbell, J. M. Cowles // *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 2014. – №45 – С. 471–493. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-120213-091917>
8. Dunne J. A. Cascading extinctions and community collapse in model food webs / J. A. Dunne, R. J. Williams // *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2009. – №364(1524) – С.1711–1723. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0219>
9. Pandita S. Environmental variables vis-a-vis distribution of herbaceous tracheophytes on northern sub-slopes in western himalayan ecotone / S. Pandita, V. Kumar, H. C. Dutt // *Ecological Processes*, – 2019. – №8(1) DOI: <https://doi.org/10.1186/s13717-019-0200-x>
10. Daly A. J. Ecological diversity: Measuring the unmeasurable / A. J. Daly, J. M. Baetens, B. de Baets // *Mathematics*, 2018. – №6(7) DOI: <https://doi.org/10.3390/math6070119>
11. Morris E. K. Choosing and using diversity indices: Insights for ecological applications from the german biodiversity exploratories / E. K. Morris, T. Caruso, F. Buscot, M. Fischer, C. Hancock, T.S. Maier, M.C. Rillig // *Ecology and Evolution*, 2014. – №4(18) – С. 3514–3524. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.1155>
12. Thukral A. K. New indices regarding the dominance and diversity of communities, derived from sample variance and standard deviation / A. K. Thukral, R. Bhardwaj, V. Kumar, A. Sharma // *Heliyon*, 2019. – №5(10) – С. e02606. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02606>
13. Semeniuk V. A proposed revision of diversity measures / V. Semeniuk, I. D. Cresswell // *Diversity*, 2013. – №5(3) – С. 613–626; DOI: <https://doi.org/10.3390/d5030613>
14. Shannon C. E. A mathematical theory of communication / C. E. Shannon // *Bell System Technical Journal*, 1948. – №27(3) – С. 379–423. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
15. Simpson E. H. Measurement of diversity / E. H. Simpson // *Nature*, 1949. – №163(4148) – С. 688. DOI: <https://doi.org/10.1038/163688a0>
16. Brillouin L. The negentropy principle of information / L. Brillouin // *Journal of Applied Physics*, 1953. – №9(9) – С. 1152–1163. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.1721463>
17. Berger W. H. Diversity of planktonic foraminifera in deep-sea sediments. / W.H. Berger, F.L. Parker // *Science*, 1970. – №168(3937) – С.1345–1347. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.168.3937.1345>
18. Kumar V. Extending the concept of entropy-negentropy for the assessment of ecological dominance and diversity at alpha, beta and gamma levels / V. Kumar, A.K. Thukral, A. Sharma, R. Bhardwaj // *Geology, Ecology, and Landscapes*, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/24749508.2021.1923270>
19. Fitzhugh B. Human ecodynamics: A perspective for the study of long-term change in socioecological systems / B. Fitzhugh, V.L. Butler, K.M. Bovy, M.A. Etner // *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2019. – №23 – С.1077–1094. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.03.016>
20. Normandin J. Resilience factors reconciled with complexity: The dynamics of order and disorder / J. Normandin, M. Therrien // *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 2016. – №24(2), С. 107–118. DOI: <https://doi.org/10.1111/1468-5973.12107>
21. Diaz-Mendez S. E. Entropy generation as an environmental impact indicator and asample application to freshwater ecosystems eutrophication / S.E. Diaz-Mendez, J. M. T. Sierra-Grajeda, A. Hernandez-Guerrero, J. M. Rodriguez-Lelis // *Energy*, 2013. – №61, С.234-239. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.09.042>
22. Tiezzi E. Ecodynamics: Towards an evolutionary thermodynamics of ecosystems / E. Tiezzi // *Ecological Modelling*, 2011. – №222(16) – С.2897-2902. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.05.014>
23. Tiezzi, E., Ceconi, G., & Marchettini, N. (2010). Confined ontic open systems. / Tiezzi, E., Ceconi, G., & Marchettini, N. // *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, 5(1), 3-9. DOI: <https://doi.org/10.2495/DNE-V5-N1-3-9>
24. Tiezzi E. Is entropy far from equilibrium a state function? / E. Tiezzi // *International Journal of Ecodynamics*, 2006. – №1(1) – С.44-54. DOI: <https://doi.org/10.2495/ECO-V1-N1-44-54>
25. Mistriotis A. A universal model describing the structure and functions of living systems / Antonis Mistriotis // *Communicative & Integrative Biology*, 2021. – №14:1, С.27–36. DOI: <https://doi.org/10.1080/19420889.2021.1887549>
26. Malek-Mansour M. Nonequilibrium phase transitions in chemical systems / M. Malek-Mansour, G. Nicolis, I.

Prigogine // *Thermodynamics and kinetics of biological processes*, 2019. – 104 p. DOI: <https://doi.org/10.1515/9783110845914-008>

27. Margalef R. *Information and uncertainty in living systems, a view from ecology*. / R. Margalef // *BioSystems*, 1996. – №38(2-3) – С.141–146. DOI: [https://doi.org/10.1016/0303-2647\(95\)01584-1](https://doi.org/10.1016/0303-2647(95)01584-1)

28. Безсонний В. Л. Ентропійний підхід до оцінки екологічного стану водотоку / В. Л. Безсонний, О. В. Третьяков, Л. Д. Пляцук, А. Н. Некос // *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*, 2022. – Вип. 28. С.6–19. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-01>

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Thermodynamic aspects of the systems approach in ecology

*Vitalii Bezsonnyi*¹,

PhD (Technics), Associate Professor, Department of Environmental Safety and Environmental Education,
¹V.N. Karazin Kharkiv National University, 4, Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine;

*Oleg Tretiyakov*²,

DSc (Technics), Professor, Department of Civil and Industrial Safety,

²National Aviation University, 1 Liubomyra Huzara Av., Kyiv, 03058, Ukraine;

*Mykola Sherstyuk*³,

PhD Student of the Department of Ecology and
Environmental Protection Technologies, ³Sumy State University,
2 Rymyskogo-Korsakova St., Sumy, 40007, Ukraine;

*Alla Nekos*¹,

DSc (Geography), Professor, Head of the Department of
Environmental Safety and Environmental Education

ABSTRACT

Purpose. research from thermodynamic positions of the properties of ecological systems of various types under the influence of anthropogenic factors.

Methods. Analytical-synthetic method, analysis of information sources, entropy analysis.

Results. The effect of an anthropogenic factor on the ecosystem will result in a decrease in the antientropy of the components. The response of the ecosystem will be different depending on the strength and duration of the disturbance. With a strong and sufficiently long impact, the antientropy of the components falls while preserving the organization of the ecosystem until the too low level of the antientropy of the components does not include their own regulatory reactions aimed at restraining the fall of the antientropy even to the detriment of the organization of the system. The organization begins to fall. Since the influence is strong enough and does not stop, the regulatory mechanisms of the components are not able to stabilize the antientropy. The process of falling anti-entropy and organization continues, the system is irreversibly going to its demise. With an average strength, but long-term impact, the components manage to stabilize their antientropy at some sub-optimal, but acceptable level at the expense of energy reserves while preserving the organization. However, if the influence continues and does not weaken, the components, not being able to return their antientropy to the original optimal level, sooner or later cannot cope with the continuous perturbation, and their antientropy begins to fall again, now together with the organization. With a weak or short-term impact, the components, adapting to new conditions, return the antientropy to the optimal level (with a strong or medium impact, this is possible only after its termination before irreversible changes in the system). In this case, the organization of the system remains constant, since the disturbing action in this case did not lead the ecosystem beyond the effective operation of homeostatic mechanisms.

Thus, the critical moment when an anthropogenic factor acts on an ecosystem is the beginning of the fall of its organization, when homeostasis has completely exhausted itself in countering the disturbance, and the ecosystem begins to irreversibly degrade. So, to control the state of the ecosystem exposed to the anthropogenic factor, it is enough to monitor the organization of the system: if it does not decrease, we can talk about relative well-being, but if the organization falls, the ecosystem is on the verge of death, and it is necessary to take measures to save it.

However, the periodic and fairly frequent measurement of the organization of the ecosystem is a task, although one that does not cause fundamental difficulties, but is very time-consuming, primarily due to finding the average module of the correlation coefficients of the parameters.

Determining the complexity of the ecosystem according to the formula, although associated with certain difficulties associated with finding the number of connections, does not require time-consuming mathematical processing.

Keywords: ecological system, thermodynamic approach, sustainability, system organization, entropy, anti-entropy.

Reference

1. Fort, H. (2022). *Forecasting with maximum entropy: The interface between physics, biology, economics and information theory. Forecasting with maximum entropy: The interface between physics, biology, economics and information theory (1-221)* DOI: <https://doi.org/10.1088/978-0-7503-3931-5>

2. Freitas, J.N., Esposito, M. Emergent second law for non-equilibrium steady states. *Nat Commun* 13, 5084 (2022). DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-022-32700-7>
3. Lucia, U.; Grisolia, G. (2020) Thermal Resonance and Cell Behavior. *Entropy*, 22(7), 774. DOI: <https://doi.org/10.3390/e22070774>
4. Zhao, Y., & Li, H. (2022). Economic measures for biodiversity conservation. *Biodiversity Science*, 30(11) DOI: <https://doi.org/10.17520/biods.2022177>
5. Niven, R. K. (2021). Invariance properties of the entropy production, and the entropic pairing of inertial frames of reference by shear-flow systems. *Entropy*, 23(11), 1515; DOI: <https://doi.org/10.3390/e23111515>
6. Hao, X., Wu, D., Li, J., Liu, R., & van Loosdrecht, M. (2022). Making waves: A sea change in treating wastewater – why thermodynamics supports resource recovery and recycling. *Water Research*, 218 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118516>
7. Tilman, D., Isbell, F., & Cowles, J. M. (2014). Biodiversity and ecosystem functioning. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 45, 471–493 DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-120213-091917>
8. Dunne, J. A., & Williams, R. J. (2009). Cascading extinctions and community collapse in model food webs. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1524), 1711–1723. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0219>
9. Pandita, S., Kumar, V., & Dutt, H. C. (2019). Environmental variables vis-a-vis distribution of herbaceous tracheophytes on northern sub-slopes in western himalayan ecotone. *Ecological Processes*, 8(1) DOI: <https://doi.org/10.1186/s13717-019-0200-x>
10. Daly, A. J., Baetens, J. M., & De Baets, B. (2018). Ecological diversity: Measuring the unmeasurable. *Mathematics*, 6(7) DOI: <https://doi.org/10.3390/math6070119>
11. Morris, E. K., Caruso, T., Buscot, F., Fischer, M., Hancock, C., Maier, T. S., . . . Rillig, M. C. (2014). Choosing and using diversity indices: Insights for ecological applications from the german biodiversity exploratories. *Ecology and Evolution*, 4(18), 3514–3524. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.1155>
12. Thukral, A. K., Bhardwaj, R., Kumar, V., & Sharma, A. (2019). New indices regarding the dominance and diversity of communities, derived from sample variance and standard deviation. *Heliyon*, 5(10), e02606. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02606>
13. Semeniuk, V., & Cresswell, I. D. (2013). A proposed revision of diversity measures. *Diversity*, 5(3), 613–626; DOI: <https://doi.org/10.3390/d5030613>
14. Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27(3), 379–423. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
15. Simpson, E. H. (1949). Measurement of diversity. *Nature*, 163(4148), 688. DOI: <https://doi.org/10.1038/163688a0>
16. Brillouin, L. (1953). The negentropy principle of information. *Journal of Applied Physics*, 9(9), 1152–1163. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.1721463>
17. Berger, W. H., & Parker, F. L. (1970). Diversity of planktonic foraminifera in deep-sea sediments. *Science*, 168(3937), 1345–1347. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.168.3937.1345>
18. Kumar, V., Thukral, A. K., Sharma, A., & Bhardwaj, R. (2021). Extending the concept of entropy-negentropy for the assessment of ecological dominance and diversity at alpha, beta and gamma levels. *Geology, Ecology, and Landscapes*, DOI: <https://doi.org/10.1080/24749508.2021.1923270>
19. Fitzhugh, B., Butler, V. L., Bovy, K. M., & Etnier, M. A. (2019). Human ecodynamics: A perspective for the study of long-term change in socioecological systems. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 23, 1077–1094. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.03.016>
20. Normandin, J., & Therrien, M. (2016). Resilience factors reconciled with complexity: The dynamics of order and disorder. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 24(2), 107–118. DOI: <https://doi.org/10.1111/1468-5973.12107>
21. Diaz-Mendez, S. E., Sierra-Grajeda, J. M. T., Hernandez-Guerrero, A., & Rodriguez-Lelis, J. M. (2013). Entropy generation as an environmental impact indicator and asample application to freshwater ecosystems eutrophication. *Energy*, 61, 234–239. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.09.042>
22. Tiezzi, E. (2011). Ecodynamics: Towards an evolutionary thermodynamics of ecosystems. *Ecological Modelling*, 222(16), 2897–2902. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.05.014>
23. Tiezzi, E., Cecconi, G., & Marchettini, N. (2010). Confined ontic open systems. *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, 5(1), 3–9. doi:10.2495/DNE-V5-N1-3-9 DOI: <https://doi.org/10.2495/DNE-V5-N1-3-9>
24. Tiezzi, E. (2006). Is entropy far from equilibrium a state function? *International Journal of Ecodynamics*, 1(1), 44–54. DOI: <https://doi.org/10.2495/ECO-V1-N1-44-54>
25. Antonis Mistriotis (2021). A universal model describing the structure and functions of living systems, *Communicative & Integrative Biology*, 14:1, 27–36, DOI: <https://doi.org/10.1080/19420889.2021.1887549>
26. Malek-Mansour, M., Nicolis, G., & Prigogine, I. (2019). Nonequilibrium phase transitions in chemical systems. *Thermodynamics and kinetics of biological processes* (pp. 75–104) DOI: <https://doi.org/10.1515/9783110845914-008>
27. Margalef, R. (1996). Information and uncertainty in living systems, a view from ecology. *BioSystems*, 38(2-3), 141–146. DOI: [https://doi.org/10.1016/0303-2647\(95\)01584-1](https://doi.org/10.1016/0303-2647(95)01584-1)
28. Bezsonnyi, V.L., Tretyakov, O.V., Plyatsuk, L.D., & Nekos, A.N. (2022). Entropy approach to assessment of the ecological state of a water course. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, (27), 6–19. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2022-27-01> [in Ukrainian].

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 8 September 2022

Accepted 15 November 2022

Ecological problems of irrigated soils in the south of Ukraine

*Liudmyla Hranovska*¹,

DSc (Economics), Professor, Head of the Department of irrigated agriculture,
¹Institute of Irrigated Agriculture, NAAS Ukraine, Kherson, Naddniproanske, 73483, Ukraine,
e-mail: G_Ludmila15@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-7021-3093>;

*Oleksy Morozov*¹,

DSc (Agriculture), Professor, Chief Researcher of the Department of irrigated agriculture,
e-mail: morozov-2008@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-5617-0813>;

*Pavlo Pisarenko*¹,

DSc (Agriculture), Professor, Chief Researcher of the Department of irrigated agriculture
e-mail: pavel_pisarenko74@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-2104-2301>;

*Sergiy Vozhegov*²,

DSc (Agriculture), Chief Researcher,
²Rice Institute NAAS, Ukraine, Kherson region, vil. Antonovka, 75705, Ukraine,
e-mail: instofrice@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-0877-2593>

ABSTRACT

Problem formulation. Ecological quality of soils and agricultural products depends on the level of irrigation water mineralization. The quality of mineralized irrigation water has a negative impact on soils, agricultural products and ecosystems. This is especially negative in the conditions of Southern Ukraine within the Black Sea territories where the formation of irrigation waters in the Ingulets river basin depends on the influence of the Kryvyi Rih iron ore basin located in the river basin.

The aim of the article is to assess the impact of mineralized irrigation waters on soils and natural ecosystems.

Materials and methods. Field sampling of water and dark chestnut saline soils and southern chernozem soils to determine the impact of mineralized water quality on soils and ecosystems, statistical analysis of the obtained data.

Results. Discharges of highly mineralized mine waters into the river basin lead to a change in the flow velocity in the river from 4 m³/s to 20 m³/s, which negatively affects the flora and fauna living conditions. Depending on the chemical composition of the discharges, the mineralization of irrigation water varies from 1.393 g/dm³ to 1.7608 g/dm³, and sometimes reaches 4.349 g/dm³. In terms of chemical composition, irrigation water is formed as a hydrocarbonate-sulfate-chloride with almost the same content of sulfates and chlorides, calcium-magnesium-sodium with a significant advantage of sodium. The dynamics of irrigation water quality indicators during 2013-2021 testifies to an increase of the most dangerous indicators for soils: hydrogen index of soil solution (pH) from 7.7 to 8.4, chlorine ion content (Cl⁻) – from 9.52 to 10.77 meq/dm³ and sodium (Na⁺) from 9.52 to 13.33 meq/dm³. By means of correlation and regression analyzes, the regularities of water hydrochemical composition formation were revealed and a strong functional connection between mineralization and chlorine ions ($r = 0.99$) and sulfate ions ($r = 0.99$), between mineralization and hydrocarbonate ions was established ($r = 0.47$). As the mineralization of water increases, the content of chlorine ions and sulfate ions increases proportionally, and hydrocarbonate ions play a secondary role in the formation of the hydrochemical composition. To prevent the chlorine ions excess of more than 350 meq/dm³ and sulfate ions excess – 500 meq/dm³, irrigation water mineralization should not exceed 1500 mg/dm³, and to prevent the chlorine ions excess of more than 350 meq/dm³, water flow from the canal should be at least 9.0 m³/s.

Scientific novelty. New mathematical models of the irrigation water mineralization, its anionic composition, its chloride content dependence on water consumption from the Ingulets river and the interdependence between mineralization and cationic composition of water are offered.

Practical significance. The obtained results are of practical importance for the implementation of agro-ameliorative measures for soil and ecosystem conservation.

Keywords: mineralized waters, irrigation water, salinization, agro-ameliorative measures, soil reclamation, ecosystem.

In cites: Hranovska Liudmyla, Morozov Oleksy, Pisarenko Pavlo, Vozhegov Sergiy (2022). Ecological problems of irrigated soils in the south of Ukraine. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (57), 282-295. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-21>

Problem formulation. Natural ecosystems on arid lands are sensitive to irrational use of nature, including the use of land reclamation, and can easily result in imbalance and degradation: soil degradation and desertification, depletion of water resources and loss of biodiversity. The most complex forms of soil degradation are the processes of natural salinization and alkalization which are associated with the use of highly mineralized water for agriculture. According to the Concept of Sustainable Development,

agriculture aims at ensuring food security of the country under the condition of rationally using natural resources potential, the protection and restoration of natural resources, including soils [1,2].

The processes of soil degradation and desertification caused by natural and secondary salinization and alkalization and the outcome of their irrational use are a characteristic phenomenon for many countries around the world, as well as for Ukraine. The reasons for this process in Ukraine are not only the

natural land aridity which is accompanied by insufficient rainfall, negative water balance and related conditions of soil formation processes, but also natural salinization and alkalization of soils, especially those located within the Black Sea territories.

The Black Sea territories adjacent to the Black and Azov Seas are characterized not only by the consequences of the Black Sea complex geological history, but also by the consequences of the sea basin effect on soil formation processes. Sources of salt accumulation in the soils and groundwater of these areas are sea salts that are accumulated in estuarine and marine sediments, and also come from sea water during periodic flooding. In addition, salts come underground. Another source of salt accumulation in coastal areas is impulverization, that is, the transfer of salts by wind, which is one of the ways of salt exchange. About 180-320 kg of salts per 1 ha can be transferred to the soil surface by wind [3]. The process of solonetzic soils formation and evolution in the Black Sea region, as well as in the Dnieper estuary can be considered as the soil development from hydromorphic saline to solonetzes and dark chestnut ones depending on terrain rising and groundwater levels lowering.

Both surface and ground waters are used for irrigation in Ukraine but they have different effects on soil, crop products and ecosystems in general. Much of the irrigation sources of both surface and groundwater are mineralized waters which have a negative impact on the Black Sea ecosystems and agricultural products.

The aim of the research is ecological assessment of the mineralized irrigation waters effect on the soils and natural resources of the South of Ukraine. The research was conducted on agricultural lands of the Black Sea territories using the mineralized irrigation water.

Discussion. A number of scientific publications by domestic and foreign scientists are devoted to the study of the peculiarities of the mineralized waters use and their impact on soils and natural ecosystems. The analysis of these research results shows that the considerations of some scientific provisions concerning the rational use of water resources [for example 4,5,6,7] and assessment of the quality of the mineralized irrigation water supplied by the Ingulets Canal as well as the substantiation of its hydrochemical composition aspects were performed. Scientists focus the attention of land users in arid regions on climate change and the need for environmentally friendly nature management [3,4]. Many years of research by domestic scientists have shown that water used for irrigation in southern Ukraine has high mineralization and unacceptable ratio of monovalent and divalent cations, as well as high chlorine content, and adversely affects the quality of agricultural products

and soils [8,9]. Research by the Institute of Irrigated Agriculture, NAAS, found that the use of highly mineralized irrigation water for irrigation of southern chernozems promotes degradation processes in soils, their secondary salinization and alkalization processes, which negatively affects the state of ecosystems and quality of agricultural products [10, 11].

Assessing the quality of irrigation water in order to determine its impact on soil fertility is one of the pressing problems of modern irrigated agriculture, as noted by domestic and foreign scientists [12, 13, 14, 15, 16]. The quality of irrigation water was studied in the 60-70s of the last century in many countries around the world, and the first scientific articles on this issue were published in 1976 in the United States, according to foreign scientists [17]. However, so far, the main methodological and conceptual approaches to combating poor quality water, which causes salinization and alkalization, require revision, research and improvement. At the same time, foreign scientists identify four main criteria for assessing water quality for irrigation, including water salinity (WS), sodium hazard (sodium adsorption coefficient - SAC), residual sodium carbonate (RSC) and ionic toxicity, as well as toxicity of boron ions and chlorides to plants. It should be borne in mind that under the influence of climate change towards warming "soil salinity increases over time, and for sustainable management of saline soils it is important to diagnose salinity in time before taking appropriate measures to intervene in soils" [18, 19, 20, 21].

The accumulation of salts in soils is also associated with irrigation of agricultural land and can be caused by two main reasons: high level of saline groundwater and insufficiently scientifically substantiated irrigation regime, such as excess of irrigation water without artificial drainage, which leads to increased level of soil salinity and reduced crop yields [15, 22, 23, 24]. Salinity has a negative effect on the biological and microbiological functions of soil, its buffering capacity and pollutants filtration [25,26]. Soil is unable to participate in hydrological and nitrogen cycles and maintain biodiversity. In addition, disruption of soil biological activity leads to significant risks and environmental stress for soils and ecosystems, it reduces crop yields (by 18 - 43%) and threatens the country's food security. However, irrigation in the areas with insufficient natural moisture ensures agricultural efficiency and food security. Experts in the field of irrigated agriculture in Central Asia note that irrigation has negative consequences, as significant amounts of salt are transferred to the soil, where they are accumulated in the lowest places or return to the river, thus increasing the mineralization of the river water used for irrigation [14]. Mineralized water has a negative impact on ecosystems, humans and agriculture, as under prolonged irrigation with minerali-

zed waters the salt composition of dark chestnut soils changes [11, 27, 28, 29, 30].

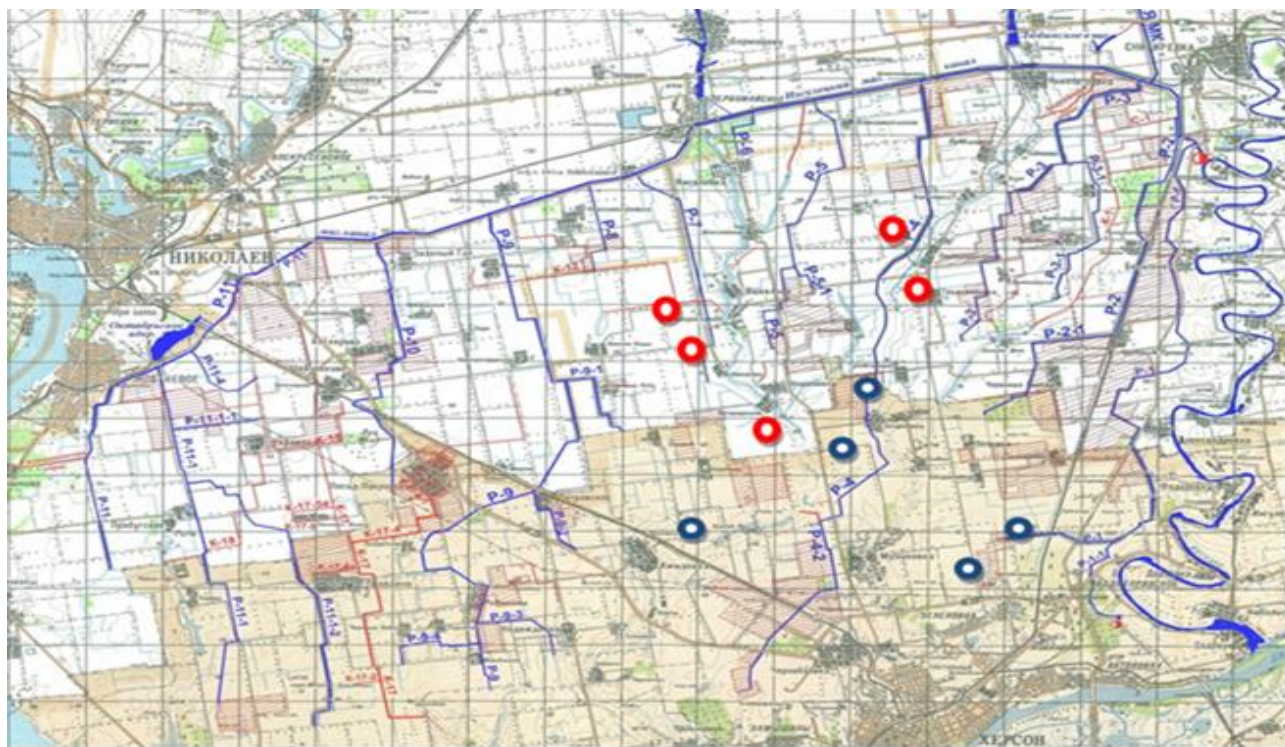
The analysis shows that irrigation with mineralized waters has a negative effect on the chemical composition of the soil solution by increasing the pH (hydrogen index of the soil), soil solution electrical conductivity and SAC which determines the ratio of cations in water and activity of sodium ions and its ability to enter the soil. In addition, as researchers note, if mineralized water is used for irrigation, the concentration of ions CO_3^{2-} , Na^+ , HCO_3^- , Cl^- , which form toxic salts, also increases [36].

Materials and methods. The research uses generally accepted methods and methodological approaches to research used in domestic and international practice, namely: system approach and system analysis, monographic analysis and synthesis, abstract-logical, historical, methods of field research of soils (dark chestnut solonchaks and southern chernozems) and assessment of irrigation water quality using rapid analysis, as well as statistical and mathe-

matical methods using variance, correlation, regression analysis to achieve the research goal.

The research was conducted in the areas of the Black Sea lowland, which is adjacent to the Black and Azov Seas and where the mineralized waters of the Ingulets irrigation system are used for irrigation.

Soil samples were taken during 2018-2021 in both southern chernozems and dark chestnut solonchaks in the area of the Ingulets irrigation system affected by mineralized waters (Fig. 1). Sampling was carried out according to Ukrainian State Standards (USS) ISO 5667: 2009 [31], and analytical studies were performed in a certified laboratory of analytical studies of the Institute of Irrigated Agriculture, NAAS; pH was determined by electrometric method; chlorides and total alkalinity were determined by titration [32, 33]. Assessment of the condition of irrigated southern chernozems and dark chestnut solonchaks soils was carried out according to USS 3866-9 "Soils. Classification of soils according to the degree of secondary salinity" [35].



- – sampling of soil on the southern chernozems
- – sampling on the dark chestnut saline soils

Fig. 1. Soil sampling points

Water samples were taken at certain points in the Ingulets River and in the Ingulets Irrigation Canal according to the relevant scheme (Fig. 2). Samples were taken during 2013-2021, which made it possible to form a considerable database for analysis.

Assessment of irrigation water quality was carried out according to USS 2730: 2015 "Quality of natural water for irrigation. Agronomic criteria",

which establishes agronomic criteria for determining the quality of natural water used for irrigation, as well as the degree of its impact on soils [34].

Results. The analysis shows that irrigation with mineralized waters has a negative effect on the chemical composition of the soil solution due to increased pH (hydrogen index of the soil), electrical conductivity of the soil solution and SAC, which de-

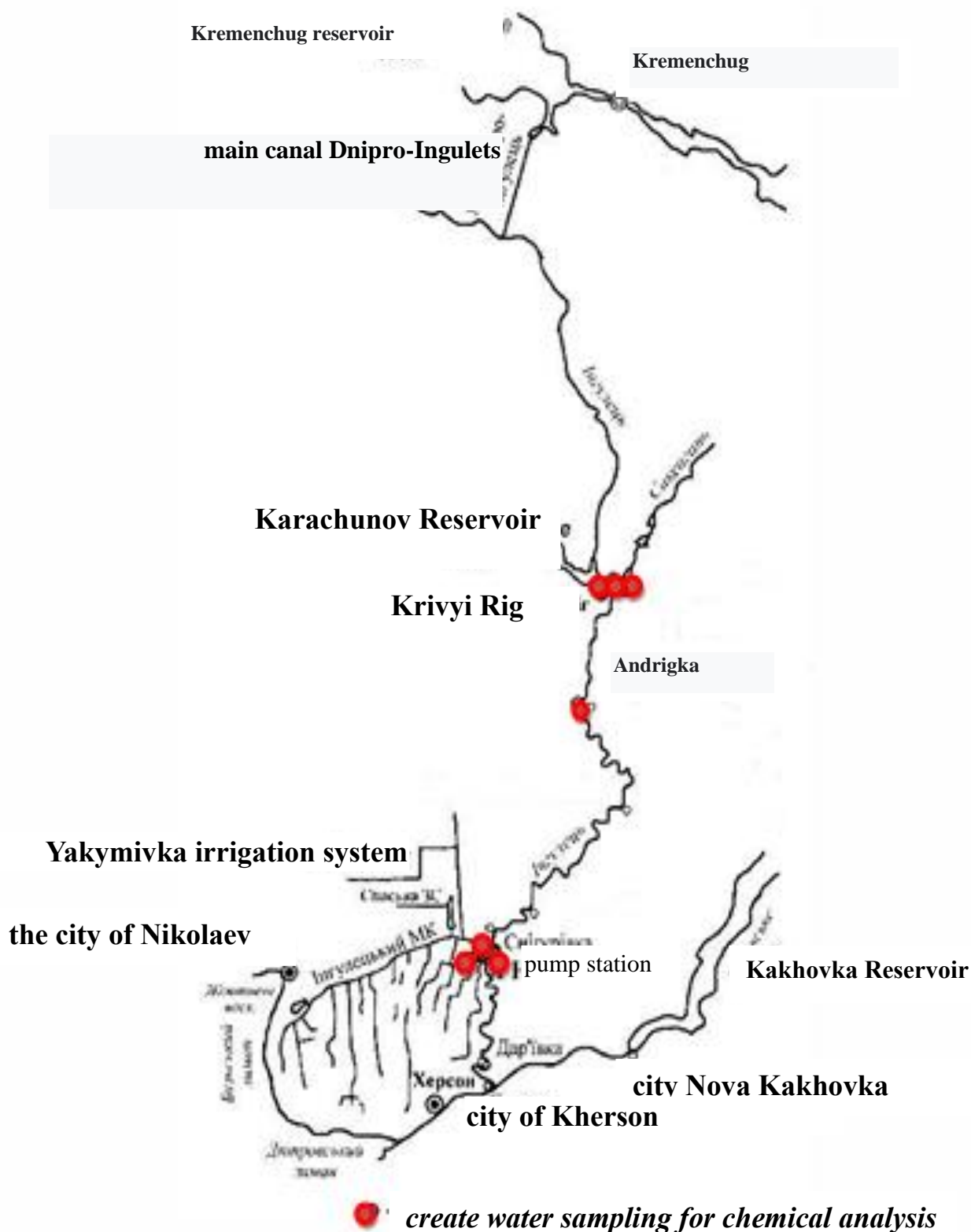


Fig. 2. Water sampling points in the main canal and in the Inguletsriver

termines the ratio of cations in water and sodium ion activity and its ability to enter the soil solution. In addition, as researchers note, if mineralized water is used for irrigation, the concentration of ions CO_3^{2-} , Na^+ , HCO_3^- , Cl^- , which form toxic salts, also increases in the soil solution [36].

Using mineralized irrigation waters on the soils of southern Ukraine which naturally had a significant level of salinity, makes the situation especially difficult. And the formation of irrigation water in the Ingulets river basin has its peculiarities, which are due to the fact that the quality of Ingulets water is signi-

ificantly affected by the Kryvyi Rih iron ore basin located in the Ingulets basin. Kryvyi Rih iron ore basin is the largest in Ukraine and in the world and is located in the Dnipropetrovsk region. Extraction and processing of iron ore requires significant amounts of water, so the mining enterprises of Kryvbas accumulate a significant amount of return water, which causes its overflow, thus threatening an emergency situation in Ukraine.

Longstanding discharge of mine water from the Kryvyi Rih iron ore basin into the Ingulets River caused a significant deterioration of the ecological situation in the river catchment area. At the same time, the river changes its hydrological regime four times in just one year, which necessitates the adaptation of bioresources to such changes. Deterioration of river water quality due to discharges of highly mineralized mine waters and the negative impact of these waters on the ecosystem leads to the change in the river flow velocity from 4 m/s to 20 m/s, which negatively affects the living conditions of flora and

fauna. The ecological parameters of the river ecosystem and its chemical and sanitary-hygienic indicators are also deteriorating due to uncontrolled discharges by other enterprises and individuals. No measures are taken to improve the ecological conditions for flora and fauna development, for restoring the bioresources of the entire ecosystem which is in critical condition. In addition, irrigation with highly mineralized water continues. The results of irrigation water quality assessment for the period of 2013-2021 are given in Table 1. Mineralization during this period varied from 1,393 g/dm³ to 1,7608 g/dm³, and sometimes reached 2,349 g/dm³.

Graphic representation of the irrigation water quality indicators dynamics during 2013-2021 is presented in Figure 3.

Irrigation water quality assessment was carried out according to the current state standard USS 2730: 2015 "Quality of natural water for irrigation. Agronomic criteria" (Table 2).

The analysis shows a deterioration in the irriga-

Table 1

Irrigation water quality, meq/dm³

Year, average	pH	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Mineralization, g/dm ³
2013	8,0	0,44	3,58	9,52	8,64	4,92	7,32	9,52	1,391
2014	8,4	0,64	3,23	9,97	9,53	3,80	7,33	12,03	1,462
2015	7,9	no	3,64	10,72	10,20	4,70	7,50	12,36	1,560
2016	8,0	no	3,64	9,30	10,50	4,10	7,90	11,44	1,496
2017	7,7	0,32	3,58	9,50	9,44	4,32	7,40	10,87	1,420
2018	7,9	0,32	3,57	11,73	11,60	4,87	8,30	13,81	1,708
2019	8,1	0,32	3,49	11,19	11,33	4,70	8,00	13,53	1,653
2020	8,0	0,40	3,25	10,67	8,97	4,49	6,57	13,10	1,484
2021	8,0	0,48	3,50	10,77	10,07	4,50	8,10	13,33	1,624

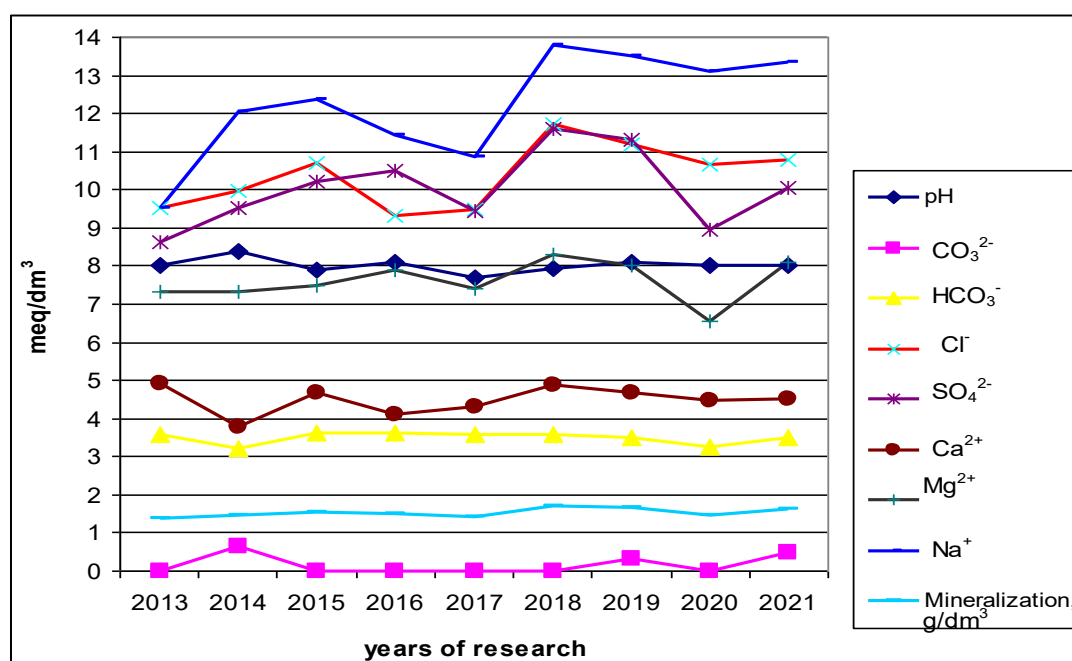


Fig. 3. Dynamics of Ingulets irrigation water quality indicators for the period 2013-2021

Mineralized irrigation water quality assessment (2013-2021)

Evaluation indicators	Calculation methods	Permissible criteria	Values	Conclusion
pH (hydrogen index) of irrigation water		6.0 – 7.5	7.3-7.5	suitable
Mineralization, g / dmi		Up to 0.45 g/dmi – class 1, suitable for irrigation; 0.45-1.0 g/dmi - limited suitability; More than 1.0 g/dmi - unsuitable.	1.49 g/dm ³	Class 3 water is not suitable for irrigation
Assessment of irrigation water quality as to the risk of soil salinization	Evaluation is based on the amount of toxic salts in chlorine ion equivalents, taking into account the particle size distribution of the soil	Less than 18 meq/dmi	15.06 meq/dmi	Suitable
Assessment of irrigation water quality as to the risk of soil alkalization	pH; CO ₃ content, meq/dmi; Toxic alkalinity content of HCO ₃ -Ca, meq / dmi;	pH less than 7.5; CO ₃ - absent; HCO ₃ -Ca less than 2.0;	pH less than 7.5; CO ₃ - absent; HCO ₃ -Ca = 0.130 mEq/dm ³ ;	Suitable
Assessment of irrigation water quality as to the risk of soil alkalization	The ratio of the alkaline cations and potassium, taking into account the magnesium content, to the sum of all cations, %	Less than 65 – class 1;	55.00%	Suitable
Assessment of irrigation water quality as to the danger of its toxic effects on plants	The evaluation is performed on the basis of hydrogen pH, alkalinity content from normal carbonates (CO ₃) and anion content (Cl).	pH 6.5-7.5; CO ₃ - absent; Cl - less than 3.0 meq/dm ³ ;	pH 7.5; CO ₃ - absent; Cl 10.88 = meq/dm ³ ;	Water is toxic to all plants in terms of SI content
Coefficient that determines the risk of alkalization (according to I.P. Aidarov-O.I. Golovanov)	$\frac{Na^+ * 100\%}{Ca+Mg} = K$	K less than 25% Ukrainian State Standard 2730: 2015	K=104.5%	Unsuitable

tion water quality throughout the research period, especially the increase of the most dangerous indicators: aqueous soil solution (pH) and chlorine (Cl[○]) and sodium (Na⁺) content. Due to the constant inflows of the Dnieper water, the appropriate level of irrigation water mineralization in the irrigation canal (1.4–1.6 g/dm³) is maintained which corresponds to quality class 2. In terms of chlorine ions, water remains toxic to all plants. In terms of sodium content, the Ingulets irrigation water causes active processes

of soil secondary salinization and is of limited suitability for irrigation (Class 2 according to USS 2730: 2015 "Quality of natural water for irrigation. Agronomic criteria").

In order to identify the features and patterns of irrigation water hydrochemical composition formation, data correlation and regression analyses were performed (Table 2). Correlation-regression analysis showed a strong functional relationship between irrigation water mineralization and chlorine ions ($r =$

0.99) and sulfate ions ($r = 0.99$) content and weak connection between the irrigation water mineralization and bicarbonate ions ($r = 0.47$) content.

As the irrigation water mineralization increases, the content of chlorine ions and sulfate ions increases proportionally, hydrocarbonate ions play a secondary role in the formation of the irrigation water hydrochemical composition. Regression equations, correlation coefficients are shown in Figure 4.

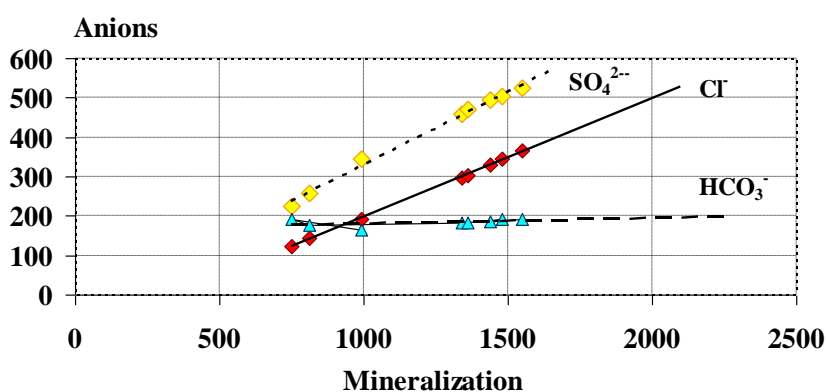
To prevent the chlorine ions excess of more than 350 mEq/dm³ and sulfate ions excess of more than 500 mEq/dm³, the mineralization of irrigation water should not exceed 1500 mg/dm³.

In the conditions of the Regulations of riverbed washing and ecological rehabilitation of the Ingulets

river, the peculiarities and regularities of the chloride content formation in the Ingulets river surface waters depending on water consumption are revealed (Fig. 5)

Data correlation and regression analyzes have been performed. A strong functional relationship between the chloride content in the surface waters of the Ingulets River and water consumption (correlation coefficient (r) 0.85, determination coefficient (R^2) 0.728) has been established.

As the flow of water from the canal increases, the content of chlorine ions decreases proportionally. To prevent the chlorine ions excess of more than 350 meq/dm³, water flow from the channel must be at least 9.0 m³/s.



Anions	Regression equation	Determination coefficient	Correlation coefficient
Cl ⁻	$Y = 0.3x - 101.65$	$R^2 = 0.9992$	$r = 0.99$
SO ₄ ²⁻	$Y = 0.3706x - 40.292$	$R^2 = 0.9935$	$r = 0.99$
HCO ₃ ⁻	$Y = 0.0138x + 167.0$	$R^2 = 0.2171$	$r = 0.47$

Fig. 4. Dependence of irrigation water mineralization and anionic composition

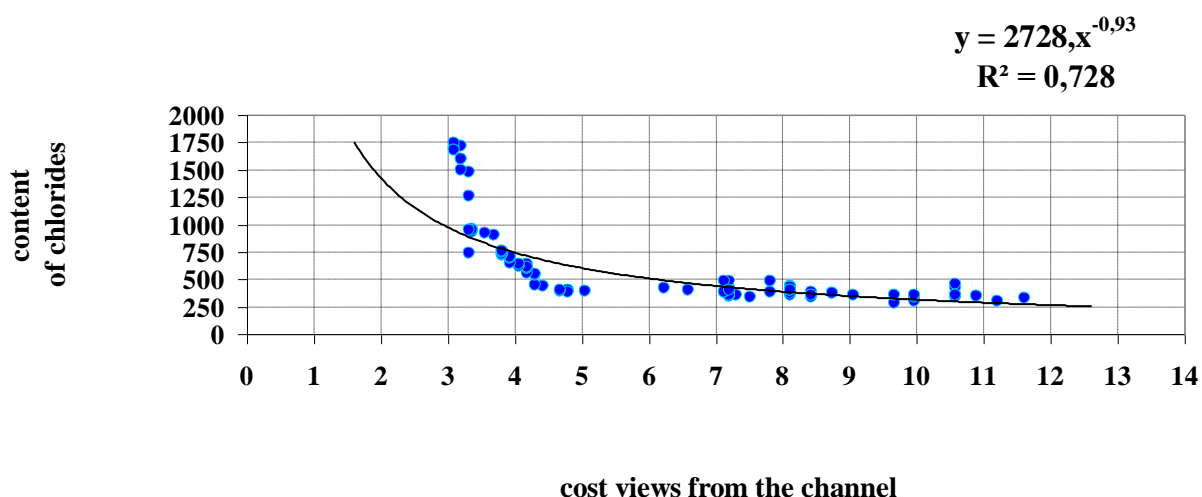


Fig. 5. Dependence of chloride content on water consumption of the Ingulets River

The average annual ratio of days when the water quality in terms of chloride content exceeds 350 mg/dm³ in 2018-2021 was 66.20%, in 2011-2017 - 17.37%; when it was more than 400 mg/dm³, 35.96

and 2.86% respectively; when it was more than 450 mg/dm³, 23.02 and 0.88% respectively; when it was more than 500 mg/dm³, 17.62 and 0.55%, respectively (Fig. 6).

As a result of research, the percentage of days when the chloride content in the Ingulets River water exceeded the value of 350 mg/dm³; 400 mg/dm³; 450 mg/dm³; 500 mg/dm³ (taking into account the start and end dates of riverbed flushing's and the timing of water reaching the sampling points in the Ingulets River) was determined.

That is, in 2018-2021 there was a significant deterioration in the Ingulets River water quality. To prevent the chlorine ions excess of more than 350 mEq/dm³ and sulfate ions excess of more than 500 mEq/dm³, the mineralization of irrigation water should not exceed 1500 mg/dm³.

As the irrigation water mineralization increases, the content of magnesium and calcium ions will increase proportionally, and sodium and potassium ions play a secondary role in the formation of the mineralized irrigation water hydrochemical composition. The regression equations and the calculated correlation coefficients are shown in Fig. 7.

In the conditions of the Regulations of river bed flushing and ecological rehabilitation of the Ingulets river, the peculiarities and regularities of chloride content formation in the Ingulets river surface waters depending on water consumption, which negatively affects the irrigation water quality, were revealed.

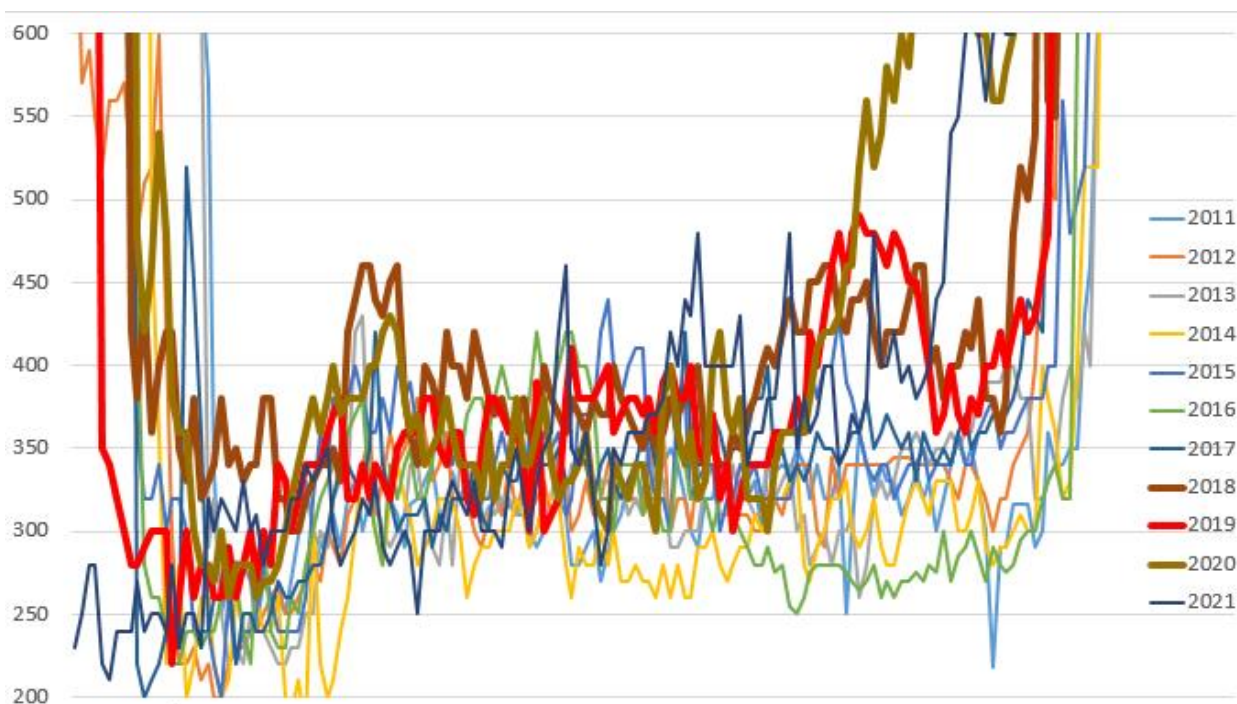
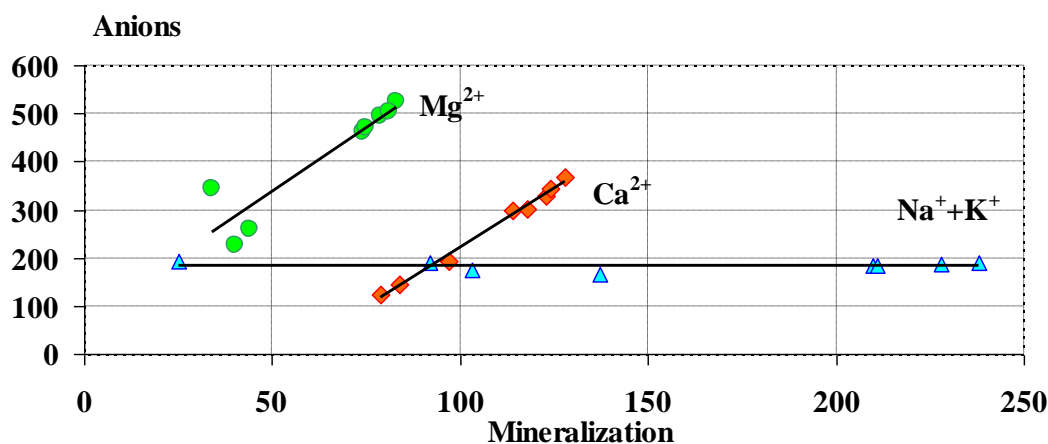


Fig. 6. Dynamics of chloride content in the Ingulets river water



Anions	Regression equation	Determination coefficient	Correlation coefficient
Mg ²⁺	Y = 5.2704x + 74.012	R ² = 0.8521	r = 0.92
Ca ²⁺	Y = 4.9546x - 274.08	R ² = 0.9933	r = 0.99
Na ⁺ +K ⁺	Y = -0.0026x + 184.15	R ² = 0.0004	r = 0.02

Fig. 7. Interdependence of irrigation water mineralization and its cationic composition

All of the above requires a scientifically sound attitude to using natural sources for crops irrigation, it requires constant monitoring of irrigation water quality indicators and a set of measures to improve its quality and prevent soil fertility deterioration.

The research was conducted to assess the impact of the mineralized Ingulets irrigation water quality on the fertility of southern chernozems and dark chestnut saline soils of the Ingulets irrigation area which for many years are irrigated with water of suitability class 2. The research results are shown in table 3. Soils represented by southern chernozem are characterized by an average humus content (2.85%), ave-

rage content of nitrate nitrogen, mobile phosphorus and metabolic potassium; they are not saline and have a medium and high level of secondary salinization. The pH of the soil salt extract testifies to the progressing process of soil alkalization. Dark chestnut medium-saline soils are characterized by a medium content of nitrate nitrogen, mobile phosphorus and exchangeable potassium; the humus content (2.32%) and further on the profile is low (1.35%); the soils are not saline and have a high level of secondary salinization; high pH values of the soil salt extract testifies to the alkalization process which is associated with the Ingulets irrigation water quality.

Table 3

The results of the agrochemical research of southern chernozem and dark chestnut solonchic soils under long-term irrigation with mineralized irrigation water (2013-2021)

Indicators	Values for Ingulets irrigated area soils, mg/kg		Criteria of indicators, mg/kg	Conclusion as to requirements of USS 4362: 2004 Soil quality. Fertility rates
	southern chernozem	dark chestnut saline		
1. Content of nitrate nitrogen NO ₃ in soil layers:	13.01.21	01.09.43	9-15	average content
2. Mobile phosphorus content P ₂ O ₅	20.01.21	24.09.21	21-45	average content
3. Potassium exchange content K ₂ O	359	484	200-400	average content
4. Humus content	01.02.85	01.02.32	2.1-3.0	average content
5. pH of the soil salt extract	6.8-7.8	7.7-8.1	6.1-7.5 7.6-8.0	directed towards alkalinity, alkaline
6. The amount of salts in% by soil weight	0.068-0.156	0.068-0.107	≤ 0.2%	the soil is not saline
7. The degree of salinization is determined by the ratio of sodium to the amount of calcium and magnesium	0.11-3.44	0.9-1.8	the ratio must be less than one	The soil is alkalinized

When mineralized irrigation water with high content of chlorides, sulfates and sodium salts is applied to agricultural lands, the process of salinization and alkalization is actively progressing and toxic chlorine and sodium salts are accumulated in soils and river ecosystems. The wastewater of the Kryvyi Rih iron ore basin getting into the Ingulets River affects negatively the natural ecosystems. After the discharge of excess return water, measures are implemented to eliminate the consequences of the discharge by flushing the Ingulets riverbed. Such activity is potentially dangerous for the environment under certain conditions, because such periodic discharges of highly mineralized excess return water make it impossible to comply with current standards of surface water quality. But this action is justified because it is carried out solely to prevent more serious and large-scale man-made consequences which will be associated with the shutdown and flooding of existing mines, regional mineralized groundwater rising, pollution of upper aquifers and surface waters,

with large-scale upheavals. Such an emergency may cause the ecological imbalance and threaten various important areas of economic activity and social life not only in the Kryvyi Rih iron ore basin but also far beyond.

During many years of irrigation water formation within the Ingulets irrigation area and the Black Sea coast of Ukraine, a very difficult ecological situation has developed which requires radical economic and cost-effective measures.

However, the provision of the Black Sea region with agricultural products requires the development of irrigation and the use of different quality irrigation waters. So it is necessary to implement appropriate measures to reduce the negative impact of mineralized waters on soils and ecosystems.

To prevent the processes of secondary salinization, it is necessary to carry out chemical reclamation by applying calcium-containing ameliorants to the soil: application of gypsum or phosphogypsum at the rate of 5-6 tons per hectare. Phosphogypsum is more

effective than natural gypsum, as it dissolves better in soil solutions. Phosphogypsum is applied for 3 years: in the spring for cultivation (3 t/ha) or in autumn for the main tillage (at a dose of 6 t/ha). Phosphorus in it (up to 4%) is absorbed by plants.

In addition, calculations are additionally made as to the frequency of phosphogypsum application based on the ratio of sodium cations and the amount of calcium and magnesium in the aqueous extract.

Studies have shown that the quality of Ingulets irrigation water deteriorates over the years as to its most toxic indicators, which has a negative impact on soil fertility. To suspend the processes of secondary salinization it is necessary to implement agro-ameliorative measures, provide the Ingulets River regular flushing, chemical reclamation of secondary saline soils and irrigation water.

Conclusions. The ecological condition of soils irrigated with mineralized waters of the Ingulets irrigation system has significantly deteriorated during the period of 2013-2021. When mineralized irrigation water with high content of chlorides, sulfates and sodium salts is applied to agricultural lands, the process of salinization and alkalization is actively progressing, while toxic chlorine and sodium salts are accumulated in soils. Increased mineralization of irrigation water and the deterioration of its environ-

mental performance depends on the regulation of highly mineralized water discharges in the Kryvyi Rih iron ore basin into the Ingulets River. As the mineralization of water in the Ingulets River increases, the content of toxic anions and cations in the irrigation water of the Ingulets Canal increases as well. And it is just the implementation of the Ingulets riverbed flushing and its ecological rehabilitation using the Dnieper water and increasing the water flow from the canal that can help to reduce the content of toxic ions.

To improve the ecological condition of soils irrigated with mineralized waters and prevent secondary salinization processes, it is necessary to carry out chemical reclamation by adding calcium-containing ameliorants to the soil: gypsum or phosphogypsum at the rate of 5-6 tons per hectare. Phosphogypsum acts on the soil more effectively than natural gypsum, as it dissolves better in soil solutions. Phosphogypsum is applied for 3 years: 3 t/ha in spring or 6 t/ha in autumn. Phosphorus in it (up to 4%) is also actively absorbed by plants. In addition, calculations are made concerning the periodic application of phosphogypsum by determining the ratio of sodium cations and the amount of calcium and magnesium in the aqueous extract. If it exceeds 1, then there is a need to re-introduce phosphogypsum.

Bibliography

1. Наукові основи адаптації систем землеробства до змін клімату в Південному Степу України [Текст] : монографія / за наук. ред. Р.А. Вожегової. – Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2018. – 752 с.
2. Tukenova, Z. Influence of pesticides on the biological activity of light chestnut soils in South-East Kazakhstan / Z. Tukenova & M. Mustafayev // *Water and Land development*, 2021. – No 48 (I-III). – P. 141-147. – Режим доступу: <https://www.itp.edu.pl/JWLD/files/Tukenowa-Mustafayev-et-al-785.pdf>
3. Коваленко П.І. Актуальні проблеми використання водних ресурсів і меліорованих земель на сучасному етапі [Текст] / П.І. Коваленко // *Меліорація і водне господарство*. – 2011 – № 99. – С. 5-16.
4. Chandra A. Madramootoo. Water Management for Global Food Security [Text] / Madramootoo A. Chandra // *Agricultural and Environmental Sciences*, 2011. – McGill University, Macdonald Campus. – No 21. – 136 p. – Режим доступу: https://www.mcgill.ca/macdonald/GFS_Seminar_Caferio
5. Волочнюк, Є.Г. Формування якості води Інгулецької зрошувальної системи [Текст] / Є.Г. Волочнюк // *Таврійський науковий вісник*. – 2002. – № 21. – С. 130-133. – Режим доступу: <https://www.google.com/search?q>
6. Морозов, О.В. Сучасні проблеми формування якості води Інгулецької зрошувальної системи в разі застосування промивки річки Інгулець упродовж квітня-серпня та шляхи їх вирішення [Текст] / О.В. Морозов, Є.В. Козленко, В.В. Морозов // *Аграрні інновації*. – 2021. – № 7. – С. 53-59. – Режим доступу: <http://agrarian-innovations.izpr.ks.ua/index.php/agrarian/article/view/145>
7. Tukenova, Z. Environmental assessment of the impact of technogenic factors on the soil mesofauna of the South-East of Kazakhstan and development bio indicative and indicative factors [Text] / Z. Tukenova, T. Akylbekova, M. Ali,zhanova, K. Ashimuly & A. Saparov // *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2020. – No 15 (22). – P. 2706-2712. – Режим доступу: http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2020/jeas_1120_8408.pdf
8. Mustafayev, F. Water-salt regime in the melioration Soils of the Shrivren Plan and there influence on agricultural plants prod activity (Ujar Support Station) [Text] / F. Mustafayev, M. Mustafayev // *JOUR*, 2019. – No 8. – 258 p. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/345028168_Water-salt_regime_in_the_meliorated_soils_of_the_Shirvan_Plain_and_their_influence_on_agricultural_plants_productivity_Ujar_Support_Station
9. Морозов О.В. Водно-сольове антропогенне навантаження на тривало зрошувані ґрунти Інгулецького масиву [Текст] / О.В. Морозов, В.В. Морозов, Є.В. Козленко // *Зрошуване землеробство*. – 2021. – Вип.76. – С. 43-48. – Режим доступу : <http://izpr.ks.ua/arkhiv?id=89>
10. Мелашич А. В. Порівняльна характеристика екологічного стану зрошуваних земель за диференціацією глибини залягання ґрунтових вод [Електронний ресурс] / А.В. Мелашич, О.П. Сафонова, С.В. Коковіхін, П.В. Писаренко // *Зрошуване землеробство*. – 2010. – №53. – С. 29-41. – Режим доступу : http://izpr.ks.ua/archive/2010/53/53_2010.pdf

11. Мелашич, А.В. Особливості ґрунтоутворного процесу в темно-каштановому ґрунті при різних способах зрошення [Текст] / А.В. Мелашич, П.В. Писаренко, І.О. Біднина, Т.А. Мелашич // Зрошуване землеробство. – 2011. – №55. – С. 24-29. – Режим доступу : <http://izpr.ks.ua/archive/2011/55/5.pdf>
12. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social–European Commission [Text]. – Brussels, 2014. – 16.4.2013.COM.216 final.11p. – Режим доступу: <http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2013/EN/1-2013-216-EN-F1-1.Pdf>
13. Romashchenko, M.I. The impact of modern climate change on water resources and agricultural production [Text] / M.I. Romashchenko // Land reclamation and water management. – 2020. – Т1. – Р. 5–22. – Режим доступу: <https://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/235>
14. Bucknall, J. Irrigation in Central Asia: social, economic and environmental considerations [Text] / Bucknall, J., Bucknall, I. Klytchnikova, J. Lampietti & M. Thurman, J. Washington // DC, 2003. – 104 hh. – Режим доступу: <http://web.worldbank.org/archive/website00504/WEB/OTHER/176B6FDD.HTM?Opendocument>
15. Global Water Partnership. Water Management and Ecosystems: Living with Change [Text]. Technical Committee (TEC) Background Paper. – Stockholm, 2009. – 74 pp. – Режим доступу: https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/background-papers/gwp_tec_19_web.pdf
16. Middle Willamette Agricultural Water Quality Management Area Plan. – Oregon Dept. of Agriculture, 2020. – 74 p. – Режим доступу: <https://www.oregon.gov/oda/shared/Documents/Publications/NaturalResources/WillametteMiddleAWQMAreaPlan.pdf>
17. Ayers, R.S. Water quality for agriculture [Text] / R.S. Ayers, D.W. Westcot // FAO Irrigation and drainage paper, 1985. – No 29, Rev. 1. – 192 p. – Режим доступу: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-96190-3_5
18. Zaman, M. Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques [Text] / M. Zaman, Sh. Shahid, L. Heng // Irrigation Water Quality, 2018. – 164 p. – Режим доступу: <https://library.oapen.org/bitstream/id/fa591144-4b76-41b4-a297-791b27c51720/1007237.pdf>
19. Zaman, M. Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques [Text] / M. Zaman, Sh. Shahid, L. Heng // FAO/IAEA. Irrigation Systems and Zones of Salinity Development, 2018. – P. 91-111. – Режим доступу: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-96190-3_4
20. Ben-Gal, A. & Shani, U. (2002). Yield, transpiration and growth of tomatoes under combined excess boron and salinity stress [Text] // Plant Soil. American Journal of Plant Sciences, Vol. 6, No. 9. – Режим доступу: <https://scirp.org/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1496531>
21. Bucknall, J., Klytchnikova, I., Lampietti, J., Lundell, M. and Thurman, M. (2003). Irrigation in Central Asia: social, economic and environmental considerations [Text]. – Washington. The World Bank, 104 pp. – Режим доступу: <http://web.worldbank.org/archive/website00504/WEB/PDF/IRRIGATI.PDF>
22. Chandra A. Madramootoo (2011). Water Management for Global Food Security [Text]. McGill Institute for Global Food Security Montreal, Canada, 136 p. – Режим доступу: https://www.mcgill.ca/macdonald/GFS_Seminar_Cafiero
23. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social–European Commission (2022) [Text]. Council's of the European Union. General Secretariat, 178 pp. – Режим доступу: https://www.consilium.europa.eu/media/60869/20213371_pdf_gc0221838enn_002.pdf
24. Global Water Partnership. Water Management and Ecosystems: Living with Change (2009) [Text]. Technical Committee (TEC) Background Paper. – Stockholm, Sweden, 23. – 74 pp. – Режим доступу: <https://www.inbo-news.org/IMG/pdf/GWP-INBOHandbookForIWRMinBasins.pdf>
25. Carter, C., Grieve, C., Poss, J., Suarez, D. (2005). Production and ion uptake of *Celosia argentea* irrigated with saline wastewaters [Text]. Scientia Horticultural, 106, 381–394. – Режим доступу: https://www.ars.usda.gov/ar-suserfiles/20360500/pdf_pubs/P2021.pdf
26. Carter, C.T., Grieve, C.M. & Poss, J.A. (2005). Salinity effects on emergence, survival, and ion accumulation of *Limonium perezii* [Text]. Plant Horticultural, T. 28, № 7, 1243–1257– Режим доступу: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1081/PLN-200063293>
27. Лозовицький П. Хімічний склад поливної води Інгулецької зрошувальної системи [Текст] / П. Лозовицький, І. Шевель // Водне господарство України. – 2000. – № 1–2. – С. 6–9.
28. Рябков, С.В. Про вплив краплинного зрошення, якості поливної води та удобрення на ґрунтові процеси та продуктивність плодових насаджень. [Текст] / С.В. Рябков, Л.Г. Усата, О.М. Новачок, І.О. Новачок // Вісник національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки. – 2013. – № 3. – С. 67–81. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vnuvgt_tekhn_2016_3_11
29. Ilnicki, P. (2014). Emissions of nitrogen and phosphorus into rivers from agricultural land – selected controversial issues Piotr [Text] // Journal of Water and Land Development, No. 23 (X–XII): 31–39. – Режим доступу: <https://journals.pan.pl/dlibra/publication/104144/edition/90149/content>
30. Attoui, B., Toumi, N., Messaoudi, S., Benrabah, S. (2016). Degradation of water quality: the case of plain west of Annaba (northeast Algeria). Journal of Water and Land Development, No. 31 (X–XII): 3–10. – Режим доступу: <https://journals.pan.pl/dlibra/publication/116147/edition/100936/content>
31. Marcinkowski, P., Piniewski, M., Kardel, I., Srinivasan, R., Okruszko, T. (2016). Challenges in modelling of water quantity and quality in two contrasting meso-scale catchments in Poland. Journal of Water and Land Development, No. 31 (X–XII): 97–111. – Режим доступу: <https://journals.pan.pl/dlibra/publication/116156/edition/100945/content>
32. ДСТУ 4077-2001 ISO 10523:1994. Якість води. Визначення рН [Чинний від 2003-07-01]. – Вид. офіц. – Київ: Держстандарт України, 2003. – 16 с. (Національний стандарт України).

33. ДСТУ 7244: 2011. Якість ґрунту. Спеціальні сировинні зони. Загальні вимоги. [Чинний від 2012-01-01]. Київ: Держстандарт України, 2012. – 10 с. (Національний стандарт України).
34. ДСТУ 2730:2015 Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії. [Чинний від 2015-07-22]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 9 с. (Національний стандарт України).
35. ДСТУ 7591:2014 Якість води для систем краплинного зрошення. Агрономічні, екологічні та технічні критерії. [Чинний від 2015-07-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. –16 с. (Національний стандарт України).
36. ДСТУ 3866-99 Ґрунти. Класифікація ґрунтів за ступенем вторинної солонцюватості. [Чинний від 2000-01-01]. Вид. офіц. Видання офіційне. Київ ДП «УкрНДНЦ», 1999. –10 с. (Національний стандарт України).
37. Shehzad, I., Sarwar, G., Manzoor, M., Zafar, A., Sher, M. and Murtaza, G. (2020). Effect of Saline Water Irrigation on Chemical Properties and Fertility Status of Soil Pakistan [Text]. Journal of Agricultural Research. – Vol. 33, Iss. 3. – Pages 422-691. – Режим доступу: <http://researcherslinks.com/current-issues/Effect-of-Saline-Water-Irrigation-on-Chemical-Properties-and-Fertility-Status-of-Soil/24/1/3141/html>
38. Hajrasuliha, S. (1988). Accumulation and toxicity of chloride in bean plants [Text]. Plant Soil, 105, 55:133–138. – Режим доступу: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02376785>
39. Demir A.D., Sahin U. (2017). Effects of different irrigation practices using treated wastewater on tomato yields, quality, water productivity, and soil and fruit mineral content [Text]. National Center for Biotechnology Information, 24 (32), 24856–24879. – Режим доступу: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28916963/> DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0139-3>
40. Wilson, L., New, S., Daron, J., Golding, N., (2021). Climate change impacts for in Ukraine [Text]. – Devon, UK, 34 pp. – Режим доступу: <https://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/metofficegovuk/pdf/>

Authors Contribution: Hranovska L. – correlation-regression analysis and generalization of results, Morozov O. – mathematical modeling, Pisarenko P. – experimental research, analysis of results, Vozhegov S. – experimental data, analysis of results

References

1. Vozhehova R. A. ed. (2018). Scientific bases of adaptation of agricultural systems to climate change in the South-ern Steppe of Ukraine. Kherson: OLDI-PLUS, 752 [in Ukrainian]
2. Tukenova Z., Mustafayev M., Alimzhanova M., Akyzbekova T. & Ashimuly K. (2021). Influence of pesticides on the biological activity of light chestnut soils in South-East Kazakhstan. Water and Land Development, 48 (I-III): 141–147. Available at: <https://www.itp.edu.pl/JWLD/files/Tukenowa-Mustafayev-et-al-785.pdf>
3. Kovalenko P. I. (2011). Actual problems of the use of water resources and reclaimed land at the current stage. Land reclamation and water management, 99, 5–16 [in Ukrainian]
4. Chandra A. Madramootoo. (2011). Water Management for Global Food Security/ McGill University, Macdonald Campus, 21,111 Lakeshore Road Ste. Anne de Bellevue QC H9X 3V9, Canada. 136. Available at: https://www.mcgill.ca/macdonald/GFS_Seminar_Cafiero
5. Volochnyuk E. G. (2002). Formation of water quality of Ingulets irrigation system. Taurian Scientific Bulletin. Kherson, 21, 130-133. [in Ukrainian] Available at: <https://www.google.com/search?q>
6. Morozov O.V., Kozlenko Ye.V., Morozov V.V. (2021). Modern problems of formation of water quality of the Ingulets Irrigation System in case of application of washing of the Ingulets river during April-August and ways of their decision. Agrarian innovations, 7, 53-59. [in Ukrainian]. Available at: <http://agrarian-innovations.izpr.ks.ua/index.php/agrarian/article/view/145>
7. Tukenova Z., Akyzbekova T., Alimzhanova M., Ashimoly K. & Saparov A. (2020). Environmental assessment of the impact of technogenic factors on the soil mesofauna of the South-East of Kazakhstan and development bio indicative and indicative factors. Journal of Engineering and Applied Sciences, 15(22), 2706-2712. Available at: http://www.arpn-journals.org/jeas/research_papers/rp_2020/jeas_1120_8408.pdf
8. Mustafayev, F., Mustafayev, M. (2019). Water-salt regime in the melioration Soils of the Shrivien Plan and there influence on agricultural plants prod activity (Ujar Support Station). JOUR, 8, 258. Available at: https://www.researchgate.net/publication/345028168_Water-salt_regime_in_the_meliorated_soils_of_the_Shirvan_Plain_and_their_influence_on_agricultural_plants_productivity_Ujar_Support_Station
9. Morozov O.V., Kozlenko Ye.V., Morozov V.V. (2021). Water-salt anthropogenic load on long-term irrigated soils of the Ingulets massif. Irrigation agriculture. 76, 43-48. [in Ukrainian]. Available at: <http://izpr.ks.ua/arkhiv?id=89>
10. Melashych A.V., Safonova O.P., Kokovikhin S. V., Pisarenko P.V. (2010). Comparative characteristics of the ecological condition of irrigated lands by the differentiation of the depth of groundwater. Irrigation agriculture. 53, 29-41. Available at: http://izpr.ks.ua/archive/2010/53/53_2010.pdf
11. Melashych A.V., Pisarenko P.V., Bidnina I.O., Melashych T.A. (2011). Features of the soil-forming process in dark chestnut soil with different methods of irrigation. Irrigation agriculture. 55, 24-29. [in Ukrainian]. Available at: <http://izpr.ks.ua/archive/2011/55/5.pdf>
12. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social-European Commission (2014). Brussels, 16.4.2013.COM.216 final. 11. Available at: <http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2013/EN/1-2013-216-EN-F1-1.Pdf>

13. Romashchenko M.I. (2020). *The impact of modern climate change on water resources and agricultural production. Land reclamation and water management*. 1, 5-22 [in Ukrainian]. Available at: <https://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/235>
14. Bucknall, J., Bucknall, I., Klytchnikova, J., Lampiotti & M. Thurman J. Washington (2003). *Irrigation in Central Asia: social, economic and environmental considerations*. DC, 104. Available at: <http://web.worldbank.org/archive/web-site00504/WEB/OTHER/176B6FDD.HTM?Opendocument>
15. Global Water Partnership. *Water Management and Ecosystems: Living with Change* (2009). Technical Committee (TEC) Background Paper. Stockholm, 74. Available at: https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/background-papers/gwp_tec_19_web.pdf
16. Middle Willamette Agricultural Water Quality Management Area Plan. (2020). Oregon Dept. of Agriculture. 74. Available at: <https://www.oregon.gov/oda/shared/Documents/Publications/NaturalResources/WillametteMiddleA-WQMAreaPlan.pdf>
17. Ayers, R.S., Westcot, D.W. (1985; access 07.09.2021). *Water quality for agriculture*. FAO Irrigation and drainage paper, 29, 1, 192. Available at: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-96190-3_5
18. Zaman, M., Shahid, Sh., Heng, L. (2018). *Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques*. *Irrigation Water Quality*, 164. Available at: <https://library.oapen.org/bitstream/id/fa591144-4b76-41b4-a297-791b27c51720/1007237.pdf>
19. Zaman, M., Shahid, Sh., Heng, L. (2018). *Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques*. FAO/IAEA. *Irrigation Systems and Zones of Salinity Development*, 91-111. Available at: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-96190-3_4
20. Ben-Gal, A. & Shani, U. (2002). *Yield, transpiration and growth of tomatoes under combined excess boron and salinity stress*. *Plant Soil. American Journal of Plant Sciences*, 6, 9. Available at: <https://scirp.org/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1496531>
21. Bucknall, J., Klytchnikova, I., Lampiotti, J., Lundell, M. fnd Thurman, M. (2003). *Irrigation in Central Asia: social, economic and environmental considerations*. Washington. The World Bank, 104. Available at: <http://web.worldbank.org/archive/website00504/WEB/PDF/IRRIGATI.PDF>
22. Chandra A. Madramootoo (2011). *Water Management for Global Food Security*. McGill Institute for Global Food Security Montreal, Canada, 136. Available at: https://www.mcgill.ca/macdonald/GFS_Seminar_Caftero
23. *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social-European Commission* (2022). Council's of the European Union. General Secretariat, 178 pp. Available at: https://www.consilium.europa.eu/media/60869/20213371_pdf_qc0221838enn_002.pdf
24. Global Water Partnership. *Water Management and Ecosystems: Living with Change* (2009). Technical Committee (TEC) Background Paper. Stockholm, Sweden, 23, 74. Available at: <https://www.inbo-news.org/IMG/pdf/GWP-IN-BOHandbookForIWRMinBasins.pdf>
25. Carter, C., Grieve, C., Poss, J., Suarez, D. (2005). *Production and ion uptake of Celosia argentea irrigated with saline wastewaters*. *Scientia Horticultural*, 106, 381–394. Available at: https://www.ars.usda.gov/ar-userfiles/20360500/pdf_pubs/P2021.pdf
26. Carter, C.T., Grieve, C.M. & Poss, J.A. (2005). *Salinity effects on emergence, survival, and ion accumulation of Limonium perezii*. *Plant Horticultural*, 28, 7, 1243–1257. Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1081/PLN-200063293>
27. Lozovitskyi P., Shevel I. (2000). *Chemical composition of irrigation water of Ingulets irrigation system*. *Water management of Ukraine*, 1–2, 6–9 [in Ukrainian].
28. Riabkov S.V., Usata L.H., Novathok, I.O. Novathok (2013). *On the impact of drip irrigation, irrigation water quality and fertilizers on soil processes and productivity of orchards*. [in Ukrainian]. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vnuvvp_tekhn_2016_3_11
29. Ilnicki, P. (2014). *Emissions of nitrogen and phosphorus into rivers from agricultural land – selected controversial issues* Piotr. *Journal of Water and Land Development*, 23 (X–XII): 31–39. <https://journals.pan.pl/dlibra/publication/104144/edition/90149/content>
30. Attoui, B., Toumi, N., Messaoudi, S., Benrabah, S. (2016). *Degradation of water quality: the case of plain west of Annaba (northeast Algeria)*. *Journal of Water and Land Development*, 31 (X–XII): 3–10. Available at: <https://journals.pan.pl/dlibra/publication/116147/edition/100936/content>
31. Marcinkowski, P., Piniewski, M., Kardel, I., Srinivasan, R., Okruszko, T. (2016). *Challenges in modelling of water quantity and quality in two contrasting meso-scale catchments in Poland*. *Journal of Water and Land Development*, 31 (X–XII): 97–111. Available at: <https://journals.pan.pl/dlibra/publication/116156/edition/100945/content>
32. DSTU 4077-2001 ISO 10523: 1994, MOD. (2003). *Water quality. Determination of pH [Effective from 2003-07-01]*. Kyiv, 16. (Nationalstandart of Ukraine) [in Ukrainian].
33. DSTU 7244:2011.(2012). *Soil quality. Special raw material zones. General requirements*. [Effective from 2012-01-01]. Kyiv. (Nationalstandart of Ukraine) [in Ukrainian]
34. DSTU 2730:2015 (2016). *Quality of natural water for irrigation. Agronomic criteria*. Kyiv: State Enterprise "Ukrainian Research and Training Center [in Ukrainian]
35. DSTU 7591:2014 (2015). *Water quality for drip irrigation systems. Agronomic, ecological and technical criteria*. Kyiv: State Enterprise "Ukrainian Research and Training Center, 16 [in Ukrainian]

36. DSTU 3866-99 (2000). *Soils. Classification of soils according to the degree of secondary salinity*. Kyiv: State Enterprise "Ukrainian Research and Training Center, 10 [in Ukrainian]
37. Shehzad, I., Sarwar, G., Manzoor, M., Zafar, A., Sher, M. and Murtaza, G. (2020). *Effect of Saline Water Irrigation on Chemical Properties and Fertility Status of Soil Pakistan*. *Journal of Agricultural Research*. 33, 3, 422-691. Available at: <http://researcherslinks.com/current-issues/Effect-of-Saline-Water-Irrigation-on-Chemical-Properties-and-Fertility-Status-of-Soil/24/1/3141/html>
38. Hajrasuliha, S. (1988). *Accumulation and toxicity of chloride in bean plants*. *Plant Soil*, 105, 55:133–138. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02376785>
39. Demir A.D., Sahin U. (2017). *Effects of different irrigation practices using treated wastewater on tomato yields, quality, water productivity, and soil and fruit mineral content*. *National Center for Biotechnology Information*, 24 (32), 24856–24879. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28916963/> DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0139-3>
40. Wilson, L., New, S., Daron, J., Golding, N., (2021). *Climate change impacts for in Ukraine*. Devon, UK, 34. Available at: <https://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/metofficegovuk/pdf/>

Вплив мінералізованих поливних вод на ґрунти та екосистеми

Людмила Грановська¹,

д. екон. н., професор, зав. відділу зрошувального землеробства,
¹Інститут зрошувального землеробства НААН,
м. Херсон, сел. Наддніпрянське, 73483, Україна;

Олексій Морозов¹,

д. с.-г. н., професор, гол. наук. співроб. відділу зрошувального землеробства;

Павло Писаренко¹,

д. с.-г. н., ст. наук. співроб., гол. наук. співроб. відділу зрошувального землеробства;

Сергій Вожегов²,

д. с.-г. н., ст. наук. співроб., гол. наук. співроб., ²Інститут рису НААН

Екологічна якість ґрунтів і сільськогосподарської продукції залежить від рівня мінералізації поливної води. Особливо негативно це проявляється в умовах Півдня України в межах Причорноморських територій де формування поливних вод в басейні річки Інгулець залежить від впливу Криворізького залізрудного басейну розташованого в басейні річки. Скиди високомінералізованих шахтних вод в річковий басейн призводять до зміни швидкості течії у річці з 4 м³/сек до 20 м³/сек, що негативно впливає на життєві умови флори і фауни. Залежно від хімічного складу скидів змінюється мінералізація поливної води від 1,393 г/дм³ до 1,7608 г/дм³, а іноді досягає 4,349 г/дм³. За хімічним складом поливна вода формується як гідрокарбонатно-сульфатно-хлоридна при майже однаковому вмісту сульфатів та хлоридів, кальцієво-магнієво-натрієва зі значною перевагою натрію. Динаміка показників якості поливної води протягом 2013-2021 років свідчить про зростання найбільш небезпечних для ґрунтів показників: водневого показника ґрунтового розчину (рН) від 7,7 до 8,4, вмісту іонів хлору (Cl⁻) – від 9,52 до 10,77 мекв/дм³ та натрію (Na⁺) – від 9,52 до 13,33 мекв/дм³. За допомогою кореляційного і регресійного аналізів виявлені закономірності формування гідрохімічного складу води і встановлено сильний функціональний зв'язок між мінералізацією та іонами хлору ($r = 0,99$) та сульфат-іонами ($r = 0,99$), між мінералізацією та гідрокарбонат-іонами ($r = 0,47$). В міру підвищення мінералізації води пропорційно зростає вміст іонів хлору та сульфат-іонів, гідрокарбонат-іони відіграють другорядну роль у формуванні гідрохімічного складу. Доведено, що для запобігання перевищення іонів хлору більше 350 мекв/дм³ та сульфат-іонів – 500 мекв/дм³ мінералізація зрошувальної води не повинна перевищувати 1500 мг/дм³, а для запобігання перевищення іонів хлору більше 350 мекв/дм³ витрати води із каналу повинні бути не менш 9,0 м³/с.

Ключові слова: мінералізовані води, поливна вода, осолонцювання, агроеліоративні заходи, меліорація ґрунтів, регламент промивки.

Внесок авторів: Грановська Л. – кореляційно-регресійний аналіз та узагальнення результатів; Морозов О. – математичне моделювання; Писаренко П. – експериментальні дослідження, аналіз результатів; Вожегов С. – експериментальні дані, аналіз результатів

Надійшла 19 січня 2022 р.

Прийнята 24 січня 2022 р.

Вплив нафтового забруднення на перебіг змін властивостей чорнозему та його фітотоксичність

Олексій Крайнюков¹,

д. геогр. н., професор, кафедра екологічної безпеки та екологічної освіти, навчально-науковий інститут екології, ¹Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, майдан Свободи, 6, м. Харків, 61022 Україна, e-mail: alkraynukov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5264-3118>;

Інна Мірошніченко²,

аспірантка, ²Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», вул. Бакуліна, 6, м. Харків, 61166, Україна, e-mail: zander3pike5@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8914-8698>;

Олеся Сябрук³,

к. с.-г. н., ст. наук. співроб. відділу агрохімії ³ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», вул. Чайковська, 4, м. Харків, 61024, Україна, e-mail: syabryk86@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9521-4607>

Євгенія Гладкіх³,

к. с.-г. н., ст. наук. співроб. відділу агрохімії, e-mail: ye.hladkikh@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-4852-0502>

Загальновідомим фактом є те, що забруднення ґрунту нафтою дуже сильно впливає на його родючість, ріст та розвиток культурних рослин. Незважаючи на те, що ця проблема досить добре висвітлена у науковій літературі, на сьогодні вона повністю не вирішена. Метою роботи є дослідити зміну властивостей (фізико-хімічних, агрохімічних та біологічних) чорноземних ґрунтів та його фітотоксичність за різних рівнів нафтового забруднення. Дослідження проводили впродовж 2019-2021 рр. в умовах Лівобережного Лісостепу України у польовому дрібноділянковому досліді на чорноземі опідзоленому із періодичністю спостережень за діагностичними показниками у 1 місяць, 6, 12 та 24 місяці. Визначено динаміку біодеградації нафтопродуктів для різного рівня забруднення та виявлено, що протягом перших 6 місяців загальне зниження вмісту нафтопродуктів складало майже 42 %. Встановлено закономірності процесу самоочищення досліджуваного ґрунту від нафтових вуглеводнів протягом 24 місяців, які свідчать про істотну різницю у швидкості біодеградації нафтопродуктів для різного рівня забруднення. Визначено закономірності зміни вмісту водорозчинних калію та натрію, рухомих форм фосфору та калію у чорноземі опідзоленому, що зазнав нафтового забруднення. При цьому зафіксовано певну стабілізацію фосфатно-калійного стану нафтозабрудненого ґрунту і доведено неістотність даних вмісту рухомих форм фосфору та калію у якості індикаторів моніторингу на нафтозабруднених землях. Виявлено негативний вплив нафти на проростання насіння жита та гірчиці у польових умовах, що проявлявся у скороченні польової схожості насіння на 60-80 % за найвищого рівня забруднення. Визначено зв'язок рівня забруднення ґрунту нафтою із інтенсивністю виділення CO₂ забрудненим ґрунтом, який свідчить про істотне посилення емісії CO₂ з ґрунту через рік після його забруднення нафтою у діапазоні концентрацій 6,4-24,6 л/м², що є наслідком активної діяльності нафтоокислювальних мікроорганізмів та очевидно свідчить про інтенсифікацію процесів біодеградації нафти.

Ключові слова: забруднення нафтою, ґрунт, самоочищення ґрунту, фітотоксичність, біодеградація, система ґрунт-рослина, фізико-хімічні властивості ґрунту, агрохімічні властивості ґрунту, інтенсивність виділення CO₂ з ґрунту.

Як цитувати: Крайнюков Олексій. Вплив нафтового забруднення на перебіг змін властивостей чорнозему та його фітотоксичність / Олексій Крайнюков, Інна Мірошніченко, Олеся Сябрук, Євгенія Гладкіх // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 57. – С. 296-306. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-22>

In cites: Krainiukov Oleksii, Miroshnychenko Inna, Siabruk Olesia, Hladkikh Yevheniia (2022). Effect of oil contamination on the course of changes in chernozem properties and phytotoxicity. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (57), 296-306. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-22> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. В Україні нараховується 410 родовищ нафти та газу, більша частина яких є комплексними. Нафтогазоносні родовища зосереджені у трьох регіонах (Східному, Західному та Південному), при цьому родовища Східного регіону, розташовані в межах Дніпровсько-Донецької нафтогазоносної області, є найбільшими за сучасними обсягами видобутку нафти і газу. Поряд з цим, уся інфраструктура нафтогазовидобування у межах Дніпровсько-Донецької за-

паднини розміщена на сільськогосподарських землях із найбільш родючими в Україні чорноземами, що обумовлює особливі вимоги щодо недопущення забруднення цих ґрунтів нафтою та нафтопродуктами, адже розробка та експлуатація нафтогазових родовищ є один із найнебезпечніших для навколишнього середовища видів виробничої діяльності [1-3]. Загалом, проблеми пов'язані із забрудненням вуглеводнями компонентів доквілля, зокрема ґрунтів, останнім часом набува-

ють усе більшої актуальності, що пов'язано з високою вартістю робіт під час застосування механічних, фізичних, хімічних та термічних способів очищення, а також із обмеженістю їх можливостей. Окрім того, щорічно збільшується кількість джерел надходження вуглеводнів у навколишнє середовище. В їх перелік входять практично всі автотранспортні підприємства, трубопровідний транспорт, підприємства нафтохімічної та нафтогазодобувної промисловості [4]. Недосконалість технологій видобутку, транспортування, переробки та зберігання нафти призводять до її аварійних розливів, що досягають 60-70 млн. тон на рік у світі, а це складає близько 2 % загального світового видобутку [5]. Забруднення, спричинене нафтою та її похідними, є однією із найбільших проблем для довкілля у всьому світі [6-9]. Зокрема, забруднення ґрунту нафтою та нафтопродуктами звертає на себе особливу увагу, адже ґрунт є ключовим елементом у трофічному ланцюзі надходження токсикантів до організму людини [10]. Наслідки нафтових забруднень можуть впливати на природні екосистеми впродовж десятиліть і навіть століть [11].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Нафтові вуглеводні впливають на мінеральний, органічний та хімічний склад ґрунту, фізичні та біологічні властивості, а також на зміну рН ґрунтового розчину, якісні показники рослин, що вирощуються на забруднених ґрунтах та обсяг їх врожаю [12, 13]. За надходження нафти у ґрунт зменшується його водопроникність, через руйнування структурних агрегатів і закупорювання капілярів порушується аерація та окислювально-відновлювальний потенціал, створюються анаеробні умови [14-16]. В результаті ґрунт втрачає свою родючість, стає гідрофобним. За даними Мірошніченка М.М. [15], з плином часу водопроникність та вологоємність нафтозабрудненого ґрунту поступово відновлюються, а набуті гідрофобні властивості істотно зменшуються, хоча й залишаються вищими на два порядки від фонового рівня. Припускають, що стала складова набутої гідрофобності обмежує врожайність сільськогосподарських культур у несприятливі за вологозабезпеченням роки [17, 18]. Загалом, результати досліджень Sivkov Yu. [19] показують, що вміст нафтопродуктів суттєво знижує відсоток схожості насіння різних культур та кількість надземної біомаси рослин; а Wasen Abdul-Ameer Ali [20] та Marinescu M. [21] доводять, що вуглеводні знижують деякі параметри росту рослин. Низкою дослідників [21-23] виявлено у нафтозабруднених ґрунтах деяке зниження вмісту доступних поживних речовин, таких як вуглець, азот та фосфор. Окрім цього, забруднення ґрунту нафтою та нафтопродуктами порушує та пригнічує дихальну актив-

ність та мікробне самоочищення, змінює природне співвідношення чисельності мікроорганізмів [15, 17, 24].

Відновленню нафтозабруднених ґрунтів присвячено багато наукових праць, однак на сьогодні ця проблема повністю не вирішена. На наш погляд, такий стан питання пов'язаний із суттєвими відмінностями у процесах самовідновлення різних типів ґрунтів, багатофункціональністю ґрунту, як складової частини різних систем (ландшафтно-геохімічної, виробничої та ін.), а це викликає необхідність використання відповідних оціночних параметрів, репрезентативних у кожному індивідуальному випадку. Зокрема, для чорноземів Лівобережного Лісостепу України оптимальний перелік індикаторів їхнього моніторингу у районах нафторазодобування досі не визначено. У зв'язку з вищевикладеним, **метою роботи** є дослідження зміни властивостей (фізико-хімічних, агрохімічних та біологічних) чорнозему та його фітотоксичності за різних рівнів нафтового забруднення для подальшого використання параметрів цих показників при проведенні моніторингу ґрунтів.

Об'єкти та методи досліджень. Дослідження проводили впродовж 2019-2021 рр. в умовах Лівобережного Лісостепу України у польовому дрібноділянковому досліді на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому на лесі з такими характеристиками у орному (0-20 см) шарі: рН водної витяжки 6,3; вміст органічного карбону 2,4 %; легкогідролізованого азоту – 38 мг/кг; рухомого фосфору і калію (за методом Чирікова) – 65 і 95 мг/кг відповідно.

Дослід закладено у посудинах без дна 0,5×0,5 м висотою 0,35 м з щільної подвійної поліетиленової плівки. Повторність дослідів – чотириразова. Схема дослідів передбачала забруднення ґрунту нафтою у кількості 0,4 л/м², 1,6 л/м², 6,4 л/м², 25,6 л/м². Для забруднення використано нафту Бугроватівського родовища (Охтирський район Сумської обл.). За рівномірного розподілу у 30-сантиметровому шарі ґрунту рівень забруднення дорівнював таким градаціям згідно [25]:

- 0,4 л/м² = 1000 мг/кг ґрунту (верхня межа незначного забруднення);
- 1,6 л/м² = 4000 мг/кг ґрунту (орієнтовно-допустима концентрація);
- 6,4 л/м² = 16000 мг/кг ґрунту (середнє забруднення);
- 25,6 л/м² = 64000 мг/кг ґрунту (сильне забруднення).

Періодичність спостережень: 1 місяць, 6 місяців, 12 місяців та 24 місяці після забруднення ґрунту. У якості діагностичних показників використовували: вміст насичених вуглеводнів за методом газової хроматографії; вміст водорозчинних калію і натрію згідно ДСТУ 7944:2015; рН

грунту згідно ДСТУ 7862:2015; вміст рухомих форм фосфору та калію згідно ДСТУ 4115-2002; інтенсивність виділення CO_2 з поверхні ґрунту за методом нестационарних респіраційних камер за допомогою портативного газоаналізатора testo 535 [26]. Вимірювання CO_2 проводили п'ять разів впродовж світлового дня із подальшим усередненням результату.

Тестовими культурами, що пророщували у польових умовах на забруднених ділянках, були жито та гірчиця.

Статистичну обробку експериментальних даних виконано з використанням програми STATISTICA 13.5.0.17.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Динаміка вмісту вуглеводнів у ґрунті протягом періоду спостережень (24 місяці) – це один із головних показників біодеградації нафтопродуктів у ґрунті, що зазнав нафтового забруднення. Загальна концентрація вуглеводнів на початку і наприкінці періоду дослідження наведена на рисунку 1. Інтенсивність біодеградації нафтопродуктів у ґрунті з різними рівнями забруднення відрізнялась. За середнього та сильного рівня загальна втрата вуглеводнів протягом 24 місяців складала 60-64 %, а за незначного та орієнтовано-допусти-

мого рівня забруднення самоочищення ґрунту від вуглеводнів відбувалось істотно швидше і їхні втрати через 24 місяці досягли 85-87 %. Темпи біодеградації у цьому дослідженні були близькими до тих, про які повідомляють Dadrasnia і Agamuthu [27], Makadia et al. [28] та Omotayo et al. [29]. При цьому, як вважають Gawdzik і Zygadlo [30], одним із найбільших абіотичних механізмів, що сприяють втраті вуглеводнів із поверхні ґрунту є вертикальне переміщення їх вниз по профілю.

Показник самоочищення ґрунту від вуглеводнів був високим на початку експерименту, за перші 6 місяців загальне зниження вмісту нафтопродуктів складало майже 42 %. Наступні 6 місяців характеризувались відносним уповільненням процесу біорозкладення забруднювачів, що очевидно пов'язано із холодним періодом року (листопад-квітень), під час якого біоактивність ґрунтових мікроорганізмів призупиняється. З 12-го по 24-й місяць уміст нафтопродуктів знизився ще наполовину. Така динаміка біодеградації нафтових вуглеводнів у чорноземі опідзоленому добре описується квадратичною моделлю наведеної на рисунку 2 і узгоджується із результатами досліджень Wasen Abdul-Ameer Ali [20].

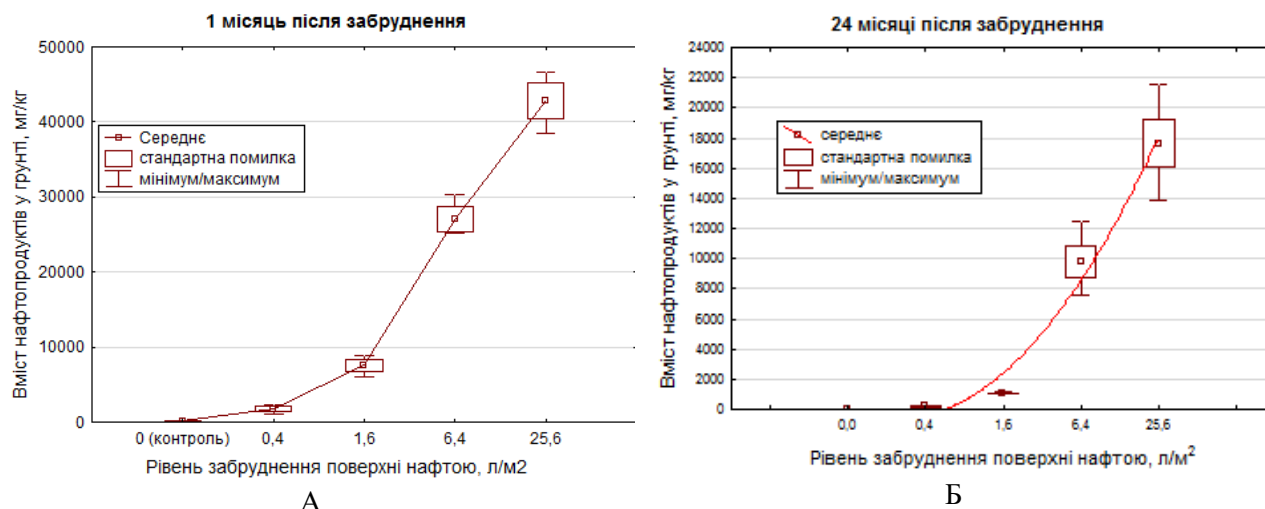


Рис. 1. Вміст вуглеводнів (нафтопродуктів) у 0-30 см шарі чорнозему опідзоленого за різних рівнів нафтового забруднення

Важливим біотичним механізмом біодеградації нафти та різних її похідних є діяльність ґрунтового мікробіоценозу, індикатором якої може слугувати інтенсивність емісії CO_2 з ґрунту. Кількість виділеного CO_2 характеризує процес повної мінералізації і максимальної утилізації вуглеводнів ґрунтовими мікроорганізмами [31]. Відомо, що у початковий період забруднення нафтою у ґрунті відбувається масове відмирання мікроорганізмів через токсичну дію легких фракцій, але поступово відбувається збільшення їх чисельності [32, 33]. У нашому досліді встановлено, що емісія

на забруднених ділянках чорнозему через добу після забруднення нафтою була у середньому на 40 % нижче, ніж на контролі (рис. 3). На варіантах із середнім та сильним забрудненням зменшилася майже до показників холодного (зимового) періоду року. Через 12 місяців після забруднення спостерігається активізація ґрунтової мікробіоти. Інтенсивність дихання була максимальною за концентрації нафти 6,4 л/м² (на 60 % вище, ніж на контролі), а доза 24,6 л/м² підвищувала дихальну активність у порівнянні із незабрудненим ґрунтом лише на 30 %. Таке різке збільшення виділення

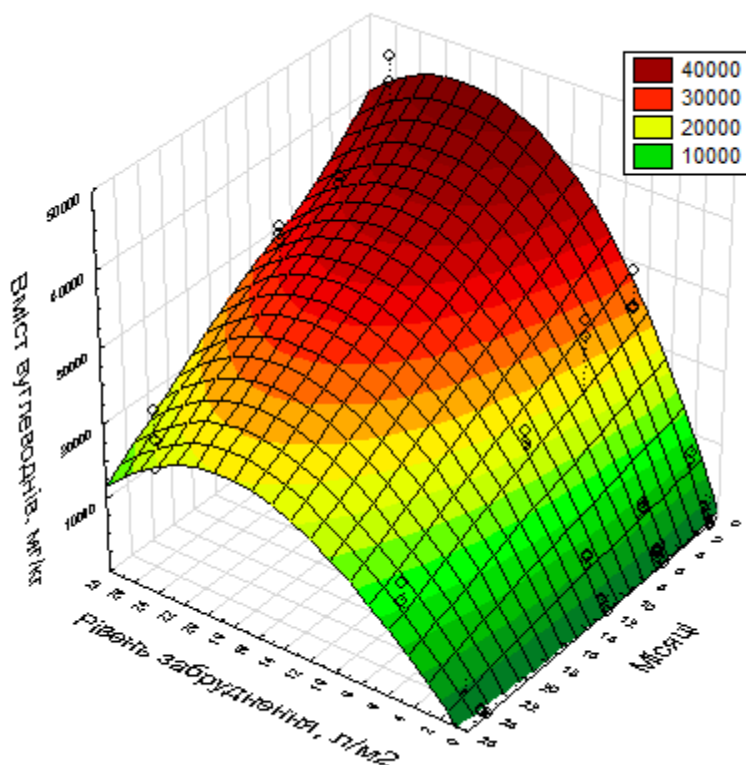


Рис. 2. Динаміка самоочищення чорнозему опідзоленого від вуглеводнів за 24 місяці

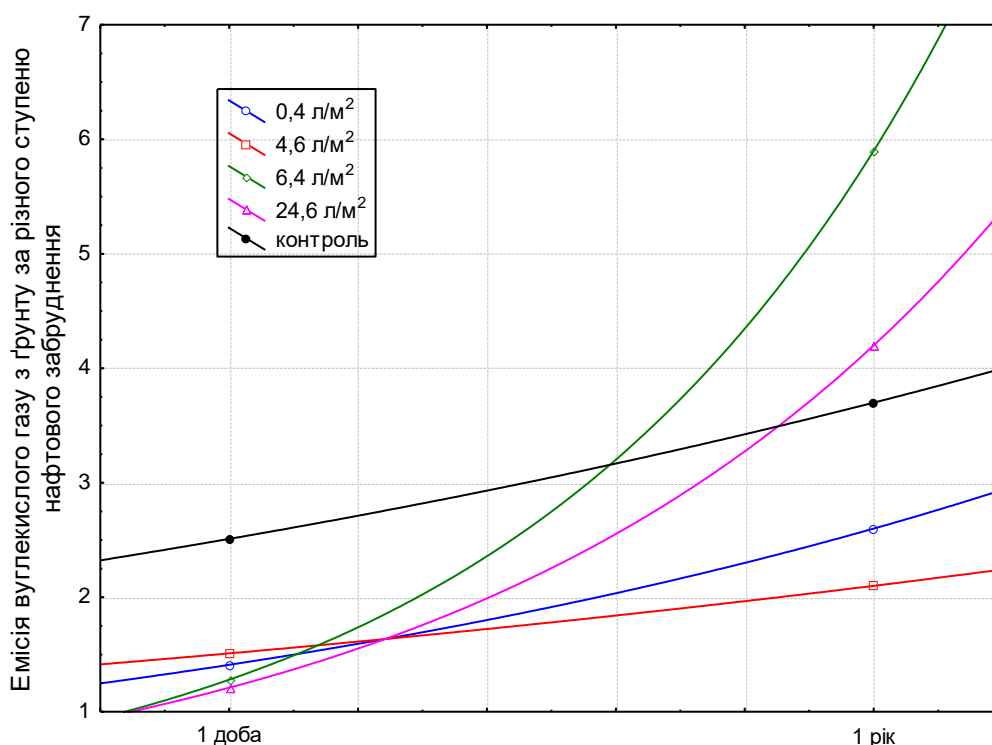


Рис. 3. Емісія вуглекислого газу з ґрунту за різного ступеню нафтового забруднення

CO₂ є прямим наслідком розвитку та активної діяльності у ґрунті нафтоокислювальних мікроорганізмів [32].

Непоодинокі дослідження вказують на зміни фізико-хімічних властивостей ґрунтів після заб-

руднення нафтою, зокрема підлужнення [34, 35]. Наші спостереження також показують, що на чорноземі у перший місяць спостерігалось підвищення рН від 6,10 до 6,27, проте такі зміни були в межах найменш істотної різниці. Подібні резуль-

тати зустрічаються і в інших дослідженнях [36]. Проте, через 6 та 12 місяців ґрунт на тих варіантах, де було змодельоване забруднення нафтою, рН водної витяжки коливався в межах 5,65-5,75, тобто спостерігалось вже підкислення. Втім, через 24 місяці рН ґрунту повернулася до вихідних показників. Максимальна різниця динаміки рН протягом періоду досліджень в порівнянні із контролем становила близько 0,3 одиниць рН. Динамічність змін рН ілюструє квадратична модель (рис. 4), яка показує, що забруднення нафтою є менш вагомим чинником змін рН чорнозему порівняно із впливом фактору часу.

Забруднення нафтою супроводжується надходженням до ґрунту певної кількості солей, які є складовою супутніх пластових вод. Засолення ґрунту уповільнює процеси біодеградації нафтових вуглеводнів, але його вплив поступово зменшується по мірі вилугування водорозчинних катіонів та аніонів з верхнього шару ґрунту. Динаміка водорозчинних солей, зокрема одновалентних катіонів калію і натрію, виявилася більш

складною, ніж нафтопродуктів. На нашу думку, це пов'язано із різним режимом опадів у роки спостережень. З цієї причини рівень концентрації калію на нафтозабруднених ділянках у 2021 р. був на порядок нижче ніж у 2020 р. і складав 0,11-0,04 ммоль/кг та 0,007-0,006 ммоль/кг, відповідно. За найбільших рівнів забруднення нафтою (26,6 л/м²) цей показник був на 40% нижче за контроль. Динаміка вмісту водорозчинного натрію від початку забруднення мала схожий із характер, знизившись за цей період від 0,20-0,34 ммоль/кг до 0,017-0,020 ммоль/кг залежно від рівня забруднення, що складало 91,5-94,2 % загалом за 24 місяці досліджень. Таким чином, за дворічний період відбулося істотне самоочищення верхнього шару ґрунту від водорозчинних солей, а інтенсивність цього процесу зменшувалася з підвищенням рівня забруднення. Квадратичні моделі (рис. 5А-5Б) змін концентрації водорозчинного калію і натрію показують, що фактор часу більш істотно впливає на цей показник, аніж фактор забруднення, як і у випадку із показником рН ґрунту.

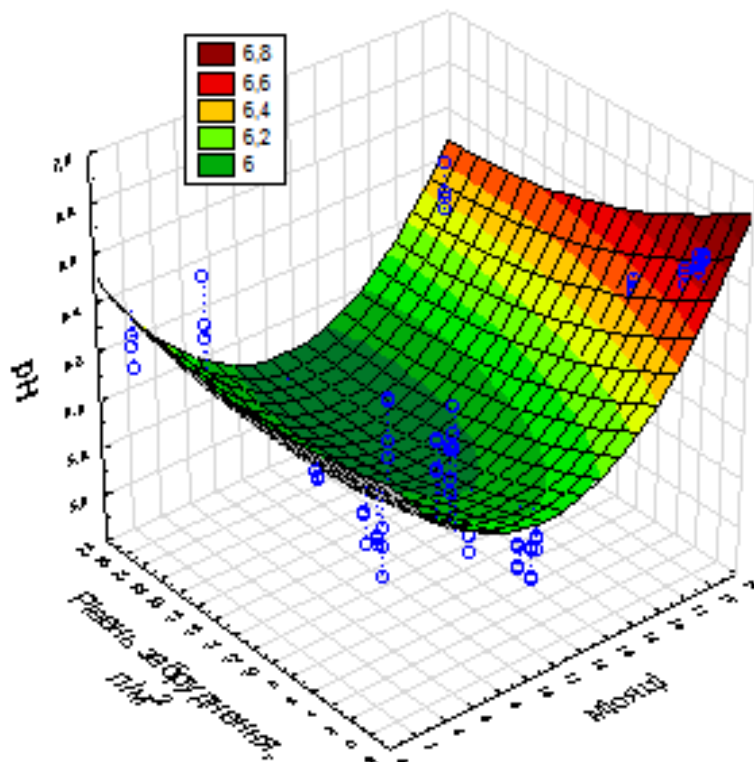


Рис. 4. Динаміка відновлення рН ґрунту за 24 місяці після нафтового забруднення

Загальною закономірністю динаміки вмісту рухомого фосфору та калію у чорноземі опідзоленому за різних рівнів забруднення нафтою було те, що в усіх варіантах із забрудненням спостерігався близький рівень вмісту цих показників, які порівняно із контрольним варіантом відрізнялись на 10-15 мг/кг у бік зниження. На нашу думку це

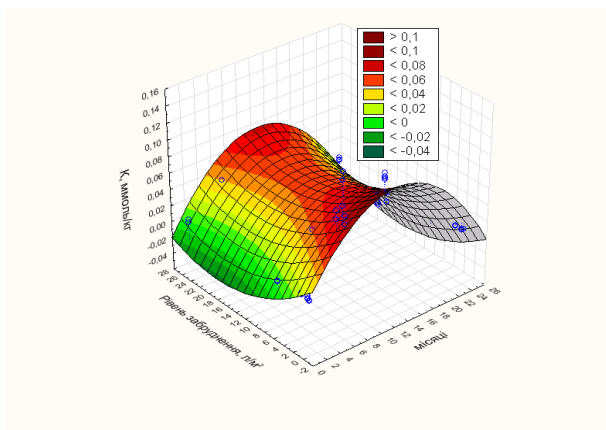
означає стабілізацію фосфатно-калійного стану нафтозабрудненого ґрунту, оскільки залишкові вуглеводні на поверхні часточок запечатали частину ґрунтових пор і це може бути достатньо стабільний ефект. Подібні результати отримав у своїх дослідженнях Wasen Abdul-Ameer Ali [20] із забрудненням ґрунту сировою нафтою, що викликало

зниження доступного фосфору та обмінного калію, однак не впливало на процес мікробної деградації вуглеводнів та ріст рослин.

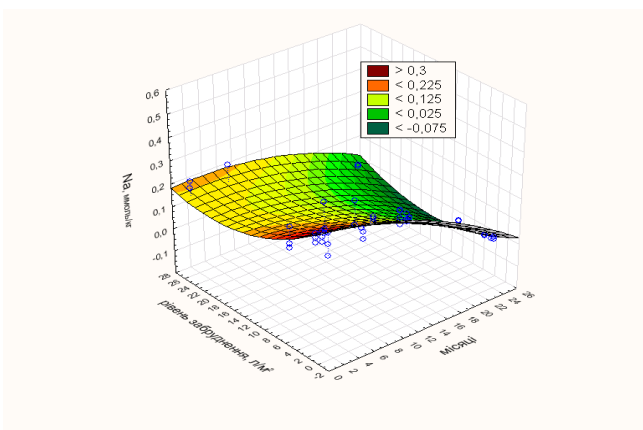
Таким чином, виявлене нами певне погіршення забезпечення ґрунту фосфором і калієм не має ключового значення для перебігу його самоочищення, і ці показники можна не включати до індикаторів моніторингу на нафтозабруднених землях. Квадратична модель змін вмісту рухомого калію має таку саме форму, як і водорозчинного

калію, але менш виражену динаміку в часі, що є цілком закономірним адже водорозчинні солі здатні мігрувати в ґрунті, а рухомі сполуки міцніше зв'язуються ґрунтовим поглинальним комплексом (рис. 6А). Згідно квадратичної моделі, зростання вмісту рухомого фосфору від початку до кінця періоду спостережень на сильно нафтозабрудненому ґрунті більш виражено, аніж за невеликого рівня забруднення (рис. 6Б).

Продуктивність фітоценозів є інтегруючим

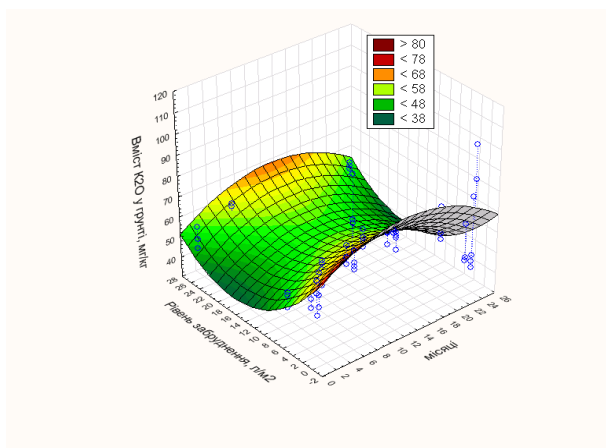


А

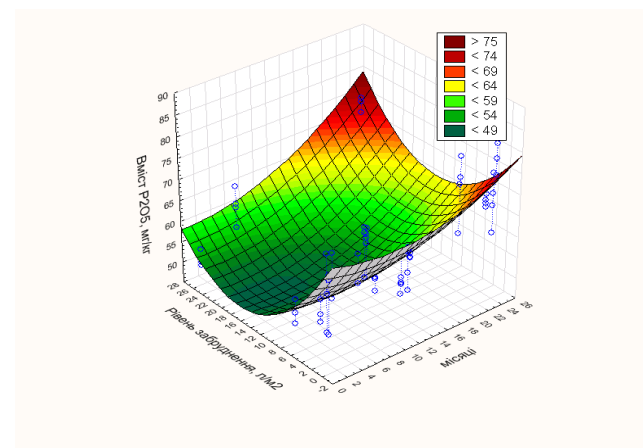


Б

Рис. 5. Динаміка вмісту водорозчинного калію (А) та натрію (Б) у ґрунті за 24 місяці після нафтового забруднення



А



Б

Рис. 6. Динаміка відновлення калійного (А) та фосфатного (Б) стану ґрунту за 24 місяці після нафтового забруднення

показником процесів самоочищення ґрунту від нафтового забруднення і загалом залежить від ряду факторів: рівня навантаження та складу забруднюючої речовини, стійкості системи ґрунт-рослина до цього виду забруднення, структури та гранулометричного складу ґрунту, глибини деградаційних змін ґрунту [15, 37]. Дослідженнями G. Adam, H.J. Duncan [38], E.O. Ekundayo et al. [39] встановлено, що забруднення ґрунту нафтою та нафтопродуктами призводить до уповільнення росту та розвитку рослин та ґрунтових водоростей, зниження врожайності сільськогосподарсь-

ких культур. Нафтопродукти токсичні для рослин навіть у відносно низьких концентраціях, більш того навіть сублетальні концентрації забруднювача значною мірою гальмують їх ріст. У нашій роботі досліджувалась польова схожість насіння жита та гірчиці. Встановлено зменшення цього показника за найвищого рівня забруднення, що сягає 60% для середнього розміру насінин та до 80% для дрібного насіння (рис. 7). Отже, згідно результатів наших спостережень можна передбачити, що у Лівобережному Лісостепу України за відсутності заходів з деконтамінації чорноземних

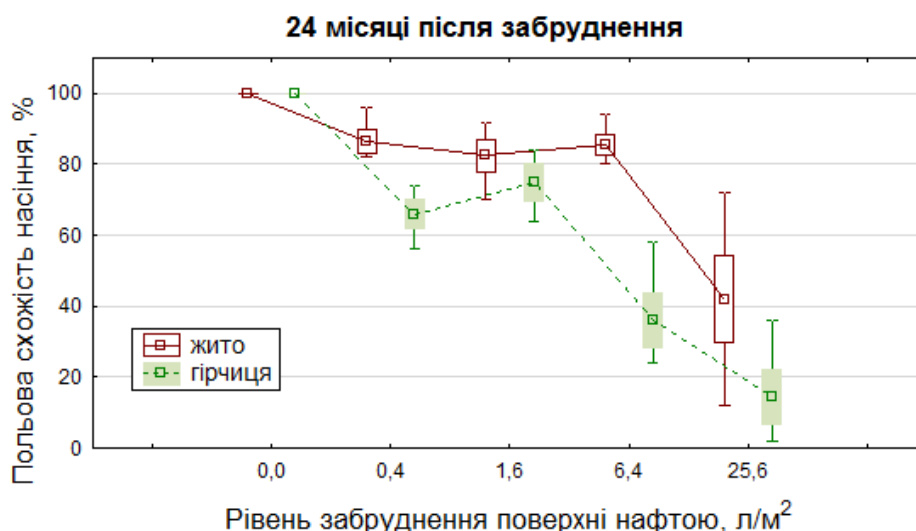


Рис. 7. Вплив забруднення ґрунту нафтою на проростання насіння рослин у польових умовах

ґрунтів, що зазнали забруднення нафтою понад 6,4 л/м², рослинний покрив буде значно розрідженим щонайменше два роки, тому проведення біологічної рекультивациі шляхом висівання травосумішей недоцільне. У випадку забруднення від 0,4 до 6,4 л/м² потрібно збільшувати норми висіву рослин для біологічної рекультивациі на 20-40%.

Висновки. Встановлено, що швидкість біодеградації нафтопродуктів для різного рівня забруднення ґрунтів має істотні відмінності. За незначного забруднення (0,4-1,6 л/м²) самоочищення ґрунту характеризується більш швидким протіканням, аніж за середнього та сильного (6,4-25,6 л/м²), протягом 24 місяців вміст вуглеводнів скоротився на 85-87 % та 60-64 % відповідно. Потужним механізмом втрати вуглеводнів із поверхні ґрунту є мікробіологічне її розкладання, невеликі дози нафти у пролонгованому відтермінованому ефекті стимулюють біологічну активність ґрунту, а при діапазоні концентрації нафти 6,4-24,6 л/м² відбувалось суттєве посилення інтенсивності виділення вуглекислого газу з ґрунту, що свідчить про бурхливий розвиток у ґрунті резистентних до нафти форм мікроорганізмів та про інтенсифікацію процесів її біорозкладання.

Зміна вмісту водорозчинного калію та натрію у чорноземі опідзоленому характеризувалась істотною строкатістю даних у різні терміни спостережень і від початку до кінця терміну досліджень параметри цих показників на нафтозабруднених ділянках зменшились на порядок. Разом з тим з підвищенням концентрації забруднювача спостерігалось призупинення швидкості зниження вмісту як калію, так і натрію. Дослідженнями доведено, що на динаміку таких діагностичних показників як рН ґрунту, вміст водорозчинних калію та натрію фактор часу має більш істотний вплив, аніж фактор забруднення.

Динаміка вмісту рухомих форм фосфору і калію у чорноземі опідзоленому характеризувалась близьким рівнем вмісту параметрів цих показників за різного рівня забруднення ґрунту нафтою, що відповідає певній стабілізації фосфатно-калійного стану нафтозабрудненого ґрунту.

Дослідження фітотоксичності нафтозабрудненого ґрунту показали негативний вплив нафти на проростання насіння у польових умовах, яке знизилось у 2,5 рази для жита та у 5 разів для гірчиці на найбільш забруднених ділянках порівняно із контрольним варіантом.

Список використаної літератури

1. Адаменко Я.О. Основні принципи організації системи екологічного моніторингу довкілля у межах території нафтогазових промислів Богородчанського району / Я.О. Адаменко, О.М. Мандрик, М.С. Знак, Я.І. Лопушняк, А.О. Коншина, З.Б. Горбачевський // *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*, 2010. – № 1. – С. 5-11.
2. Власова Н.В. Изменение геохимических показателей на техногенно-измененных территориях Средней Тайги при добыче нефти и газа / Н.В. Власова // *Вестник ТГУ*. - 2014. - Т. 19, вып. 5. - С. 1655-1658.
3. Якість земель як основа контролю землекористування / С.Ю. Булигін // *Агроекологічний журнал*, 2015. - № 1. - С. 36-47.
4. Vogt C. Bioremediation via in situ microbial degradation of organic pollutants / C.Vogt, H.H. Richnow // *Adv Biochem Eng Biotechnol*, 2014. - № 142. - С. 123-46. doi: https://doi.org/10.1007/10_2013_266
5. Xue J.L. Marine oil-degrading microorganisms and biodegradation process of petroleum hydrocarbon in marine environments: a review / J.L.Xue, Y.Yu, Y.Bai, L.P.Wang, Y.N.Wu // *Curr Microbiol*. – 2015. – № 71. – Pp.220-228. <https://doi.org/10.1007/s00284-015-0825-7>.

6. Wang X. B. Degradation of petroleum hydrocarbons (C6–C40) and crude oil by a novel *Dietzia* strain / X.B.Wang, C.Q.Chi, Y.Nie, Y.Q.Tang, Y.Tan, G.Wu, et al. // *Bioresour. Technol.* - 2011. - № 102. Pp. 7755–7761. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.06.009>
7. Iqbal M.Z. Effects of motor oil pollution on soil and seedling growth of *Parkinsonia aculeata* L. / M.Z. Iqbal, S. Khursheed, M. Shafiq // *In Scientia Agriculturae*, 2016. - Vol. 13, no. 3. – Pp. 130-136. DOI: <https://doi.org/10.15192/PSCP.SA.2016.13.3.130136>
8. Guarino C. Assessment of three approaches of bioremediation (Natural Attenuation, Landfarming and Bioaugmentation e Assisted Landfarming) for a petroleum hydrocarbons contaminated soil / C. Guarino, V. Spada, R. Sciarrillo // *In Chemosphere*, 2017. - Vol. 170. - Pp. 10 – 16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.165>
9. Panchenko L. Dynamics of natural revegetation of hydrocarbon-contaminated soil and remediation potential of indigenous plant species in the steppe zone of the southern Volga Uplands / L.Panchenko, A.Muratova, E.Dubrovskaya, S.Golubev, O. Turkovskaya // *In Environmental Science and Pollution Research*, 2017. - Vol. 25, no. 4. - Pp. 3260-3274. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0710-y>
10. Errington I. The influence of vegetation and soil properties on springtail communities in a diesel-contaminated soil / I. Errington, C.K. King, S. Houlahan, S.C. George, A. Michie, G.C. Hose // *In Science of the Total Environment.* - 2018. - Vol. 1. - Pp. 1098-1104. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.186>
11. Tevvors J.T. The Legacy Of Oil Spills / J.T. Tevvors, M.H.Jr. Saier // *Water, Air and Soil Pollution.* – 2010. -Vol. 211, No. 1. - Pp. 1-3. doi: <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0527-5>
12. Cruz J.M. Phytotoxicity of soil contaminated with petroleum derivatives and biodiesel / J.M. Cruz, P.M. Lopes, N. Montagnolli, I.S. Tamada, N.M. Gsilva, E.D. Bidoia // *In Ecotoxicology and Environmental Contamination.* - 2013. - Vol. 8, no. 1. - Pp. 49 – 54. DOI: <https://doi.org/10.5132/eec.2013.01.007>
13. Petrov A.M. Dynamics of ecological and biological characteristics of soddy-podzolic soils under long-term oil pollution / A.M. Petrov, A.A. Versioning, L.K. Karimullin, D.V. Akaikin, O.Yu. Tarasov // *In Eurasian Soil Science.* - 2016. - Vol. 49, no. 7. - Pp. 784-791. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229316050124>
14. Фесенко І.М. Оцінка та контроль впливу відходів буріння нафтогазових свердловин на ґрунти / І.М. Фесенко, І.А. Решетов, М.М. Фесенко // *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності.* - 2003. - №3. - С. 36-40.
15. Мирошниченко Н.Н. Принципи регламентації углеводородного забруднення ґрунту України / Н.Н. Мирошниченко // *Почвоведение.* - 2008. - № 5. - С. 614-622.
16. Akinwumi I.I. Effects of crude oil contamination on the index properties, strength and permeability of lateritic clay / I.I. Akinwumi, D. Diwa, N. Obianigwe // *In Journal of Applied Sciences and Engineering Research.* - 2014. - Vol. 3, no. 4. - Pp. 816 – 824. DOI: <https://doi.org/10.6088/ijaser.030400007>
17. Фатеев А.И. Изменение агрохимических и микробиологических свойств нефтезагрязненного чернозема в рекультивационный период / А.И. Фатеев, Н.Н. Мирошниченко, Е.В. Панасенко, С.И. Христенко // *Агрохимия.* - 2004. - № 10. С. 53-60.
18. Balliana A.G. Development of *Canavalia ensiformis* in soil contaminated with diesel oil / A.G. Balliana, B.B. Moura, R.C. Inckot, C. Bona // *In Environmental Science and Pollution Research International.* - 2017. - Vol. 24, no. 1. - Pp. 979-986. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7674-1>
19. Sivkov Yu. Study of Oil-Contaminated Soils Phytotoxicity During Bioremediation Activities / Yu. Sivkov, A. Nikiforov // *Journal of Ecological Engineering.* – 2021. – Vol. 22(3). – Pp. 67–72. <https://doi.org/10.12911/22998993/132435>.
20. Wasen Abdul-Ameer Ali Biodegradation and phytotoxicity of crude oil hydrocarbons in an agricultural soil / Wasen Abdul-Ameer Ali // *Chilean journal of agricultural research.* - 2019. Vol. 79(2). - Pp. 266-277. doi: <https://doi.org/10.4067/S0718-5839201900020266>
21. Marinescu M. An assessment of the effects of crude oil pollution on soil properties / M. Marinescu, M. Toti, T. Veronica, V. Carabulea, P. Georgiana, I. Calciu // *Annals: Food Science and Technology.* - 2010. - Vol. 11, Issue 1. - Pp. 94-99.
22. Lawson I.Yd. Microbial degradation potential of some Ghanaian soils contaminated with diesel oil / I.Yd. Lawson, E.K. Nartey, D.A. Darko, V.A. Okrah, D. Tsatsu // *In Agriculture and Biology Journal of North America.* - 2012. - Vol. 3, no. 1. - Pp. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.5251/abjna.2012.3.1.1.5>
23. Wang Y. Effects of crude oil contamination on soil physical and chemical properties in Momoge wetland of China / Y. Wang, F. Jiang, L. Qianxin, X. Lyu, X. Wang, G. Wang // *In Chinese Geographical Science.* - 2013. - Vol. 23, no. 6. - Pp. 708-715. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11769-013-0641-6>
24. Davydova S.L. The conversion of the oil in the biosphere / S.L. Davydova // *Energy.* - 2006. - № 5. - Pp. 53-58.
25. Ліквідування забруднень ґрунтів і водних об'єктів нафтою і нафтопродуктами. Правила. СОУ 74.200777720-034:2018 Затв. Наказом ПАТ «Укрнафта» від 06.03.2019 № 34
26. Трофименко П.І. Способ визначення інтенсивності емісії газів з ґрунту(на прикладі CO₂) / П.І. Трофименко, О.П. Сябрук, Ф.І. Борисов, М.М. Мирошниченко, Ю.Л. Цапко, Н.В. Трофимено (науково-методичне видання). Харків: Бровін, 2019. - 29 с.
27. Dadrasnia A. Dynamics of diesel fuel degradation in contaminated soil using organic wastes / A. Dadrasnia, P. Agamuthu // *International Journal of Environmental Science and Technology.* - 2013. – Vol. 10. – Pp. 769-778. doi: <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0224-1>
28. Makadia T.H. Re-use of remediated soils for the bioremediation of waste oil sludge / T.H. Makadia, E.M. Adetutu, K.L. Simons, D. Jardine, P.J. Sheppard, A.S. Ball // *Journal of Environmental Management.* - 2011. – Vol. 92. – Pp. 866-871. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.10.059>

29. Omotayo A.E. Crude oil degradation by microorganisms in soil composts / A.E. Omotayo, O.Y. Ojo, O.O. Amund // *Research Journal of Microbiology*. - 2012. - № 7. - Pp. 209-218. doi: <https://doi.org/10.3923/jm.2012.209.218>
30. Gawdzik J. Modelling transport of hydrocarbons in soil-water environment / J. Gawdzik, M. Zygadlo // *Ecological Chemistry and Engineering*. - 2010. - Vol. 17. Pp. 331-343.
31. Bruns K. Marine petroleum hydrocarbon degrading bacteris: distribution and activity in the North Sea and Baltic Sea / K. Bruns, J. Dahlmann, W. Zunkel. *Kieler Meeres-forsch.*: Kiel., 1991. - P. 46-54.
32. Звягинцев Д.Г. Диагностические признаки различных уровней загрязнения почвы нефтью / Д.Г. Звягинцев, В.С. Гузев, С.В. Левин, Г.И. Селецкий, А.А. Оборина // *Почвоведение*. - 1989. - № 1. - С. 72-78.
33. SylvaTraci Y. Bioremediation of petroleum-impacted soils from investigation-derived wastes / Y. SylvaTraci, Charles M. Kinoyita, Rowena T. Romano et al // *Remediation*. - 2003. - V. 13., № 4. - P. 79-90.
34. Лапина Г.П. Физико-химические характеристики загрязнения окружающей среды при техногенных катастрофах (разлив нефти) / Г.П. Лапина, Н.М. Чернавская, М.Е. Литвиновский, С.В. Сазанова // *Химическая и биологическая безопасность*. - 2007. - № 1 (31). - С. 24-32.
35. Shaw L.J. Biodegradation of organic pollutants in the rhizosphere / L.J. Shaw, R.G. Burns // *Advances in applied microbiology*. - 2003. - Vol. 53. - Pp. 1-47.
36. Панасенко С. В. Вплив агроеліоративних заходів на відновлення властивостей та родючості нафтозабрудненого чорнозему: автореф. дис. канд. с.-г. наук: спец. 06.01.03. «Агрофізика» / Панасенко Євгеній Володимирович; Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н.Соколовського». - Х., 2007. - 24 с.
37. Мірошніченко М.М. Вплив забруднення нафтою на властивості ґрунів різного гранулометричного складу / М.М. Мірошніченко // *Агрохімія і ґрунтознавство*. - 2000. - Вип. 60. - С. 91-96.
38. Adam G. Effect of diesel fuel on growth of selected plant species // G. Adam, H.J. Duncan // *Environmental Geochemistry and Health*. - 1999. - Vol. 21, iss. 4. - Pp. 353-357. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1006744603461>
39. Ekundayo E.O. Effects of crude oil spillage on growth and yield of maize (*Zea mays L.*) in soils of Midwestern Nigeria / E.O. Ekundayo, T.O. Emede, D.I. Osayande // *Plant Foods for Human Nutrition*. - 2001. - Vol. 56, iss. 4. - Pp. 313-324.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Effect of oil contamination on the course of changes in chernozem properties and phytotoxicity

Oleksii Krainiukov¹,

DSc (Geography), Professor, Department of Environmental Safety and Environmental Education, Educational and Scientific Institute of Ecology, ¹V.N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine;

Inna Miroshnychenko²,

PhD student, ²Research Institution «Ukrainian Research Institute of Environmental Problems», 6 Bakulina St., Kharkiv, 61166, Ukraine;

Olesia Siabruk³,

PhD (Agriculture), Senior Research of Agrochemistry Department, ³National Scientific Center «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky», Kharkiv, 61024 Ukraine;

Yevheniia Hladkikh³,

PhD (Agriculture), Senior Research of Agrochemistry Department

Introduction. The consumption of hydrocarbons in the world is steadily growing with the response to the progress of civilization. It is accompanied by the continuous flow of hydrocarbon pollutants into the environment. Soil pollution with oil attracts special attention, because the soil is a key element in the trophic chain of toxicants in the human body.

Purpose. Investigate changes in the properties (physicochemical, agrochemical and biological) of chernozem soils and its phytotoxicity at different levels of oil pollution for further use of the parameters of these indicators during soil monitoring.

Research methods. The research was conducted during 2019-2021 in the conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine in a field small-plot experiment on Chernozem Luvic with the frequency of observations on diagnostic indicators at 1 month, 6, 12 and 24 months. The scheme of the experiment provided for soil contamination with oil in the amount of 0.4 l/m², 1.6 l/m², 6.4 l/m², 25.6 l/m².

Results. The rate of biodegradation of oil products for different levels of pollution of Chernozem Luvic was determined - with insignificant pollution, self-purification of the soil is characterized by a faster course than with medium and strong, within 24 months the content of hydrocarbons decreased by 85-87% and 60-64%, respectively. One of the important mechanisms for the loss of hydrocarbons from the soil surface is microbiological decomposition, studies have shown that in the oil concentration range of 6.4-24.6 l/m², there was a significant increase in the intensity of carbon

dioxide release from the soil, which is 60% higher than in the control option, this indicates the intensification of the processes of its biodegradation. Studies of changes in such diagnostic indicators as soil pH, the content of water-soluble potassium and sodium show a less significant influence of the factor of soil pollution with oil compared to the influence of the time factor. However, these indicators are of great diagnostic value in the process of monitoring oil-contaminated soils and remediation, since the most optimal parameters of these indicators determine the suitability of soils for plant growth and microbial life. Studies of phytotoxicity of oil-contaminated soil have shown the negative impact of oil on seed germination in the field condition.

Conclusions. The research results indicate a gradual self-purification of the soil from petroleum hydrocarbons during the observation period. The obtained regularities of the dynamics of changes in the studied parameters will be used to improve the scientific and methodological support for monitoring soils affected by oil pollution.

Keywords: oil pollution, soil, soil self-purification, phytotoxicity, biodegradation, soil-plant system, physical and chemical properties of soil, agrochemical properties of soil, intensity of CO₂ release from soil.

References

1. Adamenko, YA.O., Mandryk, O.M., Znak, M.S., Lopushnyak, YA.I., Konshyna, A.O., & Horbachevs'kyi, Z.B. (2010). Basic principles of organization of the system of ecological monitoring of the environment within the territory of oil and gas fields of Bohorodchany district. *Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannya*, № 1, 5-11.
2. Vlasova, N.V. (2014). Changes in geochemical parameters in the technogenically altered territories of the Middle Taiga during oil and gas production. *Vestnik TGU*, № 19(5), 1655-1658.
3. Bulyhin, S.YU. (2015). Land quality as a basis for land use control. *Ahroekolohichnyy zhurnal*, № 1, 36-47.
4. Vogt, C., & Richnow, H.H. (2014). Bioremediation via in situ microbial degradation of organic pollutants. *Adv Biochem Eng Biotechnol*, № 142, 123-46. DOI: https://doi.org/10.1007/10_2013_266
5. Xue, J.L. Yu, Y., Bai, Y., Wang, L.P., & Wu Y.N. (2015). Marine oil-degrading microorganisms and biodegradation process of petroleum hydrocarbon in marine environments: a review. *Curr Microbiol*, № 71, 220-228. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s00284-015-0825-7>.
6. Wang, X. B., Chi, C.Q., Nie, Y., Tang, Y.Q., Tan, Y.,...Wu, G. (2011). Degradation of petroleum hydrocarbons (C6–C40) and crude oil by a novel *Dietzia* strain. *Bioresour. Technol*, № 102, 7755–7761. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.06.009>
7. Iqbal, M.Z. Khursheed, S., & Shafiq, M. (2016). Effects of motor oil pollution on soil and seedling growth of *Parkinsonia aculeata* L. In *Scientia Agriculturae*, 13(3), 130-136. DOI: <https://doi.org/10.15192/PSCP.SA.2016.13.3.130136>
8. Guarino, C. Spada, V., & Sciarrillo, R. (2017). Assessment of three approaches of bioremediation (Natural Attenuation, Landfarming and Bioaugmentation e Assisted Landfarming) for a petroleum hydrocarbons contaminated soil. In *Chemosphere*, 170, 10-16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.165>
9. Panchenko, L., Muratova, A., Dubrovskaya, E., Golubev, S., & Turkovskaya, O. (2017). Dynamics of natural revegetation of hydrocarbon-contaminated soil and remediation potential of indigenous plant species in the steppe zone of the southern Volga Uplands. In *Environmental Science and Pollution Research*, 25(4), 3260-3274. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0710-y>
10. Errington, I., King, C.K., Houlihan, S., George, S.C., Michie, A., & Hose, G.C. (2018). The influence of vegetation and soil properties on springtail communities in a diesel-contaminated soil. In *Science of the Total Environment*, 1, 1098-1104. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.186>
11. Tevvors, J.T., & Saier, M.H.Jr. (2010). The Legacy Of Oil Spills. *Water, Air and Soil Pollution*, 211, 1, 1-3. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0527-5>
12. Cruz, J.M. Lopes, P.M., Montagnoli, N., Tamada, I.S., Gsilva, N.M., & Bidoia, E.D. (2013). Phytotoxicity of soil contaminated with petroleum derivatives and biodiesel. In *Ecotoxicology and Environmental Contamination*, 8(1), 49-54. DOI: <https://doi.org/10.5132/eec.2013.01.007>
13. Petrov, A.M. Vershinina, A.A., Karimullin, L.K., Akaikin, D.V., & Tarasov, O.Yu. (2016). Dynamics of ecological and biological characteristics of soddy-podzolic soils under long-term oil pollution. In *Eurasian Soil Science*, 49, 7. 784-791. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229316050124>
14. Fesenko, I.M., Reshetov, I.A., & Fesenko, M.M. (2003). Assessment and control of the impact of oil and gas drilling waste on soils. *Ekolohiya dovkillya ta bezpeka zhyttyediyal'nosti*, 3, 36-40.
15. Miroshnichenko, N.N. (2008). Principles of regulation of hydrocarbon pollution of Ukrainian soils. *Pochvovedeniye*, 5, 614-622.
16. Akinwumi, I.I., Diwa, D., & Obianigwe, N. (2014). Effects of crude oil contamination on the index properties, strength and permeability of lateritic clay. In *Journal of Applied Sciences and Engineering Research*, 3, 4, 816 – 824. DOI: <https://doi.org/10.6088/ijaser.030400007>
17. Fateyev, A.I., Miroshnichenko, N.N., Panasenko, Ye.V., & Khristenko, S.I. (2004). Changes in agrochemical and microbiological properties of oil-contaminated chernozem during the reclamation period. *Agroximiya*, 10, 53-60.
18. Balliana, A.G., Moura, B.B., Inckot, R.C., & Bona, C. (2017). Development of *Canavalia ensiformis* in soil contaminated with diesel oil. In *Environmental Science and Pollution Research International*, 24, 1, 979-986. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7674-1>
19. Sivkov, Yu., & Nikiforov, A. (2021). Study of Oil-Contaminated Soils Phytotoxicity During Bioremediation Activities. *Journal of Ecological Engineering*, 22(3), 67–72. Retrieved from <https://doi.org/10.12911/22998993/132435>

20. Wasen, Abdul-Ameer Ali (2019). Biodegradation and phytotoxicity of crude oil hydrocarbons in an agricultural soil. *Chilean journal of agricultural research*, 79(2), 266-277. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-5839201900020266>
21. Marinescu, M., Toti, M., Veronica, T., Carabulea, V., Georgiana, P., & Calciu, I. (2010). An assessment of the effects of crude oil pollution on soil properties. *Annals: Food Science and Technology*, 11, 1, 94-99.
22. Lawson, I.Yd., Nartey, E.K., Darko, D.A., Okrah, V.A., & Tsatsu, D. (2012). Microbial degradation potential of some Ghanaian soils contaminated with diesel oil. In *Agriculture and Biology Journal of North America*, 3, 1, 1-5. DOI: <https://doi.org/10.5251/abjna.2012.3.1.1.5>
23. Wang, Y., Jiang, F., Qianxin, L., Lyu, X., Wang, X., & Wang, G. (2013). Effects of crude oil contamination on soil physical and chemical properties in Momoge wetland of China. In *Chinese Geographical Science*, 23, 6, 708-715. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11769-013-0641-6>
24. Davydova, S.L. (2006). The conversion of the oil in the biosphere. *Energy*, 5, 53-58.
25. Elimination of pollution of soils and water bodies with oil and oil products. Rules. SOU 74.200777720-034:2018. Approved By the order of PJSC "Ukrnafia" dated March 6, 2019, 34
26. Trofymenko, P.I., Siabruk, O.P., Borysov, F.I., Miroshnychenko, M.M., Tsapko, & YU.L., Trofymeno, N.V. (2019). The method of determining the intensity of emissions of gases from the soil (on the example of CO₂). Kharkiv, Brovin.
27. Dadrasnia, A., & Agamuthu, P. (2013). Dynamics of diesel fuel degradation in contaminated soil using organic wastes. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 10, 769-778. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0224-1>
28. Makadia, T.H., Adetutu, E.M., Simons, K.L., Jardine, D., Sheppard, P.J., & Ball, A.S. (2011). Re-use of remediated soils for the bioremediation of waste oil sludge. *Journal of Environmental Management*, 92, 866-871. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.10.059>
29. Omotayo, A.E., Ojo, O.Y., & Amund, O.O. (2012). Crude oil degradation by microorganisms in soil composts. *Research Journal of Microbiology*, 7, 209-218. DOI: <https://doi.org/10.3923/jm.2012.209.218>
30. Gawdzik, J., & Zygadlo, M. (2010). Modelling transport of hydrocarbons in soil-water environment. *Ecological Chemistry and Engineering*, 17, 331-343.
31. Bruns, K., Dahlmann, J., & Zunkel, W. (1991). Marine petroleum hydrokarbon degrading bacteris: distribution and activity in the North Sea and Baltic Sea. *Kieler Meeres- forsch*, Kiel.
32. Zvyagintsev, D.G., Guzev, B.C., Levin, SV., Seletskiy, G.I., & Oborina A.A. (1989). Diagnostic signs of various levels of soil pollution with oil. *Pochvovedeniye*, 1, 72-78.
33. SylvaTraci, Y., Charles, M.,...Rowena, T. (2003). Bioremediation of petroleum-impacted soils from investigation-derived wastes. *Remediation*, 13, 4, 79-90.
34. Lapina, G.P., Chernavskaya, N.M., Litvinovskiy, M.Ye., & Sazanova, S.V. (2007). Physical and chemical characteristics of environmental pollution during man-made disasters (oil spill). *Khimicheskaya i biologicheskaya bezopasnost'*, 1(31), 24-32.
35. Shaw, L.J., & Burns, R.G. (2003). Biodegradation of organic pollutants in the rhizosphere. *Advances in applied microbiology*, 53, 1-47.
36. Panasenko, Ye.V. (2007). Influence of agro-ameliorative measures on restoration of properties and fertility of oil-contaminated chernozem. (Unpublished Doctoral dissertation.) National Scientific Center «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky», Kharkiv, 27.
37. Miroshnychenko, M.M. (2000). Influence of oil pollution on soil properties of different particle size distribution. *Ahrokhimiya i gruntoznavstvo*, 60, 91-96.
38. Adam, G., & Duncan, H.J. (1999). Effect of diesel fuel on growth of selected plant species. *Environmental Geochemistry and Health*, 21, 4, 353-357. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1006744603461>
39. Ekundayo, E.O., Emede, T.O., & Osayande, D.I. (2001). Effects of crude oil spillage on growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in soils of Midwestern Nigeria. *Plant Foods for Human Nutrition*, 56, 4, 313-324.

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 21 June 2022
Accepted 5 November 2022

Environmental assessment of soil contamination by trace metals

*Olha Rybalova*¹,

PhD (Technics), Associate Professor, Department of labor protection and technogenic and ecological safety,

¹National university of civil defense of Ukraine, 94 Chernyshevskya St., Kharkiv, 61023, Ukraine,

e-mail: olgarybalova@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0002-8798-4780>;

*Hanna Korobkova*²,

PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Gardening and Ecology,

²Luhansk Taras Shevchenko National University, 3 Koval St., Poltava, 36003, Ukraine,

e-mail: korobkova.ann@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0246-8585>;

*Oleksandr Chynchyk*³,

DSc (Agriculture), Associate Professor, Department of Ecology, Quarantine and Plant Protection,

³State Agrarian and Engineering University in Podilya, 13 Shevchenka St., Kamianets-Podilskyi, 32300, Ukraine,

chinchik1978@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0566-2516>;

*Tatyana Stryzhak*⁴,

PhD (Agriculture), Associate Professor of the Department of Animal Husbandry and Food Technologies,

⁴Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 59-a Tsentralniy Av., Severodonetsk, 93400, Ukraine,

e-mail: tatyannaklimenko2065@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1966-3165>;

*Oleksandr Bondar*⁵,

PhD (Agriculture), Senior Lecturer of the Department of Biology, Ecology and their Teaching Methods,

⁵Taras Shevchenko Regional Humanitarian-Pedagogical Academy of Kremenets,

1 Litseina St., Kremenets, 47003, Ukraine,

e-mail: olexandr.bondar@i.ua, <https://orcid.org/0000-0002-3448-8943>

ABSTRACT

The main purpose. The purpose of this research is to develop a method for determining the level of heavy metal contamination in the soil. For this end, the following tasks are set:

- to develop a method for the integrated assessment of heavy metal contamination in the soil at the regional and local levels;
- to identify the most heavy metal contaminated regions of Ukraine;
- to estimate the level of hazard of heavy metal contamination in the soil for territories with different types of land use;
- to assess the pollution of soils with heavy metals as a result of hostilities in Donetsk and Luhansk regions.

Methodology. The method takes into account the soil morphology, genezises, trace metals background concentrations and based on the development of the self-purification index for various soils in different regions of Ukraine. According to the proposed method soils have been classified by trace metals contamination.

Results. At the local level, trace metals in soils were assessed for urban recreational areas, highways and roads, landfills and industrial zones. The soils in recreational areas were classified as 'good', highways and roads are classified as 'satisfactory' and 'poor', industrial and landfill was classified as 'very poor' according to the trace metals contamination. At the regional level, the highest contamination Class was given to the soils of Donetsk and Luhansk regions due to the highest density of industrial areas and performed military activities. The environmental assessment of trace metals contamination in soils due to the military activity was performed for these regions. The results of trace metals determination in Kharkiv according to this method indicate that the most dangerous areas are domestic waste landfills and facilities of the industrial companies. Recreation zones are ranked in Class 2. and the territory near the highways are assessed in quality Class 2 and 3. Assessment of the hazard level of trace metal contamination in the soil by the proposed method will allow making a scientifically substantiated decision on the priority of implementation of environmental measures.

Scientific novelty. The paper presents a new method of assessing soil contamination with heavy metals at the regional and local level. The advantage of this method is taking into account the hazard class of pollutants and the self-cleaning index. A new classification of the level of danger of soil contamination with heavy metals has been developed.

Practical significance. The use of the proposed methodological approach will contribute to obtaining comparable data when assessing the level of soil contamination by heavy metals and determining the priority of implementing environmental protection measures and increasing the level of environmental safety, which is especially relevant for the post-war recovery of our country.

Keywords: soil contamination; trace metals; environmental assessment; military actions.

In cites: Rybalova Olha, Korobkova Hanna, Chynchyk Oleksandr, Stryzhak Tatyana, Bondar Oleksandr (2022). Environmental assessment of soil contamination by trace metals. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (57), 307-320. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-23>

1. Introduction

With the development of modern urbanization and industrialization, environmental pollution with trace metals is identified as one of the main concerns

in modern society. Intensification of agricultural land use, development of industrial production, accumulation of industrial and domestic wastes has led to trace metal contamination in the soil. Concentrations of

metals in the soil grow at an alarming pace and affect plant growth, development of soil microflora, food safety and public health. Toxicity of metals has direct consequences for flora, which is an integral part of ecosystems. Biochemical, physiological and metabolic processes are changing in plants that grow in regions with high levels of metal contamination. The accumulation of trace metals can lead to significant toxic effects on the components of the environment and human health. That is why the method for assessing trace metal contamination in the soil, presented in this paper, is an urgent task for determining the level of environmental hazard and developing appropriate environmental protection measures.

2. Analysis of Reference Data and Problem Statement

The soil pollution by trace metals is determined as main economic and environmental concerns for sustainable development due to the growing urban, agricultural and industrial activities worldwide (Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M., Pennock, D., 2018). Agricultural land uses (by fertilizing) development of industrial production which implies accumulation of industrial and domestic wastes have led to trace metals contamination in the soils of developing and developed countries (Ogundele L. T. et al., 2019, Sodango T. H. et al., 2018, Tchounwou P. B. et al., 2014). High concentrations of metals were found in many industrial big cities, clearly indicating a significant contribution from both the metallurgical industry and smelt mining to the contamination of urban soils. (Cheng H. et al., 2014.).

High contamination of soils by trace metals influence plant growth, soil environment, food safety and public health (Zhang X. et al., 2015, Zwolak A. et al., 2019.). Studies in many regions worldwide showed that biochemical, physiological and metabolic processes are changing in plants growing in regions with high levels of metal contamination (Rodríguez-Eugenio N. et al., 2018). Studies indicated that trace metal contamination negatively affects the activity of soil enzymes by reducing the content of chlorophyll (Marchand L. et al., 2014) and the microbial population of the soil (Aoyama M., Tanaka R. 2013). Microorganisms play a key role in maintaining soil fertility and involved in all aspects of N cycling, including N₂ fixation, nitrification, denitrification and ammonification. (Rashid M. I. et al., 2016, Vystavna Y. et al., 2017). Many microbial ecology studies have demonstrated profound changes in community composition caused by environmental pollution (Azarbad H. et al., 2016). However. their number can decrease significantly when exposed to stress factors such as extreme temperatures, pH, salinity and presence of some chemicals, including trace metals (Aljerf L. et al., 2018). The viability of microorganisms decreases with increasing levels of trace

metal contamination. Research of scientists (Alengebaw A. et al., 2021) is showed that trace metal pollution of the soil has a significant impact on the structure of the microbial community.

Concentrations of trace metals and the degree of oxidation significantly affect the genotoxic reactions of plants. In the article (Patnaik A.R et al. 2013) inhibition of root growth with Cr (VI) was correlated with the dose-dependent increase in generation of reactive oxygen species (ROS), cell death, lipid peroxidation, repression of antioxidative enzymes (catalase, superoxide dismutase, ascorbate peroxidase), induction of DNA damage, chromosome aberrations or micronuclei in root cells. Additionally, soil contamination is co-responsible of the trace metals accumulation in crops and groundwater pollution posing environmental and health risks (Mominul I. M., et al. 2018). For example, it is dangerous to grow agricultural products in areas contaminated with trace metals. (Kumar P. et al., 2019). Trace metal toxicity has direct consequences for flora by dissimilar mechanisms affecting physiological, biochemical and metabolic (Chibuike, G. U., Obiora S. C. (2014). The accumulation of trace metals leads to significant toxic effects on environmental components and human health has been reported (Li, C., Zhou, et al. (2019). The author claims that the concentration of trace metals in the surface horizons of the soils of pine forests increases several times and exceeds the background values as a result of the mineralization of the forest litter from the burning of grassy vegetation. Trace metals are also transmitted via the food chain over a period of time. Trace metals (Rehman A., Nazir S., Irshad R. et al. 2021). Research works (Niassy S., Diarra K. 2012, Sulaiman, F.R., Hamzah, H.A., 2018) are found that the accumulation of cadmium in plants is special meaning. since it settles in high concentration on the leaves, which can be used to feed animals or people. Among anthropogenic activities, the highest trace metals contamination of soils occurs due to expanded use of agrochemicals (Malik Z. et al., 2017, Vystavna Y. et al. 2014), dispersion or spread of sewage sludge, organic waste, manure, industrial waste, irrigation by sewage water or used ones (Sharma B. et al., 2017, Srivastava. V. et al. 2016, Tóth. G. et al. 2016). Moreover, atmospheric emissions from fuels burning or issued from industrial processes participate to the phenomena (Masindi V., 2018). Another soil contamination sources can be generated by various accidents and military activities (Clausen J. et al. 2004). Conflict areas are concerned for different reasons.

Papers (Pospelov B. et al., 2018, Tiutiunyk. V. et al. 2018) proposed a systematic approach to assess the readiness of civil defense to action in emergencies. Authors have also developed measures to eliminate fires or reduce their impact on the environment (Andronov V et al., 2017, Dubinin. D. et al.,

2017, Dubinin D. et al. 2018). However, the Ukrainian state authorities do not have the capacity to carry out fire and environmental measures in the occupied territories of Donetsk and Luhansk regions.

The soil contamination with trace metals in Ukrainian regions has been reported in national environmental reports (Ukraine Country Environmental Analysis, 2016) and scientific papers (Voitiuk Yu. et al. 2014).

Military actions could lead to pollution of the environment, destruction of landscapes, reduction of biodiversity and emergency incidents at industrial enterprises and infrastructural facilities. The environmental consequences of military conflicts in the former Yugoslavia, Afghanistan and the Middle East are studied in the paper (Global Report on Internal Displacement, 2022) under the United Nations Environment Program (UNEP). The impact of military conflicts in Georgia, Syria and Iraq on the state of the environment was also explored. The main danger in circumstances of the conflict was the feasibility of environmental pollution due to accidents and serious disruptions of industrial and other enterprises in the region.

There were located about 4500 potentially hazardous industrial facilities in Donetsk and Luhansk regions by the beginning of the conflict in parts of eastern Ukraine. According to the OSCE in the period from 2014 to 2017, more than 500 emergency incidents have been recorded in this region (Environmental Assessment..., 2017). Because of hostilities, the construction of fortifications, explosions and the burning of ammunition, the surface soil is disturbed, the using of damaged lands because of hostilities will be hampered by the need of their remediation, mine clearance and destruction of ammunition.

In part of the territory of Donetsk and Lugansk regions that are still not controlled by the Ukrainian government, ecological monitoring is not carried out and there is no reliable information about damage to industrial enterprises, housing and communal services and infrastructure facilities. Therefore, the analysis of the impact of hostilities on the state of the environment in the Donetsk and Lugansk regions was carried out on the basis of the materials of the OSCE projects in Ukraine presented in the works (Environmental Assessment..., 2017, Dubinin D. et al, 2018, Global Report on Internal Displacement, 2022).

Likewise, within the framework of the project "Environmental Assessment and Recovery Priorities for Eastern Ukraine" carried out by the OSCE Project Coordinator in Ukraine with the financial support of the Governments of Canada and Australia, in collaboration with the Zoë Environment Network (Switzerland), materials for desk and field studies were presented (Environmental Assessment ..., 2017). This material is presented the only monitoring research of

the occupied territory in the public domain, where showed the concentration of pollutants and the corresponding background values. Other studies of soil contamination in a conflict zone are presented in (Rashid M. I. et al., 2016, Vasenko O.G. et al. 2015). There noted that the chemical substances, which ended up in the soil, are very dispersed, which will contribute to their quick distribution, namely, into ground waters and from there — into surface waters.

An analysis of modern methodological approaches to determining the hazard level of trace metal contamination in the soil shows the relevance of the research presented in this paper.

3. The Method of Determining the Hazard Level of Trace Metal Contamination in the Soil

3.1. The Method of Integrated Assessment of Trace Metal Contamination in the Soil at the Regional and Local Levels

Determination of the hazard level of soil contamination is an important task which, according to the methodological guidelines in the paper (Methodical Instruction No. MU-4266-87), is solved by estimating the total index of soil chemical pollution (Z_c) by the formula (Methodical Instruction No. MU-4266-87):

$$Z_c = \sum_{j=1}^n K_c - (n - 1) \quad (1)$$

where n is an- amount of pollutants;

K_c is a coefficient of concentration of pollutants, which is determined by the formula (Methodical Instruction No. MU-4266-87):

$$K_c = \frac{C_i}{C_{bi}} \quad (2)$$

where C_i is the concentration of the i -th pollutant in the soil, mg/kg;

C_{bi} is the background concentration of the i -th pollutant in the soil, mg/kg.

This method for assessing chemical contamination in the soil by Z_c is widely used by experts in Ukraine and Russia.

The advantages of this method include the fact that the multiplicity of the excess of the background concentration is determined, but it is not clear why to deduct the amount of pollutants from the sum of coefficients of the concentration of chemical elements in the formula (1).

The content of trace metals in the soil is influenced by both anthropogenic and natural factors, including features of soil formation processes, soil genesis, landscape and geographical factors. Therefore, at the local level, it is required to determine the level of trace metal contamination in the soil against background concentrations. At the regional level, it is almost impossible to accomplish, due to a large number of soil with different characteristics. In addition, of-

ficial information on the content of trace metals in the soil is submitted in multiplicity of excess of MACs.

The gap in the integrated assessment of the chemical soil contamination presented in the methodology guidelines (Methodical Instruction No.MU-4266-87, 1987) is a lack of consideration of the substances hazard class. This paper (Rybalova O.V., Korobkina K.M. 2017), proposes to assess the level of chemical contamination of soil, taking into account the hazard class of substances, but limiting it to the substances exceeding the background concentration, to calculate the integral soil contamination pollution index (IS).

We believe that to assess the level of trace metal contamination in the soil, all pollutants need to be integrated with due regard to the hazard class and the self-purification index.

We propose to determine the index of soil contamination by trace metals (ISHM) by the formula:

$$ISHM=IHMC \times SSPI \quad (3)$$

where ISHM is an indicator of soil contamination by trace metals, a dimensionless value;

IHMC is an index of trace metal content, a dimensionless value;

SSPI is a soil self-purification index, a dimensi-

onless value.

At the local level, the index of trace metal content (IHMC) is determined by the formula:

$$IHMC = \sum_n j \times \frac{C_i}{C_{bi}}, \quad (4)$$

where j is a coefficient taking into account the substance hazard class: for Grade 1 the value is 2,35; for Grade 2 the value is 1,28; for Grade 3 the value is 1; for other substances this value is 0.87.

At the regional level, the index of trace metal content (IHMC) is determined by the formula:

$$IHMC = \sum_n j \times \frac{C_i}{C_{MPCi}}, \quad (5)$$

where C_{MPCi} is the maximum permissible concentration (MPC) of the i -th pollutant in the soil, mg/kg.

We suggest to determine the level of trace metal contamination in the soil as shown in table. 1.

The method of the integrated assessment of the qualitative state of soils, presented in this paper, is intended for use in determining the hazard level of trace metal contamination in the soil.

The method of the integrated assessment of the

Table 1

Characteristics of heavy metal contamination in the soil

Index (ISHM)	Quality Grade	Soil State
< 5	1	High
5.1 – 10	2	Good
10.1 – 15	3	Moderate
15.1 – 20	4	Poor
> 20	5	Bad

qualitative state of soils, presented in this paper, is intended for use in determining the hazard level of trace metal contamination in the soil and provides the opportunity to apply software for automated calculation of trace metal contamination in the soil (ISHM) and determination of the priority of implementation of environmental measures.

4. Results of Assessment of the Hazard Level of Trace Metal Contamination in the Soil

4.1. Integral Assessment of Trace Metal Contamination in the Soil at the Regional Level

Data on the soil quality is provided in the National Report on the State of the Environment in Ukraine (National Report..., 2017; Malik Z. et al. 2017), regional reports and environmental passports of the regions. According to the formulas (3) and (5), based on official monitoring data, an indicator of soils contamination by trace metals (ISHM) has been determined. The results of assessing the current state of trace metal contamination in the soils of Ukraine are given in Fig. 1.

Calculations have shown that the most contaminated territories are large industrial centers: Donetsk, Dnipropetrovsk, Zaporizhzhia and Luhansk regions (Fig. 2). Such figures are predetermined by the large number of environmentally hazardous industrial companies located in these industrial regions.

4.2. Integral Assessment of Trace Metal Contamination in the Soil at the Local Level for Different Types of Land Use

To determine the hazard level of trace metal contamination, soil samples were collected at four locations of the recreational zones of Kharkiv, three different locations along the highways, near the municipal waste landfill and the territory of the industrial company.

Sampling locations are shown on fig. 2. Samples were collected from surface layer of soil in 10 points across each sampling location. Then point samples were mixed on sampling place and 500 g of sample were taken to laboratory. After hominization procedure 500 mg of sample were digested by microwave

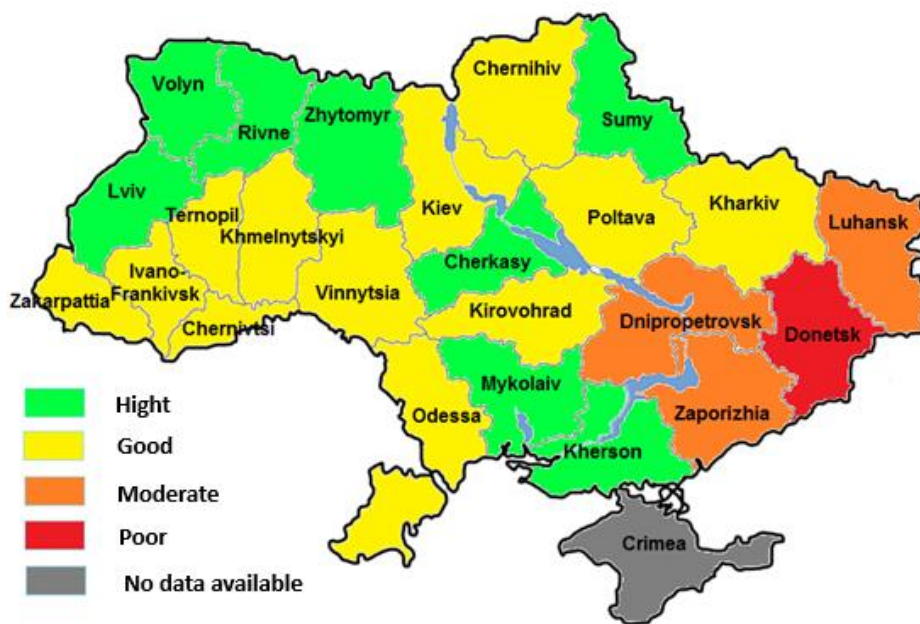


Fig. 1. Proposed classification of trace metal contamination of the soil in Ukraine

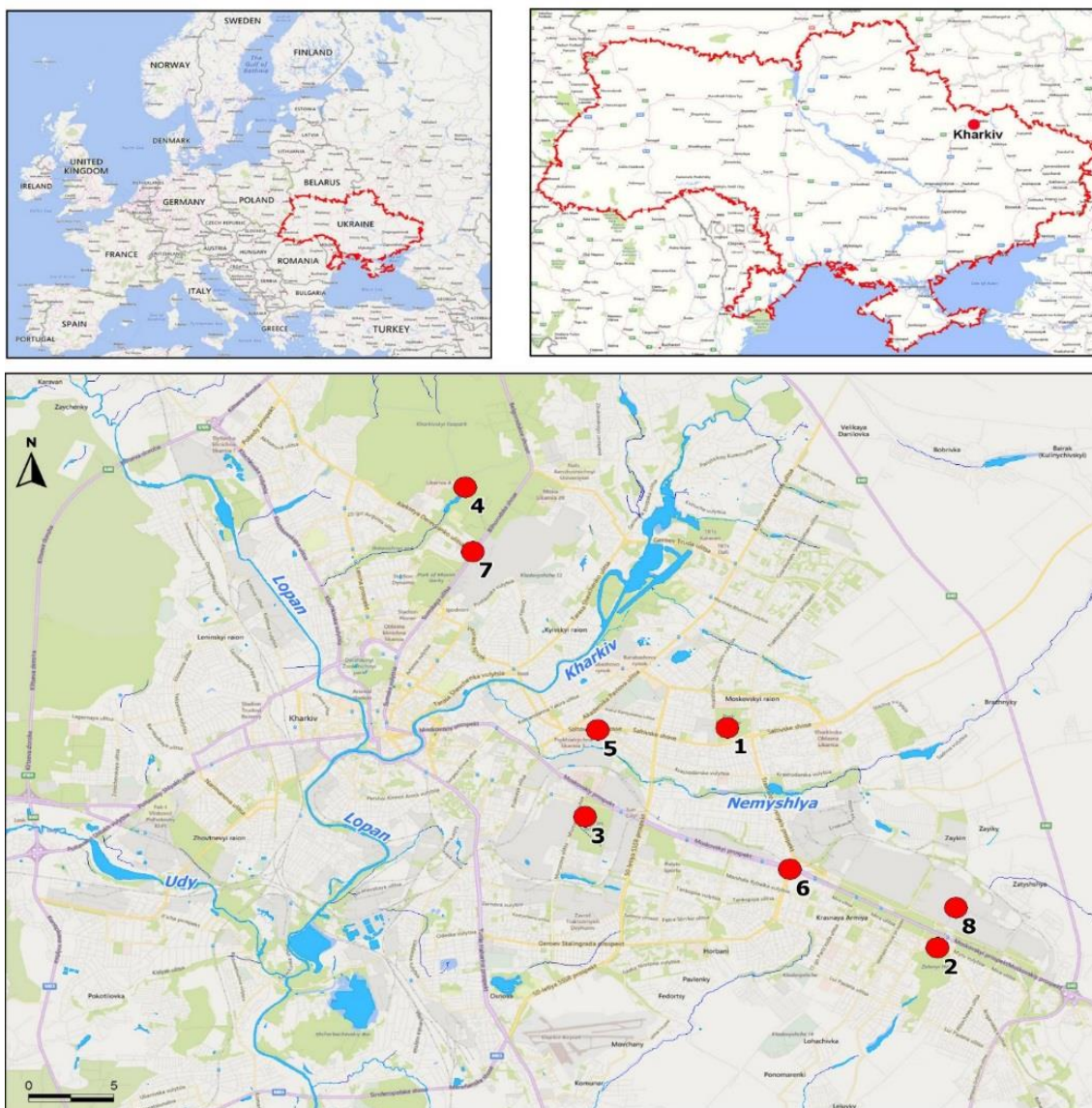


Fig. 2. Sampling points: 1- Park 1; 2 - Park 2; 3 - Park 3; 4 - Park 4; 5 - Highway 1; 6 - Highway 2; 7 - Highway 3; 8 -Industrial company

radiation assisted EPA 3051A method (Method 7000B, 2007). The microwave assisted acid digestion were carried out on Ethos Easy instrument (Milestone, Italy) with adding 10 ml of nitric acid 69% (Suprapur® for trace metal analysis, Merck Millipore). All solutions were made on bidistilled water (Grade 2, ISO 3696:1987). Impurities of reagent were controlled by using reagent blank solutions.

The metal content in the solutions obtained during sample preparation was determined by method of atomic absorption spectrometry with flame atomization (Method 3051A (SW-846), 2007) on fast sequential atomic absorption spectrometer AA 240FS (Agilent, USA). Calibration and measurement procedure were atomized by using SIPS and SPS4 autosamplers (Agilent, USA). Single standard solution 5 mg/l of determined elements were made from multielement standard solution 1000 mg/l of 23 elements (ICP multi-element standard solution IV, Merck).

Kharkiv is a large industrially developed city of Ukraine with enterprises of machine-building, chemical and construction industries, which causes a significant negative impact on the environment. In order

to assess the level of soil pollution with trace metals at the local level, using a new methodology, sites were selected for sampling soils with different levels of anthropogenic load: 4 local parks, 3 highways, a household waste dump and the territory of an industrial enterprise.

The content of trace metals is determined by atomic absorption spectrophotometry with flame atomization on the Hitachi Z-8000. The results of determining the index of trace metal contamination in the soil by formulas (3) and (4) are given in Figure 3.

The ranking of the sampling points for the index of soils contamination by trace metals in the soil (ISHM) showed that the most polluted soils are in the municipal waste landfill and industrial companies areas (Fig. 3).

The level of trace metal contamination in the soil in the recreational areas of Kharkiv city corresponds to the 2nd grade, i.e. good. In places of sampling near highways, the level of trace metal contamination in the soil corresponds to grades 2 and 3, i.e. good and moderate. The level of trace metal contamination in the soil of the municipal waste landfill and industrial companies corresponds to grade 5, i.e. very poor.

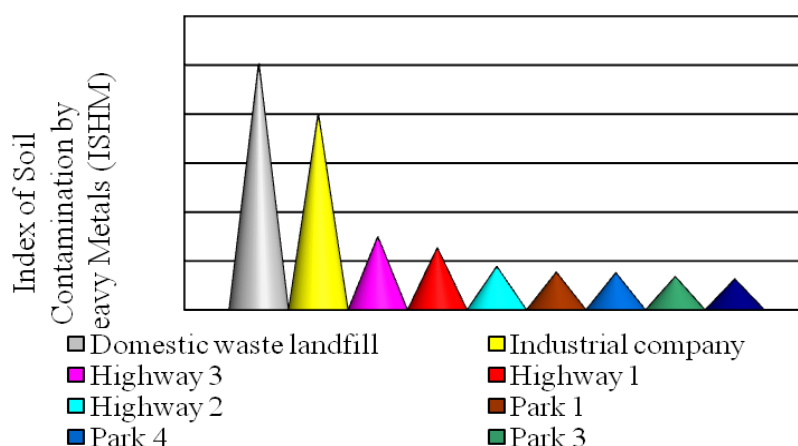


Fig. 3. Ranking of sampling locations in Kharkiv by the index of soils contamination by heavy metals (ISHM)

4.3. Integral Assessment of Trace Metal Contamination in the Soil as a Result of Hostilities in the East of Ukraine

Military actions in the East of Ukraine led to pollution of the environment, destruction of landscapes, reduction of biodiversity and emergency incidents at industrial enterprises and infrastructural facilities.

The environmental consequences of military conflicts in the former Yugoslavia, Afghanistan and the Middle East are studied in the paper (Global Report ..., 2022). under the United Nations Environment Program (UNEP). The impact of military conflicts in Georgia, Syria and Iraq on the state of the environment was also explored.

The impact of hostilities on the state of the environment in the East of Ukraine is featured by the

fact that Donetsk and Luhansk regions are industrially developed regions, where up to 4,500 potentially dangerous industrial sites were located before the beginning of hostilities. According to the OSCE in the period from 2014 till 2017, more than 500 emergency incidents have been recorded in this region (Environmental Assessment ..., 2017).

Papers (Pospelov B. et al., 2018, Tiutiunyk. V. Vet al. 2018) proposed a systematic approach to assessing the readiness of civil defense to action in emergencies. Authors have also developed measures to eliminate fires or reduce their impact on the environment (Andronov V. et al., 2017, Dubinin. D., et al., 2017, Dubinin D. et al. 2018). But the Ukrainian state authorities do not have the capacity to carry out fire and environmental measures in the occupied ter-

ritories of Donetsk and Luhansk oblasts.

The impact of military actions on the state of the environment in Donetsk and Luhansk regions was analyzed based on the materials of the OSCE projects in Ukraine presented in this paper (Environmental Assessment ..., 2017, Pospelov B. et al., 2018).

It should be noted that in the areas of Donetsk and Luhansk regions currently not under the control of the Ukrainian government, no environmental monitoring is conducted and thus no reliable information on damages to industrial companies, housing and communal services and infrastructural facilities is available. But within the framework of the project “Environmental Assessment and Recovery Priorities for Eastern Ukraine” carried out by the OSCE Project Coordinator in Ukraine, with the financial support of the Governments of Canada and Australia, in collaboration with the Zoë Environment Network (Switzerland), materials for desk and field studies were presented (Environmental Assessment ..., 2017). Based on these materials, trace metal contamination in the soil is assessed by the new method. The ranking of research objects by the value of trace metal contami-

nation in the soil (ISHM) has showed that the territory near the Sloviansk TV and Radio Center and Luhansk TPP is in the worst condition (Fig. 4).

The high value of trace metal contamination in the soil (ISHM) in the territory of the Sloviansk TV and Radio Center is caused by excess concentration of strontium by 116 times and mercury by 2.2 times compared to the background values. According to field studies presented in the paper (Environmental Assessment ..., 2017), in the territory of Luhansk TPP, an excessive concentration of strontium by 12.8 times and mercury by 16.7 times over the background value have been detected. The average values of the trace metal concentrations in the soil of the studied areas exceeded the background values by 0,9-1,7 times.

In Table 2, the factors of possible impact of hostilities on the state of trace metal contamination in the soil are given.

As shown in Table 2, the largest number of military equipment was used precisely in the territory of the Sloviansk TV and Radio Center and Luhansk TPP.

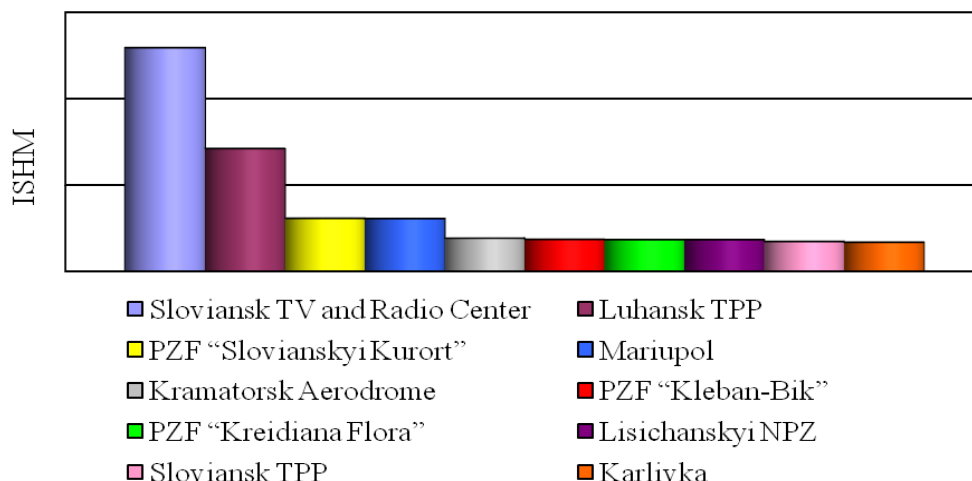


Fig. 4. Ranking of researched areas by the impact of hostilities in eastern Ukraine in terms of the value of heavy metal contamination in the soil (ISHM)

Table 2

Possible factors of heavy metal contamination in the soil in the territory of hostilities in Donetsk and Luhansk regions (eastern Ukraine)

Sampling ground for soil	Factors of possible impact of military actions
Sloviansk TV and Radio Center	Small arms, grenades, artillery, armored vehicles
Luhansk TPP	Small arms, grenades, artillery, MLRs, other factors
PZF “Slovianskyi Kurort”	Small arms, grenades, artillery, armored vehicles
Mariupol	Artillery, MLRs
Kramatorsk Aerodrome	MLRs, other factors
PZF “Kleban-Bik”	Armored vehicles
PZF “Kreidiana Flora”	Small arms, grenades, artillery, and other factors
Lisichanskyi NPZ	MLRs, other factors
Sloviansk TPP	Artillery, other factors
Karlivka	Small arms, grenades, armored vehicles

Obviously, for the real determination of the impact of military actions on the state of the environment, including soils, we need to have more detailed information on the military equipment used during the conflict, the number and extent of emergency incidents and their environmental consequences, as well as regular data of environmental monitoring. But even a preliminary assessment of the hazard level of trace metal contamination in the soil made with the data provided by the OSCE, which grounds on the determination of ISHM by the new method, indicates the urgency of conducting rehabilitation measures on environmental protection.

But even a preliminary assessment of the hazard level of trace metal contamination in the soil made with the data provided by the OSCE, which grounds on the determination of ISHM by the new method, indicates the urgency of conducting rehabilitation measures on environmental protection.

5. Discussion

Trace metal contamination in the soil poses a serious threat to the environment on the global scale. The method of the integrated assessment of trace metal contamination in the soil at the regional and local levels is proposed.

The method for estimating the integral index of trace metal contamination in the soil (ISHM) at the local level involves the summation of the multiplicity of the excess of background concentrations, taking into account the hazard class and the self-purification index. At the regional level, this method differs in the fact that official sources of information on the state of the environment provide data on the state of trace

metal contamination in the soil in multiplicity of excess of MACs. But it provides the opportunity to apply software for automated calculation of trace metal contamination in the soil (ISHM) and determination of the priority of implementation of environmental measures.

This assessment of soil contamination by trace metals in Kharkiv made with the application of new method under the various influence of anthropogenic factors has showed the dangerous impact of the industry and the location of household waste landfills.

The application of the soil contamination method at the regional level has indicated a high level of hazard especially in the industrially developed regions of Ukraine.

In particular, in the east of Ukraine, in the largest industrial regions of the country, namely Donetsk and Luhansk, with the highest concentration of environmentally hazardous industrial sites; the ongoing hostilities since 2014 do constitute a threat to the environment.

According to (Environmental Assessment ..., 2017), the content of trace metals in soil samples taken in areas of military operations (mainly in funnels for a short time after the cessation of hostilities), in most cases exceeded the background value by 1.2 - 12 times. Pursuant to these data, of the seven studied metals, only the content of cadmium (4.4 times) and lead (on average 1.2 times) exceeded the regional average.

The main data based on study (Environmental Assessment ..., 2017), presented on figure 5 below:

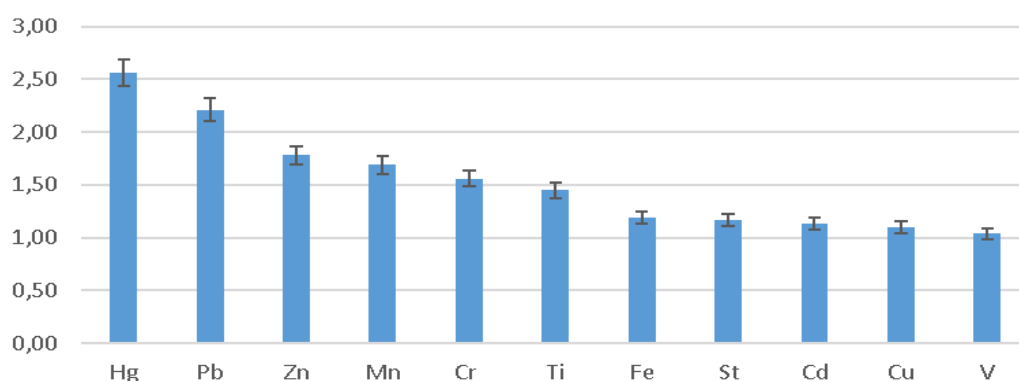


Fig. 5. The calculated multiplicity of excess concentrations of trace metal in the zone of influence of hostilities over background concentrations

Indeed, to determine the actual impact of hostilities on the state of the environment in the Donetsk and Luhansk regions of Ukraine requires more studies. While this territory is not under the control of the Ukrainian authorities, this is impossible. In the work (Environmental Assessment ..., 2017) data from the field's studies are presented. Impact on soil pollution

was provided not only weapons, but also - also emergencies, including accidents at industrial enterprises.

Among many industrial enterprises in the conflict zone, the most environmentally hazardous plants were damaged because of hostilities: Because of military maneuvers or exercises, the construction of fortifications, explosions and the burning of ammuni-

tion, the surface soil is disturbed.

The results of the assessment of trace metal contamination in the soil (ISHM) showed the highest level of pollution in the territory of the Sloviansk TV and Radio Center and Luhansk TPP, where the largest amount of military equipment was used. Thus, more detailed research is required to determine the actual impact of hostilities on the state of the environment in Donetsk and Luhansk regions of Ukraine. The assessment of trace metal contamination in the soil by the new method makes it possible to determine the priority of the implementation of measures for the restoration of land affected by the military actions.

Obviously, for the real determination of the impact of military actions on the state of the environment, including soils, we need to have more detailed information on the military equipment used during the conflict, the number and extent of emergency incidents and their environmental consequences, as well as regular data of environmental monitoring.

6. Conclusions

1. The new method of assessment of the level of trace metal contamination in the soil at the regional and local levels is proposed. The advantage of this method compared to another is consideration of the hazard class of pollutants and the self-purification index and determination of the integral index of trace metal contamination in the soil (ISHM) at the local level. It is proposed to determine the multiplicity of excess background concentrations.

2. For determination of the hazard level it was chosen four locations at the recreational areas of Kharkiv city: three locations near the highways, at

the municipal waste landfill and at the territory of an industrial company. The content of trace metals in the samples was determined by atomic absorption spectrophotometry with flame atomization with the use of Hitachi Z-8000. Ranking of territories by the value of trace metal contamination in the soil (ISHM) showed that the most dangerous areas are domestic waste landfills and facilities of the industrial companies (Class 5 «Bad»). Recreation zones are ranked in Class 2 «Good», the territory near the highways are assessed in quality Class 2 «Good».

3. Assessment of the level of trace metal contamination in the soil at East of Ukraine showed that industrial regions are in the concerning condition: Donetsk (quality Class 4 «Poor»), Dnipropetrovsk (quality Class 3 «Moderate»), Zaporizhzhia and Luhansk region (quality Class 3 «Moderate»).

4. Based on the monitoring data of the OSCE in Ukraine, trace metal contamination in the soil is assessed by the new method. The ranking of researched areas by the value of trace metal contamination in the soil (ISHM) showed that the territories of the Sloviansk TV and radio station and Luhansk TPP are in the most dangerous condition. Assessment of the hazard level of trace metal contamination in the soil by the proposed method will allow to make a scientifically substantiated decision on the priority of implementation of environmental measures.

5. The use of the proposed methodological approach will facilitate obtaining of comparable data in assessing the level of contamination in the soil and identification of areas for safe recreational use or cultivation of agricultural crops.

Bibliography

1. Alengebawy, A. *Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications* [Text] / Alengebawy A., Abdelkhalek S.T., Qureshi S.R., Wang M.-Q. // *Toxics*, 2021. – Vol. 9 (3), Issue 42. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxics9030042>
2. Aljerf, L. A. *Gateway to Metal Resistance: Bacterial Response to Heavy Metal Toxicity in the Biological Environment* [Text] / Aljerf, L., Al Masri, N. A. // *Ann Adv Chem.*, 2018. – Vol. 2 – P. 032-044. DOI: <https://doi.org/10.29328/journal.aac.1001012>
3. Andronov, V. *Development of a method to improve the performance speed of maximal fire detectors.* [Text] / Andronov, V., Pospelov, B., Rybka, E. // *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*, 2017. – Vol. 2, Issue 9-86. – P. 32-37. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96694>
4. Aoyama, M. *Effects of Heavy Metal Pollution of Apple Orchard Surface Soils Associated with Past Use of Metal-Based Pesticides on Soil Microbial Biomass and Microbial Communities* [Text] / Aoyama, M., Tanaka, R. // *Journal of Environmental Protection*, 2013. – Vol. 4, Issue. 4. – Pp. 27-36. DOI: <https://doi.org/10.4236/jep.2013.44A005>
5. Cheng, H. *Overview of trace metals in the urban soil of 31 metropolises in China* [Text] / Cheng, H., Li, M., Zhao, Ch., Peng, M., Qin, A., Cheng, X. // *Journal of Geochemical Exploration*, 2014. – Vol. 139. – Pp. 31-52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.08.012>
6. Chibuike, G. U. *Heavy metal polluted soils: Effect on plants and bioremediation methods* [Text] / Chibuike, G. U., Obiora, S. C. // *Appl. Environ. soil Sci*, 2014. – Vol. 2014. ID 752708. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/752708>
7. Clausen, J. *A case study of contaminants on military ranges: Camp Edwards, Massachusetts, USA* [Text] / Clausen, J., Robb J., Curry, D., Korte, N. // *Environmental Pollution*, 2004. – Vol. 129, Issue 1. – Pp. 13-21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2003.10.002>
8. Dubinin, D. *Improving the installation for fire extinguishing with inelydispersed water* [Text] / Dubinin, D., Korytchenko, K., Lisnyak, A., Hrytsyna, I., Trigub, V. // *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*, 2018. – Vol. 2, Issue 10-92. – Pp. 38-43. Cited 1 time. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127865>
9. Dubinin, D. *Numerical simulation of the creation of a fire fighting barrier using an explosion of a combustible charge* [Text] / Dubinin, D., Korytchenko, K., Lisnyak, A., Hrytsyna, I., Trigub, V. // *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*, 2017. – Vol. 6, Issue 10-90. – P. 11-16. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.114504>

10. *Environmental Assessment and Recovery Priorities for Eastern Ukraine*. OSCE [Text]. – Kyiv: VAITE, 2017 – 88 p. ISBN 978-966-2310-87-0. Mode of access: www.osce.org/files/f/documents/4/3/362566_0.pdf (date of access: 10.09.2021). – Title from screen.
11. *Global Report on Internal Displacement 2022*. UNEP. The Internal Displacement Monitoring Centre. Geneva, Switzerland, 2021. – 168 p. Mode of access: https://www.internal-displacement.org/sites/default/files/publications/documents/IDMC_GRID_2022_LR.pdf (date of access: 11.06.2021). – Title from screen.
12. Kumar, P. Trace metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management [Text] / Kumar, P., Lee, R. S. S., Zhang, M., Tsang, Y. F., Kim, K. // *Environment International*, 2019. – Vol. 125. – Pp. 365-385. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.067>
13. Li, C. A review on heavy metals contamination in soil: Effects, sources, and remediation techniques [Text] / Li, C., Zhou, K., Qin, W., Tian, C., Qi, M., Yan, X., Han W. // *Soil Sediment Contam. Int. J.*, 2019. – Vol. 28, Issue 4. – P. 380–394. DOI: <https://doi.org/10.1080/15320383.2019.1592108>
14. Malik, Z. Agrochemicals and soil microbes: interaction for soil health. *Xenobiotics in the Soil Environment: Monitoring* [Text] / Malik, Z., Ahmad, M., Abassi, G. H., Dawood, M., Hussain, A., Jamil, M. // *Toxicity and Management*. ed M. Z. Hashmi (Cham: Springer International Publishing). 2017. – Vol. 49. – Pp. 139-152. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-47744-2_11
15. Marchand, L. Trace element transfer from soil to leaves of macrophytes along the Jalle d'Eysines River, France and their potential use as contamination biomonitors [Text] / Marchand, L., Nsanganwimana, F., Cook, B.J., Vystavna, Y., Huneau, F., Coustumer, P., Le, Lamy, J.B., Oustrière, N., Mench M. // *Ecological Indicators*, 2014. – Vol. 46. – Pp. 425-437. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.07.011>
16. Masindi, V. Environmental Contamination by Heavy Metals. [Text] / Masindi, V., Muedi, Kh. L. Trace Metals // Ed. by Hosam El-Din M. Saleh and Refaat F. Aglan *InTech*, 2018. – Chap. 7. – P. 115-132 DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.76082>
17. Mominul, I. Trace Metal and Metalloid Pollution of Soil, Water and Foods in Bangladesh: A Critical Review [Text] / Mominul, I., Rezaul, K., Rezaul, Zh., Zheng, X., Li, X. // *Int J Environ Res Public Health*, 2018. – Vol. 15(12): Issue 2825. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph15122825>
18. Method 3051A (SW-846): Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Oils / U.S. EPA. Revision 1. – 2007, Washington, DC. – 30 p. Mode of access: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/3051a.pdf> (date of access: 19.04.2022). – Title from screen.
19. Method 7000B: Flame atomic absorption spectrophotometry. / U.S. EPA. Revision 2. – 2007, Washington, DC. – 23 p. Mode of access: <https://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-test-method-7000b-flame-atomic-absorption-spectrophotometry> (date of access: 20.04.2022). – Title from screen.
20. *National report on the state of the environment in Ukraine in 2015*. Kyiv: Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. FOP GrIn D.S., 2017. – 308 p. Mode of access: <https://mepr.gov.ua/news/31768.html> (date of access: 11.06.2020). – Title from screen.
21. Niassy, S. Effect of organic inputs in urban agriculture and their optimization for poverty alleviation in Senegal, West Africa. In: *Organic Fertilizers: Types, Production and Environmental Impact* [Text] / Niassy, S., Diarra, K. Ed. by Singh R.P. Hauppauge, NY: Nova Science Publisher Inc., 2012. – P. 22. ISBN: 978-1-62081-422-2 <https://novapublishers.com/shop/organic-fertilizers-types-production-and-environmental-impact/>
22. Ogundele, L. T. Health risk assessment of trace metals in soil samples from an abandoned industrial waste dumpsite in Ibadan, Nigeria [Text] / Ogundele, L. T., Adejoro, I. A., Ayeku, P. O. // *Environ Monit Assess*, 2019. – Vol. 191, Issue 5:290. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7454-8>
23. Patnaik A.R. Chromium (VI)-induced hormesis and genotoxicity are mediated through oxidative stress in root cells of *Allium cepa* L [Text] / Patnaik A.R., Achary V.M.M., Panda B.B. // *Plant Growth Regul*, 2013. – Vol. 71. – P. 157–170. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10725-013-9816-5>
24. Pospelov, B. Development of communication models of wireless environment in emergency situations [Text] / Pospelov, B., Petukhova, O., Meleshchenko, R., Gornostal, S., Shcherbak, S. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2018. – Vol. 2, Issue 9 (92). – P. 40–47. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127023>
25. Rodríguez-Eugenio, N. Soil Pollution: a hidden reality [Text] / Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M., Pennock, D. Rome, FAO, 2018. – 142 p. ISBN 978-92-5-130505-8 Mode of access: <https://www.fao.org/3/I9183EN/i9183en.pdf> (date of access: 01.08.2022). – Title from screen.
26. Rashid, M.I. Bacteria and Fungi Can Contribute to Nutrients Bioavailability and Aggregate Formation in Degraded Soils [Text] / Rashid, M.I., Mujawar, L.H., Shahzad, T., Almeelbi, T., Ismail, I.M.I., Oves, M. *Microbiological Research*, 2016. – Vol. 183. – P. 26-41. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.11.007>
27. Rehman A. Toxicity of metals in plants and animals and their uptake by magnetic iron oxide nanoparticles [Text] / Rehman A., Nazir S., Irshad R. Almeelbi T., Ismail I., Oves M. // *Journal of Molecular Liquids*, 2021. – Volume 321. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114455>
28. Sharma, B. Agricultural utilization of biosolids: a review on potential effects on soil and plant grown [Text] / Sharma B., Sarkar A., Singh P., Singh R. // *Waste Manage*, 2017. – Vol. 64. – P. 117–132. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.03.002>
29. Sodango, T. H. Review of the Spatial Distribution, Source and Extent of Trace Metal Pollution of Soil in China: Impacts and Mitigation Approaches [Text] / Sodango, T. H., Li X., Sha, J., Bao, Z. // *Journal Health Pollut*, 2018. – Vol. 8, Issue 17. – Pp. 53–70. DOI: <https://doi.org/10.5696/2156-9614-8.17.53>
30. Srivastava, V., Biological response of using municipal solid waste compost in agriculture as fertilizer supplement [Text] / Srivastava, V. Araujo, A. S. F., Vaish, B. Bartelt-Hunt, S. Singh, R. P. // *Rev. Environ. Sci. Biol*, 2016. – Vol. 15. – Pp. 677–696. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11157-016-9407-9>

31. Sulaiman, F.R. Heavy metals accumulation in suburban roadside plants of a tropical area (Jengka, Malaysia) [Text] / Sulaiman, F.R., Hamzah, H.A. // *Ecol. Process*, 2018. – Vol. 7, Issue 28. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13717-018-0139-3>
32. Tchounwou, P. B. Trace Metals Toxicity and the Environment [Text] / Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., Sutton Dwayne, J. EXS. Published in final edited form as: EXS, 2014. – Vol. 101. – Pp. 133–164. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6
33. Tiutiunyk, V.V. Sytem approach for readiness assessment units of civil defense to actions at emergency situations [Text] / Tiutiunyk, V.V., Ivanets, H.V., Tolkunov, I.A., Stetsyuk, E.I. // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2018. – Vol. 1. – Pp. 99-105. DOI: <https://doi.org/10.29202/mvngu/2018-1/7>
34. Ukraine Country Environmental Analysis. Report No: ACS16696. GEN03. Europe and Central Asia [Text] / The International Bank for Reconstruction and Development (IBRD). The World Bank. – Washington, 2016. – P. 107. Mode of access: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/24971/Ukraine000Coun0ironmen-tal0analysis.pdf?sequence=4&isAllowed=y> (date of access: 18.05.2022). – Title from screen.
35. Vystavna, Y. Determination of dominant sources of nitrate contamination in transboundary (Russian Federation/Ukraine) catchment with heterogeneous land use. [Text] / Vystavna, Y., Diadin D., Grynenko, V., Yakovlev, V., Vergeles, Y., Huneau, F., ... Knöller // *Environmental Monitoring and Assessment*. – K., 2017. – Vol. 189, Issue 509. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6227-5>
36. Vystavna, Y. Trace metals in wine and vineyard environment in southern Ukraine [Text] / Vystavna, Y., Rushenko, L., Diadin, D., Klymenko, O., Klymenko, M. // *Food Chemistry*, 2014. – Vol. 146. – Pp. 339–344. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.091>
37. Voitiuk, Yu. Ecological and geochemical assessment of the soil contamination levels in the areas of metallurgical enterprises operation [Text] / Voitiuk, Yu., Kuraieva, I., Kroik, A., Pavlychenko, A. // *Journal Scientific Bulletin of National Mining University*. *Journal Scientific Bulletin of National Mining University*, 2014. – Vol. 4 – P. 45-51. Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/297487280_Ecological_and_geochemical_assessment_of_the_soil_contamination_levels_in_the_areas_of_metallurgical_enterprises_operation (date of access: 18.05.2022). – Title from screen.
38. Zhang, X. Impact of Soil Trace Metal Pollution on Food Safety in China [Text] / Zhang, X., Zhong, T., Liu, L., Ouyang, X. // *PLoS One*, 2015. – Vol. 10, Issue 8: e0135182. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135182>
39. Zwolak, A. Sources of Soil Pollution by Trace Metals and Their Accumulation in Vegetables: a Review [Text] / Zwolak, A., Sarzyńska, M., Szpyrka, E., Stawarczyk, K. // *Water Air Soil Pollution*, 2019. – Vol.230, Issue 164. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4221-y>
40. Інтегральні та комплексні оцінки стану навколишнього природного середовища [Текст] / Васенко О.Г., Рибалова О.В., Артем'єв С.Р. та ін. – X.: НУГЗУ, 2015. – 419 с.
41. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами N 4266-87. – М., 1987. – 25 с.
42. Рибалова, О. В. Новий підхід до оцінки забруднення ґрунтів важкими металами. [Текст] / Рибалова, О. В., Коробкіна, К. М. // *Topical Problems of Modern Science*, 2017. – Vol. 5. – P. 86-89. Retrieved from: <http://repositc.nuczu.edu.ua/bitstream/.pdf>

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

References

1. Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M. & Pennock, D. (2018). *Soil Pollution: a hidden reality*. Rome, Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 142. ISBN 978-92-5-130505-8 Retrieved from <https://www.fao.org/3/I9183EN/i9183en.pdf>
2. Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M. & Pennock, D. 2018. *Soil Pollution: a hidden reality*. (2018). Rome, Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 142. ISBN 978-92-5-130505-8
3. Ogundele, L. T., Adejoro, I. A. & Ayeku, P. O. (2019). Health risk assessment of trace metals in soil samples from an abandoned industrial waste dumpsite in Ibadan, Nigeria. *Environ Monit Assess*. Apr 18; 191(5): 290. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7454-8>
4. Sodango, T. H., Li X., Sha, J. & Bao, Z. (2018). Review of the Spatial Distribution, Source and Extent of Trace Metal Pollution of Soil in China: Impacts and Mitigation Approaches. *Journal Health Pollut*. Mar; 8(17): 53–70. DOI: <https://doi.org/10.5696/2156-9614-8.17.53>
5. Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K. & Sutton Dwayne, J. (2014). *Trace Metals Toxicity and the Environment*. EXS. Author manuscript; available in PMC. Published in final edited form as: EXS. 2012; 101: 133–164. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6
6. Cheng, H., Li, M., Zhao, Ch., Peng, M., Qin, A. & Cheng, X. (2014). Overview of trace metals in the urban soil of 31 metropolises in China. *Journal of Geochemical Exploration*, 139, 31-52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.08.012>
7. Zhang, X., Zhong, T., Liu, L. & Ouyang, X. (2015). Impact of Soil Trace Metal Pollution on Food Safety in China. *PLoS One*. 10(8): e0135182. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135182>

8. Zwolak, A., Sarzyńska, M., Szyrka, E. & Stawarczyk, K. (2019). Sources of Soil Pollution by Trace Metals and Their Accumulation in Vegetables: a Review. *Water Air Soil Pollution* 230: 164. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4221-y>
9. Marchand, L., Nsanganwimana, F., Cook, B. J., Vystavna, Y., Huneau, F., Coustumer, P. Le, Lamy, J.B., Oustrière, N. & Mench M. (2014). Trace element transfer from soil to leaves of macrophytes along the Jalle d'Eysines River, France and their potential use as contamination biomonitors. *Ecological Indicators*. 46, 425-437. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.07.011>
10. Aoyama, M. & Tanaka, R. (2013). "Effects of Heavy Metal Pollution of Apple Orchard Surface Soils Associated with Past Use of Metal-Based Pesticides on Soil Microbial Biomass and Microbial Communities," *Journal of Environmental Protection*, 4, 4A, 27-36. DOI: <https://doi.org/10.4236/jep.2013.44A005>
11. Rashid, M.I., Mujawar, L.H., Shahzad, T., Almeelbi, T., Ismail, I.M.I. & Oves, M. (2016) Bacteria and Fungi Can Contribute to Nutrients Bioavailability and Aggregate Formation in Degraded Soils. *Microbiological Research*, 183, 26-41. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.11.007>
12. Vystavna, Y., Diadin D., Grynenko, V., Yakovlev, V., Vergeles, Y., Huneau, F., ... Knöller, K. (2017). Determination of dominant sources of nitrate contamination in transboundary (Russian Federation/Ukraine) catchment with heterogeneous land use. *Environmental Monitoring and Assessment*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6227-5>
13. Azarbad, H., Gestel, C., Niklińska, M, Laskowski, R., Röling, W. F. M., & Straalen, N. M. (2016). Resilience of Soil Microbial Communities to Metals and Additional Stressors: DNA-Based Approaches for Assessing "Stress-on-Stress" Responses. *Int J Mol Sci*. Jun; 17(6): 933. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms17060933>
14. Aljerf, L. & AlMasri, N. (2018). A gateway to metal resistance: bacterial response to heavy metal toxicity in the biological environment. *Ann. Adv. Chem.* 2 (1), 32–44. DOI: <https://doi.org/10.29328/journal.aac.1001012>
15. Alengebawy, A., Abdelkhalek, S.T., Qureshi, S.R. & Wang, M.-Q. (2021). Heavy Metals and Pesticides Toxicity in Agricultural Soil and Plants: Ecological Risks and Human Health Implications. *Toxics*. 9(3):42. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxics9030042>
16. Patnaik A.R., Achary V.M.M. & Panda B.B. (2013). Chromium (VI)-induced hormesis and genotoxicity are mediated through oxidative stress in root cells of *Allium cepa* L. *Plant Growth Regul.* 71:157–170. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10725-013-9816-5>
17. Mominul, I., Rezaul, K., Rezaul, Zh., Zheng, X. & Li, X. (2018). Trace Metal and Metalloid Pollution of Soil, Water and Foods in Bangladesh: A Critical Review. *Int J Environ Res Public Health*. Dec; 15(12): 2825. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph15122825>
18. Kumar, P., Lee, R. S. S., Zhang, M., Tsangd, Y. F., & Kim, K. (2019). Trace metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management. *Environment International*, 125, 365-385. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.067>
19. Chibuike, G. U. & Obiora, S. C. (2014). Heavy metal polluted soils: Effect on plants and bioremediation methods. *Appl. Environ. soil Sci.* 2014, 752708. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/752708>
20. Li, C., Zhou, K., Qin, W., Tian, C., Qi, M., Yan, X., & Han W. (2019). A review on heavy metals contamination in soil: Effects, sources, and remediation techniques. *Soil Sediment Contam. Int. J.* 28 (4), 380–394. DOI: <https://doi.org/10.1080/15320383.2019.1592108>
21. Rehman A., Nazir S., Irshad R. Almeelbi T., Ismail I. & Oves M. (2021). Toxicity of metals in plants and animals and their uptake by magnetic iron oxide nanoparticles. *Journal of Molecular Liquids*, 321, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114455>
22. Niassy, S. & Diarra, K. (2012). Effect of organic inputs in urban agriculture and their optimization for poverty alleviation in Senegal, West Africa. In: *Organic Fertilizers: Types, Production and Environmental Impact*. R.P. Singh (Ed.) (Hauppauge, NY: Nova Science Publisher Inc., 2012), 22. ISBN: 978-1-62081-422-2. Retrieved from <https://novapublishers.com/shop/organic-fertilizers-types-production-and-environmental-impact/>
23. Sulaiman, F.R. & Hamzah, H.A. (2018). Heavy metals accumulation in suburban roadside plants of a tropical area (Jengka, Malaysia). *Ecol Process* 7, 28. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13717-018-0139-3>
24. Malik, Z., Ahmad, M., Abassi, G. H., Dawood, M., Hussain, A. & Jamil, M. (2017). Agrochemicals and soil microbes: interaction for soil health. *Xenobiotics in the Soil Environment: Monitoring, Toxicity and Management*. ed M. Z. Hashmi (Cham: Springer International Publishing), 139-152 DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-47744-2_1
25. Vystavna, Y., Rushenko, L., Diadin, D. Klymenko, O. & Klymenko, M. (2014). Trace metals in wine and vineyard environment in southern Ukraine. *Food Chemistry* 146. pp. 339–344. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.091>
26. Sharma. B., Sarkar. A., Singh. P. & Singh. R. P. (2017). Agricultural utilization of biosolids: a review on potential effects on soil and plant grown. *Waste Manage.* 64, 117–132. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.03.002>
27. Srivastava, V., Araujo, A. S. F., Vaish, B. Bartelt-Hunt, S., & Singh, R. P. (2016). Biological response of using municipal solid waste compost in agriculture as fertilizer supplement. *Rev. Environ. Sci. Biol.* 15, 677–696. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11157-016-9407-9> [in English]
28. Masindi, V. & Muedi, Kh. L. (2018). Environmental Contamination by Trace Metals. *Trace Metals*. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.76082>
29. Clausen, J., Robb J., Curry, D. & Korte, N. (2004). A case study of contaminants on military ranges: Camp Edwards, Massachusetts, USA. *Environmental Pollution*, 129, 1, 13-21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2003.10.002>

30. Pospelov, B., Petukhova, O., Meleshchenko, R., Gornostal, S. & Shcherbak, S. (2018). Development of communication models of wireless environment in emergency situations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(9 (92)), 40–47. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127023>
31. Tiutiunyk, V.V., Ivanets, H.V., Tolkunov, I.A. & Stetsyuk, E.I. (2018). Sytem approach for readiness assessment units of civil defense to actions at emergency situations. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (1), 99–105. DOI: <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-1/7>
32. Andronov, V., Pospelov, B. & Rybka, E. (2017). Development of a method to improve the performance speed of maximal fire detectors. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9-86), 32-37 DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96694>
33. Dubinin, D., Korytchenko, K., Lisnyak, A. Hrytsyna, I. & Trigub, V. (2017). Numerical simulation of the creation of a fire fighting barrier using an explosion of a combustible charge. *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10-90), 11-16. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.114504>
34. Dubinin, D., Korytchenko, K., Lisnyak, A. Hrytsyna, I. & Trigub, V. (2018). Improving the installation for fire extinguishing with inelydispersed water. *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10-92), 38-43. Cited 1 time. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127865>
35. Ukraine Country Environmental Analysis. (2016). Report No: ACS16696. The International Bank for Reconstruction and Development. The World Bank. Retrieved from: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/24971/Ukraine000Coun0ironmental0analysis.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
36. Voitiuk, Yu., Kuraieva, I., Kroik, A. & Pavlychenko, A. (2014). Ecological and geochemical assessment of the soil contamination levels in the areas of metallurgical enterprises operation. *Journal Scientific Bulletin of National Mining University*. Retrieved from: [https://www.researchgate.net/publication/297487280 Ecological and geochemical assessment of the soil contamination levels in the areas of metallurgical enterprises operation](https://www.researchgate.net/publication/297487280_Ecological_and_geochemical_assessment_of_the_soil_contamination_levels_in_the_areas_of_metallurgical_enterprises_operation)
37. Global Report on Internal Displacement 2022. UNEP. The Internal Displacement Monitoring Centre. Geneva, Switzerland. 168. Retrieved from: https://www.internal-displacement.org/sites/default/files/publications/documents/IDMC_GRID_2022_LR.pdf
38. Environmental Assessment and Recovery Priorities for Eastern Ukraine. OSCE (2017). Kyiv: VAITE, 88. ISBN 978-966-2310-87-0. Retrieved from www.osce.org/files/f/documents/4/3/362566_0.pdf
39. Vasenko, O.H., Rybalova, O.V., Artemiev, S.R., Horban, N.S., Korobkova, H.V., Polozentsieva, V.O. ... Savichiev, A.A. (2015). *Intehralni ta kompleksni otsinky stanu navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha. [Integral and comprehensive assessments of the future of the natural environment] monograph*, Kharkiv, NUGZU [in Ukrainian].
40. Metodicheskie ukazaniya po ocenke stepeni opasnosti zagryazneniya pochvy himicheskimi veshchestvami (1987) MU 4266-87 [Guidelines for assessing the degree of danger of soil pollution by chemicals] [in Russian].
41. Rybalova, O. V. & Korobkina, K. M. (2017). Novyy pidkhid do otsinky zabrudnennya gruntiv vazhkymy metalamy. [New approach to assessment of soil contamination with heavy metals]. *Topical Problems of Modern Science*, 5, 86–89. Retrieved from <http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/.pdf> [in Ukrainian]
42. Method 7000B: Flame atomic absorption spectrophotometry (2007). Revision 2. Washington, DC. U.S. EPA. Retrieved from: <https://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-test-method-7000b-flame-atomic-absorption-spectrophotometry>
43. Method 3051A (SW-846): Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Oils (2007). Revision 1. Washington, DC. U.S. EPA. Retrieved from: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/3051a.pdf>

Екологічна оцінка забруднення ґрунтів важкими металами

Ольга Рибалова¹,

к. техн. н., доцент, ¹Національний університету цивільного захисту України,
вул. Чернишевська, 94, м. Харків, 61023, Україна;

Ганна Коробкова²,

к. геогр. н., ²Луганський національний університет імені Тараса Шевченка,
пл. Ковалю, 3, м. Полтава, 92703, Україна;

Олександр Чинчик³,

д. сільськогосп. н., доцент, ³Подільський державний аграрно-технічний університет,
вул. Шевченка, 13, м. Кам'янець-Подільський, 32300, Україна;

Тетяна Стрижак⁴,

к. сільськогосп. н., ⁴Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля,
пр. Центральний 59-а, м. Северодонецьк, 93400, Україна;

Олександр Бондар⁵,

к. сільськогосп. н., ⁵Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка,
пров. Ліцейний, 1, Кременець, Тернопільська область, 47003, Україна

Метою даного дослідження є розробка методу визначення рівня забруднення ґрунту важкими металами. Для цього ставляться наступні завдання: розробити методику комплексної оцінки забруднення ґрунту важкими металами на регіональному та локальному рівнях; визначити найбільш забруднені важкими металами регіони України; оцінити рівень небезпеки забруднення ґрунту важкими металами для територій з різними типами землекористування; оцінити забруднення ґрунтів важкими металами внаслідок бойових дій у Донецькій та Луганській областях. У зв'язку з різними морфологічними особливостями ґрунту і процесами ґрунтоутворення показано необхідність урахування фонових концентрацій та індексу самоочищення для оцінки рівня небезпеки забруднення ґрунтів важкими металами. Розроблена класифікація рівня небезпеки забруднення ґрунтів важкими металами. Дана оцінка забруднення ґрунтів важкими металами на місцевому рівні для рекреаційних зон міста, автодоріг, звалища побутових відходів і території промислового підприємства. Оцінка забруднення ґрунтів важкими металами на місцевому рівні показала, що в найгіршому стані знаходяться території промислового підприємства і звалища побутових відходів (5 клас – дуже поганий стан). Території рекреаційних зон віднесено до 2 класу (добрий стан), автодоріг – до 3 і 4 класу (відповідно задовільний і поганий стан). Розрахунок показників забруднення ґрунтів важкими металами на регіональному рівні за новим методом показав, що в найбільш небезпечному стані знаходяться території індустріальних центрів України. Дана оцінка забруднення ґрунтів важкими металами для територій Донецької і Луганської областей внаслідок впливу бойових дій за новим методом. Визначено чинники впливу бойових дій на стан забруднення ґрунтів важкими металами. В роботі представлено новий метод оцінки забруднення ґрунтів важкими металами на регіональному та місцевому рівні. Перевагою цього методу є урахування класу небезпеки забруднюючих речовин та індексу самоочищення. Розроблена нова класифікація рівня небезпеки забруднення ґрунтів важкими металами. Використання запропонованого методичного підходу буде сприяти одержанню порівнянних даних при оцінці рівня забруднення ґрунту важкими металами й визначенню пріоритетності впровадження природоохоронних заходів і підвищення рівня екологічної безпеки, що особливо актуально для післявоєнного відновлення нашої країни.

Ключові слова: забруднення ґрунтів, важкі метали, інтегральна оцінка, вплив бойових дій.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 5 вересня 2022 р.
Прийнята 12 листопада 2022 р.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО «ВІСНИКА ХАРКІВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ»

До «Вісника Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна серія «Геологія. Географія. Екологія», приймаються наукові статті обсягом біля 40 тис. знаків, присвячені дослідженням у галузях геології, геохімії, гідрогеології, географії, економічної та соціальної географії, екології, а також суміжних дисциплін. Матеріали можуть бути представлені українською або англійською мовами. Перевага надається англійським статтям. Рішення про публікацію приймається редакційною колегією „Вісника”, при цьому кожна стаття рецензується двома вченими–фахівцями у даній тематиці.

Матеріали подаються в електронному вигляді та надсилаються на електронну пошту geoco-series@karazin.ua. Електронна версія оформлюється у форматі Microsoft Word, шрифт Times New Roman, розмір 14, міжрядковий інтервал 1,5, всі поля по 2 см, відступ для абзацу – 0,75 см. **Жирним** шрифтом виділяються підзаголовки у статті. Ілюстрації, включаючи графіки і схеми, мають бути розміщені безпосередньо в тексті, а також подані окремими файлами. Скрізь, де можливо, доцільніше використовувати графіки, а не таблиці. Орієнтація сторінок – книжкова. Вирівнювання слід робити по ширині сторінки. Якщо стаття українською, є необхідним дублювання підписів до рисунків та назв таблиць і діаграм англійською.

Згідно вимог 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 (1800-2500 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. 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 2500-3500 знаків,
- змістовність (відобразити головний зміст статті та результати досліджень),
- структурованість (наявність обов'язкових елементів: *мета, методика, результати, наукова новизна, практична значимість, ключові слова*).

Після реферату необхідно навести **References** – перекладений англійською список використаних джерел, який має бути оформлений згідно міжнародного стандарту APA (American Psychological Association). До джерел у списках використаної літератури обов'язково необхідно додавати DOI (за наявності).

Рукописи, не оформлені належним чином, не приймаються до публікації.

Редакція залишає за собою право проводити редакційну правку рукопису.

У разі переробки статті авторами датою надходження рукопису статті в редакцію приймається дата її повторного надсилання.

При підтвердженні позитивного рішення на публікацію статті, автор має оформити та надіслати згоду на публікацію та оприлюднення персональних даних.

Зразок оформлення статті :

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-04>
УДК 551.242:551.77(477)

Надійшла 20 квітня 2022 р.
Прийнята 26 травня 2022 р.

Альпійські тектонічні рухи і соляна тектоніка Східної України

Сергій Горайнов,

к. г.-м. н., доцент, завідувач кафедри геології,
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,
майдан Свободи 4, Харків, 61022, Україна,
e-mail: gorjajnov@karazin.ua, <http://orcid.org/0000-0001-7831-6134>

У межах Східної України встановлені неотектонічні рухи, викликані як соляною тектонікою, так і аттичними (післяміоценовими – допліоценовими) насувними дислокаціями. Досліджувалися структурні результати взаємодії аттичних насувних деформацій і соляної тектоніки. Вони частково відображаються в сучасному рельєфі. Опорна поверхня, що відображає ці рухи - висхідно горизонтальна підшва кайнозою Східної України. Морфологія даної поверхні зображувалася ізолініями із кроком 20 м по вертикалі. В основу побудови карти опорної поверхні покладені державні геологічні карти території й дані по більш ніж 2100 свердловин. Відхилення від горизонтального залягання опорної поверхні вказують напрямки й амплітуду деформацій. У результаті побудов виявилися підняття опорної поверхні, не пов'язані з насувами.

Ключові слова: неотектоніка, кайнозой, соляна тектоніка, аттична складчастість, герцинська складчастість, Східна Україна.

Як цитувати: Горайнов С. В. Альпійські тектонічні рухи і соляна тектоніка Східної України / С. В. Горайнов // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 56. – С. 67-75. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-04>

In cites: Goryainov S. V. (2022). Alpine tectonic movements and salt tectonics of Eastern Ukraine. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (56), 67-75. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-04> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. Територія досліджень адміністративно розміщена у Харківській, Луганській, Донецькій та Дніпропетровській областях Східної України. Дослідження присвячено уточненню структурно-тектонічної будови району, що потрібно для розвитку газовидобувної галузі України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наявність неотектонічних рухів Східної України встановлювалася вже давно. У 1936 р. вийшла колективна монографія "Геологический очерк бассейна р. Донца" (під редакцією Д. М. Соболева). В ній, мабуть, вперше для території показано наявність неотектонічних підняттів земної кори, що відображаються у геоморфологічних рисах її будови [18]. ...

Список використаної літератури

1. Айзенберг Д.Е. Геология и нефтегазонаосность Днепровско-Донецкой впадины. Стратиграфия / Д.Е. Айзенберг, О.И. Берченко, Н.Е. Бражникова и др. / Под ред. Д.Е. Айзенберга; АН УССР, Ин-т геол. наук. – Киев : Наук. думка, 1988. – 148 с. ...

Alpine tectonic movements and salt tectonics of Eastern Ukraine

Sergey Goryainov,

PhD (Geology and Mineralogy), Associate Professor, Head of Department of Geology,
V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

ABSTRACT

Within Eastern Ukraine, in the course of previous studies, neotectonic movements were established, caused by both salt tectonics and Attic (post-Miocene - pre-Pliocene) thrust dislocations of northeastern vergence. They are partially displayed in modern relief.

The aim of the study was to reveal the structural results of the interaction of post-Pliocene fold-thrust deformations and modern salt tectonics of Eastern Ukraine. ...

Keywords: neotectonics, Cenozoic, salt tectonics, Attic orogeny, Hercynian orogeny, Eastern Ukraine.

References

1. Aizenverg D.E., Berchenko O.I., Brazhnikova N.E. et al. (1988). *Geologiya i neftegazonosnost' Dneprovsko-Donetskoy vpadiny. Stratigrafiya [Geology and oil and gas potential of the Dnieper-Donets depression. Stratigraphy]. Kyiv, Naukova Dumka, 148. [in Russian]*

Наукове видання

ВІСНИК
ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
імені В. Н. КАРАЗІНА

серія
«ГЕОЛОГІЯ. ГЕОГРАФІЯ. ЕКОЛОГІЯ»

Випуск 57

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Українською та англійською мовами

Редактор В. Г. Суярко
Технічний редактор О. В. Чуєнко
Комп'ютерне верстання О. В. Чуєнко
Відповідальний за випуск В. Г. Суярко

Підписано до друку 28.11.2022 р. Формат 60x84/8. Папір офсетний.
Друк цифровий. Ум. друк. арк. 32,7. Обл.-вид. арк. 37,9.
Наклад 100 пр. Зам. № 9/22. 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.