



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

Для науковців, фахівців і викладачів вищих закладів освіти.

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

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

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

Затверджено до друку рішенням Вченої ради Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (протокол № 8 від 27.04.2020 р.).

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

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

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

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

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

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

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

Статті пройшли внутрішнє та зовнішнє рецензування.

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

## EDITORIAL BOARD

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

**Niemets, Kostiantyn** – Chairman of the Editorial Board, Doctor of Sciences (Geography), Professor of the Department of Human Geography and Regional Studies, School of Geology, Geography, Recreation and Tourism (SGGRT), V. N. Karazin Kharkiv National University (V. N. Karazin KhNU).

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

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

**Kostrikov, Sergiy** – Deputy Chairman of the Editorial Board, Doctor of Sciences (Geography), Professor of the Human Geography and Regional Studies, SGGRT, V. N. Karazin KhNU.

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

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

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

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

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

**Sehida, Kateryna** – Doctor of Sciences (Geography), Assistant Professor of the Department of Human Geography and Regional Studies, SGGRT, V. N. Karazin KhNU.

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

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

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

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

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

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

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

## INTERNATIONAL COUNCIL

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

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

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

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

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

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

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

## З М І С Т

### ХРОНІКА

ДО ЮВІЛЕЮ Олександра Юхимовича Лукіна .....	8
---	---

### ГЕОЛОГІЯ

*Барташук О. В.*

ТЕКТОНІЧНА ІНВЕРСІЯ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ. ЧАСТИНА 1. КОЛІЗІЙНА ТЕКТОНІКА ЗАХІДНО-ДОНЕЦЬКОГО ГРАБЕНА .....	10
--	----

*Веклич О. Д.*

БІОСТРАТИГРАФІЧНЕ РОЗЧЛЕНУВАННЯ МААСТРИХТСЬКИХ ВІДКЛАДІВ ПІВНІЧНОЇ ОКРАЇНИ ДОНБАСУ ЗА ФОРАМІНІФЕРАМИ .....	24
---	----

*Давибіда Л. І., Тимків М. М.*

ГЕОСТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ І ОПТИМІЗАЦІЯ ДЕРЖАВНОЇ МЕРЕЖІ ГІДРОГЕОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ В МЕЖАХ БАСЕЙНУ ПРИП'ЯТІ (УКРАЇНА) .....	35
--	----

*Крюченко Н. О., Жовинський Е. Я., Папарига П. С.*

ГЕОХІМІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МАРМАРОСЬКОГО МАСИВУ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ .....	51
---	----

*Осіпов В. В., Бізун О. М.*

ОЦІНКА ПЕДОТРАНСФЕРНИХ ФУНКЦІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ФІЛЬТРАЦІЇ ҐРУНТІВ УКРАЇНИ .....	68
---	----

*Поверенний С. Ф., Лур'є А. Й., Піддубна О. В., Фик О. І.*

ЩОДО МОЖЛИВОСТІ ОЦІНКИ ЗМОЧУВАНОСТІ НАФТОГАЗОНОСНИХ ПЛАСТІВ ЗА ЇХ ОСНОВНИМИ КОЛЕКТОРСЬКИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ .....	79
---	----

*Suyarko V. G., Ishchenko L. V., Yerofiev A. M., Sukhov V. V., Shmorh Ya. S.*

HEAVY METALS IN OILS AND FORMATION OF BITUMEN-HYDROTHERMAL ASSOCIATIONS IN THE ROCKS OF THE DNIEPER-DONETSK PALEORIFT .....	93
--	----

### ГЕОГРАФІЯ

*Галаган О. О., Корогода Н. П., Гродзинський М. Д., Ободовський О. Г.*

ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ ПРИАВТОМАГІСТРАЛЬНИХ ГЕОСИСТЕМ СПОЛУКАМИ СВИНЦЮ .....	103
---	-----

*Hudzevich A. V., Liubchenko V. Ye., Bronnikova L. F., Hudzevich L. S.*

LANDSCAPE APPROACH TO TAKE INTO ACCOUNT REGIONAL FEATURES ORGANIZATION OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT OF THE PROTECTED AREA .....	119
--	-----

*Денисюк Г. І., Мезенцев К. В., Антіпова Є. А., Кізюн А. Г.*

ГЕОГРАФІЯ ПОВСЯКДЕННЯ: ПРОСТОРОВЕ РІЗНОМАНІТТЯ ПОВСЯКДЕННОГО ЖИТТЯ .....	130
---	-----



<i>Elizbarashvili N., Niemets L. M., Meladze G., Sehida K. Yu., Lohvynova M. O., Meladze M., Sidamonidze D.</i>	
FORCED MIGRATIONS OF GEORGIA AND UKRAINE: REASONS FOR THE EMERGENCE, PROCESS FEATURES, IMPLICATIONS FOR COUNTRIES .....	139
<i>Kostrikov S. V., Bubnov D. Ye., Pudlo R. A.</i>	
URBAN ENVIRONMENT 3D STUDIES BY AUTOMATED FEATURE EXTRACTION FROM LiDAR POINT CLOUDS .....	156
<i>Маргарян В. Г., Клименко В. Г., Ткаченко Т. Г.</i>	
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЗИМНЕГО МИНИМАЛЬНОГО МЕСЯЧНОГО СТОКА В РЕКАХ БАССЕЙНА ОЗЕРА СЕВАН (АРМЕНИЯ) .....	182
<i>Олійник В. Д., Стаднікова Н. В.</i>	
МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖІ ПРИМІСЬКОЇ ЗОНИ МІСТА ОДЕСА .....	193

## **ЕКОЛОГІЯ**

<i>Полевич О. В., Удалов І. В., Кононенко А. В., Чомко Ф. В.</i>	
ВІДНОВЛЕННЯ ЗАБРУДНЕНОГО ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ТА РАДІОНУКЛІДАМИ ҐРУНТОВОГО ПОКРИТТЯ З ЗАСТОСУВАННЯМ СУЧАСНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ .....	203
<i>Sokolov Ye. V., Shevchenko R. I., Madani M. M.</i>	
ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE TERRITORIAL COMPLEXES OF TATARBUNARS'KYI DISTRICT OF ODESSA REGION .....	216
<i>Fesyuk V. O., Plyin L. V., Moroz I. A., Plyina O. V.</i>	
ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF WATER QUALITY IN VARIOUS LAKES OF THE VOLYN REGION, WHICH IS INTENSIVELY USED IN RECREATION .....	236
<i>Чугай А. В., Сафранов Т. А.</i>	
ОСОБЛИВОСТІ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ МІСТ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я .....	251

<b>ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО «ВІСНИКА ХАРКІВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ» .....</b>	<b>261</b>
---	------------

## CONTENT

### CHRONICLE

TO MARK THE ANNIVERSARY OF Oleksandr LUKIN .....	8
--	---

### GEOLOGY

*Bartashchuk Oleksii*

TECTONIC INVERSION OF THE DNIEPER-DONETS BASIN. PART 1. COLLIZION TECTONICS OF THE WESTERN-DONETS GRABEN .....	10
---	----

*Veklych Olena*

BIOSTRATIGRAPHIC DIVISION OF THE MAASTRICHTIAN DEPOSITS OF THE NORTHERN OUTSKIRTS OF DONBAS BY FORAMINIFERS .....	24
--	----

*Davybida Lidiia, Tymkiv Mariia*

GEOSTATISTICAL ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF THE STATE HYDROGEOLOGICAL MONITORING NETWORK WITHIN THE PRIPYAT RIVER BASIN (UKRAINE) .....	35
---	----

*Kryuchenko Nataliya, Zhovinsky Edward, Paparyga Petro*

GEOCHEMICAL RESEARCHES OF THE MARMAROSH MASSIF OF THE UKRAINIAN CARPATHIANS .....	51
--	----

*Osypov Valeriy, Bihun Oksana*

EVALUATION OF PEDOTRANSFER FUNCTIONS TO PREDICT SATURATED HYDRAULIC CONDUCTIVITY OF UKRAINIAN SOILS .....	68
--	----

*Poverenniy Sergey, Lurye Anatoliy, Pidubna Olena, Fyk Oleksandr*

ON THE POSSIBILITY OF WETTABILITY ASSESSMENT OF OIL AND GAS RESERVOIRS BY THEIR MAIN COLLECTOR PROPERTIES .....	79
--	----

*Suyarko Vasyl, Ishchenko Lilia, Yerofieiev Artem, Sukhov Valeriy, Shmorh Yanina*

HEAVY METALS IN OILS AND FORMATION OF BITUMEN-HYDROTHERMAL ASSOCIATIONS IN THE ROCKS OF THE DNIEPER-DONETSK PALEORIFT .....	93
--	----

### GEOGRAPHY

*Halahan Oleksandr, Korohoda Nataliia, Grodzynskiy Mykhailo, Obodovskiy Oleksandr*

GEOINFORMATION MODELING OF SOIL POLLUTION PROCESSES BY LEAD COMPOUNDS IN HIGHWAY GEOSYSTEMS .....	103
--	-----

*Hudzevich Anatoliy, Liubchenko Vasyl, Bronnikova Lina, Hudzevich Ludmila*

LANDSCAPE APPROACH TO TAKING INTO ACCOUNT REGIONAL FEATURES ORGANIZATION OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT OF THE PROTECTED AREA .....	119
--	-----

*Denysyk Grygorii, Mezentsev Kostyantyn, Antipova Ekaterina, Kiziun Alla*

AN EVERYDAY GEOGRAPHY: SPATIAL DIVERSITY OF THE EVERYDAY LIFE ...	130
---	-----

<i>Elizbarashvili Nodar, Niemets Liudmyla, Meladze Giorgi, Sehida Kateryna, Lohvynova Maryna, Meladze Maia, Sidamonidze David</i>	
FORCED MIGRATIONS OF GEORGIA AND UKRAINE: REASONS FOR THE EMERGENCE, PROCESS FEATURES, IMPLICATIONS FOR COUNTRIES .....	139
<i>Kostrikov Sergiy, Bubnov Dmitry, Pudlo Rostyslav</i>	
URBAN ENVIRONMENT 3D STUDIES BY AUTOMATED FEATURE EXTRACTION FROM LiDAR POINT CLOUDS .....	156
<i>Margaryan Varduhi, Klimenko Valentina, Tkachenko Tetiana</i>	
SPACE-TEMPORARY VARIABILITY OF THE WINTER MINIMUM MONTHLY RUNOFF IN THE RIVERS OF LAKE SEVAN BASIN (ARMENIA) .....	182
<i>Oliinyk Valentyna, Stadnikova Nataliia</i>	
METHODOLOGICAL APPROACHES TO DETERMINING THE BORDER OF THE SUBURBAN ZONE OF THE CITY OF ODESSA .....	193

## **ECOLOGY**

<i>Polevich Oleg, Udalov Igor, Kononenko Alina, Chomko Fedir</i>	
REMEDIATION OF CONTAMINATED HEAVY METALS AND RADIONUCLIDES OF SOIL COVERING WITH THE APPLICATION OF MODERN ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES .....	203
<i>Sokolov Yevhen, Shevchenko Roman, Madani Mariia</i>	
ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE TERRITORIAL COMPLEXES OF TATARBUNARS'KYI DISTRICT OF ODESSA REGION .....	216
<i>Fesyuk Vasyl, Ilyin Leonid, Moroz Iryna, Ilyina Olga</i>	
ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF WATER QUALITY IN VARIOUS LAKES OF THE VOLYN REGION, WHICH IS INTENSIVELY USED IN RECREATION .....	236
<i>Chugai Angelina, Safranov Tamerlan</i>	
FEATURES OF AIR POLLUTION THE CITIES OF THE NORTH-WESTERN BLACK SEA REGION .....	251
<b>REQUIREMENTS TO THE MATERIALS SUBMITTED TO THE “VISNYK OF V. N. KARAZIN KHARKIV NATIONAL UNIVERSITY” .....</b>	<b>261</b>

# ХРОНІКА

## ДО ЮВІЛЕЮ Олександра Юхимовича ЛУКІНА



Доктор геолого-мінералогічних наук, професор, академік НАН України, лауреат Державної премії України в галузі науки та техніки, лауреат премії НАН України імені В.І. Вернадського, Почесний розвідник надр.

Народився 5 лютого 1940 року у Харкові. Батьки Олександра були науково-педагогічними працівниками. Батько Ю.І. Лукін всесвітньо відомий вчений-зоолог, який деякий час працював завідувачем кафедри на біологічному факультеті Харківського університету. У останні часи на цьому факультеті проводилася міжнародна конференція присвячена пам'яті професора Ю.І. Лукіна.

Перші наукові дослідження Олександром Юхимовичем були виконані у Харківському державному університеті. Стаття, яка була написана по матеріалах дипломної роботи, була опублікована у 1963 році в «Докладах академії наук СРСР». У тому ж році О.Ю. Лукін виступив у Москві на міжнародній конференції «Хімія земної кори» з повідомленням з проблем мінералогії.

Після закінчення університету і до теперішнього часу О.Ю. Лукін працює у Чернігівському філіалі УкрДГРУ, де він пройшов шлях від геолога до керівника цієї організації.

У 1970 році О.Ю. Лукін захищає у Харків-

ському державному університеті кандидатську дисертацію на тему «Формации и вторичные изменения каменноугольных отложений Днепро-Донецкой впадины (в связи с нефтегазонасностью)», яка отримала високу оцінку провідних геологів-нафтовиків країни.

На протязі всієї трудової діяльності О.Ю. Лукін уміло поєднував вирішення прикладних завдань з науково-дослідницькою роботою. Він керував рядом комплексних програм, які розроблялися відповідно до постанов уряду, розробив численні нові напрямки пошуково-розвідальних робіт на нафту і газ, запропонував та впровадив багато рекомендацій щодо проведення геолого-геофізичних досліджень на перспективних структурах, приймав участь у відкритті нових нафтогазоносних комплексів і окремих родовищ нафти та газу.

Значним етапом у науковій діяльності О.Ю. Лукіна був захист докторської дисертації «Литогеодинамические факторы нефтегазонакопления в авлакогенных бассейнах», яка базується на всебічному поєднанні таких напрямків як літологія, геодинаміка, нафтогазова геологія і геохімія.

Особливим періодом діяльності О.Ю. Лукіна була робота у спеціалізованій Вченій раді з захисту дисертацій, яка діяла у період 2012-2016

років на геолого-географічному факультеті Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. О.Ю. Лукін був не просто членом спецради, він був її лідером. Практично всі дисертації мали можливість консультуватися у нього, його поради і виступи на захистах допомогли підготувати низку спеціалістів-геологів з напрямків геології нафти та газу і гідрогеології найвищого наукового рівня.

Різносторонність наукових інтересів О.Ю. Лукіна проявилася у його деяких історичних дослідженнях, які пов'язані з суспільним та науковим життям країни у різні періоди. У статтях «Контури життя і творчості зоолога Е.І. Лукина» (2005 рік) і «Жизнь и судьба профессора Е.И. Лукина» (2006 рік) надано опис періоду боротьби з інакомисленням у нашій країні, а у даному випадку з ідеологією генетики. Ще одне блискуче історичне дослідження надано, у статті О.Ю. Лукіна щодо ролі В.І. Вернадського у світовій та вітчизняній науці. Фундаментально описані наукові та філософські досягнення цього великого вченого, який зробив значний вклад в геологічну науку.

Життєво важливим для нашої держави проблемам оцінки вуглеводневого потенціалу надр України та їх освоєнням присвячені численні публікації, доклади та виступи О.Ю. Лукіна. Він автор більш як 300 печатних робіт, у т.ч. монографій. Був головним редактором великих монографічних видань, а також атласів з різних напрямків

геологічних досліджень.

Для О.Ю. Лукіна, як видатного вченого, характерною рисою наукової діяльності була і є всеосяжна сукупність визначальних властивостей блискавично бачити, оцінювати і втілювати у життя все найголовніше і найактуальніше. А це фундаментальні праці з літології і процесів вторинних перетворювань, літогеодинамічних факторів нафтогазонакопичення, перспектив нафтогазоносності несклепінних пасток та порід кристалічного фундаменту, теоретичних основ генезису сланцевого газу та проблеми газу щільних порід та багато інших.

Шановний Олександр Юхимович, Ваші наукові надбання, безсумнівно, стимулювали, стимулюють і стимулюватимуть розвиток нафтогазової геології не тільки в Україні, але й представляють великий внесок у світову геологічну науку. Ви активно приймали участь у багатьох конференціях, симпозіумах та конгресах, які проводилися у різних країнах Європи та Азії. Ваша праця відмічена Почесними грамотами Кабінету Міністрів України та Верховної Ради України.

Редакція журналу «Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна» та факультет геології, географії, рекреації та туризму Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна приєднуються до численних поздоровлень на Вашу адресу з побажаннями міцного здоров'я, втілення нових ідей та бажає багато років плідної наукової діяльності!

*Співробітники факультету геології, географії, рекреації і туризму  
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна  
та  
редакційна колегія «Віснику»*

# ГЕОЛОГІЯ

УДК 551.24.548:242.7:248(477)

**Олексій Вацлавович Барташук,**

к. геол. н., провідний наук. співробітник, Український науково-дослідний інститут природних газів,  
Гімназійна наб., 20, м. Харків, 61010, Україна,

e-mail: [alekseybart@gmail.com](mailto:alekseybart@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0001-7831-6134>

## ТЕКТОНІЧНА ІНВЕРСІЯ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ. ЧАСТИНА 1. КОЛІЗІЙНА ТЕКТОНІКА ЗАХІДНО-ДОНЕЦЬКОГО ГРАБЕНА

*Вивчалися структурні деформації платформного осадового чохла Дніпровсько-Донецької западини, сформовані на етапах тектонічної активізації. На підставі структурного аналізу матеріалів геокартування досліджено тектонічний стиль інверсійних деформацій рифтогенної структури в межах Західно-Донецького грабена.*

*Геодинамічна обстановка інтерференції загально-плитного колізійного стискання з регіональним горизонтально-зсувним полем напруг зумовила горизонтальні рухи геомас осадових порід та деформаційне структуроформування з утворенням трьох дислокаційних поверхів - герцинського (заальсько-пфальського), ранньоальпійського (ларамійського) та пізньоальпійського (аттичного). Аналіз структурних рисунків різновкових тектонітів свідчить, що складчасті деформації в осадовій товщі контролювалися решітками насувів західних, північно-західних та північно-східних азимутів простягання із значними амплітудами горизонтальних рухів. Насувна решітка та лінійна підкидо-складчастість мають характерний кулісний структурний рисунок та криволінійну морфологію, що свідчить про їх інтенсивне деформування при горизонтальному зсуванні в умовах обмеженого геологічного простору грабену. Тектонічний стиль деформацій визначається насуванням на слабо дислокований чохол западини неодноразово з'м'ятих у складки осадових геомас з боку Донецької складчастої споруди. Структурно-тектонічний каркас алохтону складають ешелони насувів, кулісно зчленовані ансамблі підкидо-складок, лускаті покриви поперечного витискання геомас від осевої до бортових зон та складчасті покриви поздовжнього насування в бік западини. Разом вони формують тектонічну область складчастих покривів насування, головним структурним елементом якої є Західно-Донецький сегмент тектонічного вторгнення геомас. Північно-східний фланг сегменту сформований Торсько-Дробишівською, Північно-Донецькою, Матросько-Тошківською зонами, південно-західний – зоною лускатих складчастих покривів, що контролюються ешелонами герцинських та альпійських насувів. Вісь сегменту формують Петровсько-Новотроїцька, Великокомишуваська, Дружківсько-Костянтинівська та Головна антиклиналі, що паралельні до простягання структуроформуючих насувів і підкидо-зсувів.*

*На етапах платформної активізації рифтогенна структура Західно-Донецького грабена була зруйнована колізійними деформаціями з утворенням Західно-Донецької покривно-складчастої тектонічної області. Особливістю інверсійної тектоніки є формування криволінійних в плані, кулісно зчленованих підкидо-складчастих зон. За стилем та інтенсивністю деформацій в північній частині області виділено Лугансько-Комишуваський тектонічний район кулісно ешелонованої підкидо-складчастості, на північ – Кальміус-Торецький район лускатих покривів насування.*

**Ключові слова:** насувна решітка, лускаті покриви, підкидо-складки, сегмент тектонічного вклинювання, покривно-складчаста область.

**А. В. Барташук. ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ИНВЕРСИЯ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ. ЧАСТЬ 1. КОЛЛИЗИОННАЯ ТЕКТОНИКА ЗАПАДНО-ДОНЕЦКОГО ГРАБЕНА.** Изучались структурные деформации платформенного осадочного чехла Днепровско-Донецкой впадины, сформированные на этапах тектонической активизации. На основе структурного анализа материалов геокартирования исследован тектонический стиль инверсионных деформаций рифтогенных структур в пределах Западно-Донецкого грабена.

*Геодинамическая обстановка интерференции внутри-плитного коллизионного сжатия с региональным горизонтально-сдвиговым полем напряжений обусловила значительные горизонтальные перемещения геомасс осадочных пород и деформационное складкообразование с образованием трех дислокационных этажей – позднегерцинского (заальско-пфальского), раннеальпийского (ларамийского) и позднеальпийского (аттического). Анализ структурных рисунков разновозрастных тектонитов свидетельствует, что складчатые деформации в осадочной толще контролировались решетками надвигов западных, северо-западных и северо-восточных азимутов простирания со значительными амплитудами горизонтальных движений. Надвиговая решетка и линейная взбросо-складчатость, которую они контролируют, имеют характерный кулисный структурный рисунок и криволinéйнúю морфологию, что свидетельствует об их деформировании при интенсивном горизонтальном смещении в условиях ограниченного геологического пространства. Тектонический стиль деформаций определялся надвигом на слабо дислоцированный осадочный чехол впадины неоднократно смятых в складки осадочных геомасс со стороны Донецкого складчатого сооружения. Структурно-тектонический каркас алохтона составляют ешелоны надвигов, кулисно сочлененные ансамбли взбросо-складок, чешиучатые покровы поперечного выдавливания геомасс от осевой к бортовым зонам и складчатые покровы продольного надвижения в направлении впадины. Вместе они формируют тектоническую область складчатых покровов надвигов, главным структурным элементом которой является Западно-Донецкий сегмент тектонического вклинивания геомасс. Северо-восточный фланг сегмента сформирован Торско-Дробышевской, Северо-Донецкой, Матросско-Тошковской зонами, юго-западный – зонами чешиучатых складчатых покровов, контролируемых ешелонами герцинских и альпийских надвигов. Ось сегмента формируют Петровско-Новотроїцькая, Великокомишуваськая, Дружковско-Костантинівська и Главная антиклиналі, что простыраются параллельно структуроформирующим надвигам и взбросо-сдвигам.*

*На этапах платформенной активизации рифтогенная структура Западно-Донецкого грабена была разрушена коллизионными деформациями с образованием Западно-Донецкой покривно-складчатой тектонической области. Особенностью*

*инверсионной тектоники является формирование криволинейных, кулисно сочлененных, взбросо-складчатых зон. По стилю и интенсивности деформаций в ее северной части выделен Луганско-Камышевахский район кулисно эшелонированной взбросо-складчатости, на юге – Кальмиус-Торецкий район чешуйчатых покровов надвигания.*

*Ключевые слова: надвиговая решетка, чешуйчатые покровы, взбросо-складки, сегмент тектонического вклинивания, покровно-складчатая область.*

**Вступ.** Геологічні дані свідчать, що земна кора Сарматської плити зазнала істотних тектонічних напруг та деформацій через колізійну взаємодію із суміжними складчастими поясами і активними тектонічними плитами [1, 2]. Відомо, що геодинамічний режим інверсійних етапів історії геологічного розвитку внутрішньоплитної геоструктури – Дніпровсько-Донецького палеорифту (ДДП) визначався зовнішнім зустрічним стресовим тиском субмеридіональних напрямків [3-5]. Показано, що кожен з етапів активізації платформного тектогенезу завершувався формуванням власного структурного плану інверсійних деформацій, тому сучасна тектонічна будова рифтового осадового басейну – Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) є структурним наслідком попередніх інверсійних етапів еволюції рифтогенної структури [6].

Виходячи з цього, актуальним питанням регіональної геотектоніки є дослідження структурних наслідків тектонічної інверсії з метою пізнання природних механізмів структурно-кінематичної еволюції земної кори ДДП. Перша частина статті присвячена вивченню сукупності вторинних структурних деформацій, якими визначається тектонічний стиль інверсійних трансформаций рифтогенної структури ДДЗ.

**Аналіз попередніх досліджень.** Важливе значення для пізнання механізмів тектонічної інверсії ДДЗ мають новітні дані геокартування території Західно-Донецького грабена (ЗДГ) [7]. В осадовому чохла грабена виявлено три кутових та стратиграфічних неузгодження, що були сформовані на етапах тектонічної інверсії: 1) між слабо дислокованим міоценом та недислокованим пліоцен-антропогеном – внаслідок прояву аттичної фази пізньоальпійського тектогенезу, на протязі якої сформувалася аттична решітка тектонітів; 2) між верхньою крейдою та олігоценом – через прояв ларамійської фази ранньоальпійських орогенічних рухів, коли було утворено ларамійську решітку тектонітів; 3) на межі мезозою та палеозою – через прояв заальської та пфальської фаз складчастості, що сформувала пізньогерцинську решітку тектонітів. Причому, кожна генерація інверсійних тектонітів має власну азимутальну орієнтацію напрямків рухів, контролюючи три дислокаційні структурні поверхні – Герцинський, Ларамійський та Аттичний.

Герцинський структурний поверх сформований в заальську та пфальську фази платформного орогенезу колізійними рухами у південно-

західних румбах [7]. Інтенсивність структурних деформацій є неоднорідною на території перехідної зони між ДДЗ та Донецькою складчастою спорудою (ДСС): вона максимальна в її південно-західній частині, зменшуючись у центрі та на північно-східному фланзі. Це визначає варіації глибини перед-мезозойського розмиву: в північно-східній та центральній частинах перехідної зони на поверхню розмиву з кутовим неузгодженням налягає підшва мезозою, проте, у південно-західній частині герцинський поверх з різким кутовим неузгодженням перекривається олігоцен-міоценовим осадовим чохлам. На південному сході та на півдні перехідної зони на поверхні розмиву з кутовим неузгодженням залягають пліоцен-четвертинні відклади.

Структуру герцинського поверху контролює решітка тектонітів "стильського" динамометаморфічного комплексу [8]. В осьовій зоні ЗДГ її складають ешелони насувів південно-західного напрямку рухів (рис. 1). Вони контролюють тектонічні покриви та менші за розмірами луски насунання, які ускладнюють тектоніку Бахмуцької, Комишувасько-Лиманської, та Кальміус-Торецької осьових структурних улоговин. Це стало підставою для виділення Донецької лускувато-насувної зони у складі "герцинської складчастої області".

На південному борту грабена, на підставі польових досліджень виділено Південно-Донбаську меланжеву зону, що є південно-західним обмеженням Кальміус-Торецької улоговини [8]. Вона складена блоками докембрійських кристалічних порід, вулканогенно-теригенної товщі девону, карбонатних відкладів нижнього карбону, розміром до перших кілометрів. Блоки насунуті одне на одного по "стильських" тектонітах у південно західному напрямку під пологими кутами (до 30°), чим зумовлено квазі-шарувате залягання тектонітів меланжу у свитах палеозою. Меланж проривається вулканічними тілами андезит-трахі-андезитового та Південно-Донбаського магматичних комплексів, що визначає його верхньою віковою межею заальську фазу орогенезу.

Ларамійський структурний поверх сформований колізійними рухами північних напрямків [9]. В осьовій зоні ЗДГ дислокаційну структуру поверху контролюють ешелони насувів південно-західного напрямку рухів (рис. 2). Північно-східною межею поверху вважаються осі Східно-Шебелинської, Оскільської, Макіївської та Пів-



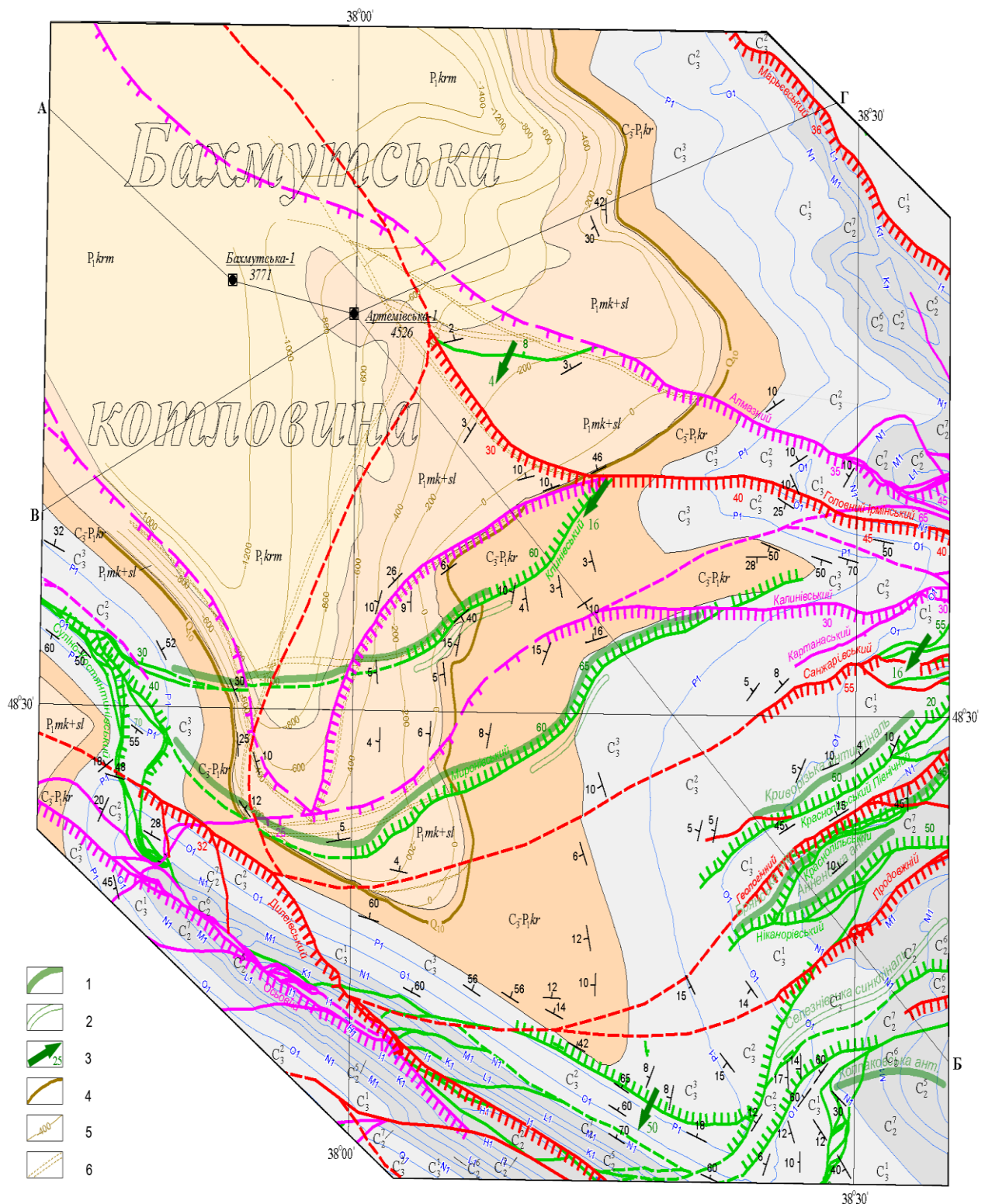


Рис. 1. Фрагмент карти Герцинського структурного поверху, за даними геокартування [7].

Умовні позначення:

- 1- антиформи; 2- синформи; 3- напрямок насунання за інструментальними вимірами; 4- маркуючий вапняк Q<sub>10</sub>; 5- стратоізогіпси вапняку Q<sub>10</sub>; 6- лінії перетину вапняку Q<sub>10</sub> з тектонітами



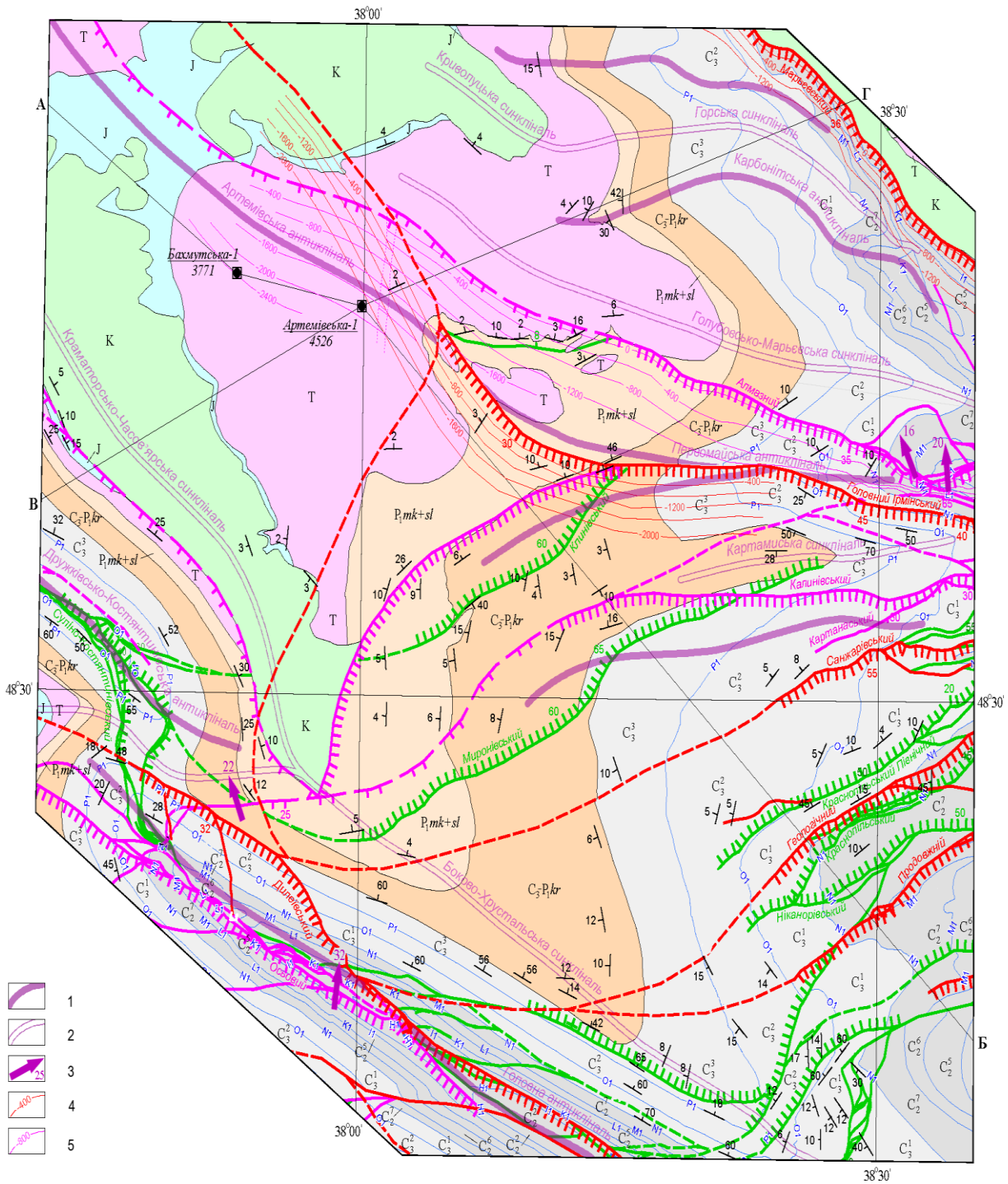


Рис. 2. Фрагмент карти Ларамійського структурного поверху, за даними геокартування [7].

Умовні позначення:

- 1 – антиформи; 2 – синформи; 3 – напрямок насування за інструментальними вимірами;
- 4 – ізогіпси площин аттичних насувів; 5 – ізогіпси площин ларамійських насувів

нічно-Донецької синкліналей [7]. Амплітуди горизонтальних рухів за магістральними насувами – Північно-Донецькому, Алмазному та Дробишівському – досягають перших кілометрів. Решітка насувів, разом з контрольованими ними лінійними зонами антиклінальних підкидо-складок та ускладнюючими їх будову соляними діапірами, зазнали структурно-речовинних перетворень під впливом глибинних гідротермально-метасоматичних флюїдальних систем з формуванням "остромогильського комплексу аргілізитів і пропілітів" з ртутно-поліметалічною мінералізацією в окремих районах ЗДГ [8]. Наявність просторового обмеження з півночі, заходу та півдня території ларамійських складчастих деформацій стало підставою для виділення у перехідній зоні "ларамійської складчастої області".

Аттичний структурний поверх має складчато-насувну структуру, яку контролює "шумилівський" дислокаційний комплекс [8]. Аттичні тектоніти мають північно-східну вергентність та утворюють насувну решітку, що контролює крупні тектонічні пластини-покриви [10]. Найкрупнішим з аттичних насувів є Мар'євський з амплітудою горизонтальних рухів у крилах до 4,5 км (рис. 3). Решта насувів мають амплітуди в перші сотні метрів: Лисичанський – 300-350 м, Головний Ірмінський – 300-320 м. Тектонічні рухи аттичного віку зумовили подальшу фрагментацію геомас осадкових комплексів на лінзовидні у плані блоки, розміром до перших десятків кілометрів, та викликали їх насування на північний захід, в напрямку ДДЗ. Це стало підставою для виділення в межах ЗДГ "зони лускуватих насувів. Сукупність аттичних тектонітів "шумилівського" комплексу та контрольованих ними інверсійних деформаційних структур відображається у денній поверхні Донецьким кряжем та Приазовською височиною.

**Мета і завдання досліджень.** Метою досліджень є ідентифікація сукупності деформаційних структур, сформованих в ЗДГ на етапах тектонічної інверсії. На підставі структурного аналізу решіток тектонітів пізньогерцинського, ларамійського та аттичного структурних поверхів вивчалися: 1- структурно-тектонічний каркас, що контролює просторове поширення колізійних деформацій; 2- тектонічний стиль колізійних деформацій для визначення природного механізму тектонічної інверсії.

**Матеріали та методи досліджень.** При регіональних геотектонічних дослідженнях використовувався структурно-кінематичний аналіз вторинних деформаційних структур [11]. Аналітичні картографічні матеріали складають геологічні карти герцинського, ларамійського та аттичного структурних поверхів, геологічні розрі-

зи, порівняльна схема тектонітів трьох генерацій, за матеріалами геокартування території ЗДГ [7] і тектонічна схема розломів ДДЗ [12].

**Результати досліджень.** Геодинамічна обстановка інтерференції загально-плитного колізійного стискання з регіональним горизонтально-зсувним полем напруг, що панувала на етапах платформної тектонічної активізації [3-5], зумовила значні амплітуди горизонтальних переміщень геомас осадкових порід та деформаційне структуроформування з утворенням трьох дислокаційних поверхів - герцинського (заальсько-пфальського), ранньоальпійського (ларамійського) та пізньоальпійського (аттичного) [7].

Структурний аналіз карт трьох структурних поверхів та геологічних розрізів (рис. 1-3, 4) свідчить, що синеклізна, слабодислокована структура осадкової товщі ЗДГ значно ускладнена альпійськими (аттичними і ларамійськими) та пізньогерцинськими (заальськими і пфальськими) покривно-насувними та підкидо-складчастими деформаціями. Причому, на кожному з етапів деформацій сформувалася окрема, динамічно спряжена решітка насувів та підкидо-зсувів власного азимутального напрямку вергентності.

У решітках тектонітів трьох генерацій впевнено ідентифіковано "реверсний" тип розривів, що є характерним для горизонтально-зсувної тектоніки [13]. Вони є скидо-зсувами по фундаменту і девону з переважанням вертикальної амплітуди зміщень, а в розрізі карбону та мезозойською – насувами і зсуво-підкидами з істотною горизонтальною складовою рухів. За кулісними рядами насувів та підкидів утворилися тектонічні зриви активізованих геомас у формі пластин-лусок, що насуваються на південний та північний борти з боку структурних улоговин осової зони Дніпровського грабену [14]. Встановлено, що в трьох структурних поверхах платформного чохла – Герцинському, Ларамійському та Аттичному, решітки насувів контролюють ешелони тектонічних лусок і покривів та кулісно зчленовані підкидо-складки, які утворюють структурно-тектонічний каркас колізійного короблення осадкових горизонтів та контролюють формування складчастих та покривно-насувних деформацій в (рис. 1-3, 4).

Аналіз карти герцинського структурного поверху (рис. 1) та геологічних розрізів (рис. 4) свідчить, що герцинськими рухами сформовано насувну решітку тектонітів, що контролює систему поздовжнього насування палеозойського осадкового чохла у напрямку південного борту. Її складають пластини тектонічних покривів та ешелонованої кулісної підкидо-складчастості.

На північних схилах грабену покривно-складчасту систему обмежують кулісно зчлено-

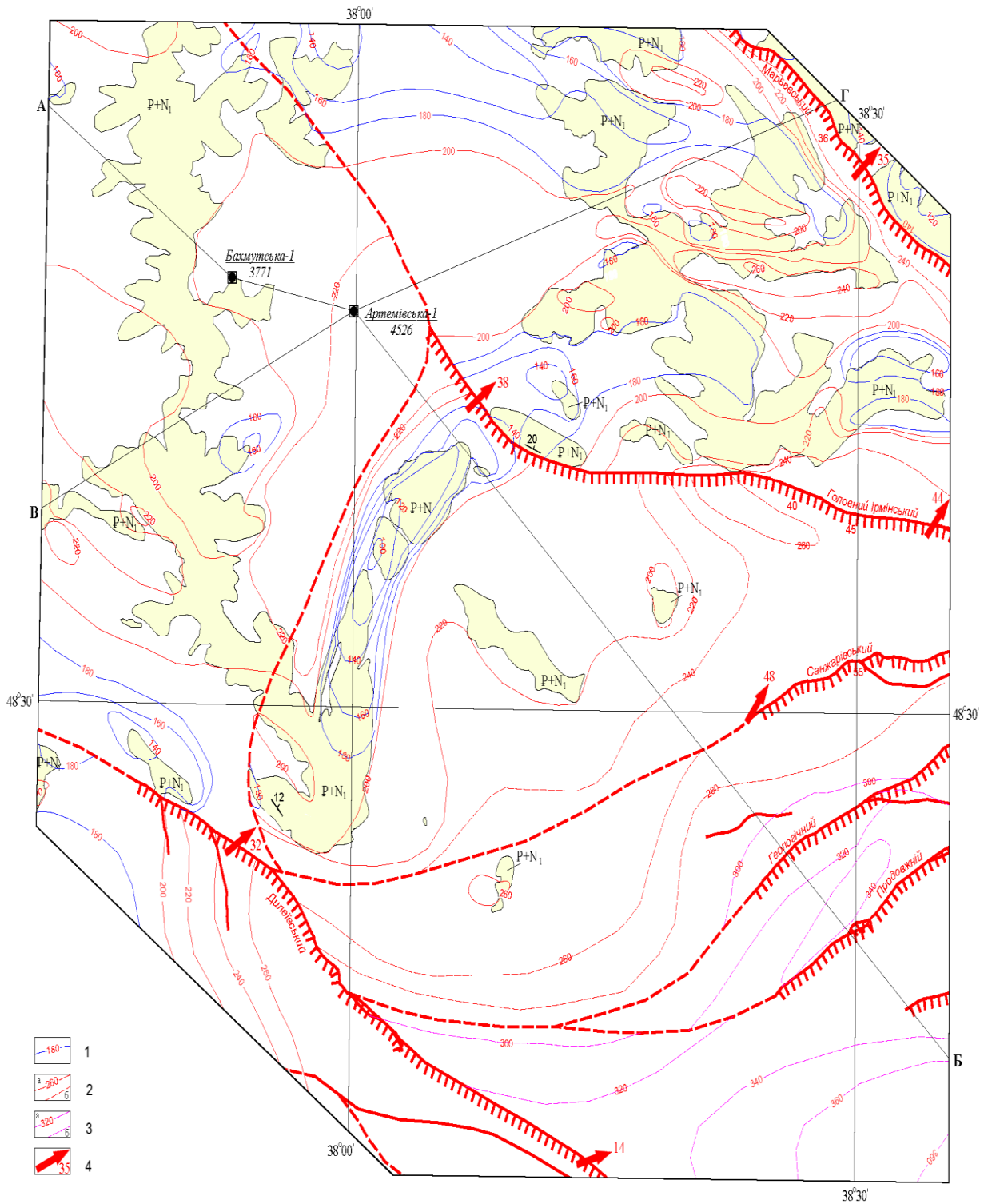


Рис. 3. Фрагмент карти Агтичного структурного поверху, за даними геокартування [7].

Умовні позначення:

- 1-3 – стратоізогіпси підосви поверху: 1 – в інтервалі до 200м; 2 – в інтервалі до 300м; 3 – в інтервалі понад 300м; 4 – напрямок насування

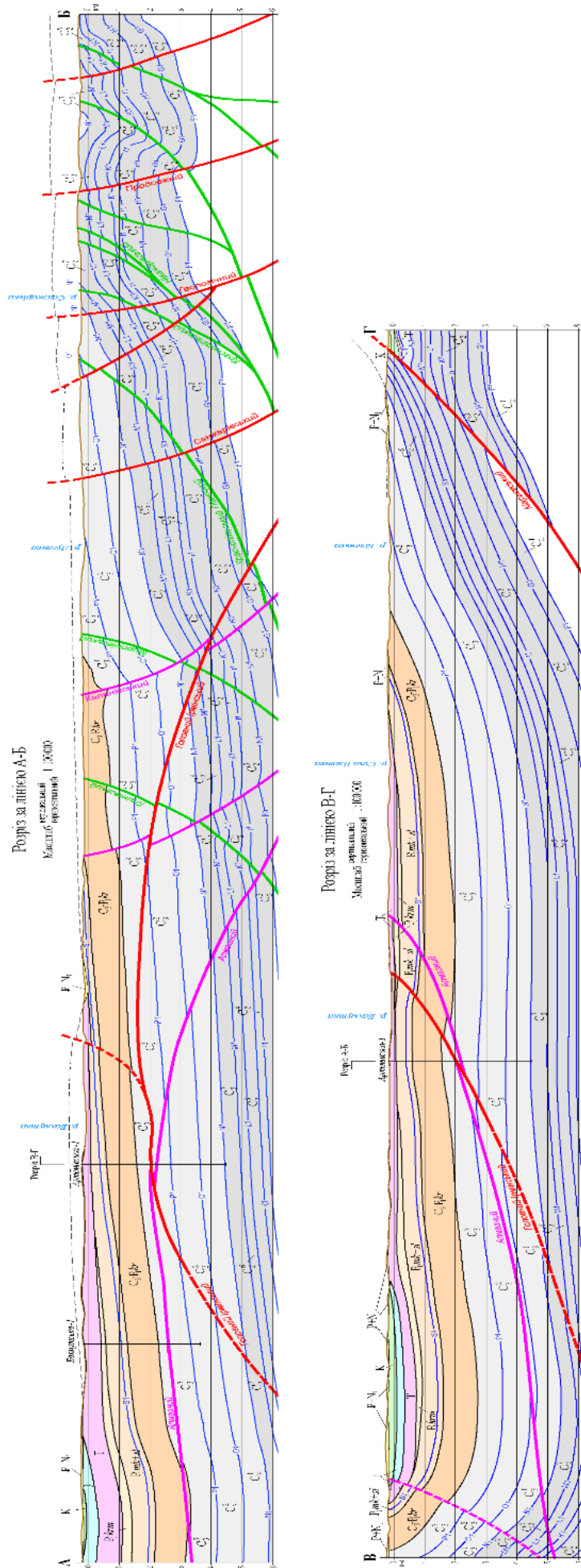


Рис. 4. Геологічні розрізи до карт структурних поверхнів, за даними геокартування [7]

вані гілки Нового та Сентянівського насувів. На півдні область обмежують Котлинський, Олександрівський і Мерцалівський насуви, що контролюють Південну насувну зону поперечного витискання геомас від осьової зони до південного борту. Практично навпіл вона розділяється кулісно зчленованими гілками осьового Суліно-Костянтинівського зсуво-насуву.

В алохтонному крилі герцинської складчасто-насувної системи між-насувні блоки мають видовжену лускувату форму північно-східної орієнтації простягання (рис. 1). У фронтальних частинах блоків сформовані при-насувні підкидо-антикліналі з крутими північно-східними крилами та пологими південно-західними, які у тилкових частинах блоків переходять у пологі синкліналі або монокліналі. Подекуди, в межах осьових улоговин, в замках синкліналей зберігаються рештки нижньопермської товщі, а підшовну частину розрізу палеозойських відкладів – девонську товщу та докембрійський фундамент на межах герцинських тектонічних блоків розтинають релікти рифтової структури - скиди.

У західному напрямку, до Орчиківської улоговини, поступово зменшується глибина ерозійного зрізу палеозою, тому у шарнірах синкліналей зустрічаються не тільки низи картамиської свити, але й релікти микитівської та слов'янської свит (рис. 1, 4). Проте, на крайньому північному сході під підшовною мезозою у висячому крилі насування залягає середній карбон, що вказує на збільшення у цьому напрямку глибини перед-мезозойського ерозійного зрізу. Для форланду системи насунутого алохтону характерно занурення підшови мезозойського чохла у західному напрямку, на глибини понад 3 км в межах Орчиківської улоговини.

Аналіз карти ларамійського структурного поверху (рис. 2) і геологічних розрізів (рис. 4) свідчить, що ларамійський насувний тектонічний каркас контролює покривно-складчасту систему тектонічного насування, що охоплює декілька структурних ліній підкидо-складок протяжністю у десятки – сотні кілометрів. Структурно-тектонічний каркас ларамійських деформацій контролюється решіткою насувів північної вергентності, за якими сформовано пластини тектонічних покривів та зони кулісно зчленованих, прирозломних, здебільшого криволінійних підкидо-складок, що розділяються вузькими синкліналями. Разом вони утворюють Західно-Донецький клиноформний сегмент тектонічного вторгнення осадових геомас. Північно-східною межею сегменту є Північно-Донецький насув, південно-західною – Самарський насув. Практично навпіл тіло сегменту розділяють кулісно зчленовані гілки Алмазного, Самарського та

Осьового насувів, в піднятих крилах яких через ларамійські орогенічні рухи сформувалися великі, лінійні, кулісно зчленовані підкидо-складчасті зони.

Крупні антиклінальні та синклінальні складки лінійної та криволінійної морфології у ларамійському поверсі складають ешелоновані кулісні ансамблі, що досягають довжини понад 100 км і амплітуди до 2 км. Причому, за рахунок більш інтенсивного сучасного ерозійного зрізу піднятих тектонічних блоків у прибортових частинах Дніпровського грабену антиклінальні структури осьової зони розміщуються вище на 1,5-2 км від структур північної прибортової зони. Частину складок ускладнено соляним діпіризмом, що зумовило ундуляції їхніх шарнірів та розмив мезозойської товщі на соляних куполах.

Аналіз будови північно-східного флангу Західно-Донецького сегменту тектонічного вторгнення свідчить, що фронт тектонічного насування сформований тут насувами та підкидами двох генерацій – ларамійської та аттичної (рис. 5). Вони є продовженнями в Герцинському, Ларамійському та Аттичному структурних поверхах реліктової рифтогенної решітки нормальних скидів, що простежуються в розрізі девону та докембрійського кристалічного фундаменту. Найкрупнішими ларамійськими насувами з істотною складовою горизонтальних переміщень осадових геомас є Північно-Донецький, Алмазний, Дробишівський насуви, до аттичних належать Мар'ївський та Лисичанський магістральні насуви. В насунутих алохтонних крилах Північно-Донецького, Дробишівського та Алмазного насувів сформовані кулісно зчленовані лінійні антиклінальні зони – Північно-Донецька, Торсько-Дробишівська та Матросько-Тошківська, відомі як "зони відкритих палеозойських структур".

В центральній частині грабена, в межах Бахмуцької улоговини, за ешелонованими рядами герцинських, ларамійських та аттичних насувів сформовано систему тектонічних пластинпокривів (рис. 1-3, 4). Південний борт улоговини обмежений підкидо-зсувами трьох генерацій, що утворюють Центральну лінеаментну зону горизонтально-зсувного контролю. В їх піднятих північно-східних крилах сформовано протяжну лінійну складчасту зону кулісно зчленованих ларамійських лінійних підкидо-складок, яку складають Велико-Комишуваська, Петрівсько-Новотроїцька, Дружківсько-Костянтинівська та Головна прирозломні антикліналі.

Аналіз карти аттичного структурного поверху та розрізів (рис. 3, 4), свідчить, що аттичними рухами сформовано деформаційну насувну решітку тектонітів північно-східної вергентності,



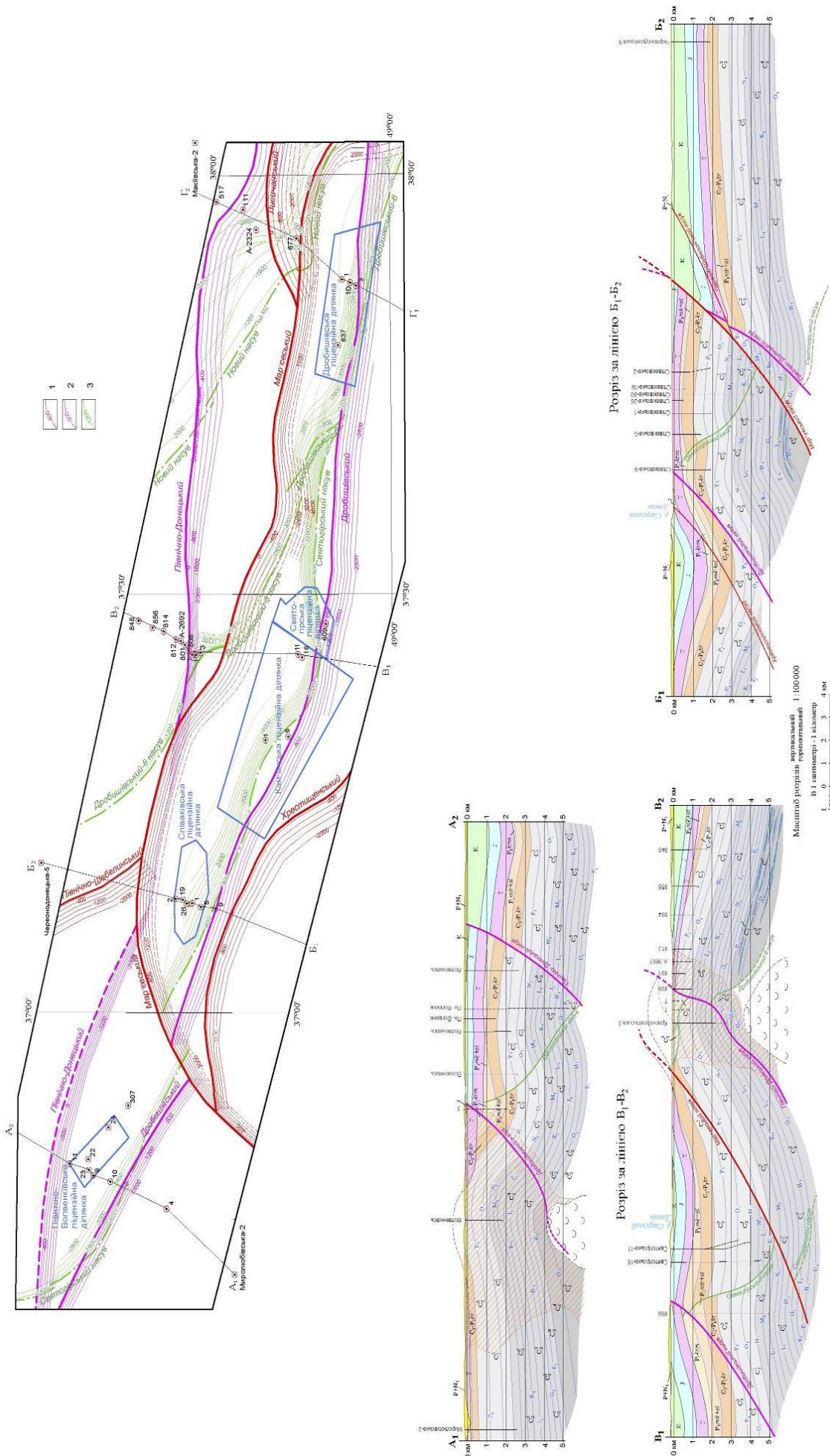


Рис. 5. Схема тектоніків і розрізи північно-східної частини Західно-Донецького грабену, за даними геокартування [7]

яка контролює район тектонічних покривів у східній частині ЗДГ. Систему поперечного насування геомас осадової товщі на північний схід – від осьової частини до північного борту складають крупні пластини-покриви пологого залягання, що сформовані за трасами Дилеївського, Головного Ірмінського та Мар'ївського насувів. Північно-західну вергентність поздовжнього насування менших за розмірами покривних пластин кайнозойського алохтону на неоавтохтонні утворення ларамійської та герцинської генерацій контролюють Селезнівський, Продовжній, Південний Павлівський, Санжарівський насуви.

Аналіз порівняльної схеми тектонітів герцинського, ларамійського та аттичного структурних поверхів (рис. 6) свідчить, що спільно вони утворюють структурно-тектонічний каркас пострифтових деформацій осадового чохла ЗДГ. Ця динамічно спряжена насувна решітка разом із сукупністю тектонічних лусок і пластин-покривів та антиклінальних підкидо-складчастих зон, що вона контролює, складають Західно-Донецьку покривно-складчасту область. Вона охоплює практично всю східну частину Ізюмського сегменту ДДЗ та територію ЗДГ. Головним структурним елементом Західно-Донецької тектонічної області визначено однойменний сегмент тектонічного вторгнення, що сформований внаслідок поздовжнього вклинювання в обмежений геологічний простір рифтогенної структури інтенсивно зім'ятих у складки геомас з боку ДСС.

Межами клиноформного у плані тіла тектонічного сегменту у ларамійському структурному поверсі (рис. 2, 5, 6) визначено Північно-Донецький насув, північну гілку Алмазного, Самарський та Войковський насуви. Тіло сегменту розділено уздовж, практично навпіл, Центральною лінійною зоною горизонтально-зсувного контролю. Її складають кулісно зчленовані траси Осьового, південно-східної гілки Самарського та північної гілки Алмазного магістральних насувів.

В межах кожної з виділених частин Західно-Донецького сегменту вклинювання за тектонічним стилем та інтенсивністю деформацій осадової товщі виокремлюється два тектонічних райони. Північно-східну половину сегменту обіймає Лугансько-Комишуваський район кулісно-ешелонованої лінійної складчастості насування, в південно-західній частині сегменту розташовується Кальміус-Торецький район лускатих тектонічних покривів.

**Наукова новизна та практична значущість.** На підставі ідентифікації колізійної природи на території перехідної зони між ДДЗ та ДСС сукупності вторинних деформаційних структур, вперше виділено Західно-Донецьку покривно-складчасту тектонічну область. На цій осно-

ві вдосконалено схему тектонічного районування ДДП. Згідно схеми, головним структурно-тектонічним елементом області є Західно-Донецький сегмент вторгнення осадових геомас. Його тіло сформоване інтенсивно зім'ятою, покривно-складчастою товщею алохтону, що насунутий на слабо дислокований герцинський неоавтохтон та не дислоковані синеклізні утворення автохтону рифтогенної структури з боку ДСС.

Складчасто-насувна система тектонічного сегменту складається з двох тектонічних районів, що відрізняються за тектонічним стилем та інтенсивністю деформування платформного осадового чохла ЗДГ. В південно-західній частині сегменту виділено Кальміус-Торецький район лускатих тектонічних покривів насування, що з півдня обмежується Південно-Донбаською герцинською меланжевою зоною. Північно-східну половину сегменту охоплює Лугансько-Комишуваський район кулісно-ешелонованої лінійної складчастості насування, який з півночі обмежується слабодислокованим мезозойсько-кайнозойським платформним чохлом.

Такі дані дозволяють прийти висновку, що рифтогенна структура у перехідній зоні між ДДЗ та ДСС була практично вщент зруйнована складчастістю на протязі етапів платформної активізації. Передбачається, по-перше, що через тектонічні рухи південно-західного напрямку по герцинських тектонітах на південний борт грабену були насунуті дислоковані геомаси палеозойського осадового чохла з боку осьової зони ЗДГ. По-друге, тектонічними рухами північно-західного та північного напрямків за решіткою ларамійських та аттичних тектонітів на новоутворений, слабо дислокований герцинський неоавтохтон південно-східної частини Ізюмського сегменту западини згодом були насунуті інтенсивно деформовані геомаси мезозойсько-кайнозойського покривно-складчастого алохтону з боку ДСС.

**Висновки.** На протязі етапів платформної активізації, у неоднорідному за напрямками насувному та підкидо-зсувному полі тектонічних напруг, під впливом процесу колізійного короблення осадової товщі, рифтогенна структура південного сходу ДДЗ була зруйнована інверсійною складчастістю трьох основних фаз орогенезу. На початковому етапі тектонічної інверсії, за решіткою герцинських тектонітів геомаси палеозойських осадових порід з боку осьової зони ЗДГ були насунуті на південний борт. На головному етапі інверсії, за системою ларамійських та аттичних тектонітів, на герцинський неоавтохтон була насунута інтенсивно дислокована мезозойсько-кайнозойська осадова товща. Під впливом процесів тектонічної інверсії була сформована Захі-



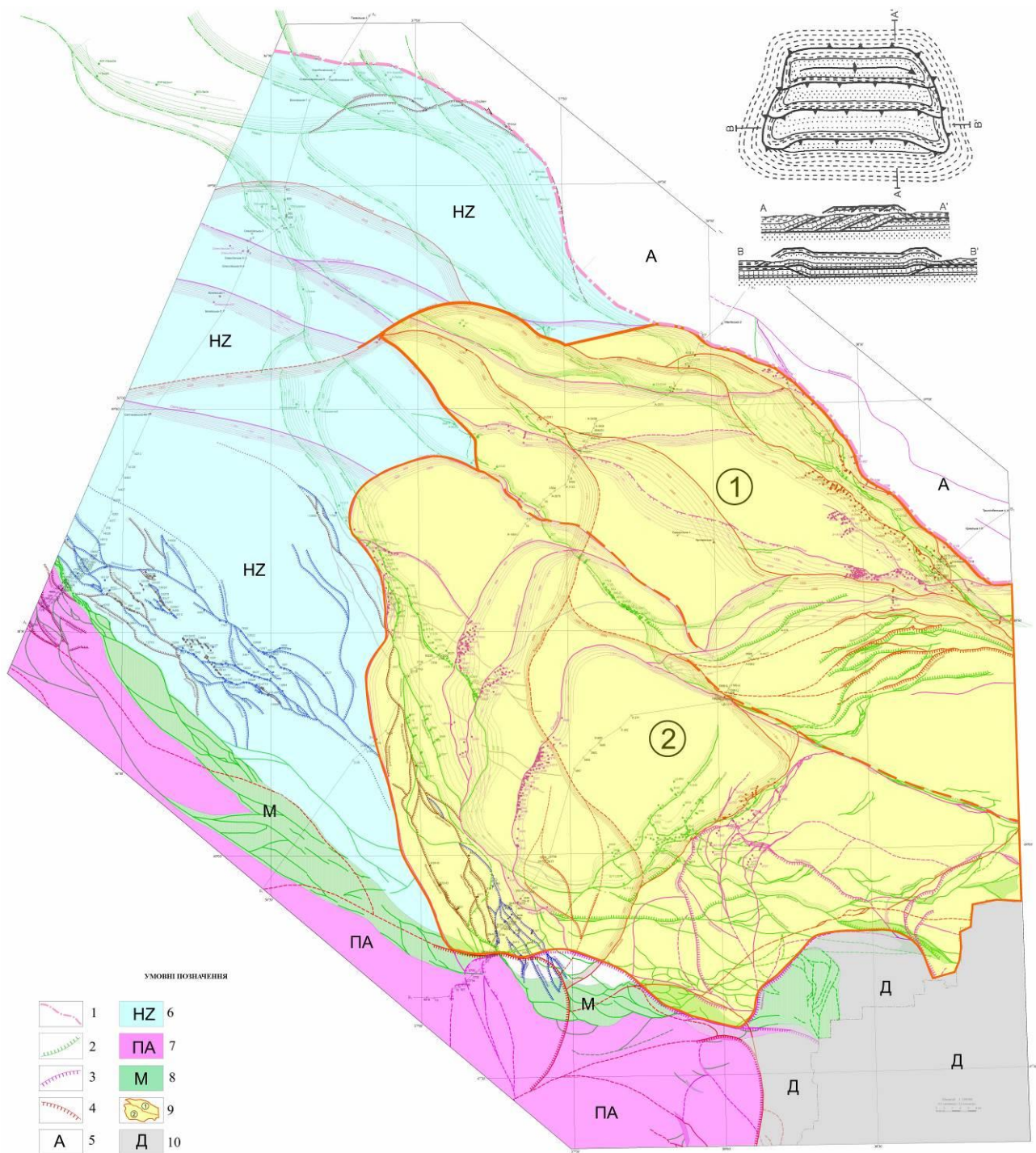


Рис. 6. Тектонічне районування території Західно-Донецького грабена на порівняльній схемі тектонітів за даними геокартування [7]:  
 1 – північна межа деформацій; 2-4 – тектоніти: 2 – герцинські, 3 – ларамійські; 4 – аттичні;  
 5 – мезо-кайнозойський недислокований автохтон; 6 – герцинський неоавтохтон; 7 – Приазовський масив; 8 – Південно-Донбаська зона меланжу; 9 – Західно-Донецький сегмент тектонічного вторгнення; (1) – Лугансько-Комишуваський район кулісно ешелонованої складчастості, (2) – Кальміус-Торецький район лускатих тектонічних покривів; 10 – Донецька складчаста споруда.  
 Врізка – схема системи тектонічного насування (А. К. Худолей, 2005)



дно-Донецька покривно-складчаста тектонічна зону між ДДЗ та ДСС.  
область, що територіально охоплює перехідну

#### Література

1. Копп М. Реконструкція кайнозойських напружених/деформацій востока Русской плити и пути ее применения для решения региональных и прикладных задач [Текст] / М. Копп, А. Колесниченко, А. Мострюков, Н. Васильев и др. // Геодинаміка, 2017. – Вип. 2 (23). – С. 46-66.
2. Орлюк М., Ищенко М. Сравнительный анализ современной деформации и новейших движений земной поверхности на территории Украины [Текст] / М. Орлюк М. Ищенко // Геофизический журнал, 2019. – № 4. – Т. 41. – С. 161-181.
3. Корчемагин В., Рябоштан Ю. Тектоника и поля напряжений Донбасса [Текст] / В. Корчемагин, Ю. Рябоштан // Поля напряжений и деформаций в земной коре. – М.: Наука, 1987. – С. 164-170.
4. Копп М. Кайнозойские поля напряжения/деформаций Донбасса и их вероятные источники / М. Копп, В. Корчемагин // Геодинаміка, 2010. – Вип. 1 (9). – С. 17-48.
5. Дудник В., Корчемагин В. (2004) Киммерийское поле напряжений в пределах Ольховатско-Волынцевской антиклинали Донбасса, его связь с разрывными структурами и магматизмом [Текст] / В. Дудник, В. Корчемагин // Геофизический журнал, Т. 26. – № 4. – С. 75-84.
6. Бартацук О. Еволюція напружено-деформованого стану земної кори Дніпровсько-Донецького палеорифту у фанерозої [Текст] / О. Бартацук // Доповіді НАНУ, 2019. – № 3. – С. 62-71.
7. Прогноз локалізації та газоносності літологічних пасток південного сходу ДДЗ в межах ліцензійних ділянок ГПУ "Шебелинкагазвидобування". Частина 1. Створення структурно-геологічної основи [Карти]: звіт про НДР (заключний) / УкрНДІгаз: відп. вик. С. Горяїнов, Ю. Склярєнко. – Договір №100 ШГВ 2017-2017 (тема № 34.521/2017-2017). – Харків, 2017. – 203 с.
8. Горяїнов С. и др. Метаморфические и метасоматические комплексы Приазовья и Южного Донбасса [Текст] / С. Горяїнов, С. Аксенов, В. Алтухов и др.; под ред. С. Горяїнова. – Харьков: Экограф, 2009. – 304 с.
9. Горяїнов С. В. О ларамийском усложнении геологических структур Украины [Текст] / С. Горяїнов // Доповіді НАНУ, 2004. – № 12. – С. 114-121.
10. Горяїнов С.В. Об альпийском усложнении геологической структуры в различных регионах Украины [Текст] / С. Горяїнов // Доповіді НАНУ, 1999. – № 8. – С. 106-111.
11. Ребецкий Ю. Обзор методов реконструкции тектонических напряжений и приращений сейсмостектонических деформаций [Текст] / Ю. Ребецкий // Тектоника сегодня. – М.: ОИФЗ РАН, 2002. – С. 227-243.
12. Тимурзиев А. Структуры горизонтального сдвига осадочных бассейнов и опыт применения тектонофизических методов для повышения эффективности поисков, разведки и освоения присдвиговой нефти [Текст] / А. Тимурзиев // Геофизический журнал, 2014. – № 2, Т. 36. – С. 172-185.
13. Бартацук О. В. Горизонтальні переміщення геомасивів у континентальних рифтогенних геоструктурах (на прикладі Дніпровсько-Донецького палеорифту). Частина 2. Структурні парагенези зсувної деформації осадового чохла [Текст] / О. В. Бартацук, В. Г. Суярко // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія "Геологія. Географія. Екологія". – Вип. 50. – Х.: ХНУ, 2019. – С. 27-41. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-50-02>
14. Бартацук О.В. Горизонтальні переміщення геомасивів у континентальних рифтогенних геоструктурах (на прикладі Дніпровського-Донецького палеорифта). Частина 3. Системна організація пострифтових рідних деформацій [Текст] / О.В. Бартацук // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія "Геологія. Географія. Екологія". – Вип. 51. – Х.: ХНУ, 2019. – С. 26-40. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-02>

UDC 551.24.548:242.7:248(477)

**Oleksii Bartashchuk,**

PhD (Geology), Leading Researcher, Department of Natural Gas Resources,  
Ukrainian Scientific Research Institute for Natural Gases,  
20 Gimnaziyna Naberejna, Kharkiv, 61010, Ukraine,  
e-mail: [alekseybart@gmail.com](mailto:alekseybart@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0001-7831-6134>

#### **TECTONIC INVERSION OF THE DNIEPER-DONETS BASIN. PART 1. COLLIZION TECTONICS OF THE WESTERN-DONETS GRABEN**

**Formulation of the problem.** New results of tectonophysical studies of the structural-kinematic evolution of the Earth's crust of Dnieper-Donets paleorift at the collision stage are presented in the paper. The subject of research is a complex of deformation structures that complicate the sedimentary cover in the transitional zone with Donets folded structure.

**Review of previous publications and studies.** According to new mapping data, tectonic deformations of the sedimentary cover were controlled by systems of faults of the north, northwest, and southeast vergence. The lattices of the Hercynian, Laramic, and Attic tectonites determine the specific “cross-thrust” structure of pushing. Due to the heterogeneous distribution of deformations of different ages, the stratigraphic volume of the sedimentary sequence varies in area from the Pliocene-Anthropogenic to the Mesozoic-Cenozoic. Overthrusts and linear folding of three generations permeate the sedimentary sequence of the transition zone from east to west for hundreds of kilometers within the eastern part of Izyumsky paleorift segment.

**Methods.** Using the original method of tectonic deformation fields’ reconstruction and tectonophysics analysis of structures, collision deformations of the platform sedimentary cover of the southeastern part of Dnieper-Donets depression are studied. The materials of geological mapping of the transition zone and instrumental definitions of the vergence of the Hercynian, Laramian, and Attic faults constituted the analytical base of tectonophysical studies.

**Results.** In the transition zone, West-Donets segment of the tectonic wedging, which completely destroys the riftogenic structure in the southeast of the basin was identified. It was formed as a result of a thrust on the syncline autochthon repeatedly deformed, crumpled into the folds of geomass from the western slopes of Donets folded structure. It consists of structural ensembles of linear thrust folds, tectonic covers of transverse, pushing of sedimentary geomass from axial to onboard zones, and folded covers of longitudinal thrust. The thrust covers and folds of allochthon end in the depression with scaly compression fans formed at the ends of the main thrusts.

In the thrust front of West Donets segment, a geodynamic discharge strip was diagnosed, where structural zones of displacement of geomass were formed. On the north-eastern flank of the thrust front they are represented by large linear anticlinal zones of the so-called “open Paleozoic structures”, such as Torsko-Drobishevsk, North-Donets, Matrossko-Toshkovsk zones, and on the southwestern - Petrovsky-Novotroitsk zone of reverse-folds. The structural peak of the West-Donets segment is the tectonic node of thrusts and strike-slips of three generations, localized in the joint area of the central and southern structural branches of the axial salt-dome folding.

**Scientific novelty and practical significance.** The current regional tectonic scheme has been revised on the conceptual foundations of dynamic geotectonics. It is shown that the riftogenic structure of the transition zone at the collision stage of evolution was completely destroyed by deformations of three generations. Lattice of tectonites, thrust cover and uplift folding zones of the Hercynian, Laramian, and Attic generations together form West-Donets cover-fold region within it. The main tectonic element of the region is the segment of the tectonic wedging of the same name. By the nature of the structure in its northern part, Lugansk-Kamyshevakhsky district is distinguished by a link echelon of linear folding, and in the south by Kalmius-Toretsky region of tectonic thrust cover. West Donets segment is an important component of the structural-tectonic frame of the sedimentary cover, which determines the modern transverse tectonic segmentation of the paleorift.

**Keywords:** tectonite lattice, thrust cover, uplift folded zones, tectonic wedging segment, cover-folded region.

#### References

1. Kopp, M., Kolesnichenko, A., Mostryukov, A., Vasilev, N. (2017). Reconstruction of Cenozoic stress and deformations in the eastern east european platform with its regional and practical application. *Geodynamics*, 2 (23), 46-66.
2. Orlyuk, M., Ishchenko, M. (2019). Comparative analysis of modern deformation and the latest movements of the earth's surface on the territory of Ukraine. *Geophysical Journal*, 4 (41), 161-181.
3. Korchemagin, V., Ryaboshtan, Yu. (1987). Tectonics and stress fields of Donbass. *Fields of stress and strain in the Earth's crust*. Moscow: Science, 164-170.
4. Kopp, M., Korchemagin, V. (2010). Cenozoic stress / strain fields of the Donbass and their probable sources. *Geodynamics*, 1(9), Lviv, 17-48.
5. Dudnik, V., Korchemagin, V. (2004). The Cimmerian stress field within the Olkhovatsko-Volyntsevsky anticline of the Donbass, its relationship with discontinuous structures and magmatism. *Geophysical Journal*, 26, 4, 75-84.
6. Bartashchuk, O. (2019). Evolution of the stress-deformed field of the Earth crust of Dnieper-Donetsk paleorift at Phanerozoic. *Reports of The National Academy of Sciences of Ukraine*, 3, 62-71.
7. Goryainov, S., Sklyarenko, Y. ed. (2017). Forecast of localization and gas-bearing capacity of lithological traps in the southeast of DDZ within the licensed sections of GPU "Shebelinkagazvydobuvannya". Part 1. Creating a Structural-Geological Basis. R&D Report (Final). Contract # 100 SHGV 2017-2017 (topic # 34.521 / 2017-2017). Kharkiv, UkrNDIGaz, 203.

8. Goryainov, S. ed. (2009). *Metamorphic and metasomatic complexes of Priazovye and South Donbass*. Kharkov: Ecograph, 304.
9. Goryaynov, S. (2004). *About the Laramian complication of geological structures of Ukraine*. Reports of The National Academy of Sciences of Ukraine, 12, 114-121.
10. Goryaynov, S. (1999). *About Alpine complication of geological structure in various re-gions of Ukraine*. Reports of The National Academy of Sciences of Ukraine, 8, 106-111.
11. Rebetskiy, Yu. (2002). *Overview of methods for reconstruction of tectonic stresses and increments of seismotectonic deformations*. Tectonics today. Moscow, OIFZ of Academy of Sciences of Russia, 227-243.
12. Timurzиеv, A. (2014). *Experience in the use of tectonophysical methods to increase the efficiency of prospecting, exploration and development of the near-strike-slip oil*. Geophysical journal, 2 (36), 172-185.
13. Bartashchuk, O.V., Suyarko, V. G. (2019). *Horizontal displacement of geomassives in continental riftogenic geostructures (on the Dnieper-Donets paleorift application)*. P. 2. *Structural paragenesis of strike-slip deformation of sedimentary cover*. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", 50, Kharkiv, 27-41. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-50-02>
14. Bartashchuk, O.V. (2019). *Horizontal movements of geomasses in continental riftogenic geostructures (on the example of the Dnieper-Donets paleorift)*. Part 3. *Systemic organization of post-rift reid deformations*. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", 51, 26-40. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-02>

УДК 563.12:551.763.3(477.6)

**Олена Дмитрівна Веклич,**

молодший наук. співробітник, Інститут геологічних наук НАН України,

вул. О. Гончара, 55-б, 01054, м. Київ, Україна,

e-mail: [veklych\\_od@i.ua](mailto:veklych_od@i.ua); <https://orcid.org/0000-0002-0017-8955>**БІОСТРАТИГРАФІЧНЕ РОЗЧЛЕНУВАННЯ МААСТРИХТСЬКИХ ВІДКЛАДІВ ПІВНІЧНОЇ ОКРАЇНИ ДОНБАСУ ЗА ФОРАМІНІФЕРАМИ**

Наведено результати мікропалеонтологічних досліджень отримані за форамініферами з маастрихтських відкладів Північної окраїни Донбасу. Досліджено чотири розрізи, які знаходяться у двох структурно-фаціальних районах регіону: першому – Західному і Північно-Західному; другому – Центральному. Приведено біостратиграфічне розчленування маастрихтських відкладів Північної окраїни Донбасу за бентосними форамініферами, яке було раніше запропоновано автором для верхньокрейдових відкладів цієї території. Аналіз чотирьох ранньомаастрихтських і двох пізньомаастрихтських форамініферових комплексів, дозволив виділити три форамініферові зони. В нижньому маастрихті визначені зони – *Neoflabellina reticulata* (нижня), *Brotzenella complanata* (верхня), у верхньому – *Hanzawaia ekblomi* (з нижньою підзоною *Cuneus minutus*). Зона *Neoflabellina reticulata* визначена за характерними видами *N. reticulata*, *Orbignyna sacheri*, *Heterostomella bullata*, *Cibicidoides bembix*, *Osangularia navarroana*, *Bolivina decurrens*, *B. incrassata incrassata*, *Pseudovigerina cristata*. Для зони *Brotzenella complanata* характерні види: *B. complanata*, *Spiroplectamina suturalis*, *Gaudryina pyramidata*, *Cibicidoides bembix*, *Eponides peracutus*, *Bolivina incrassata crassa*, *Pseudovigerina cristata*. Зоні *Hanzawaia ekblomi* характерні види – *H. ekblomi*, *Anomalinoidea pinguis*, *Praebulimina imbricata*, *Cuneus minutus*. Наведена відповідність форамініферових зон – макрофауністичним: *Neoflabellina reticulata* – підзоні *Belemnella licharewi* / *B. lanceolata*, *Brotzenella complanata* – підзоною *Belemnella lanceolata* і *B. sumensis* зони *Acanthoscaphites tridens* окраїн Донбасу, нижня частина зони *Hanzawaia ekblomi* – зони *Belemnella junior* / *Spyridoceramus tegulatus* платформної України. Згідно чинних стратиграфічних схем України 2013 р. вказана відповідність форамініферових зон місцевим стратиграфічним підрозділам верхньокрейдових відкладів Північної окраїни Донбасу. Доповнено новими даними палеонтологічну характеристику коноплянівської (нижньоконоплянівська і верхньоконоплянівська підсвіти) і кам'янобрідської світ, які за віком відповідають нижньомаастрихтським відкладам. Проведено співставлення визначених форамініфер з зональними маркерами і видами Міжнародної стратиграфічної шкали, зазначено спільні види.

**Ключові слова:** форамініфери, нижньо-, верхньомаастрихтські відклади, зона, Північна окраїна Донбасу.

**Е. Д. Веклич. БИОСТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ РАСЧЛЕНЕНИЕ МААСТРИХТСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРНОЙ ОКРАИНЫ ДОНБАССА ПО ФОРАМИНИФЕРАМ.** Приведены результаты микропалеонтологических исследований, полученные по фораминиферам из маастрихтских отложений Северной окраины Донбасса. Изучены четыре разреза, которые находятся в двух структурно-фаціальных районах региона: первом – Западном и Северо-Западном; втором – Центральном. Приведено биостратиграфическое расчленение маастрихтских отложений Северной окраины Донбасса по бентосным фораминиферам, которое было ранее предложено автором для верхнемеловых отложений этой территории. Анализ четырех раннемаастрихтских и двух позднемаастрихтских фораминиферовых комплексов, позволил выделить три фораминиферовые зоны. В нижнем маастрихте определены зоны – *Neoflabellina reticulata* (нижняя), *Brotzenella complanata* (верхняя), в верхнем – *Hanzawaia ekblomi* (с нижней подзоной *Cuneus minutus*). Зона *Neoflabellina reticulata* установлена по характерным видам: *N. reticulata*, *Orbignyna sacheri*, *Heterostomella bullata*, *Cibicidoides bembix*, *Osangularia navarroana*, *Bolivina decurrens*, *B. incrassata incrassata*, *Pseudovigerina cristata*. Для зоны *Brotzenella complanata* характерны виды: *B. complanata*, *Spiroplectamina suturalis*, *Gaudryina pyramidata*, *Cibicidoides bembix*, *Eponides peracutus*, *Bolivina incrassata crassa*, *Pseudovigerina cristata*. Зоне *Hanzawaia ekblomi* характерны виды – *H. ekblomi*, *Anomalinoidea pinguis*, *Praebulimina imbricata*, *Cuneus minutus*. Приведено соответствие фораминиферовых зон – макрофаунистическим: *Neoflabellina reticulata* – подзоне *Belemnella licharewi* / *B. lanceolata*, *Brotzenella complanata* – подзоной *Belemnella lanceolata* и *B. sumensis* зоны *Acanthoscaphites tridens* окраин Донбасса, нижняя часть зоны *Hanzawaia ekblomi* – зоне *Belemnella junior* / *Spyridoceramus tegulatus* платформной Украины. Согласно действующим стратиграфическим схемам Украины 2013 г. указано соответствие маастрихтских фораминиферовых зон местным стратиграфическим подразделениям Северной окраины Донбасса. Дополнена новыми данными палеонтологическая характеристика конопляновской (нижнеконопляновская и верхнеконопляновская подсвиты) и каменнобродской свет, которые по возрасту отвечают нижнемаастрихтским отложениям. Проведено сопоставление изученных фораминифер с зональными маркерами и видами Международной стратиграфической шкалы, указаны общие виды.

**Ключевые слова:** фораминиферы, нижне-, верхнемаастрихтские отложения, зона, Северная окраина Донбасса.

**Вступ.** З початку ХХ століття стратиграфію і палеонтологію верхньокрейдових відкладів Донбасу вивчали багато дослідників, зокрема маастрихтських порід Північної і Південної окраїн Донбасу за форамініферами – О.Р. Коноплянін [14], В.Ф. Горбенко [2, 6, 7], О.С. Липник [3, 8, 9, 11, 12, 15-17], Ж.І. Доліна [10], Л.Ф. Плотнікова [23, 24], Л.П. Гончарук [11], О.Д. Веклич [4, 5, 26], А.Д. Шоміна [18] та інші. У цих працях наведені комплекси форамініфер, які були встановлені у верхньокрейдових, в тому числі мааст-

рихтських відкладах свердловин, стратотипових, типових розрізах і характеризують спочатку горизонти, верстви, пізніше світи і підсвіти Донбасу та його окраїн.

В чинних стратиграфічних схемах України 2013 р. [26] до теперішнього часу не був розроблений зональний поділ маастрихтських відкладів Північної окраїни Донбасу за форамініферами. Натомість він існує для верхньокрейдових відкладів Руської [8], Східноєвропейської [1, 9, 21] платформ, Європейської палеобіогеографічної

області [19], зокрема для території Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) [15] та ін. У 2018 р. О.Д. Веклич здійснила біостратиграфічне розчленування відкладів верхньої крейди Північної країни Донбасу за бентосними форамініферами на прикладі досліджених розрізів даної території [5].

Метою цієї роботи є доповнення новими матеріалами стратиграфічної схеми верхньокрейдових відкладів Північної країни Донбасу біостратиграфічною схемою за бентосними форамініферами маастрихтських відкладів, ці дані можуть бути використані для міжрегіональної кореляції, а також для цілей детального картування цього регіону.

**Актуальність.** Питання зонального поділу маастрихтських відкладів Північної країни Донбасу за бентосними форамініферами є актуальним одразу за декількома науковими напрямками геологічного картування та стратиграфії, зокрема: 1) відкриває додаткові можливості розчленування та уточнення вікового діапазону окремих світ, що вкрай важливо при державному картуванні; 2) полегшує стратиграфічну кореляцію одновікових різнофаціальних відкладів; 3) сприяє співставленню встановлених видів з зональними маркерами і видами Міжнародної стратиграфічної шкали (МСШ).

**Аналіз попередніх публікацій.** Відклади маастрихтського ярусу країн Донбасу згідно МСШ 2012 р. [29] і стратиграфічних схем України [26] поділені на два під'яруси – нижній і верхній. Л.М. Якушин у нижньомаастрихтських відкладах країн Донбасу встановив макрофауністичну зону *Acanthoscaphites tridens* з підзонами (знизу вгору і далі): *Belemnella licharewi* / *B. lanceolata*, *Belemnella lanceolata*, *Belemnella sumensis*, у верхньому маастрихті зона не встановлена [27]. Відповідно схем, відклади маастрихту країн Донбасу належать до березинського регіоярусу [11, 26]. Вони складені мергельно-крейдовими породами, місцями з базальними фосфоритами або з кременями, іноді пісками. Потужність біля 100 м [12]. Нижньомаастрихтські відклади Північної країни Донбасу виділені в коноплянівську (нижньоконоплянівська і верхньоконоплянівська підсвіти) і кам'янобрідську світи [2, 3, 11, 12, 23, 24, 26].

Зональний поділ за бентосними форамініферами був розроблений в 1974 р. для верхньокрейдових відкладів Руської платформи [8], у 1980 р. для Східноєвропейської платформи А.А. Григяліс, С.В. Акимець, О.С. Липник [9]. У 1981 р. О.С. Липник здійснила біозональний поділ кампанських і маастрихтських відкладів ДДЗ за бентосними форамініферами [15]. В маастрихтських відкладах ДДЗ вона встановила дві зони:

*Brotzenella complanata* нижнього маастрихту і верхнього – *Hanzawaia ekblomi* (з трьома підзонами – "*Reussella*" *minuta*, *Anomalinoidea pinguis* *neskajae*, "*Reussella*" *maastrichtica*) [15, 25]. Автор зазначала, що форамініферовій зоні *Brotzenella complanata* в ДДЗ відповідає в східній частині Великого Донбасу за Ю.П. Нікітіною [20] середня зона маастрихту – *Bolivina incrassata*, яка за схемою П.І. Луцького відноситься до макрофауністичної зони *Belemnitella lanceolata* [15]. О.С. Липник вказувала, що комплекс форамініфер підзони "*Reussella*" *maastrichtica*, хронологічний інтервал якої верхня частина маастрихту, зустрінутий в ДДЗ і на окраїнах Донбасу [15].

Колектив авторів – Д.П. Найдін, В.Н. Беньямовський, Л.Ф. Копаєвич у 1984 р. розробили схему біостратиграфічного розчленування верхньої крейди Європейської палеобіогеографічної області [19]. В 2008 р. В.Н. Беньямовським [1] була запропонована схема інфразонального розчленування сантон–маастрихтських відкладів Східноєвропейської палеобіогеографічної провінції за бентосними форамініферами для деталізації існуючого зонального поділу. За цим автором, нижньомаастрихтська лона *Neoflabellina reticulata*, набула рангу зони *N. reticulata* (LC19), а зона *Falsoplanulina multipunctata* (= *Brotzenella complanata*) поділена на нижню підзону *F. multipunctata* / *N. reticulata* (LC20a) і верхню підзону *Anomalinoidea ukrainicus* / *A. welleri* (LC20b) [1].

**Матеріали і методи.** Матеріалом для наших досліджень слугували зразки маастрихтських порід, відібрані з природних відслонень Північної країни Донбасу і керну свердловин (рис. 1). Розрізи знаходяться у двох структурно-фаціальних районах: Західному і Північно-Західному (зведений розріз відслонень с. Шандриголове, Донецька область; стратотиповий розріз відслонення Кам'яний брід, околиці м. Луганськ, з якого зразки відібрано власноруч; Куп'янська опорна свердловина № 1, с. Підвисоке, Харківська область, інтервал 57,10–114,20 м) та Центральному (свердловина № 22–Д, західна окраїна м. Суходільськ, Луганська область, зразок 04552, інтервал 88,2–98,2 м). Автор вдячна за люб'язно надані матеріали О.С. Липник, Т.С. Рябоконт і Л.П. Гончарук.

В обробці матеріалу застосовувався мікрофауністичний аналіз, який було здійснено за наступною методикою: подрібнення породи, розмочування зразка (150–200 гр) у воді, перетирання ступкою у фарфоровій чаші осадку, відмивка породи дистильованою водою в ситах різного діаметру або в спеціальному мішечку до стану прозорості води, сушка проби у муфельній печі. Відбір черепашок із фракцій в камери Франке

здійснювався вручну за допомогою бінокулярного мікроскопу МБС-9, у прохідному світлі, зі скельця колонковою кісточкою або препарувальною голкою. Для визначення форамініфер до виду та вивчення їх систематичного складу у комплексах використовувалась спеціальна література – пале-

онтологічні довідники і визначники [7,13,17,25].

**Результати та їх обговорення.** В нижньомаастрихтських відкладах Північної окраїни Донбасу нами виділено дві форамініферові зони: *Neoflabellina reticulata* і *Brotzenella complanata* (рис. 2).

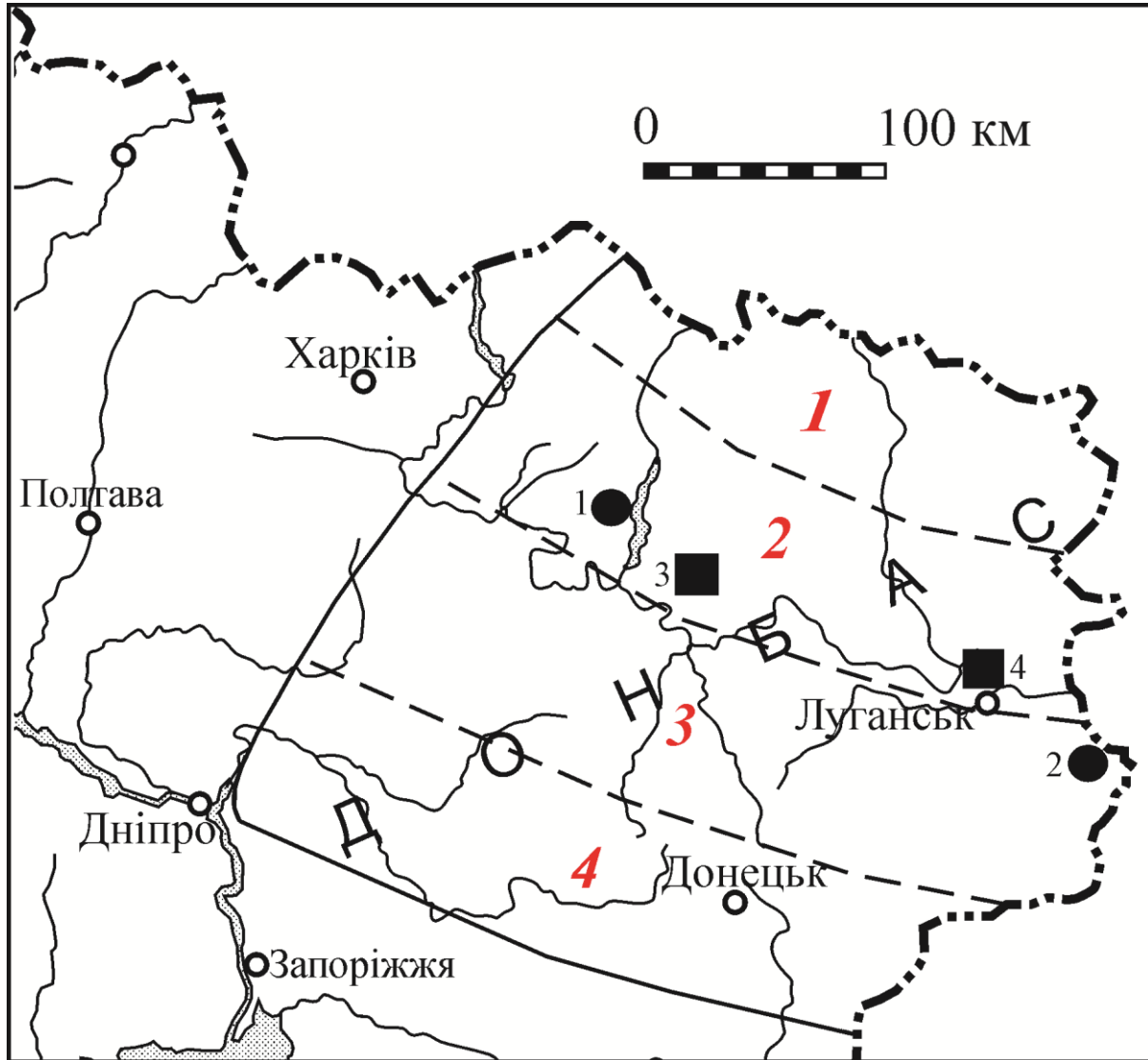


Рис. 1. Карта-схема району дослідження маастрихтських відкладів Північної окраїни Донбасу та схема районування верхньокрейдових відкладів Донецької складчастої споруди.

*Умовні позначення:*

Районування верхньокрейдових відкладів Донецької складчастої споруди: *Північна окраїна Донбасу*: 1 – Північний район (Південний схил Воронезької антеклизі); 2 – Західний і Північно-Західний район; 3 – Центральний (Північна зона дрібної складчастості); *Південна окраїна Донбасу* (у даній роботі не розглядається): 4 – Сланчицько-Вовчанський район.

Межі: \_\_\_ тектонічної структури; \_\_ \_\_ структурно-фаціальних районів;

● *свердловини*: 1 – Куп'янська опорна свердловина № 1 (с. Підвисоке, Харківська область); 2 – свердловина № 22-Д (окраїна м. Суходільськ);

■ *природні відслонення*: 3 – зведений розріз с. Шандриголове (Донецька область); 4 – Кам'яний брід (околиці м. Луганськ)



КРЕЙДОВА ВЕРХНІЙ Мастрихтський Верхній	Система Відш Ярус Підярус	РЕГІОНАЛЬНІ СТРАТИГРАФІЧНІ ПІДРОЗДІЛИ		БІОЗОНАЛЬНІ ШКАЛИ (ЗОНИ І ПІДЗОНИ)		Біостратиграфічні підрозділи	
		Місцеві, стра- тиграфічні підрозділи		Окраїни Донбасу молюски (за Якушиним Л.М., [26, 27])		Північна країна Донбасу, бентосні форамініфери (за Веклич О.Д., [4, 5, 26], тут)	
БЕРЕЗІНСЬКИЙ	Світа	Підсвіта	Д Д 3 бентосні форамініфери (за Липник О.С., [15])	Reusella maastrichtica Anomalinooides pinguis neskajae Reusella minuta	Hanzawaia ekblomi	Hanzawaia ekblomi	Форамініфери Північної країни Донбасу (за Веклич О.Д., [4, 5, 26], тут)
Нижній	Конопля- нівська	Acanthoscar- ites tridens	Brotzenella complanata	Brotzenella complanata	Brotzenella complanata	Neoflabellina reticulata	
							Мастрихтський
Верхній	Верхньо- конопля- нівська	Hanzawaia ekblomi	Hanzawaia ekblomi	Hanzawaia ekblomi	Hanzawaia ekblomi	Brotzenella complanata	

Рис. 2. Біозональне розчленування маастрихтських відкладів Північної країни Донбасу за бентосними форамініферами

(1) ранньомаастрихтський форамініферовий комплекс виявлений в свердловині № 22–Д (зразок 04552, інтервал 88,2–98,2 м), порода представлена світло-сірими та сірими міцними карбонатними тонкозернистими пісковиками; які вгору за розрізом стають більш пухкими. Асоціація містить форамініфери задовільної збереженості, нечисельні, загалом черепашки дрібні але окремі екземпляри – звичайних розмірів. Тут визначені такі бентосні види: аглютиновані – *Spiroplectammina suturalis* Kalin., *Ataxophragmium Iovense* Wolosch., *Orbignyna pinguis* Wolosch., *O. sacheri* (Reuss); секреційні – *Robulus romoiensis* Tak., *Neoflabellina praereticulata* Hilt., *Neoflabellina* cf. *reticulata* (Reuss), *Stensioina pommerana* Brotz., *Gavelinella clementiana laevigata* (Marie), *G. midwayensis compressa* Plotn., *Brotzenella* cf. *complanata* (Reuss), *Cibicidoides bembix* (Marss.), *C. voltzianus* (Orb.), *C. aktulagayensis* (Vass.), *C. propinquus* Plotn., *C. spirospunctatus* Gall. et Morr., *Globorotalites emdyensis* Vass., *G. michelinianus* (Orb.), *Osangularia navarroana* (Cushm.), *Gyroidinoides umbilicatus* (Orb.), *Eponides grodnoensis* Ak., *Discorbis ukrainicus* Lipn., *D. mirgorodicus* Lipn., *Sitella laevis* (Beiss.), *Bolivina incrassata* (Reuss), *B. decurrens* (Ehr.), *Bolivina delicatulus* Cushm., *B. decoratus decoratus* Jon., *B. peterssoni* Brotz., *Cuneus minutus* (Marss.), *Pseudovigerina cristata* (Marss.), *Dentalina legumen* (Reuss), *Ramulina aptiensis* (Bart. et Brand), *Lenticulina* та ін. Планктонні форми – *Globotruncana cretacea* (Orb.), *Rugoglobigerina rugosa* (Plumm.), *Biglobigerina biforaminata* (Hofk.), *Heterohelix globulosa* (Ehr.) та ін. У комплексі зустрінуті характерні види *Neoflabellina reticulata* (Reuss), *Orbignyna sacheri* (Reuss), *Cibicidoides bembix* (Marss.), *Bolivina incrassata* (Reuss), *B. decurrens* (Ehr.), *Pseudovigerina cristata* (Marss.), які визначають нижню зону нижнього маастрихту *Neoflabellina reticulata* [1, 21] (див. рис. 2). Крім форамініфер в угрупованні зустрінуті стулки остракод.

(2) ранньомаастрихтський форамініферовий комплекс, в якому також простежена зона *Neoflabellina reticulata*, визначений у зведеному розрізі с. Шандроголове (зразки 6, 7, 8) у мергелях жовтих, з великою кількістю кременів (зразок 8). В угрупованні встановлені чисельні форамініфери гарної збереженості середніх і великих розмірів. Тут визначені бентосні види: аглютиновані – *Tritaxia tricarinata* Reuss, *Arenobulimina frons* (Olsz.), *A. presli* (Reuss), *Gaudryina pyramidata* Cushm., *G. rugosa* (Orb.), *Spiroplectammina rosula* (Ehr.), *Ataxophragmium crassum* (Orb.), *A. pax* Wolosch., *Heterostomella bullata*

Ak., *H. foveolata* (Marss.), *Orbignyna inflata* (Reuss), *O. aequigranensis nesterovi* Wolosch., *O. simplex* (Reuss), *O. pinguis* Wolosch., *Voloshinovella laffitei* (Marie), *Plectina ruthenica* (Reuss); секреційні – *Neoflabellina reticulata* (Reuss), *Gyroidinoides turgidus* Hagen., *Sitella laevis* (Beiss.), *S. carseyae* (Plumm.), *Gavelinella clementiana laevigata* (Marie), *G. ex gr. costata* Brotz., *Brotzenella complanata* (Reuss), *B. taylorensis* (Cars.), *Coleites crispus* Vass., *Angulagavelinella gracilis gracilis* (Marss.), *Stensioina pommerana* Brotz., *Cibicidoides beaumontianus* (Orb.), *Globorotalites emdyensis* Vass., *Cibicidoides bembix* (Marss.), *C. aktulagayensis* (Vass.), *Eponides frankei* Brotz., *Osangularia navarroana* (Cushm.), *Bolivina peterssoni* Brotz., *Reussella pseudospinulosa* (Troels.), *R. triangularis* (Cushm. et Park.), *Pullenia dampilae* Dain., *Dentalina soluta* Reuss, *Florilus beisseli* (Hilt. et Koch.), *Nodosaria* та ін. Планктонні форми – *Globigerinelloides volutus* (White), *Rugoglobigerina rugosa* (Plumm.), *Heterohelix globulosa* (Ehr.) та ін. Крім форамініфер у комплексі присутні стулки остракод і спікули губок, іноді. Визначені характерні види зони *Neoflabellina reticulata*: *Neoflabellina reticulata* (Reuss), *Heterostomella bullata* Ak., *Cibicidoides bembix* (Marss.), *Osangularia navarroana* (Cushm.). Дана зона відповідає макрофауністичній підзоні *Belemnella licharewi* / *B. lanceolata* зони *Acanthoscaphites tridens* окраїн Донбасу [26, 27] і виявлена в нижньоконопляннівській підсвіті конопляннівської світи (див. рис. 2).

(3) ранньомаастрихтський форамініферовий комплекс визначений у стратотиповому розрізі природного відслонення Кам'яний брід (околиці м. Луганськ). Карбонатні породи представлені кремнеземистими і піскуватими мергелями, світло-сірого, місцями жовтуватого кольору. Черепашки в угрупованні мають задовільну збереженість, чисельні та досить різноманітні, за розміром зустрінуті як крупні, так і малі форми [4, 26]. У попередніх роботах О.С. Липник [3, 16] наведено скорочений опис систематичного складу форамініфер у комплексі цього розрізу. О.Д. Веклич розширила палеонтологічну характеристику кам'янобрідської світи за форамініферами [4, 26], доповнивши її новими даними і визначивши форамініферову зону. Автором встановлені такі бентосні форми: аглютиновані – *Arenobulimina acuta* Wolosch., *A. puschi* (Reuss), *Eggerellina brevis* (Orb.), *Spiroplectammina suturalis* Kalin., *S. rosula* (Ehr.), *Gaudryina pyramidata* Cushm., *Ataxophragmium vialovi* Wolosch., *A. crassum* (Orb.), *A. fertile* Wolosch., *Heterostomella bullata* Ak., *H. foveolata* (Marss.), *Orbignyna sacheri* (Reuss), *O. ovata* Hagen., *O.*



*inflata* (Reuss), *O. pinguis* Wolosch., *Plectina ruthenica* (Reuss), *P. convergens* (Kell.); секретійні – *Nodosaria lepidula* Schwag., *Neoflabellina reticulata* (Reuss), *Sitella laevis* (Beiss.), *S. obtusa* (Orb.), *Discorbis mirgorodicus* Lipn., *D. transuralicus* Moroz., *Stensioeina pommerana* Brotz., *Eponides peracutus* Lipn., *E. frankei* Brotz., *Osangularia navarroana* (Cushm.), *Gyroidinoides umbilicatus* (Orb.), *Pullenia dampelae* Dain, *Brotzenella complanata* (Reuss), *B. taylorensis* (Cars.), *Hanzawaia ekblomi* (Brotz.), *Cibicides beaumontianus* (Orb.), *Cibicidoides bembix* (Marss.), *C. voltzianus* (Orb.), *C. aktulagayensis* (Vass.), *C. polycameratus* Plotn., *Bolivina decurrens* (Ehr.), *B. kalinini* Vass., *B. incrassatum* (Reuss), *B. funalis* Wolosch. (= *B. plaita* (Cars.)), *Valvulineria biconvexa* Lipn., *Cuneus minutus* (Marss.), *Bolivinoidea delicatulus* Cushm., *B. peterssoni* Brotz., *Reussella triangularis* (Cushm. et Park.), *Eouvigerina aspera inflata* Marie, *Pseudovigerina cristata* (Marss.). Планктонні види – *Globigerinelloides volutus* (White), *Rugoglobigerina rugosa* (Plumm.), *Globotruncana ventricosa* White, *G. stuarti* (Lapp.), *Heterohelix globulosa* (Ehr.) та ін. Наведено характерні види комплексу: *Brotzenella complanata* (Reuss), *Spiroplectammina suturalis* Kalin., *Gaudryina pyramidata* Cushm., *Cibicidoides bembix* (Marss.), *Eponides peracutus* Lipn., *Pseudovigerina cristata* (Marss.) верхньої зони нижнього маастрихту – *Brotzenella complanata*, яка охоплює середню-верхню частини нижнього маастрихту [1, 21, 25] (див. рис. 2). Крім форамініфер, фауна представлена гастроподами, уламками роствів белемнітів, відбитками двостулкових молюсків, зубами акул, спікулами губок, а також стулками остракод. У нижньомаастрихтських відкладах відслонення Кам'яний брід Л.М. Якушиним встановлені белемніти: *Belemnella licharewi* Jel., *B. lanceolata* Schatsk., *B. lanceolata inflata* (Arkh.) [24].

(4) ранньомаастрихтський форамініферовий комплекс зони *Brotzenella complanata* виявлений в зведеному розрізі біля с. Шандриголове (зразок 9) у мергелях жовтуватих з включеннями кременів. Асоціація містить форамініфери середнього розміру, доброї збереженості. Тут визначені бентосні види: аглютиновані – *Spiroplectammina rosula* (Ehr.), "*Ataxophragmium*" *obesum* (Reuss), *Gaudryina pyramidata* Cushm., *Heterostomella foveolata* (Marss.), *H. bullata* Ak., *Orbignyna sacheri* (Reuss); секретійні – *Stensioeina pommerana* Brotz., *Neoflabellina reticulata* (Reuss), *Osangularia navarroana* (Cushm.), *Sitella laevis* (Beiss.), *S. carseyae* (Plumm.), *Gyroidinoides turgidus* (Hagen.), *Angulogavelinella gracilis stellaria* (Vass.), *Gavelinella ex gr. costata* Brotz.,

*Brotzenella complanata* (Reuss), *B. praeacuta* Vass., *Anomalinoidea pinguis pinguis* (Jenn.), *Cibicides beaumontianus* (Orb.), *Cibicidoides voltzianus* (Orb.), *C. aktulagayensis* (Vass.), *C. bembix* (Marss.), *C. spiroplectatus* (Gall. et Morr.), *Bolivina kalinini* Vass., *B. incrassata incrassata* (Reuss), *B. incrassata crassa* (Vass.), *Valvulineria biconvexa* Lipn., *Bolivinoidea delicatulus* Cushm., *B. delicatulus dracoformis* Vass., *B. clavatus* Lipn., *Pullenia dampilae* Dain та ін. Планктонні форми – *Rugoglobigerina rugosa* (Plumm.), *Biglobigerina biforaminata* (Hofk.), *Globigerinelloides volutus* (White), *G. asper* (Ehr.), *Globotruncana cretacea* (Orb.), *Heterohelix globulosa* (Ehr.) та ін. Характерні види *Brotzenella complanata* (Reuss), "*Ataxophragmium*" *obesum* (Reuss), *Gaudryina pyramidata* Cushm., *Bolivina incrassata crassa* (Vass.), які вказують на зону *Brotzenella complanata*. Дана форамініферова зона відповідає макрофауністичним підзонам *Belemnella lanceolata*, *Belemnella sumensis* зони *Acanthoscaphites tridens* окраїн Донбасу [26, 27] і виявлена у верхньоконоплянівській підсвіті коноплянівської світи і кам'янобрідській світи (див. рис. 2).

У верхньомаастрихтських відкладах Північної окраїни Донбасу нами виділяється форамініферова зона – *Hanzawaia ekblomi* (з нижньою підзоною *Cuneus minutus*) (див. рис. 2).

Пізньомаастрихтський форамініферовий комплекс визначений у зведеному розрізі біля 1,5–2 км від с. Шандриголове (зразки 1, 1а, 2, 3) у крейді білій, іноді з жовтуватим відтінком, місцями з вохристими вкрапленнями. В угрупованні встановлені форамініфери задовільної збереженості, невеликих розмірів. Тут визначені бентосні форми: аглютиновані – *Spiroplectammina suturalis* Kalin., *S. kasanzevi* Dain, *S. baudouiniana* (Orb.), *S. variabilis* Neck., *Gaudryina pyramidata* Cushm., *Heterostomella bullata* Ak., *H. leopolitana* Olsz., *Plectina convergens* (Kell.), *Discammina makaroviensis* Tur., *Trochammina voscoviensis* Tur.; секретійні – *Nodosaria lepidula* Schwag., *Fronicularia striatula* Reuss, *Robulus romoiensis* Tak., *Sitella laevis* (Beiss.), *Osangularia navarroana* (Cushm.), *Gyroidinoides obliquaseptatus* (Mjatl.), *G. turgidus* (Hagen.), *Stensioeina praecaucasica* Vass., *Hanzawaia ekblomi* (Brotz.), *Anomalinoidea pinguis pinguis* (Jenn.), *Gavelinella welleri* (Plumm.), *G. midwayensis* (Plumm.), *G. midwayensis compressa* Plotn., *G. ex gr. costata* Brotz., *Cibicides beaumontianus* (Orb.), *C. kurganicus* Neck., *Bulimina laddi* Cushm. et Hedb., *Praebulimina imbricata* (Reuss), *P. obtusa* (Orb.), *Cibicidoides bembix* (Marss.), *C. aktulagayensis* (Vass.), *Bolivina decurrens* (Ehr.), *Bolivinoidea delicatulus* Cushm.,

*B. peterssoni* Brotz., *Alabamina obtusa* (Burr. et Holl.), *Valvulineria biconvexa* Lipn., *Cuneus minutus* (Marss.), *Reussella pseudospinulosa* Troels., *Pseudovigenerina cretacea* Cushm., *P. cristata* (Marss.), *Allomorphina obliqua* Reuss, *Quadrimorphina allomorphinoides* (Reuss) та ін. Планктонних видів багато – *Rugoglobigerina rugosa* (Plumm.), *R. macrocephala* Bronn., *Globigerinelloides volutus* (White), *G. asper* (Ehr.), *Biglobigerina biforaminata* (Hofk.), *Globotruncana aspera* Hofk., *Rugotruncana tilevi* Bronn. et Brown., *Heterohelix globulosa* (Ehr.), *H. pseudotessera* (Cushm.) та ін. Характерні види – *Hanzawaia ekblomi* (Brotz.), *Anomalinoidea pinguis pinguis* (Jenn.), *Praebulimina imbricata* (Reuss), *Cuneus minutus* (Marss.) визначають зону *Hanzawaia ekblomi* верхнього маастрихту [25] (див. рис. 2).

За даними О.С. Липник [12] в Куп'янській опорній свердловині № 1 (інтервал 57,10–114,20 м) в крейді білій, писальній, щільній і крейді світло-сірій були визначені пізньомаастрихтські комплекси з "*Reussella*" *minuta* (Marss.), "*R.*" *maastrichtica* Lipn., *Hanzawaia ekblomi* (Brotz.), *Pseudovigenerina plummerae* Cushm., *Bolivina decurrens* (Ehr.), а також *B. plaita* (Cars.), *Gavelinella pertusa* (Marss.), *Cibicidoides spiroplectatus* (Gall. et Morr.). Крім форамініфер в асоціаціях були знайдені стулки остракод.

За нашими дослідженнями у пізньомаастрихтських угрупованнях Куп'янської опорної свердловини № 1 містяться форамініфери дрібні та дуже дрібні за розміром, що може вказувати на їх пригніченість, чисельність і різноманіття їх незначне. У комплексах свердловини цього інтервалу разом з вищеперерахованими встановлені такі види – *Gaudryina lvovensis* Plotn., *Stensioeina pommerana* Brotz., *Eponides peracutus* Lipn., *Gavelinella welleri* (Plumm.), *G. ex gr. costata* Brotz., *Cibicidoides aktulagayensis* (Vass.), *Bolivinoidea peterssoni* Brotz., *Valvulineria biconvexa* Lipn., визначені також характерні види зони *Hanzawaia ekblomi* – *Anomalinoidea pinguis pinguis* (Jenn.), *Praebulimina imbricata* (Reuss) [25] (див. рис. 2).

Наявність виду "*Reussella*" *minuta* (Marss.) (= *Cuneus minutus* (Marss.)) в двох асоціаціях верхнього маастрихту Північної країни Донбасу, вказує на присутність нижньої підзони "*Reussella*" *minuta* зони *Hanzawaia ekblomi* за О.С. Липник [15] як в ДДЗ, так і в наших розрізах. Оскільки згідно діючих стратиграфічних схем України 2013 р. у верхньомаастрихтських відкладах країн Донбасу макрофауністична зона не встановлена [26, 27], тому відповідність проведена з макрофауністичною зоною

*Belemnitella junior* / *Spyridoceras tegulatus* платформної України, якій відповідає нижня частина форамініферової зони *Hanzawaia ekblomi* (див. рис. 2).

Найбільша подібність наших комплексів форамініфер виявлена з видами маастрихтських асоціацій відкладів ДДЗ, на що вказувала ще О.С. Липник [15, 17], автор цілком дотримується цієї думки. Виокремлені нами форамініферові зони характеризують одновікові відклади й інших територій (Південної країни Донбасу за даними Ж.І. Долиної [10], Конксько-Ялинської западини за даними Л.Ф. Плотнікової [22] та ін.), що свідчить про безперервний зв'язок морського басейну Північної країни Донбасу, зокрема з басейном ДДЗ, а також з Європейською палеогеографічною провінцією в маастрихтський час [1]. На підтвердження цього висновку свідчить те, що у складі нижньомаастрихтських комплексів (1, 2), з різних структурно-фаціальних районів, присутні характерні для верхнього кампану еврифаціальні види *Globorotalites emdyensis* Vass. і *Cibicidoides aktulagayensis* (Vass.), які визначені у нижньому маастрихті, а останній з них – в усіх шістьох, зокрема верхньомаастрихтських комплексах.

Форамініфери видів *Cibicidoides bembix* (Marss.), *C. propinquus* Plotn., *Hanzawaia ekblomi* (Brotz.) є типовими для мілководних фацій [24]. Черепашки першого виду визначені нами в усіх маастрихтських комплексах, другого – в (1) ранньомаастрихтському (свердловина № 22–Д, м. Суходільськ), а третього – в пізньомаастрихтських асоціаціях. До більш глибоководних форамініфер належать види – *Bolivinoidea delicatulus* Cushm., *Bolivina plaita* (Cars.) [24] встановлені нами в (3) ранньомаастрихтському комплексі стратотипового розрізу Кам'яний брід (околиці м. Луганськ), відмітимо, що перший вид зустрінуто майже в усіх маастрихтських угрупованнях.

Аналіз систематичного складу форамініфер у маастрихтських комплексах, зокрема переважання бентосних форамініфер і присутність незначної кількості планктонних видів свідчить, що маастрихтські відклади Північної країни Донбасу, утворилися в шельфовій зоні, з глибиною до 100 м. За даними дослідження макрофауни Л.М. Якушин зазначав, що маастрихтське море платформної України характеризувалося незначними палеоглибинами (до 50 м), теплою водою (20–21°C), нормальною солоністю та переважанням карбонатного осадконакопичення [27].

Порівняння маастрихтських форамініфер, встановлених нами у розрізах, з видами МСШ здійснене за шкалою 2008 р. [28], оскільки в цій шкалі вказаний зональний поділ планктонних

форамініфер для верхньокрейдових відкладів та стратиграфічне поширення планктонних, бентосних видів форамініфер і зональних маркерів Бореальної провінції. За МСШ 2008 р. [28] в ранньому маастрихті продовжують свій розвиток бентосні форамініфери Бореальної провінції, вони представлені такими зональними видами-маркерами – *Globorotalites ? michelinianus*, *Stensioeina pommerana*, *Neoflabellina reticulata*, *Osangularia navarroana* і види *Bolivinoidea decoratus decoratus*, *Pseudovigierina cristata*. Види *Bolivinoidea decoratus decoratus*, *Globotruncana ventricosa* закінчують своє існування у ранньому маастрихті, а *Bolivinoidea peterssoni*, *Pseudovigierina cristata* – у пізньому маастрихті. Всі вони є спільними для наших розрізів і МСШ 2008 р.

**Висновки.** При проведенні мікропалеонтологічних досліджень маастрихтських відкладів Північної країни Донбасу нами був визначений і проаналізований систематичний склад форамініфер з двох природних відслонень (зведений розріз с. Шандроголове і Кам'яний брід) і двох свердловин (№ 22–Д і Куп'янської опорної свердловини № 1). Встановлені чотири ранньомаастрихтські та два пізньомаастрихтські форамініферові комплекси з видами-індексами і характерними видами, які визначають зони. Для даного регіону нами розроблений біостратиграфічний поділ маастрихтських відкладів за бентосними

форамініферами, який доповнює стратиграфічну схему верхньокрейдових відкладів Північної країни Донбасу. Вивчення вертикального поширення форамініфер у комплексах цього відрізка часу дозволило виділити тут такі три зони (знизу вгору): *Neoflabellina reticulata* і *Brotzenella complanata* – нижнього маастрихту, *Hanzawaia ekblomi* (з нижньою підзоною *Cuneus minutus*) – верхнього маастрихту. Форамініферова зона *Neoflabellina reticulata* (нижньої частини нижнього маастрихту) відповідає макрофауністичній підзоні *Belemnella licharewi* / *B. lanceolata* зони *Acanthoscaphites tridens* країни Донбасу і виявлена в нижньоконоплянівській підсвіті коноплянівської світи. Форамініферова зона *Brotzenella complanata* (середньої, верхньої частини нижнього маастрихту) відповідає підзонам за макрофауною *Belemnella lanceolata*, *Belemnella sumensis* зони *Acanthoscaphites tridens* країни Донбасу і виявлена у верхньоконоплянівській підсвіті коноплянівської світи і кам'янобрідській світі. Нижня частина форамініферової зони *Hanzawaia ekblomi* відповідає макрофауністичній зоні *Belemnella junior* / *Spyridoceramus tegulatus* (нижньої частини верхнього маастрихту платформної України). Встановлено види, які є спільними при співставленні визначених форамініфер із зональними маркерами і видами Бореальної провінції МСШ.

#### Література

1. Беньямовский, В.Н. Схема инфразонального биостратиграфического расчленения верхнего мела Восточно-Европейской провинции по бентосным фораминиферам. Статья 2. Сантон–маастрихт [Текст] / В.Н. Беньямовский // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – М.: Геологический институт РАН. – 2008, том 16. – № 5. – С. 62-74.
2. Бланк, М.Я. Стратиграфия верхнемеловой толщи Северного Донбасса [Текст] / М.Я. Бланк, В.Ф. Горбенко // Материалы по геологии Донецкого бассейна. – М.: Недра, 1968. – С. 34-46.
3. Бланк, М.Я. Стратиграфия верхнеосенонских відкладів північних країн Донбасу [Текст] / М.Я. Бланк, О.С. Липник // Доповіді АН УРСР. – 1964. – № 5. – С. 635-638.
4. Веклич, Е.Д. Фораминиферы зоны *Brotzenella complanata* из нижнемаастрихтских отложений каменнобродской свиты (Северная окраина Донбасса) [Текст] / Е.Д. Веклич // ПАЛЕОСТРАТ-2017. Годичное собрание (науч. конфер.) секции палеонтологии МОИП и Моск. отд. Палеонтол. об-ва при РАН. Москва. 28 января – 1 февраля 2017 г. / А.С. Алексеев (ред.). – М.: Палеонтол. ин-т им. А.А. Борисяка РАН. – 2017. – С. 17-18.
5. Веклич О. Зональний поділ верхньокрейдових відкладів Північної країни Донбасу за форамініферами [Текст] / О. Веклич // Проблеми геології фанерозою України. Матеріали ІХ Всеукр. наук. конф. 10-12 жовтня 2018 р. Львівського нац. ун-ту ім. І. Франка. – 2018. – С. 25-28.
6. Горбенко, В.Ф. Детальное стратиграфическое расчленение верхнемеловых отложений северо-западной окраины Донбасса и увязка микрофаунистических комплексов с диаграммами стандартного электрокаротажа [Текст] / В.Ф. Горбенко // ДАН СССР. – 1959. – Т. 128. – № 3. – С. 548-581.
7. Горбенко, В.Ф. Описательная часть. Тип Protozoa – простейшие [Текст] / В.Ф. Горбенко // Атлас верхнемеловой фауны Донбасса / Под ред. Г.Я. Крымгольца. – М.: Недра, 1974. – С. 26-61.
8. Григялис, А.А. Зоны и зональные комплексы фораминифер верхнемеловых отложений Русской платформы [Текст] / А.А. Григялис, В.С. Акимец, Е.С. Липник // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1974, № 4. – С. 114-118.
9. Григялис, А.А. Филогенезы бентосных фораминифер – основа зональной стратиграфии верхнемеловых отложений (на примере Восточно-Европейской платформы) [Текст] / А.А. Григялис, В.С. Акимец, Е.С. Липник // Вопросы микропалеонтологии. – 1980. Вып. 23. – С. 145-160.
10. Долина, Ж.И. Фораминиферы и их значение для стратиграфии верхнемеловых отложений южной окраины Донецкого складчатого сооружения и зоны его сочленения с Приазовским кристаллическим массивом [Текст]: Автореф. ... канд. геол.-минерал. наук: 04.128 (стратиграфия и палеонтология) / Ж.И. Долина // [Харьковский гос. ун-т им. А.М. Горького]. – Харьков, 1972. – 29 с.

11. Иванников, А.В. Региональная стратиграфическая схема верхнемеловых отложений платформенной Украины [Текст] / А.В. Иванников, Е.С. Липник, Л.Ф. Плотникова и др. // Препр./АН УССР, Ин-т геол. наук; 91-1. – Киев, 1991. – 31 с.
12. Іванніков, О.В. Окраїни Донецького басейну. Верхня крейда [Текст] / О.В. Іванніков, О.С. Липник // Стратиграфія УРСР. Т. VIII. Крейда / Відп. ред. О.К. Каптаренко-Черноусова. – К.: Наук. думка, 1971. – С. 21-40.
13. Каптаренко-Черноусова, О. К. Фораминиферы мела Украины: палеонтологический справочник. [Текст] / О. К. Каптаренко-Черноусова, Л. Ф. Плотникова, Е. С. Липник. – Киев: Наук. думка, 1979. – С. 85-260.
14. Конопліна, О.Р. Стратиграфія верхньокрейдяних відкладів північно-західної окраїни Донецького басейну по форамініферах [Текст] / О.Р. Конопліна // Геол. журн. – 1952. – Т. 12, вип. 1. – С. 29-41.
15. Липник, Е.С. Зоны бентосных фораминифер и известкового нанопланктона в кампане и маастрихте Днепровско-Донецкой впадины [Текст] / Е.С. Липник, С.А. Люльева / Препр. / АН УССР. Ин-т геол. наук; 81-23. – Киев, 1981. – 37 с.
16. Липник, О.С. Нові дані про нижньомаастрихтські відклади східних окраїн Донбасу [Текст] / О.С. Липник, Т.О. Ткаченко // Доповіді АН УРСР. – 1960. № 1. – С. 77-81.
17. Липник, О.С. Форамініфери і стратиграфія верхньокрейдяних відкладів Дніпровсько-Донецької западини [Текст] / О.С. Липник // – К.: Труды ІГН АН УРСР, серія страт. і палеонт. – 1961. – Вип. 35. – 83 с.
18. Матвеев, А.В. Мікропалеонтологічна характеристика кампан-маастрихтських відкладів Пооскілля [Текст] / А.В. Матвеев, А.Д. Шоміна, І.В. Колосова, В.В. Синегубка // Вісник ХНУ. Серія: Геологія. Географія. Екологія. – 2016. – Вип. 44. – С. 35-44.
19. Найдин, Д.П. Схема биостратиграфического расчленения верхнего мела Европейской палеобиогеографической области [Текст] / Д.П. Найдин, В.Н. Беньямовский, Л.Ф. Копаевич // Вестник МГУ. Серія 4: Геология. – 1984. – № 5. – С. 3-15.
20. Никитина, Ю.П. Верхнемеловые отложения восточной части Большого Донбасса [Текст] / Ю.П. Никитина // Тр. ВНИГРИ. – Л., 1956. – С. 277-283.
21. Олферьев, А.Г. Стратиграфическая схема верхнемеловых отложений Восточно-Европейской платформы. Объяснительная записка [Текст] / А.Г. Олферьев, А.С. Алексеев. – М.: ПИН РАН, 2005. – 204 с.
22. Плотникова, Л.Ф. Мілководні верхньокрейдяні форамініфери платформеної частини УРСР [Текст] / Л.Ф. Плотникова. – К.: Наук. думка, 1967. – 108 с.
23. Плотникова, Л.Ф. О возрасте стратотипических разрезов каменнобродской свиты и причепиловских слоев Северного Донбасса [Текст] / Л.Ф. Плотникова, Л.Н. Якушин // Палеонтологічне обґрунтування стратонів фанерозою України / Відпов. ред. Ю.В. Тесленко. – К., 2001. – С. 47-49.
24. Плотникова, Л.Ф. О стратиграфии маастрихтских отложений Северного Донбасса [Текст] / Л.Ф. Плотникова, Л.Н. Якушин, А.В. Шумник // Теоретичні та прикладні аспекти сучасної біостратиграфії фанерозою України / Відпов. ред. П.Ф. Гожик. – К., 2003. – С. 222-224.
25. Практическое руководство по микрофауне СССР. Т. 5. Фораминиферы мезозоя [Текст] / Под ред. А.Я. Азбель, А.А. Григалис. – Л.: Недра, 1991. – 375 с.
26. Стратиграфія верхнього протерозою та фанерозою України [Текст] Т. 1: Стратиграфія верхнього протерозою, палеозою та мезозою України / Гол. ред. П.Ф. Гожик. – К.: ІГН НАН України, Логос, 2013. – 638 с.
27. Якушин, Л.М. Біостратиграфія осадових утворень, палеогеографія та палеоекологія пізньокрейдяного басейну платформної України (за макрофауною) [Текст]: Автореф. ... д-ра геол. наук 04.00.09 / Л.М. Якушин // [ІГН НАН України]. – К., 2010. – 43 с.
28. Ogg, J.G. The Concise Geologic Time scale / J.G. Ogg, G. Ogg, F.M. Gradstein. – Cambridge: Cambridge University Press, 2008. – 150 p.
29. Ogg, J.G. Cretaceous / J.G. Ogg, L.A. Hinnov, C. Huang // The Geologic Time Scale 2012 / F.M. Gradstein, J.G. Ogg, M.D. Schmitz, G.M. Ogg (Eds.). – Amsterdam: Elsevier, 2012. – P. 794-853.

UDC 563.12:551.763.3(477.6)

**Olena Veklych,**

Junior Researcher, Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine,  
55-b O. Honchara St., Kyiv, 01054, Ukraine,

e-mail: [veklych\\_od@i.ua](mailto:veklych_od@i.ua); <https://orcid.org/0000-0002-0017-8955>

#### **BIOSTRATIGRAPHIC DIVISION OF THE MAASTRICHTIAN DEPOSITS OF THE NORTHERN OUTSKIRTS OF DONBAS BY FORAMINIFERS**

**Purpose.** Development of a zonal biostratigraphic scheme by benthic foraminifers from Maastrichtian deposits of the Northern outskirts of Donbas, by using the studied sections of the region as an example.

**Methodology.** Microfaunistic analysis was used in the processing of the material. Shells were removed from 150-200 g rocks by the standard methodology in Franke chambers and studied, using the MBS-9 microscope.

**Results.** The biostratigraphic division of the Maastrichtian deposits of the Northern outskirts of the Donbas by benthic foraminifers, previously proposed by the author for the Upper Cretaceous deposits of this territory, is presented. An analysis of the four Early Maastrichtian and two Late Maastrichtian foraminiferal complexes made it possible to distinguish three zones of foraminifers. In the Lower Maastrichtian, the following zones were identified – *Neoflabellina reticulata* (lower), *Brotzenella complanata* (upper), in the Upper Maastrichtian – *Hanzawaia ekblomi* (with lower subzone *Cuneus minutus*). The *Neoflabellina reticulata* zone has been defined by the characteristic species *Neoflabellina reticulata*, *Orbignyna sacheri*, *Heterostomella bullata*, *Cibicoides bembix*, *Osangularia navarroana*, *Bolivina decurrens*, *B. incrassata incrassata*, *Pseudovigerina cristata*. The *Brotzenella complanata* zone is characterized by the following species: *Brotzenella complanata*, *Spiroplectammina suturalis*, *Gaudryina pyramidata*, *Cibicoides bembix*, *Eponides peracutus*, *Bolivina incrassata crassa*, *Pseudovigerina cristata*. Species *Hanzawaia ekblomi*, *Anomalinoidea pinguis*, *Praebulimina imbricata*, *Cuneus minutus* are characteristic of the *Hanzawaia ekblomi* zone. Correspondence of the foraminiferous zones to macrofaunistic is given: *Neoflabellina reticulata* to the subzone *Belemnella licharewi* / *B. lanceolata*, *Brotzenella complanata* – subzones of *Belemnella lanceolata* and *Belemnella sumensis* of the *Acanthoscaphites tridens* zone of the outskirts of Donbas, the lower part of the *Hanzawaia ekblomi* zone – the *Belemnitella junior* / *Spyridoceramus tegulatus* zone of platform Ukraine. According to the current stratigraphic schemes of Ukraine, the correspondence of the Maastrichtian foraminiferal zones to the local stratigraphic subdivisions of the Northern outskirts of Donbas is indicated. The paleontological characteristics of the Konoplyanivska (two subsuites) and Kamyanobridska suites, which according to the age corresponds to the Lower Maastrichtian deposits, were supplemented with new data. A comparison of the studied foraminifers with species of the Boreal province of the International Stratigraphic Scale was carried out, general species are indicated.

**Scientific novelty.** "The stratigraphic scheme of the Upper Cretaceous deposits of the Northern outskirts of Donbas" is supplemented with new data.

**Practical significance.** The biostratigraphic division of the Maastrichtian deposits of the Northern outskirts of the Donbas by benthic foraminifers can be used for interregional correlation, as well as for detailed mapping of this region.

**Keywords:** foraminifers, Lower, Upper Maastrichtian deposits, zone, the Northern outskirts of Donbas.

#### References

1. Benyamovsky, V. (2008). *Scheme of the infrazonal biostratigraphic division of the Upper Cretaceous of the East European Province by benthic foraminifers. Article 2. Santonian – Maastrichtian. Stratigraphy. Geological correlation. M., Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, 16, 5, 62-74.*
2. Blank, M., Gorbenko, V. (1968). *Stratigraphy of the Upper Cretaceous Sequence of the Northern Donbass. Materials on the geology of the Donetsk basin. M., Nedra, 34-46.*
3. Blank, M., Lipnik, O. (1964). *Stratigraphy of the Upper-Senonian of the Northern outskirts of Donbas. Dopovidi AN URSR, 5, 635-638.*
4. Veklich, E. (2017). *Foraminifera of the zone Brotzenella complanata from the Lower Maastrichtian deposits of the Kamennobrodsk svite (Northern outskirts of Donbass). PALEOSTRAT-2017. Annual meeting (scientific conference) of the paleontology section of the Moscow Society of Nature Testers and Moscow. Paleontol. branch. Society at the RAS. Moscow. January 28 – February 1, 2017. A. Alekseev (eds.). M., Paleontol. Institute of them A. Borisya RAS, 17-18.*
5. Veklych, O. (2018). *Zonal division of the Upper Cretaceous deposits of the Northern outskirts of Donbas by foraminifers. Problems of geology with Phanerozoic of Ukraine. Materials IX All-Ukrainian. sciences. conf. October 10-12, 2018 Lviv. national University named after I. Franko, 25-28.*
6. Gorbenko, V. (1959). *Detailed stratigraphic separation of the Upper Cretaceous deposits of the north-western outskirts of the Donbass and coordination of microfaunistic complexes with standard electric logs diagrams. Reports of the Academy of sciences of the USSR, 128, 3, 548-581.*
7. Gorbenko, V. (1974). *Descriptive part. Type Protozoa – protozoa. Atlas of the Upper Cretaceous fauna of the Donbass. G. Krymholtz (eds.). M., Nedra, 26-61.*
8. Grigyalis, A., Akimets, V., Lipnik, E. (1974). *Zones and zonal complexes of foraminifers of the Upper Cretaceous deposits of the Russian Platform. Bulletin of the USSR Academy of Sciences. Series geol., 4, 114-118.*
9. Grigyalis, A., Akimets, V., Lipnik, E. (1980). *Phylogenesis of benthic foraminifers – the basis of the zonal stratigraphy of the Upper Cretaceous deposits (on the example of the East European platform). Questions of micropaleontology, 23, 145-160.*
10. Dolina, Zh. (1972). *Foraminifers and their significance for stratigraphy of the Upper Cretaceous deposits of the southern outskirts of the Donetsk fold structure and the zone of its junction with the Priazovsky crystalline massif:*

- Abstract of cand. geol.-mineral. sciences: 04.128 (stratigraphy and paleontology) [A. Gorky Kharkiv State University]. Kharkov, 29.*
11. Ivannikov, A, Lipnik, E., Plotnikova, L. et al. (1991). Regional stratigraphic scheme of the Upper Cretaceous deposits of platform Ukraine. Preprint AN USSR, Institute of Geol. sciences; 91-1. Kiev, 31.
  12. Ivannikov, O., Lipnik, O. (1971). Outskirts of the Donetsk basin. Upper Cretaceous. Stratigraphy of URSR. Vol. VIII. Cretaceous. O. Kaptarenko-Chernousova (res. ed.). K., Nauk. dumka, 21-40.
  13. Kaptarenko-Chernousova, O., Plotnikova, L., Lipnik, E. (1979). Foraminifers of the chalk of Ukraine: paleontological reference book. Kiev: Nauk. dumka, 85-260.
  14. Konoplina, O. (1952). Stratigraphy of the Upper Cretaceous deposits of the north-western outskirts of the Donetsk basin according to foraminifers. Geol. Journal, 12, 1, 29-41.
  15. Lipnik, E., Lyuleva, S. (1981). Zones of benthic foraminifers and calcareous nanoplanktons in the Campan and Maastricht of the Dnieper-Donets depression. Preprint AN USSR, Institute of Geol. sciences; 81-23. Kiev, 37.
  16. Lipnik, O., Tkachenko, T. (1960). New data on the Lower Maastrichtian deposits of the eastern outskirts of Donbas. Dopovidi AN URSR, 1, 77-81.
  17. Lipnik, O. (1961). Foraminifers and stratigraphy of the Upper Cretaceous deposits of the Dnieper-Donetsk basin. K.: Proceedings of IGN Academy of Sciences of the URSR, series stratigr. and paleont., 35, 83.
  18. Matveev, A., Shomina, A., Kolosova, I., Sinegubka, V. (2016). Micropaleontological characteristics of the Campanian-Maastrichtian deposits of Pooskillye. Visnyk of KhNU. Series: "Geology. Geography. Ecology", 44, 35-44.
  19. Naydin, D., Benyamovsky, V., Kopaevich, L. (1984). Scheme of biostratigraphic dismemberment of the Upper Cretaceous of the European paleobiogeographic region. Bulletin of Moscow State University. Series 4: Geology, 5, 3-15.
  20. Nikitina, Yu. (1956). Upper Cretaceous deposits of the eastern part of the Big Donbass. Proceedings of the All-Union Scientific Research Geological Russian Institute. L., 277-283.
  21. Olf'er'ev, A, Alekseev, A. (2005). Stratigraphic scheme of the Upper Cretaceous deposits of the East European platform. Explanatory Note. M., PIN RAS, 204.
  22. Plotnikova, L. (1967). Shallow Upper Cretaceous foraminifers of the platform part of the URSR. K.: Nauk. dumka, 108.
  23. Plotnikova, L., Yakushin, L. (2001). About the age of stratotypic sections of the Kamennobrodsk svite and the Prychepilov layers of the Northern Donbass. Paleontological substantiation of strata by Phanerozoic of Ukraine. Yu. Teslenko (Rep. ed.). K., 47-49.
  24. Plotnikova, L., Yakushin, L., Shumnik, A. (2003). On the stratigraphy of the Maastrichtian deposits of the North Donbass. Theoretical and applied aspects of modern biostratigraphy of Phanerozoic of Ukraine. P. Gozhik (Rep. ed.). K., 222-224.
  25. A practical guide to the microfauna of the USSR. T. 5. Foraminifers of the Mesozoic (1991). Ed. A. Azbel, A. Grigalis. L., Nedra, 375.
  26. Stratigraphy of the Upper Proterozoic and Phanerozoic of Ukraine (2013). Vol. 1: Stratigraphy of the Upper Proterozoic, Paleozoic and Mesozoic of Ukraine. P. Gozhyk (Editor-in-chief) K., IGN NAS of Ukraine, Logos, 638.
  27. Yakushin, L. (2010). Biostratigraphy of sedimentary formations, paleogeography and paleoecology of the Late Cretaceous basin of platform Ukraine (by macrofauna): Abstract ... Dr. geol. sciences 04.00.09 [IGN NAS of Ukraine]. K., 43.
  28. Ogg, J.G, Ogg, G., Gradstein, F.M. (2008). The Concise Geologic Time scale. Cambridge: Cambridge University Press, 150.
  29. Ogg, J.G., Hinnov, L.A., Huang, C. (eds.) (2012). Cretaceous. In: The Geologic Time Scale 2012. Amsterdam: Elsevier, 794-853.



**Лідія Іванівна Давибіда,**

к. геол. н., доцент, кафедра геотехногенної безпеки та геоінформатики,  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна,  
e-mail: [davybida61085@gmail.com](mailto:davybida61085@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-9796-7124>;

**Марія Михайлівна Тимків,**

асистент, кафедра геотехногенної безпеки та геоінформатики,  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
e-mail: [maritymkiv@gmail.com](mailto:maritymkiv@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0001-5392-116X>

## ГЕОСТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ І ОПТИМІЗАЦІЯ ДЕРЖАВНОЇ МЕРЕЖІ ГІДРОГЕОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ В МЕЖАХ БАСЕЙНУ ПРИП'ЯТІ (УКРАЇНА)

*Система державного моніторингу підземних вод України перебуває у незадовільному стані, що зумовлює втрату даних безперервних базаторічних режимних спостережень за гідрогеологічними характеристиками, знижує достовірність оцінок і прогнозів стану підземної гідросфери.*

*Метою даного дослідження є вирішення актуальної проблеми оцінки фактичного стану й оптимізації мережі спостережних гідрогеологічних свердловин для території транскордонного водообмінного басейну Прип'яті в межах України. Для досліджуваної території характерною є недостатня репрезентативність державної мережі гідрогеологічного моніторингу як у порівнянні з нормативами країн Європейського Союзу, так і з діючою мережею моніторингу підземних вод сусідньої Білорусі.*

*У рамках даного дослідження авторами здійснено огляд існуючих підходів до організації і вдосконалення мережі режимних спостережень. Запропонована концепція розвитку і впровадження системи гідрогеологічного моніторингу території України на основі геостатистичного оцінювання мережі та геоінформаційного підходу.*

*У якості просторової основи для проектування систем спостережень державного і регіонального рівнів використано схему гідрогеологічного районування за умовами формування водообміну у верхньому гідрогеологічному поверсі. Межі водообмінних басейнів і суббасейнів у природних умовах, як правило, визначаються розмірами та конфігурацією річкових басейнів.*

*Для території досліджуваного водообмінного басейну Прип'яті проведено аналіз щільності та рівномірності розподілу пунктів спостереження, варіограмний аналіз просторового розподілу рівнів підземних вод у межах досліджуваної території, виконано оцінку очікуваної похибки просторового моделювання рівневої поверхні підземних вод за результатами моніторингу для існуючої мережі. Результати геостатистичного аналізу дали змогу обґрунтувати розміщення проектних свердловин у межах водообмінних суббасейнів для підвищення якості вирішення задач гідрогеологічного моніторингу.*

**Ключові слова:** спостережні свердловини, метод найближчого сусідства, рівні підземних вод, крігінг, середньоквадратична похибка.

**Л. И. Давыбиды, М. М. Тымкив. ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЕТИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ПРЕДЕЛАХ БАСЕЙНА ПРИПЯТИ (УКРАИНА).** Система государственного мониторинга подземных вод Украины пребывает в неудовлетворительном состоянии, что приводит к потере данных непрерывных многолетних режимных наблюдений за гидрогеологическими характеристиками, снижает достоверность оценок и прогнозов состояния подземной гидросферы.

*Целью данного исследования является решение актуальной проблемы оценки фактического состояния и оптимизации сети наблюдательных гидрогеологических скважин для территории трансграничного водообменного бассейна Припяти в пределах Украины. Для исследуемой территории характерна недостаточная репрезентативность государственной сети гидрогеологического мониторинга как по сравнению с нормативами стран Европейского Союза, так и с действующей сетью мониторинга подземных вод соседней Беларуси.*

*В рамках данного исследования авторами выполнен обзор существующих подходов к организации и совершенствованию режимных наблюдений. Предложена концепция развития и внедрения системы гидрогеологического мониторинга территории Украины на основе геостатистического оценивания сети и геоинформационного подхода.*

*В качестве пространственной основы для проектирования систем наблюдений государственного и регионального уровней использована схема гидрогеологического районирования по условиям формирования водообмена в верхнем гидрогеологическом этаже. Границы водообменных бассейнов и суббасейнов в естественных условиях, как правило, определяются размерами и конфигурацией речных бассейнов.*

*Для территории исследуемого водообменного бассейна Припяти проведен анализ плотности и равномерности распределения пунктов наблюдения, вариограмный анализ пространственного распределения уровней подземных вод в пределах исследуемой территории, выполнена оценка ожидаемой погрешности пространственного моделирования уровневой поверхности подземных вод по результатам мониторинга для существующей сети. Результаты геостатистического анализа позволили обосновать размещение проектных скважин в пределах водообменных суббасейнов для повышения качества решения задач гидрогеологического мониторинга.*

**Ключевые слова:** наблюдательные скважины, метод ближайшего соседства, уровни подземных вод, кригинг, среднеквадратичная погрешность.

**Постановка проблеми.** Підземні води є найбільш динамічною складовою геологічного середовища. Тому для вивчення фізичної суті і причинно-наслідкових зв'язків гідрогеологічних

явищ і процесів, складання надійних прогнозів їх мінливості необхідно використовувати новітні ефективні методи організації гідрогеологічного моніторингу. На даний час в Україні склалася

вкрай несприятлива і загрозна ситуація щодо функціонування системи спостережень за кількісними і якісними характеристиками підземних вод. Недостатнє фінансування, застаріле вимірювальне обладнання, різке скорочення кількості спостережних свердловин, відсутність єдиної бази даних і координованої взаємодії між організаціями-суб'єктами моніторингу, призупинення ведення спостережень за мінливістю рівнів, температурою і хімічним складом унеможливають обґрунтовані оцінку, моделювання і контроль параметрів підземної гідросфери. Так, станом на 01.01.2018 р. мережа державного моніторингу підземних вод складалась із 892 спостережних пунктів, зокрема на ґрунтові води – 288, на міжпластові води – 214, на опорних полігонах по вивченню умов формування експлуатаційних запасів підземних вод – 390. Проте спостереження за рівнем підземних вод у 2017 році проводились лише по 224 спостережних пунктах, а за хімічним складом – по 125 [6]. Така ситуація є катастрофічною, особливо, враховуючи той факт, що на початку 90-х років державна мережа гідрогеологічного моніторингу налічувала 7000 свердловин, абсолютна більшість яких зараз є законсервованими або взагалі ліквідованими. Таким чином, дані багаторічних рядів безперервних спостережень – втрачені, що унеможливує здійснення обґрунтованих оцінок і прогнозів динамічних гідрогеологічних процесів [2, 7, 9].

Очевидно, що необхідно розробити заходи для відновлення державної спостережної мережі і її поступової адаптації до європейських норм і вимог [18]. Відмітимо, що одним із основних принципів управління водними ресурсами у більшості розвинених країн є здійснення моніторингу і територіального управління на рівні річкового басейну, а не адміністративної території. Басейновий принцип управління обґрунтовується єдністю поверхневих і підземних вод у межах річкового басейну.

У роботі [9] виділено ряд першочергових завдань для реорганізації державної мережі гідрогеологічного моніторингу. Зокрема, у найбільш стислі терміни заплановано проведення інвентаризації пунктів спостережень, оцінку їх репрезентативності, розробку концепції реформування системи моніторингу, створення відповідних галузевих нормативних документів, а також формування єдиної бази даних із залученням ІС-технологій.

Для реалізації басейнового принципу обробки даних гідрогеологічного моніторингу в якості просторової основи для державного рівня системи спостережень доцільно розглядати схему районування за умовами формування водообміну у верхньому гідрогеологічному поверсі [2, 16].

Система вивчення підземного стоку ґрунтується на динамічних особливостях водообмінних басейнів різного порядку, виділених за принципом єдності потоків підземних вод від областей формування стоку до його основного розвантаження, яке контролюється єдиним замкнутим балансом підземних вод. Розміри і межі водообмінних басейнів у природних умовах, як правило, визначаються розмірами та конфігурацією річкових басейнів.

Картограма щільності діючих пунктів спостережень за динамікою ґрунтових вод [6, 7] для басейнів II-го і III-го порядків підтверджує вкрай нерівномірний розподіл спостережних свердловин у межах України, а отже, і дефіцит гідрогеологічної інформації для окремих територій (рис. 1).

Зокрема, недостатня забезпеченість пунктами моніторингу характерна для басейну Дону, північної частини басейну Дніпра, півдня басейну Південного Бугу, окремих водообмінних округів (басейнів III порядку) басейну Дністра. Саме ці території потребують першочергового розгляду і проведення заходів для відновлення мережі гідрогеологічного моніторингу. Особливу увагу, згідно вимог Рамкової Водної директиви ЄС, слід приділяти транскордонним басейнам, розташованим на території кількох держав [4, 12, 17].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Значна кількість і широка географія досліджень, присвячених проблемам проектування і вдосконалення мереж моніторингу підземних вод, результати яких зокрема представлені в роботах [3, 9-14, 16, 17, 20, 22-29], свідчать про виняткову актуальність даного питання.

У результаті опрацювання як класичної літератури [3, 11, 19, 20], так і сучасних публікацій [13, 14, 25], можна виділити два основних підходи до організації мереж гідрогеологічного моніторингу:

1) проектування на основі математико-статистичного підходу, який базується на формальній статистичній оцінці щільності пунктів спостережень з урахуванням заданої похибки екстраполяції досліджуваних параметрів [3, 25]. Даний підхід застосовується і для проектування опорних мереж, і для невеликих за площею ділянок досліджень у районах розміщення водозаборів меліоративних споруд, полігонів складування відходів тощо. Спостережні свердловини розміщують у вузлах проектно-геометрично-правильної сітки, відстань між якими визначається необхідною точністю і детальністю досліджень. При бурінні свердловин їх розташування коригується з урахуванням особливостей конкретної місцевості.





Рис. 1. Схематична карта щільності спостережних пунктів для водоносного горизонту ґрунтових вод у межах водообмінних басейнів

2) проектування на основі гідрогеологічного районування території з урахуванням умов і чинників формування підземних вод і їх режиму (геологічної, тектонічної і орографічної будови, дренажності території і глибини залягання підземних вод, умов їх живлення і розвантаження, літології водоносних порід, взаємозв'язку підземних і поверхневих вод тощо). Основною одиницею такого районування є басейн підземних вод, виділений за геоструктурними умовами або за принципом єдності водообміну [9, 13, 14, 17, 23-27]. У межах кожного басейну схеми розташування точок мережі моніторингу для вивчення режиму й балансу поверхневих, ґрунтових і міжпластових вод узгоджуються, причому вивченню підлягають лише основні водоносні комплекси і горизонти [3, 18]. Режимні пункти розміщуються на типових ділянках, при цьому щільність регіональної мережі повинна бути достатньо інформативною для побудови адекватних регіональних математичних моделей, які створюються для оцінки стану і прогнозу кількісних і якісних змін підземної гідросфери.

Часто ці два підходи поєднують і застосовують одночасно для однієї території. Найбільш ефективною вважається мережа, яка при мінімальному рівні економічних затрат дає найбільш

повну інформацію про мінливість основних параметрів гідрогеологічного режиму (рівнів, температури, вмісту хімічних речовин тощо). Тому при проектуванні мережі намагаються врахувати всі існуючі особливості умов формування режиму підземних вод, тому первинну мережу проектують максимальної щільності (відстань між сусідніми пунктами зазвичай не перевищує 2 км [3, 12, 14]) і, після 2-3 років експлуатації і ретельного аналізу отриманих режимних даних, виконують оптимізацію і раціоналізацію мережі моніторингу. При цьому у межах кожного гідрогеологічного району (ділянки) залишають ті пункти, для яких отримані параметри режиму близькі до середніх значень загальної мережі району, вилучають пункти, які не дають специфічної інформації (є аналогами сусідніх точок спостережень), розширюють мережу у напрямках, де спостерігається певна невизначеність через складні гідрогеологічні умови чи наявність техногенного впливу, або де є необхідність уточнення інформації для вирішення специфічних питань екологічної безпеки, зокрема для територій, уражених екзогенними геологічними процесами. Даний підхід забезпечує максимальну інформативність мережі, хоча її надмірна щільність на початкових етапах проектування збільшує матеріальні ви-

трати на її утримання і експлуатацію.

Аналіз накопиченого досвіду подібних досліджень дозволив авторам [29] виділити три основні групи методів оптимізації гідрогеологічних спостережних мереж: гідрогеологічні, геостатистичні і застосування цифрових просторових моделей. При цьому базовими є гідрогеологічні методи, що враховують особливості гідрогеологічних систем і компонентів балансу ґрунтових вод у їх межах, та неодноразово використовувались при розробці керівних документів для управління програмами спостереження за підземними водами [18].

Геостатистичні методи дещо рідше застосовують для проектування мереж моніторингу рівня ґрунтових вод, оскільки вони вимагають великої кількості вимірювань для оцінки просторової структури мінливості досліджуваних параметрів, проте, дисперсія помилок оцінки для інтерполяції рівнів ґрунтових вод часто використовується як критерій для оцінки ефективності мережі [13, 26-29]. Аналіз публікацій з даної проблематики дозволяє виділити метод крігінгу як основний геостатистичний інструмент проектування та оптимізації мережі гідрогеологічного моніторингу, що обумовлено його перевагами як точного і гнучкого інтерполятора, можливостями оцінки дисперсії помилки інтерполяції, а також програмною реалізацією даного методу у більшості сучасних комерційних і відкритих ГС.

Створення цифрових моделей чисельних характеристик підземних вод та їх інтеграція з фільтраційними моделями може бути використано для визначення місць розташування пунктів мережі гідрогеологічного моніторингу чи її оптимізації на локальному рівні досліджень [20, 24, 29]. Проте даний метод недоцільно застосовувати для розробки регіональних мереж моніторингу рівня підземних вод через складність обчислень і неможливість урахування просторової неоднорідності гідрогеологічних умов.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Необхідно відмітити, що більшість розглянутих наукових публікацій і методичних рекомендацій щодо організації моніторингових спостережень у першу чергу детально висвітлюють питання проектування й оптимізації мереж моніторингу хімічного складу підземних вод і локальних мереж моніторингу динаміки рівнів у районах розміщення водозаборів або об'єктів, що значно порушують баланс підземних вод. У той же час, проблемам організації гідрогеодинамічного моніторингу регіонального і державного рівнів (зокрема, у межах транскордонних територій) приділено значно менше уваги.

Зазначимо також, що для багатьох країн, де

підземні води є основним джерелом водопостачання, щільність мереж гідрогеологічного моніторингу є досить високою (наприклад, у Австрії – 11 пунктів на км<sup>2</sup>, Німеччині – 19 пунктів на км<sup>2</sup>, Великобританії – 39 пунктів на км<sup>2</sup> [19]). Тому запропоновані для таких територій методики, [19, 22-24, 26], для України, де спостережні свердловини розташовані вкрай нерівномірно, значна частина їх ліквідована, а існуючі ряди спостережень містять суттєві пропуски, повинні бути переглянуті й адаптовані.

Недостатньо вивченими залишаються й питання застосування геоінформаційного підходу до вирішення подібних задач. На думку авторів, використання геоінформаційних систем (ГІС), до складу яких, зокрема входять програмні інструменти просторового і геостатистичного аналізу, надасть змогу поєднувати можливості різних груп методів проектування і оптимізації мереж гідрогеологічного моніторингу, систематизувати інформацію, отриману в результаті режимних спостережень, у межах будь-яких територіальних одиниць, а також створювати й оперативно оновлювати постійно діючі гідрогеологічні 2-D і 3-D моделі на ГІС-основі.

**Формулювання мети статті.** Метою дослідження є геоінформаційний аналіз фактичного стану мережі гідрогеологічного моніторингу і геостатистичне обґрунтування оптимальної щільності та проектного розташування нових спостережних пунктів у межах окремого водообмінного басейну, а також оцінка підвищення ефективності запроєктованої мережі для вирішення науково-прикладних гідрогеологічних задач.

У якості досліджуваної території обрано українську частину басейну річки Прип'ять (рис. 2).

Даний вибір пояснюється трьома причинами: 1) низька щільність діючих пунктів гідрогеологічного моніторингу; 2) унікальність природних (зокрема, гідрогеологічних) умов, що обумовлюють високу інтенсивність розвитку процесів підтоплення; 3) річка Прип'ять протікає в межах України і Білорусі, її басейн є транскордонною водною системою, що дає можливість розповсюдження отриманих висновків на інші території як України, так і сусідніх країн. Необхідно також враховувати актуальний досвід Білорусі, де заходи реформування і вдосконалення системи гідрогеологічного моніторингу вже були успішно проведені [12].

**Матеріали і методи дослідження.** У межах України розташовані правобережні притоки р. Прип'яті, як беруть початок на Волино-Подільській і Придніпровській височинах. За своїм режимом річки належать до типу рівнин-

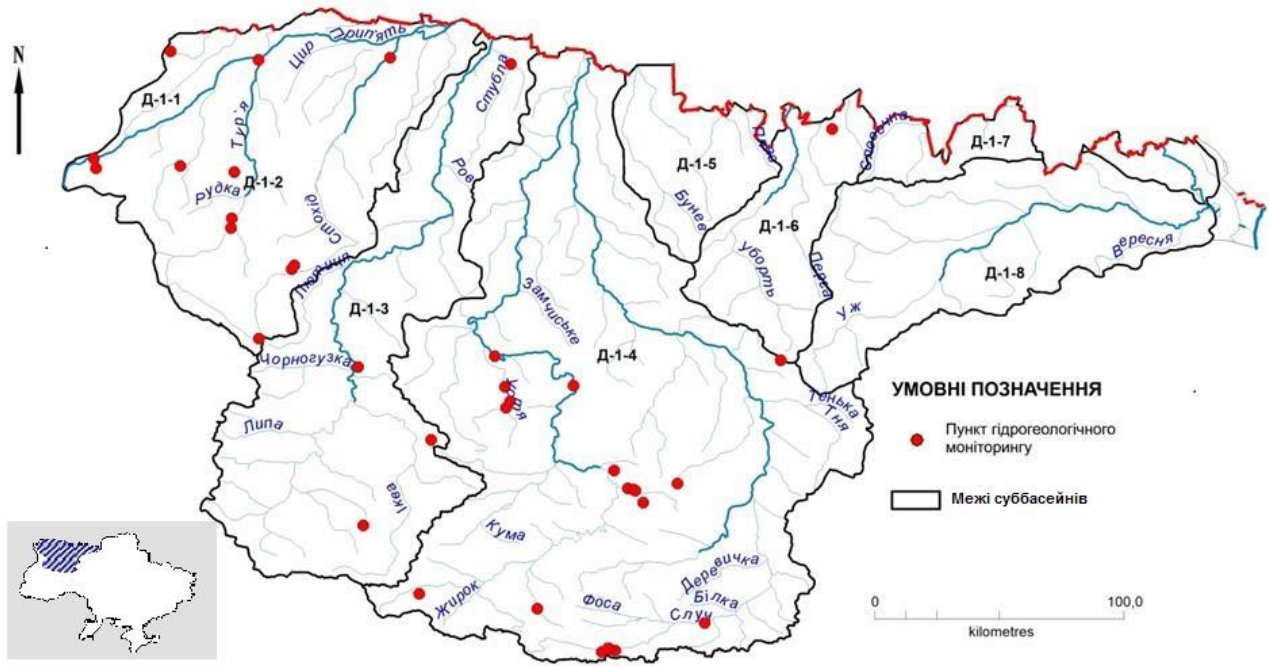


Рис. 2. Оглядова карта території дослідження

них, переважно атмосферного живлення з потужним весняним паводком і низькою меженню (часто порушуються літніми і зимовими дощовими паводками). Середньорічні модулі стоку змінюються від 3 до 4 л/с на км<sup>2</sup>. Значна частина річкового стоку (35-40%) припадає на весняні місяці (березень-квітень); на літньо-осінній період (травень-листопад) припадає 50-60% і на зимовий (грудень-лютий) до 10%. Територія розташована в зоні надмірного зволоження і характеризується стійким розвитком процесів підтоплення та максимальним в Україні заболоченням (до 20 % території).

Як вже було зазначено, територія є транскордонним басейном підземних вод із переважаючим напрямком стоку з Білорусі в Україну. За умовами формування водообміну в межах водообмінного басейну Прип'яті виділяють 8 водообмінних округів (суббасейнів 4-го порядку) (рис. 2): Д-1-1 – басейн озера Турського та Турського каналу; Д-1-2 – басейн річок Виживка, Турія, Стохід; Д-1-3 – басейн Стир; Д-1-4 – басейн Горинь і Случ; Д-1-5 – басейн Льви і Ствиго; Д-1-6 – басейн Уборть і Перги; Д-1-7 – басейн Словечни та малих річок; Д-1-8 – басейн Ужа.

У структурно-гідрогеологічному відношенні водообмінний басейн Прип'яті належить до Волино-Подільського басейну. Характерною особливістю території є поступове занурення порід у західному і південно-західному напрямках. Водонасні горизонти поширені у відкладах верхнього протерозою, кембрію, ордовіку, силуру, девону і карбону, які перекриті товщею відкладів

мезозой-кайнозою. Слід відзначити відсутність регіональних водотривів у межах досліджуваної території. Зона інтенсивного водообміну обмежена глибиною розвитку тріщинуватих порід, яка складає 100-110 м у західній і центральній частинах басейну і 300-350 м – у північно-східній частині. У північно-східній частині ця зона включає увесь розріз аж до кристалічного фундаменту, у центральній – до порід девону і силуру, а у зануреній західній частині вона обмежена верхньокрейдовими породами. Нижче вказаних глибин ступінь тріщинуватості порід різко знижується і породи стають водотривким шаром, який розмежовує перший гідродинамічний поверх від другого.

У місцях неглибокого залягання фундаменту, між підземними водами різних водонасних горизонтів, існує гідравлічний зв'язок, внаслідок чого на окремих ділянках утворюються спільні водонасні комплекси. Для водопостачання використовують майже всі водонасні горизонти і комплекси. Найбільший водовідбір здійснюється з неогенових та крейдових горизонтів [5].

Актуальна інформаційна база державної системи моніторингу підземних вод за даними ДНВП «Геоінформ України» містить інформацію про 41 спостережну свердловину в межах досліджуваної території (див. рис. 2). Серед цих свердловин 14 пробурені на безнапірний водонасний горизонт ґрунтових вод і, відповідно, 27 – на напірні горизонти підземних вод. Співвідношення між свердловинами з природним і порушеним режимом складає відповідно 16 і 25. Необхідно

відмітити також нерівномірність розташування існуючих пунктів моніторингу, більшість з яких розміщені в межах водообмінного суббасейну притоки Горинь (Д-1-4), тоді як у суббасейнах Уборті, Ствиги й Ужа мережа практично відсутня [8, 16].

Щільність спостережної мережі (з урахуванням усіх діючих спостережних свердловин) для досліджуваної території становить приблизно 1 пункт на 1700 км<sup>2</sup>, тоді як для території Білорусі середня щільність – 1 гідрогеологічна свердловина на 500 км<sup>2</sup>, а зокрема для білоруської частини басейну Прип'яті – 1 пункт на 700 км<sup>2</sup> [12]. Необхідно також відмітити, що згідно рекомендацій щодо ведення гідрогеологічного моніторингу в країнах ЄС, щільність спостережної мережі повинна становити щонайменше 1 пункт на 20-25 км<sup>2</sup> для кількісної і якісної оцінки ресурсів підземних вод, статистично обґрунтованого моделювання і ефективного контролю процесів, що відбуваються в підземній гідросфері [19].

На першому етапі оптимізації необхідно виконати аналіз просторових характеристик існуючої мережі моніторингу [7].

Рівномірність розподілу спостережних пунктів по досліджуваній території – це необхідна умова для застосування багатьох видів аналізу і моделювання. Схема розподілу пунктів є рівномірною, якщо їх щільність (кількість точок на одиницю площі) у будь-якій підобласті території дослідження дорівнює щільності у всіх інших підобластях.

У свою чергу рівномірні схеми поділяють на регулярні та випадкові. Схема є регулярною, якщо точки спостережень створюють певний вид мережі. Це означає, що відстань між точками  $i$  та  $j$  у деякому напрямку мережі є константою для будь-якої пари точок  $i$  та  $j$  для даної мережі.

Для перевірки рівномірності розподілу точок часто використовується метод найближчого сусідства. Головна перевага методу найближчого сусідства полягає у тому, що він дозволяє, крім оцінки рівномірності, отримати інформацію про природу цієї рівномірності (тобто, встановити, за регулярною чи випадковою схемою розподілені точки) відповідно до значення числового критерію –  $R$ -статистики [7, 8]. Даний критерій враховує як щільність точок мережі для досліджуваної території, так і середнє значення відстані до найближчої сусідньої точки мережі, і набуває значень в інтервалі від 0 до 2,15. На практиці для класифікації схем розподілу пунктів спостережень за допомогою методу найближчого сусідства застосовують таку шкалу:  $0,00 < R < 0,50$  – групова схема;  $0,50 < R < 1,50$  – випадкова схема;  $1,50 < R < 2,15$  – регулярна схема [1, 8].

Для виявлення і оцінки впливу локальних геометричних особливостей мережі (наявності кластерних структур і зон низької щільності) на достовірність моделей, побудованих на основі даних моніторингу, виконують аналіз топології мережі за допомогою гістограм відстаней між точками і площ полігонів Вороного-Тіссена [1].

Наступним етапом є визначення оптимального розташування моніторингових свердловин на основі формальних геостатистичних оцінок просторових характеристик мережі з урахуванням похибки екстраполяції досліджуваних параметрів. Дане завдання може бути вирішене у середовищі ГІС із застосуванням крігінгу із подальшою оцінкою похибок [7, 11, 14, 20, 25]. Важливою властивістю крігінгу є точне відтворення значень вимірювань у точках, де вони відомі [15, 22, 26-28]. Необхідно також відмітити, що варіація крігінгу не залежить від значень вихідних даних, а лише від щільності і конфігурації розташування точок спостережень. Тобто, крігінг дає однакову варіацію для всіх точок з аналогічним взаємним розташуванням, і фактично варіація крігінгу є характеристикою щільності мережі. Окрім оцінки (прогнозу) значення інтерпольованої величини в деякій точці, метод крігінгу дозволяє оцінити похибку інтерполяції для кожної прогнозованої точки. Очевидно, що при заданому критичному значенні похибки (визначається детальністю і масштабом досліджень) можна встановити максимально допустиму відстань між точками розташування пунктів мережі моніторингу. Аналіз попереднього досвіду використання геостатистичних методів для оцінки, проектування і оптимізації моніторингових мереж [26, 28] свідчить також, що застосування методу крігінгу для інтерполяції результатів спостережень не вимагає їх відповідності нормальному закону розподілу. Ці властивості крігінгу дозволяють широко його використовувати для оптимізації мереж моніторингу [1, 15, 10, 11, 13, 22].

Узагальнений алгоритм опрацювання даних для оптимізації мережі гідрогеологічного моніторингу на основі геостатистичного аналізу у геоінформаційному середовищі представлений на рисунку 3.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** У ході виконання ГІС-аналізу характеру розподілу пунктів гідрогеологічних спостережень у межах території дослідження встановлено середню відстань між сусідніми пунктами  $D=17,73$  км і підтверджено їх відповідність випадковій схемі розташування ( $R=0,86$ ), що забезпечує певну рівномірність і незалежність вимірів, проте гістограми, що відображають результати геоінформаційного аналізу геометричних параметрів мережі (відстані між точками спостережень, площі полі-

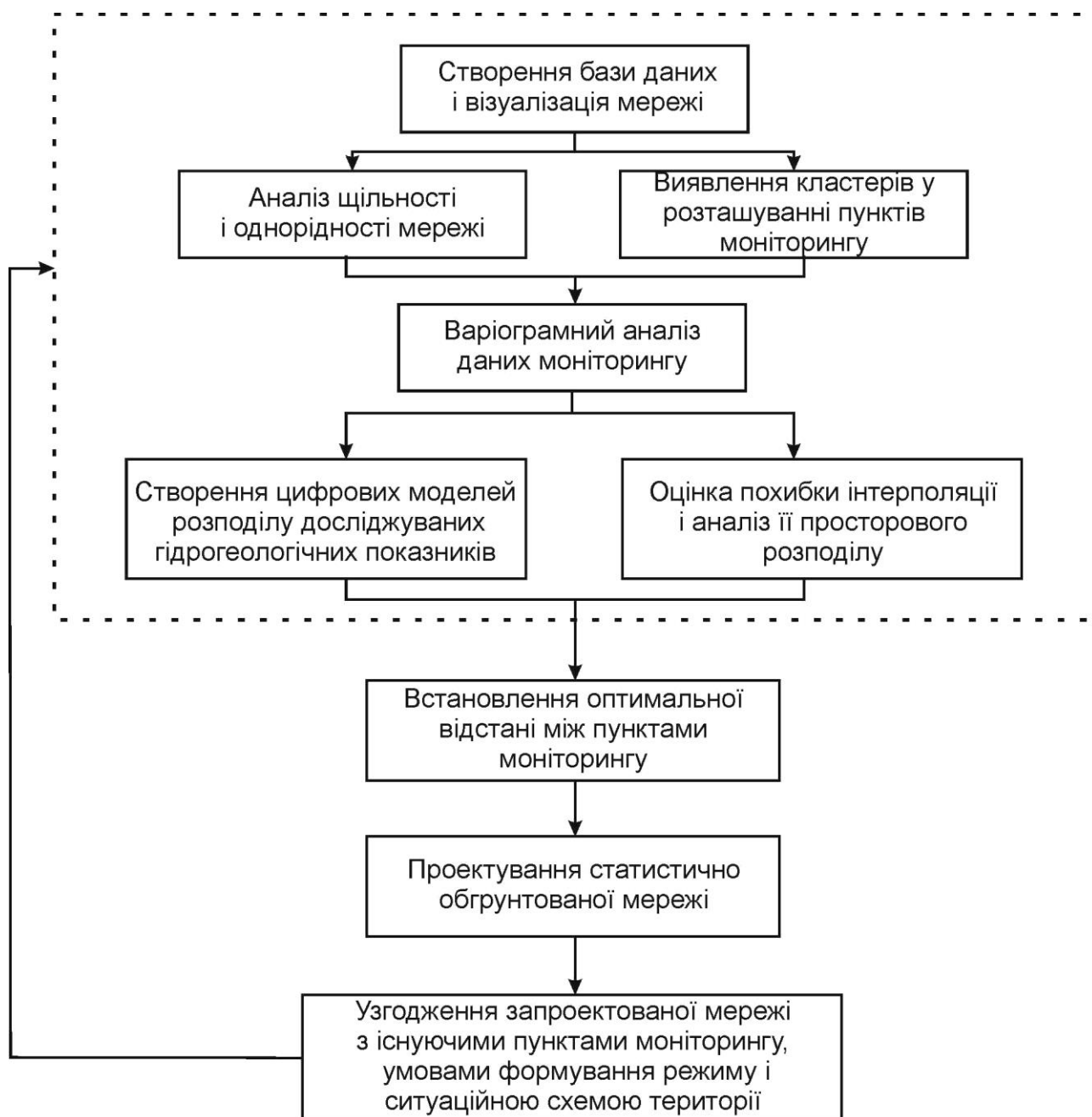


Рис. 3. Схема послідовності геостатистичного аналізу та оптимізації мережі гідрогеологічного моніторингу

гонів Вороного-Тіссена) свідчать про її значну недосконалість (рис. 4). Оскільки при рівномірному розподілі точок в просторі число пар повинно бути однаковим для всіх відстаней, то зростання числа пар з ростом відстані між точками свідчить про наявність кластерів (у даному випадку – локально розміщених груп спостережних свердловин) (рис. 4 а). Кластерністю мережі обумовлена значна асиметрія гістограми площ полігонів Вороного-Тіссена (рис. 4 б).

Очевидно, що для досліджуваної території є доцільним подальший розвиток (відновлення законсервованих і спорудження нових свердло-

вин) системи моніторингу.

Враховуючи той факт, що спостережні свердловини пробурені на напірні і безнапірні водонасінні горизонти з різними типами режиму (як природними, так і порушеними), характеризуються різними періодами спостережень (від 1-2 років до 40-50 років щомісячних спостережень), а також містять пропуски різної тривалості, виконання кореляційного і кластерного аналізу рядів спостережень для виділення груп свердловин із синхронним режимом є недоцільним. Для оцінки кількісних характеристик мінливості глибини положення рівнів підземних вод виконано по-



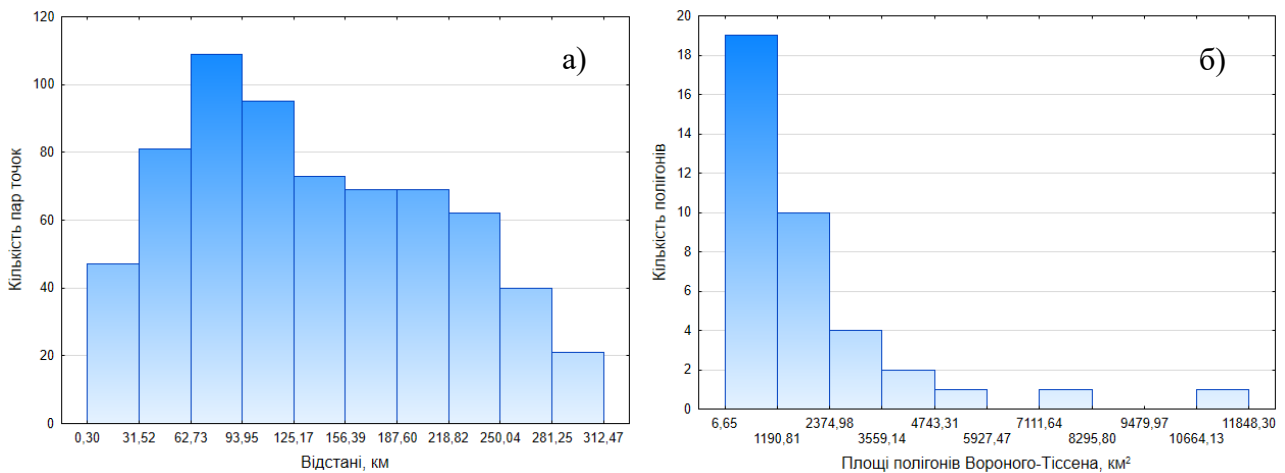


Рис. 4. Гістограми відстаней між точками мережі (а) і площ полігонів Вороного-Тіссена (б)

передній статистичний аналіз їх середньомісячних значень, розрахованих за замірами, здійсненими у 2009-2016 роках. Візуалізація результатів аналізу для пунктів моніторингу виконана за допомогою діаграми розмаху (середньобагаторічне значення положення рівня і амплітуда його коливань), що показана на рисунку 5, і графіка середньоквадратичних відхилень мінливості рівнів у спостережних свердловинах (рис. 6). Згідно ві-

домостей ДНВП «Геоінформ України» і отриманих графіків можна зробити висновок про приналежність пунктів гідрогеологічного моніторингу здебільшого до єдиного комплексу підземних вод, поширеного у тріщинуватих кристалічних породах, гідравлічно пов'язаних із ґрунтовими водами у водно-льодовикових, озерно-льодовикових і делювіальних відкладах у межах інтервалів глибин (0÷5) м, рідше – (10÷15) м.

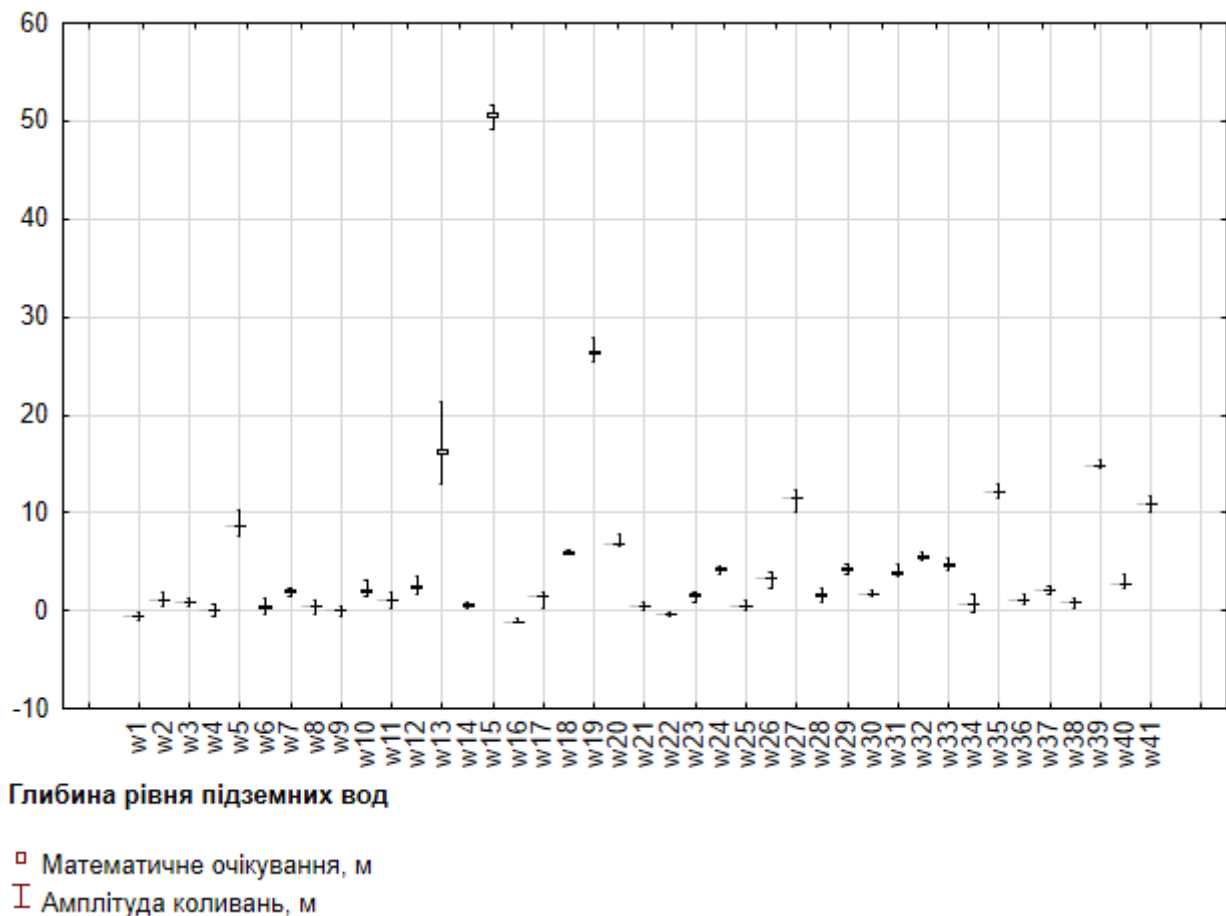


Рис. 5. Статистичні параметри динаміки рівнів підземних вод у спостережних свердловинах

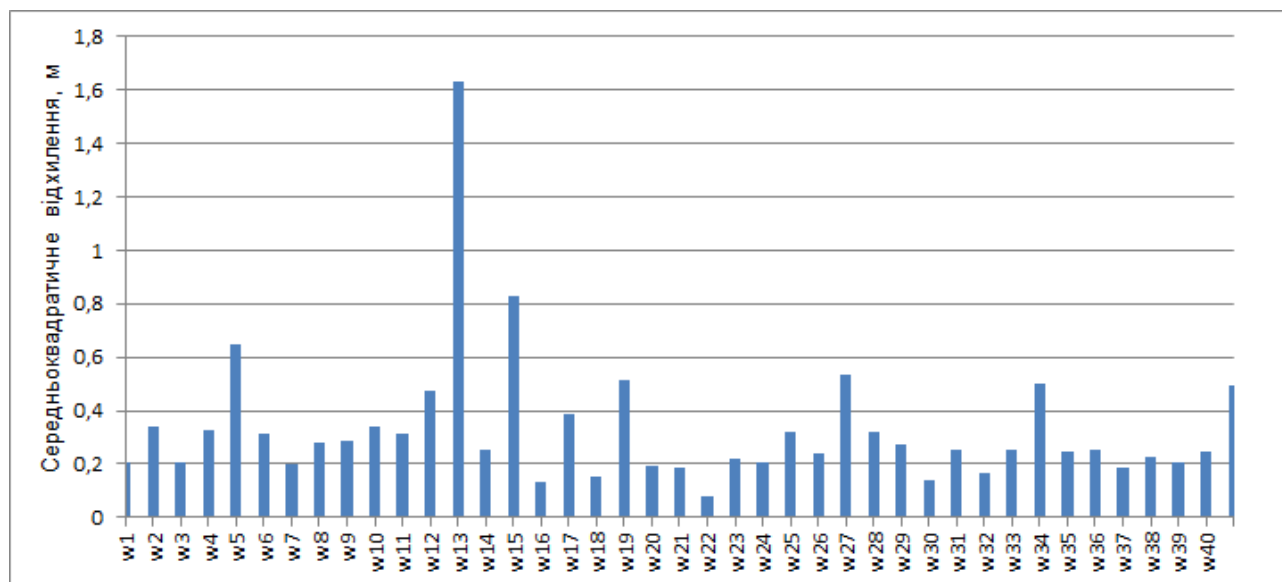


Рис. 6. Середньоквадратичні відхилення мінливості рівнів підземних вод у спостережних свердловинах

Для моделювання просторової мінливості рівнів підземних вод для регіональних масштабів досліджень у якості інтерпольованої величини, як правило, використовують абсолютні відмітки середньобагаторічних рівнів (50% забезпеченості) [11, 13, 23, 24]. Дані числові характеристики були розраховані для кожного спостережного пункту як різниця абсолютної відмітки гирла свердловини і середньобагаторічної глибини залягання рівня підземних вод. Гістограму та основні статистичні характеристики отриманої вибірки даних наведено на рисунку 8а. Розподіл є мультимодальним, що може бути пов'язано як із значною варіацією гідрогеологічних і геоморфологічних умов у межах досліджуваної території, наявністю трендів, обумовлених регіональними і локальними напрямками підземного стоку, так і обмеженим обсягом даних (39 спостережних свердловин). Саме тому крігінг є оптимальним методом для геостатистичного аналізу подібних даних, оскільки, як вже було зазначено, його застосування не вимагає відповідності розподілу вхідної вибірки даних нормальному закону.

Надалі для оцінки просторової кореляційної структури даних виконано побудову експериментальної і підбір теоретичної варіограмної моделі (рис. 8б), від якої залежить подальша ефективність застосування методу та величина похибок. Варіограма показує залежність між дисперсією рівня підземних вод у точках спостережень і відстанню між ними. Надалі емпірично підібрана залежність використовується для передбачення значень у інших точках місцевості, тобто для просторової інтерполяції.

Винятком є свердловини w15 (№ 249328816)

і w19 (№ 255070046), глибина рівня підземних вод яких становить відповідно 50,65 м і 26,32 м від земної поверхні, а середньоквадратичні відхилення значення глибини – 0,83 м і 0,51 м є несуттєвими порівняно з середньобагаторічним положенням рівня у них. Ймовірно, режим даних свердловин є атиповим і характеризує режим ізольованих міжпластових верхньокрейдяного карбонатного і верхньопротерозойського теригенного водоносних горизонтів.

Дана гіпотеза підтверджується графіками регресійних залежностей рівнів підземних вод від абсолютних висот (рис. 7).

Абсолютні відмітки рівнів підземних вод для свердловин w15 і w19 різко відрізняються від загальної тенденції (рис. 7а), а при видаленні їх із загальної вибірки залежність між поверхнею водоносних горизонтів і рельєфом земної поверхні стає практично лінійною (значення коефіцієнта детермінації  $R^2=0.992$ ) (рис. 7б). Отже, при подальшому аналізі характеристики пунктів w15 і w19 не враховувались. Результати спостережень, отримані у цих свердловинах доцільно враховувати як допоміжну інформацію для побудови комплексних гідрогеологічних моделей.

Підбір експериментальної варіограми здійснено з урахуванням можливої наявності тренду за допомогою методу найменших квадратів із подальшою кросвалідацією (перехресною перевіркою) результатів інтерполяції рівневої поверхні (табл. 1) на основі варіограм різного типу.

Отримані результати свідчать, що найбільш оптимальним варіантом для моделювання гідрогеологічних параметрів, отриманих для існуючої державної мережі моніторингу підземних вод, у межах даної території є сферична варіограма

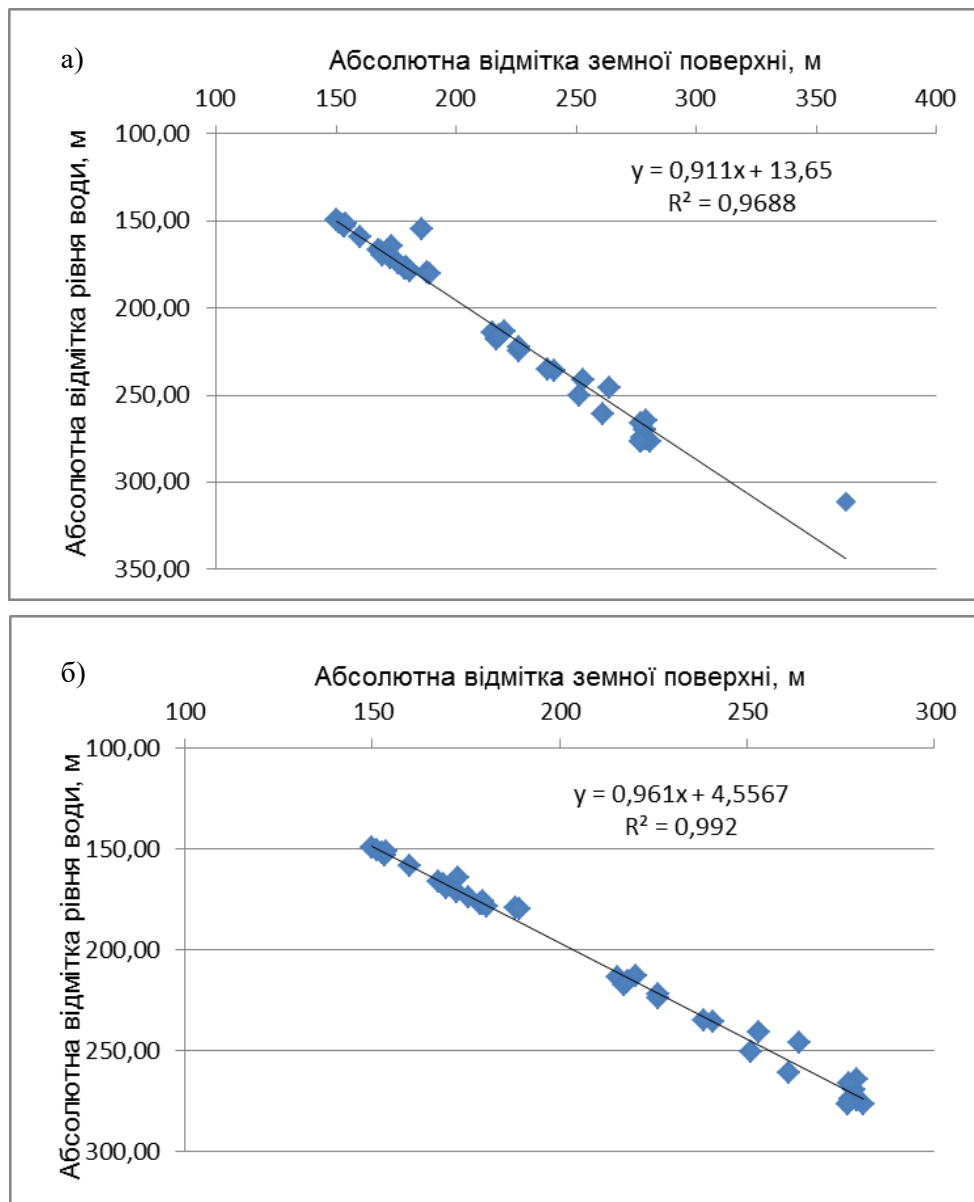


Рис. 7. Емпіричні залежності між рівневою поверхнею водоносних горизонтів і абсолютними відмітками рельєфу

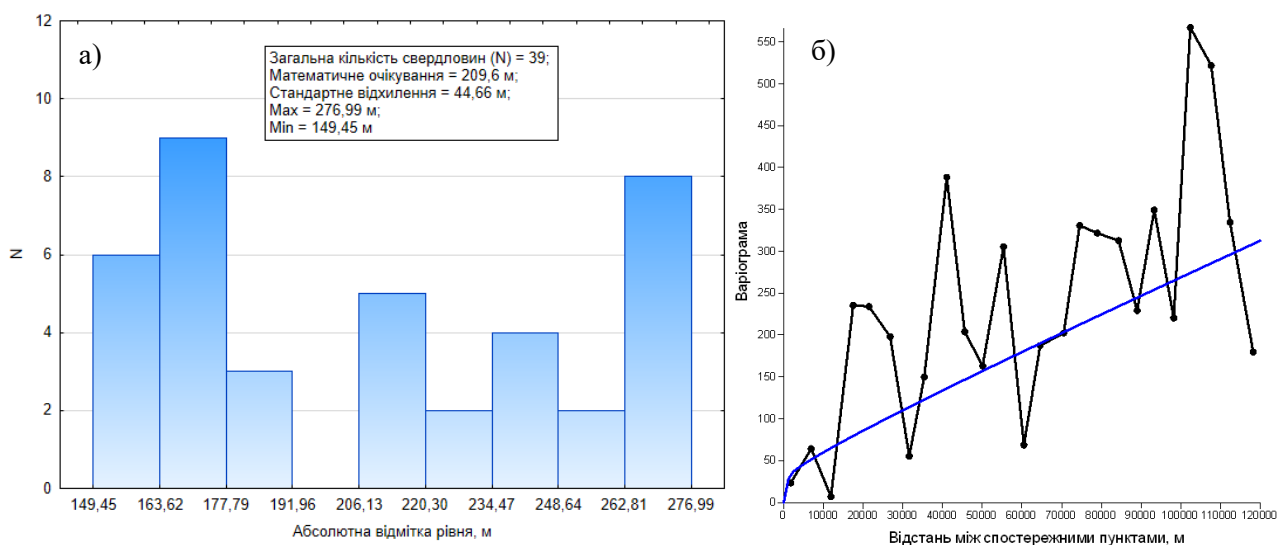


Рис. 8. Графічна візуалізація статистичного (гістограма) (а) і геостатистичного (варіограма) (б) аналізу рівнів підземних вод досліджуваної території

Результати кросвалідації для різних типів варіограмних моделей

Статистичні характеристики отриманих нев'язок	Тип варіограми			
	Лінійна	Гаусівська	Експоненційна	Сферична
Сума нев'язок, м	-31.957	-3.188	-18.196	-5.865
Мінімальне значення, м	-34.676	-33.585	-34.781	-32.623
Максимальне значення, м	29.254	27.123	30.211	28.866
Середнє значення, м	-0.913	-0.091	-0.52	-0.168
Стандартне відхилення, м	12.419	13.339	13.783	13.276
Фактичне значення критерію Колмогорова-Смірнова	0.128	0.18	0.13	0.161
Критичне значення критерію Колмогорова-Смірнова для рівня значимості 95%	0.224			

(рис. 8б), теоретична функція якої:

$$\begin{cases} \gamma(h) = C_0 + C \left[ \frac{3}{2} \left( \frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \frac{h^3}{a^3} \right], & h < a \\ \gamma(h) = C_0 + C, & h > a \end{cases}$$

де  $h$  – відстань між двома точками,  $C_0$  – нагет-ефект,  $C_0 + C$  – поріг варіограми,  $a$  – дійсний радіус кореляції (відстань, на якій існує залежність даних).

Проте отримані результати кросвалідації (зокрема, екстремальні нев'язки) свідчать також про наявність суттєвих відхилень інтерпольованих (прогнозних) значень від отриманих результатів замірів для окремих спостережних свердловин для всіх без винятку геостатистичних моделей просторової мінливості досліджуваної змінної. Очевидно, що для цифрових моделей рівнів підземних вод, побудованих на основі

експериментальних варіограм для досліджуваної території, є характерним високий ступінь невизначеності, обумовлений просторовою мінливістю гідрогеологічних умов і недосконалістю мережі моніторингу.

Для вирішення завдань оптимізації мережі моніторингу беззаперечною перевагою крігінгу є можливість обчислення і візуалізації просторового розподілу середньоквадратичної похибки інтерполяції. Значення похибки рівне нулю в точках спостережень (оскільки, як вже зазначалося, крігінг є точним методом інтерполяції) і зростає зі збільшенням невизначеності або зі зменшенням щільності мережі моніторингу. Результати просторового моделювання похибки інтерполяції рівнів підземних вод у межах території української частини басейну ріки Прип'ять наведено на рисунку 9.

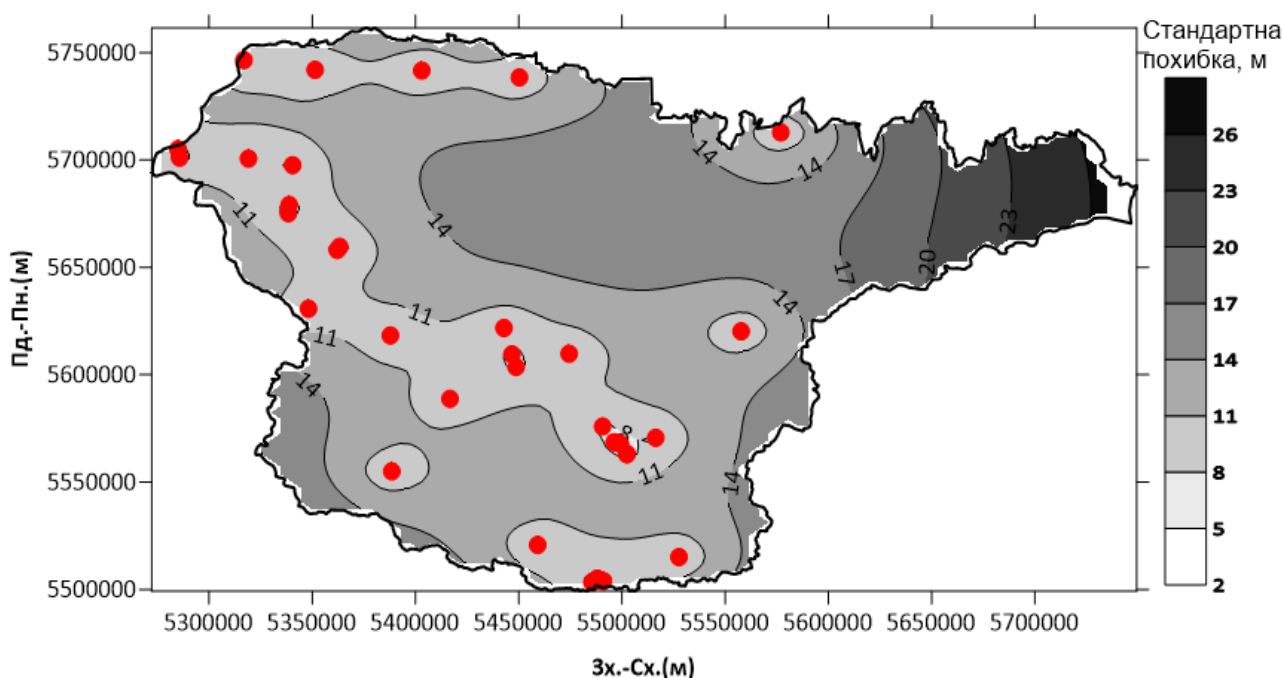


Рис. 9. Схема просторового розподілу похибки інтерполяції методом крігінгу для діючої мережі гідрогеологічного моніторингу

Отримана схема підтверджує недостатню щільність мережі. Абсолютна величина похибки інтерполяції (>14 м), яка перевищує стандартне відхилення результатів кросвалідації спостережень (див. табл. 1), для північно-східної частини території зумовлена відсутністю пунктів моніторингу. Необхідність облаштування спостережних гідрогеологічних свердловин у межах даної частини регіону (правобережжя Случі, північна частина басейну Стирі, басейни Уборті, Словечни, Ужа) є очевидною. Аналіз взаємного розташування постів моніторингу і контурів просторового розподілу величини похибки свідчить, що в середньому похибка інтерполяції перевищує критичне значення  $\pm 14$  м на відстані  $\approx 28$  км від найближчої спостережної свердловини.

Отже, для проектування розміщення свердловин побудовано сітку з кроком (28×28) км, яка покриває досліджувану територію, і координати вузлів якої служать для визначення орієнтовних координат додаткових пунктів моніторингу.

Також при проектуванні мережі гідрогеологічного моніторингу слід враховувати не тільки результати геостатистичного аналізу, але й особливості умов формування режиму підземних вод (у першу чергу – рельєф і розташування поверхневих водотоків), кількість, конфігурацію та розташування гідрогеологічних суббасейнів (округів), виділених за гідрогеодинамічним принципом (див. рис. 2) [5, 17, 21]. Необхідно розташу-

вати пости таким чином, щоб вони були репрезентативними для прирічного, терасового та вододільного типів гідрогеологічного режиму [3, 17], особливу увагу при цьому необхідно приділити транскордонній зоні [9, 18]. При наявності в межах басейну кількох водоносних горизонтів свердловини проектують у вигляді груп («кущів») із фільтрами, розташованими на різних ярусах.

На думку авторів, при розташуванні проектного пункту поблизу локалізації колишньої діючої, але ліквідованої свердловини, доцільним є узгодження проектних координат із координатами колишньої свердловини. У такому випадку можливе відновлення безперервних рядів спостережень за гідрогеологічними параметрами [5, 8].

Керуючись отриманими результатами аналізу і вищенаведеними принципами оптимізації, авторами запропоновано проект оптимізованої державної мережі гідрогеологічного моніторингу для української частини басейну річки Прип'яті (рис. 10). Додатково заплановано створити 60 пунктів гідрогеологічного моніторингу. З урахуванням запроєктованих свердловин щільність спостережної мережі становитиме приблизно 1 пункт на 690 км<sup>2</sup>. Такий показник – практично аналогічний щільності мережі моніторингу підземних вод басейну річки Прип'яті на території Білорусі.

Для проектованої мережі розрахована серед-

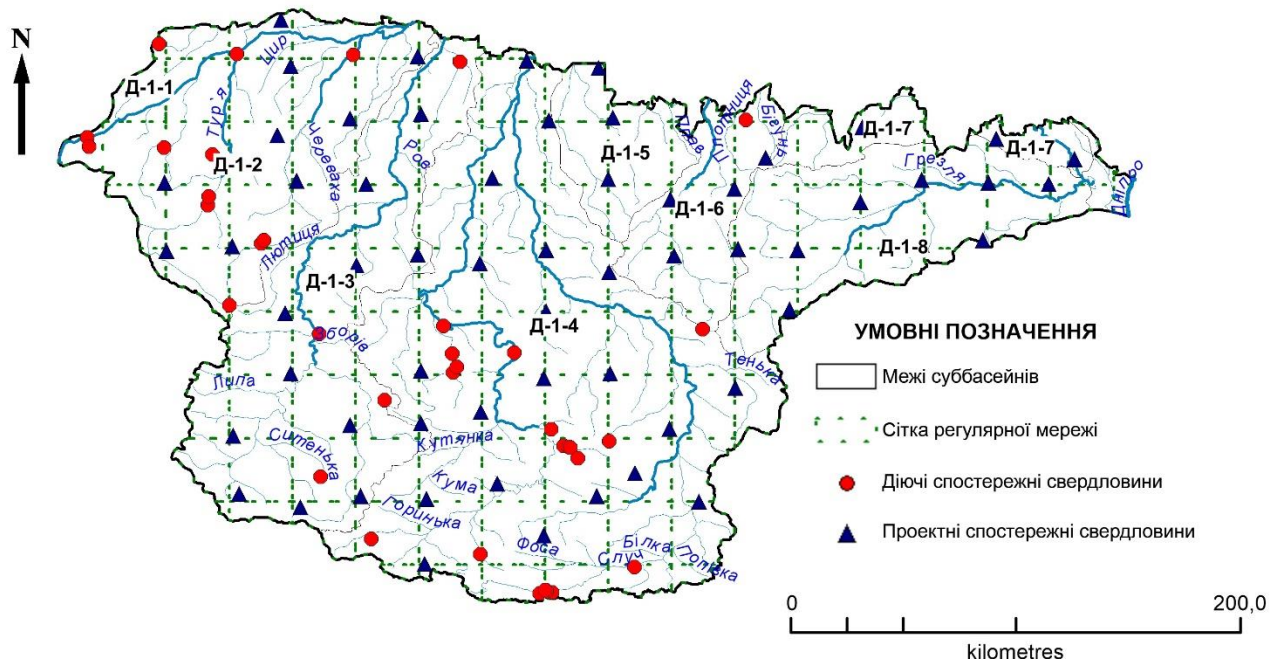


Рис. 10. Проект мережі свердловин гідрогеологічного моніторингу

ня відстань між найближчими сусідніми пунктами –  $D=20,18$  км, а значення  $R$ -статистики становить 1,54, що дозволяє ідентифікувати запропоновану схему розміщення точок спостережень як регулярну.

Завершальний етап проектування мережі потребує узгодження проектних координат постів із реальною ситуацією на місцевості, подальшої корекції і повторної геостатистичної оцінки точності моделювання поверхні підземних



вод після певного періоду (оптимально 1-2 роки) ведення спостережень за мінливістю рівнів по всіх пунктах моніторингу.

**Висновки.** Система державного моніторингу підземних вод України перебуває у незадовільному стані, що зумовлює втрату даних безперервних багаторічних режимних спостережень за якісними і кількісними гідрогеологічними характеристиками, знижує достовірність оцінок і прогнозів стану підземних вод, розвитку несприятливих процесів і, відповідно, робить неможливим попередження негативних змін геологічного середовища. Водообмінний басейн ріки Прип'ять належить до найменш охоплених діючими постами гідрогеологічного моніторингу територій України, і, враховуючи гідроекологічну вразливість і транскордонний статус, потребує першочергових заходів для розвитку спостережної мережі.

Організація і ведення гідрогеологічного моніторингу потребує значних фінансових вкладень, тому проектування ефективної спостережної мережі, яка була б достатньою для відображення закономірностей мінливості елементів режиму підземних вод і побудови їх цифрових моделей засобами сучасних геоінформаційних технологій, є важливим і першочерговим завданням.

Аналіз світового досвіду проектування і оптимізації спостережних гідрогеологічних мереж дозволяє виділити геостатистичний метод крігін-

гу як необхідний і загальноприйнятий інструмент оцінки і вдосконалення схеми розташування пунктів у межах досліджуваних територій. Проте особливості гідрогеологічних умов і конфігурація існуючих мереж моніторингу для кожної окремо взятої території обумовлюють необхідність додаткових досліджень.

Результати геоінформаційного і геостатистичного аналізу показали необхідність збільшити кількість діючих спостережних свердловин у 2,5 рази (до 101 пункту моніторингу). Розташування свердловин проектної мережі враховує районування території за гідродинамічним принципом і відповідає регулярній схемі розподілу точок спостережень. Такий підхід до розміщення пунктів моніторингу дасть змогу не тільки охопити спостереженнями ділянки із різними умовами формування гідрогеологічного режиму й отримувати більш повну інформацію, але й забезпечить рівномірність і незалежність випробувань і дозволить обґрунтовано застосовувати статистичні моделі випадкових величин для дослідження просторово-часової мінливості елементів режиму підземних вод.

Щільність запропонованої мережі є обґрунтовано мінімальною для забезпечення необхідною інформацією для вирішення задач гідрогеологічного моделювання і прогнозування національного і регіонального рівнів досліджень.

#### Література

1. Геостатистика: теория и практика / В. В. Демьянов, Е. А. Савельева; под ред. Р. В. Арутюняна; Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. – М.: Наука, 2010. – 327 с.
2. Геостатистичний аналіз і оптимізація мережі гідрогеологічного моніторингу в межах української частини басейну річки Прип'ять / Л. І. Давибіда, М. М. Тимків // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених «GeoTerrace-2018». – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. – 57-62 с.
3. Ковалевский В. С. Исследования режима подземных вод в связи с их эксплуатацией. – М.: Недра, 1986. – 198 с.
4. Кошляков О. Є. Проблеми виділення підземних водних масивів у межах транскордонних територій України з урахуванням вимог водного законодавства ЄС / О. Є. Кошляков, О. В. Диняк, І. Є. Кошлякова // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2014. – № 4 (79). – С. 67-70.
5. Рубан С.А. Гідрогеологічні оцінки та прогнози режиму підземних вод України. Монографія / С.А. Рубан, М.А. Шинкаревський. – К.: УкрДГРІ, 2005. – 572 с.
6. Стан підземних вод України, щорічник – Київ: Державна служба геології та надр України, Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України», 2018. – 121 с.
7. Тимків М. М. Аналіз стану державної мережі гідрогеологічного моніторингу території України і можливостей його оптимізації на основі геоінформаційного підходу / М. М. Тимків, Л. І. Давибіда, Е. Д. Кузьменко // Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених «GeoTerrace-2016» 15–17 грудня 2016 р. / відп. ред. К. Р. Третяк. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2016. – С. 157-160.
8. Тимків М. М. Аналіз стану мережі моніторингу підземних вод території басейну річки Прип'ять (у межах України) / М. М. Тимків, Д. В. Касіячук, Л. І. Давибіда // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Нафтогазова галузь: Перспективи нарощування ресурсної бази», 23-25 травня 2018 р. – Івано-Франківськ, 2018. – С. 310-313.
9. Шестопалов В.М. Стан і шляхи реформування державної системи моніторингу підземних вод з урахуванням міжнародного досвіду та вимог водної рамкової директиви Європейського Союзу / В. М. Шестопалов, Н. Г. Люта // Мінеральні ресурси України. – 2016. – № 2. – С. 3-4.
10. Baalousha H. Assessment of a groundwater quality monitoring network using vulnerability mapping and geostatistics: a case study from Heretaunga Plains, New Zealand / H. Baalousha // Agric Water Manag. – 2010. – № 97. – P. 240-246.
11. Ben-Jema F. Multivariate geostatistical design of groundwater monitoring networks / F. Ben-Jema, M. A. Marino,

- H. A. Loaiciga // *Journal of water resources planning and management-ASCE*. – 1994. – № 120. – P. 505-522.
12. Berezko O. Groundwater monitoring in Belarus: implication and future prospects / O. Berezko, O. Vasneva // *Transboundary Aquifers in the Eastern Borders of the European Union*. – Springer Science+Business Media. Dordrecht. – 2012. – P. 115–120.
  13. Bhat S. Geostatistics-based groundwater-level monitoring network design and its application to the Upper Floridan aquifer, USA / S. Bhat, L.H. Motz, C. Pathak, L. Kuebler // *Environ Monit Assess*. – 2015. – № 187. – P. 1-15.
  14. Chandan K.S. Optimization of groundwater level monitoring network using GIS-based geostatistical method and multi-parameter analysis: a case study in Wainganga Sub-basin, India. Chin / K.S. Chandan, B.K. Yashwant // *Geogra. Sci*. – 2017. – Vol. 27, No. 2. – P. 201-215. <https://doi.org/10.1007/s11769-017-0859-9>
  15. Davis J. *Statistics and Data Analysis in Geology*. – Biometrics, 1988. – 440 p.
  16. Davybida L. I. Assessment of Observation Network and State of Exploration as to Groundwater Dynamics within Ukrainian Hydrogeological Province of Dnieper River / L. I. Davybida, E. D. Kuzmenko // *Geomatics and Environmental Engineering*. – 2018. – 12/2. – P. 19-31.
  17. Davybida L.I. Organization of hydrogeological monitoring within the Ukrainian part of the Tisza River basin / L.I. Davybida // *Proceedings book of International symposium "The Environmental and the industry" SIMI, 2018*. – Bucharest, Romania, 2018. – P. 409-416.
  18. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy [official website]. [on-line:] [http://eurlex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8756d3d694eeb.0004.02/DOC\\_1&format=PDF](http://eurlex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8756d3d694eeb.0004.02/DOC_1&format=PDF) [access: 03.03.2020].
  19. European Freshwater Monitoring Network design European Topic Centre on Inland Waters. Topic report № 10/96 / Edited by S. C. Nixon // *European Environment Agency*. – 1996. – 131 p.
  20. Hudak P. F. A location modeling approach for groundwater monitoring network augmentation / Hudak P. F., Loaiciga H. A. // *Water Resources Research*. – 1992. – № 28. – P. 643-649.
  21. Hydrogeological Conditions and Natural Factors Forming the Regime of Groundwater Levels in the Ivano-Frankivsk Region (Ukraine) / L. Davybida, D. Kasiyanchuk, L. Shtohryn, E. Kuzmenko, M. Tymkiv // *Journal of Ecological Engineering, Issue 19(6)*, 2018. – P. 34-44.
  22. Marinoni O. Improving geological models using a combined ordinary-indicator kriging approach/ O. Marinoni // *Engineering Geology*. – 2003. – № 69. – P. 37-45.
  23. Mishra A. K. Hydrometric network evaluation for Canadian watersheds / Mishra, A. K., Coulibaly, P. // *Journal of Hydrology*. – 2010. – 380(3-4). –P. 420–437. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.11.015>
  24. Mogheir Y. Spatial assessment and redesign of a groundwater quality monitoring network using entropy theory, Gaza Strip, Palestine. / Mogheir, Y., Singh, V. P., de Lima, J. L. // *Hydrogeology Journal*. – 2006. – 14(5). – P. 700–712. <http://doi.org/10.1007/s10040-005-0464-3>
  25. Pourkhosravani M. Qualitative analysis of Orzooiyeh plain groundwater resources using GIS techniques/ M. Pourkhosravani // *Environmental Health Engineering and Management*. – 2016. – № 3. – P. 209-215.
  26. Theodossiou N. Evaluation and Optimization of Groundwater Observation Networks Using the Kriging Methodology / Theodossiou N., Latinopoulos P. // *Environmental Modelling & Software*. – 2006. – № 22. – P. 991-1000.
  27. Triki I. A geostatistical approach for groundwater head monitoring network optimisation: case of the Sfax superficial aquifer (Tunisia) / I. Triki , M. Zairi, H. Ben Dhia // *Water and Environment Journal*. – 2013. – № 27. – P. 362-372. <http://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2012.00352.x>
  28. Yang F. Design of groundwater level monitoring network with ordinary kriging / F. Yang, S. Cao, X. Liu, K. Yang // *Journal of Hydrodynamics, Ser. B*. – 2008. – 20(3). – P. 339–346. [http://doi.org/10.1016/S1001-6058\(08\)60066-9](http://doi.org/10.1016/S1001-6058(08)60066-9)
  29. Zhou Y. Upgrading a regional groundwater level monitoring network for Beijing Plain, China/ Y. Zhou, D. Dong, J. Liu, W. Li // *Geoscience Frontiers*. – 2013. – 4(1). – P. 127–138. <http://doi.org/10.1016/j.gsf.2012.03.008>

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

UDC 556.38.02

***Lidiia Davybida,***

PhD (Geology), Associate Professor, Department of Geotechnical Safety and Geoinformatics,  
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,  
15 Karpatska St., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine,

e-mail: [davybida61085@gmail.com](mailto:davybida61085@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-9796-7124>;

***Mariia Tymkiv,***

Assistant, Department of Geotechnical Safety and Geoinformatics,  
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,

e-mail: [maritymkiv@gmail.com](mailto:maritymkiv@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0001-5392-116X>

## **GEOSTATISTICAL ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF THE STATE HYDROGEOLOGICAL MONITORING NETWORK WITHIN THE PRIPYAT RIVER BASIN (UKRAINE)**

**Formulation of the problem.** The State Hydrogeological Monitoring Network has to provide the necessary information to manage groundwater resources and prevent negative changes in the geological environment. Currently, there is a negative tendency to decrease the number of observation wells, loss of information about the space-time variability of the hydrogeological regime elements in Ukraine. In conditions of limited funding, an important task is to develop an effective strategy for reforming the hydrogeological monitoring system, taking into account international experience and based on modern geoinformation technologies. Particular attention has to be given to transboundary territories. One of them is the Pripyat River basin, which is characterized by the low level of the State Hydrogeological Monitoring Network representativeness, both in comparison with European Union standards and with the existing groundwater monitoring network of neighbouring Belarus.

**The purpose of the article** is to evaluate the actual state of the hydrogeological observation wells network and optimize it within the territory of the Ukrainian part of the transboundary Pripyat watershed basin.

**Methodology and materials.** The State Scientific and Production Enterprise "Geoinform of Ukraine" database of State Groundwater Monitoring System composition and functioning as well as zoning map under the conditions of water exchange formation in the upper water-bearing level were used for the study. For the studied territory of the water exchange basin of Pripyat, the analysis of density and uniformity of the observation points distribution as well as the variogram analysis of the spatial distribution of groundwater-level altitudes within the study area were carried. For the actual monitoring network, the expected error of the spatial modelling of the groundwater-surface was evaluated.

**Results.** The obtained results of the geostatistical analysis made it possible to substantiate the project wells locations within the water exchange sub-basins to improve the quality of hydrogeological monitoring problem solutions.

**Scientific novelty.** The method of the hydrogeological monitoring network optimization has been improved based on geoinformation and geostatistical approaches and implemented for the Ukrainian part of the Pripyat River basin, taking into account the hydrogeological conditions of the territory and the configuration of the existing network.

**Practical significance.** Optimization and increment of the observation wells network, taking into account the obtained results, will provide the effective functioning of the hydrogeological monitoring system within the Ukrainian part of the Pripyat River basin and will have an economic effect, given that the cost of any measures to improve the groundwater quality and quantity is far more expensive than the monitoring system optimization.

**Keywords:** observation wells, nearest-neighbour method, groundwater levels, kriging, mean squared error.

### ***References***

1. Demyanov V.V., Savelyeva E.A. & Harutyunyan R.V., (2010). *Geostatistics: theory and practice*. M: Institute for the Safe Development of Nuclear Energy RAS, 327 [in Russian].
2. Davybida, L., & Tymkiv, M. (2018). *Geostatistical analysis and optimization of the hydrogeological monitoring network within the Ukrainian part of the Pripyat river basin*. *International Conference of Young Scientists Geoterrace-2018*, 57–62 [in Ukrainian].
3. Kovalevsky, V.S. (1986). *Groundwater regime studies in connection with the operation*. M: Nedra, 198 [in Russian].
4. Koshliakov, O., Dyniak, O., & Koshliakova, I. (2014). *Problems of determination of groundwater body at cross-border regions of Ukraine according to EU water legislation*. *Bulletin of the University of Kiev. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology*, 4 (79), 67–70 [in Ukrainian].

5. Ruban, S.A., & Shynkarevs'kyi, M.A. (2005). *Hydrogeological assessments and forecasts of groundwater regime in Ukraine*. K.: UkrDGRI, 572 [in Ukrainian].
6. *Groundwater Status of Ukraine (2018)*. State Service of Geology and Subsoil of Ukraine. State Scientific and Production Enterprise "State Information Geological Fund of Ukraine" URL: [http://geoinf.kiev.ua/wp/wp-content/uploads/2019/07/schorichnyk\\_stan\\_py\\_2018\\_1.pdf](http://geoinf.kiev.ua/wp/wp-content/uploads/2019/07/schorichnyk_stan_py_2018_1.pdf) [in Ukrainian].
7. Davybidia, L., Tymkiv, M., & Kuzmenko E. (2018). Analysis of the state of hydrogeological monitoring network within the territory of Ukraine and the possibilities of its optimization on the basis of the geoinformation approach. *International Conference of Young Scientists Geoterrace-2016*, 157–160 [in Ukrainian].
8. Tymkiv M., Kasiyanchuk D., & Davybidia L., (2018). Analysis of the Groundwater Monitoring Network of the Pripjat River Basin (within Ukraine). *Proceedings of the International Scientific and Technical Conference "Oil and Gas Industry: Prospects for Increasing the Resource Base"*, 310–313 [in Ukrainian].
9. Shestopalov, V.M., & Lyuta, N.G. (2016). Status and ways of reforming of the state groundwater monitoring system taking into account international experience and requirements of the EU water framework directive. *Mineral Resources of Ukraine*, 2, 3–4 [in Ukrainian].
10. Baalousha, H. (2010). Assessment of a groundwater quality monitoring network using vulnerability mapping and geostatistics: a case study from Heretaunga Plains. *Agric Water Manag*, 97, 240–246.
11. Ben-Jema, F., Marino, M. A., & Loaiciga, H. A. (1994). Multivariate geostatistical design of groundwater monitoring networks. *Journal of Water Resources Planning and Management-ASCE*, 120, 502–522.
12. Berezko, O., & Vasneva, O. (2012). Groundwater monitoring in Belarus: implication and future prospects. *Transboundary Aquifers in the Eastern Borders of the European Union*, 115–119. Retrieved from [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-3949-9\\_10](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-3949-9_10)
13. Bhat, S., Motz, L.H., Pathak, C., & Kuebler, L. (2015). Geostatistics-based groundwater-level monitoring network design and its application to the Upper Floridan aquifer. *Environ Monit Assess*, 187, 1–15.
14. Chandan, K.S., & Yashwant, B.K. (2017). Optimization of groundwater level monitoring network using GIS-based geostatistical method and multi-parameter analysis: a case study in Wainganga Sub-basin. *Chin Geogr Sci*, 27, 201–215. doi: <https://doi.org/10.1007/s11769-017-0859-9>
15. Davis, J. (1988). *Statistics and Data Analysis in Geology*. Biometrics.
16. Davybidia, L.I., & Kuzmenko, E.D. (2018). Assessment of Observation Network and State of Exploration as to Groundwater Dynamics within Ukrainian Hydrogeological Province of Dnieper River. *Geomatics and Environmental Engineering*, 12/2, 19–31.
17. Davybidia, L.I. (2018). Organization of hydrogeological monitoring within the Ukrainian part of the Tisza River basin. *Proceedings Book of International Symposium "The Environmental and the Industry" SIMI*, 409–416.
18. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy [official website]. [on-line:] [http://eurlex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8756d3d694eeb.0004.02/DOC\\_1&format=PDF](http://eurlex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8756d3d694eeb.0004.02/DOC_1&format=PDF) [access: 03.03.2020].
19. Nixon, S.C. (1996). *European Freshwater Monitoring Network design* European Topic Centre on Inland Waters. European Environment Agency, 10/96, 131.
20. Hudak, P.F., & Loaiciga, H.A. (1992). A location modeling approach for groundwater monitoring network augmentation. *Water Resources Research*, 28, 643–649.
21. Davybidia, L., Kasiyanchuk, D., Shtohryn, L., Kuzmenko, E., & Tymkiv, M. (2018). Hydrogeological Conditions and Natural Factors Forming the Regime of Groundwater Levels in the Ivano-Frankivsk Region (Ukraine). *Journal of Ecological Engineering*, 19(6), 34–44.
22. Marinoni, O. (2003). Improving geological models using a combined ordinary-indicator kriging approach. *Engineering Geology*, 69, 37–45.
23. Mishra, A.K., & Coulibaly, P. (2010). Hydrometric network evaluation for Canadian watersheds. *Journal of Hydrology*, 380(3-4), 420–437. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.11.015>.
24. Mogheir, Y., Singh, V.P., & de Lima, J.L. (2006). Spatial assessment and redesign of a groundwater quality monitoring network using entropy theory, Gaza Strip, Palestine. *Hydrogeology Journal*, 14(5), 700–712. doi: <http://doi.org/10.1007/s10040-005-0464-3>.
25. Pourkhosravani, M. (2016). Qualitative analysis of Orzooiyeh plain groundwater resources using GIS techniques. *Environmental Health Engineering and Management*, 3, 209–215.
26. Theodossiou, N., & Latinopoulos, P. (2006). Theodossiou N. Evaluation and Optimization of Groundwater Observation Networks Using the Kriging Methodology. *Environmental Modelling & Software*, 22, 991–1000.
27. Triki, I., Zairi, M., & Ben Dhia, H. (2013). A geostatistical approach for groundwater head monitoring network optimisation: case of the Sfax superficial aquifer (Tunisia). *Water and Environment Journal*, 27, 362–372. doi: <http://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2012.00352.x>
28. Yang, F., Cao, S., Liu, X., & Yang, K. (2008). Design of groundwater level monitoring network with ordinary kriging. *Journal of Hydrodynamics, Ser. B*, 20(3), 339–346. doi: [http://doi.org/10.1016/S1001-6058\(08\)60066-9](http://doi.org/10.1016/S1001-6058(08)60066-9)
29. Zhou, Y., Dong, D., Liu, J., & Li, W. (2013). Upgrading a regional groundwater level monitoring network for Beijing Plain, China. *Geoscience Frontiers*, 4(1), 127–138. doi: <http://doi.org/10.1016/j.gsf.2012.03.008>



УДК 550.42:546.4./7:631.4(477)

**Наталія Олегівна Крюченко,**

д. геол. н., проф., провідний наук. співробітник відділу пошукової та екологічної геохімії Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М. П. Семененка НАН України, пр. Акад. Палладіна, 34, м. Київ, 03142, Україна, e-mail: [nataliya.kryuchenko@gmail.com](mailto:nataliya.kryuchenko@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8774-9089>;

**Едуард Якович Жовинський,**

д. геол.-мін. н., проф., чл.-кор. НАН України, зав. відділу пошукової та екологічної геохімії Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М. П. Семененка НАН України, e-mail: [zhovinsky@ukr.net](mailto:zhovinsky@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-1601-5998>;

**Петро Степанович Папарига,**

к. геол. н., зав. лабораторії екологічного моніторингу Карпатського біосферного заповідника Міністерства охорони навколишнього природного середовища України, вул. Красне Плесо, 77, м. Рахів, 90600, Україна, e-mail: [paparyga.ps@ukr.net](mailto:paparyga.ps@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-4021-0809>

## ГЕОХІМІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МАРМАРОСЬКОГО МАСИВУ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ

У статті представлено результати геохімічних досліджень (грунти, рослинність) недоторканих територій букових пралісів Мармароського масиву Українських Карпат. Авторами розраховані фонові значення вмісту хімічних елементів (Co, Ni, V, Cu, Zn, Pb, P, Mn, Ti, Cr, Mo, Zr, Sn, Be, La, Y, Yb, Ba, Li, Ga, Ce) у ґрунтах лісових екосистем буку Мармароського масиву – парк Буркут, урочище Підділ, гора Фігура, ділянка Форель, потік Білий, урочище Ограба та Черногірського – урочище Кевелів; що стане основою для їх моніторингу з екологічною метою та визначення прогнозних рудних ділянок. При проведенні літохімічних досліджень встановлено хімічні елементи (валовий вміст) – Co, Ni, V, Cu, Zn, Pb, P, Mn, Ti, вміст яких більший у ґрунтах, де ґрунтовірними є карбонатні породи (урочище Підділ, ділянка Форель, ділянка г. Фігура) та при відсутності карбонатів (урочище Ограба, потік Білий, парк Буркут, урочище Кевелів) – Cr, Mo, Zr, Sn, Be, La, Y, Yb, Ba, Li. Визначено основні рухомі форми металів у ґрунтах (Cu, Pb, Zn) та розраховано їх коефіцієнти рухомості, на основі чого встановлено, що рухомість металів у ґрунтах, де ґрунтовірними породами є граніто-гнейси та пісковики вища, ніж у ґрунтах на карбонатних породах у 3–10 разів. Встановлено, що значення рН ґрунтів є переважającym фактором при вирішенні питання міграції чи концентрації металів та утворенні вторинних солевих ореолів при наявності рудопрояву. Розглянуто питання кларків концентрації хімічних елементів у ґрунтах (Світу, України в цілому, та лісових екосистем Закарпаття) та наголошено, що основним важливим показником кларків є склад ґрунтовірних порід. Це дає змогу охарактеризувати геохімічні процеси (наявність геохімічних бар'єрів, сорбцію, десорбцію та інші) та прогнозувати міграцію чи концентрацію хімічних елементів. Виконано аналіз хімічного складу індикаторної рослинності та її частин – звіробій (*Hypericum L.*), деревій (*Achillea millefolium*) і білий гриб (*Boletus edulis*) на ділянці гора Фігура (Кузій-Трибушанський масив КБЗ). Визначено білий гриб, стебла звіробію і коріння деревію є концентраторами Cu, Zn. Ця відмінність важлива при проведенні біогеохімічних досліджень з пошуковою метою.

**Ключові слова:** геохімічні дослідження, фоновий валовий вміст, рухомі форми, рудопрояви, Мармароський масив.

**Н. О. Крюченко, Э. Я. Жовинский, П. С. Папарига. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАРМОРОШСКОГО МАССИВА УКРАИНСКИХ КАРПАТ.** В статье представлены результаты эколого-геохимических исследований (почвы, растительность) территории буковых лесов Марморощинского массива Украинских Карпат. Авторами рассчитаны фоновые значения содержания химических элементов (Co, Ni, V, Cu, Zn, Pb, P, Mn, Ti, Cr, Mo, Zr, Sn, Be, La, Y, Yb, Ba, Li, Ga, Ce) в почвах лесных экосистем бука Марморощинского массива: парк Буркут, урочище Пиддил, гора Фигура, участок Форель, поток Белый, урочище Ограба и Черногорского - урочище Кевелив; что станет основой для их мониторинга с экологической целью и определения прогнозных рудных участков. При проведении литохимических исследований установлены химические элементы (валовое содержание) – Co, Ni, V, Cu, Zn, Pb, P, Mn, Ti, содержание которых больше в почвах, где почвообразующими являются карбонатные породы (урочище Пиддил, участок Форель, участок г. Фигура) и при отсутствии карбонатов (урочище Ограба, поток Белый, парк Буркут, урочище Кевелив) – Cr, Mo, Zr, Sn, Be, La, Y, Yb, Ba, Li. Определены основные подвижные формы металлов в почвах (Cu, Pb, Zn) и рассчитаны их коэффициенты подвижности, на основе чего установлено, что подвижность металлов в почвах, где почвообразующими породами являются гранито-гнейсы и песчаники выше, чем в почвах на карбонатных породах в 3–10 раз, кроме того, значение рН почв является преобладающим фактором при решении вопроса миграции или концентрации металлов и образования вторичных солевых ореолов при наличии рудопроявления. Рассмотрены вопросы кларков концентрации химических элементов в почвах (Мира, Украины в целом, и лесных экосистем Закарпаття) и отмечено, что основным важным показателем кларков является состав почвообразующих пород. Это позволяет охарактеризовать геохимические процессы (наличие геохимических барьеров, сорбцию, десорбцию и т.д.) и прогнозировать миграцию или концентрацию химических элементов. Выполнен анализ химического состава индикаторной растительности и ее частей - звербой (*Hypericum L.*) и тысячелистник (*Achillea millefolium*), а также белых грибов (*Boletus edulis*) на участке гора Фигура (Кузий-Трибушанский массив КБЗ). Определено, что у белого гриба, стеблях звербой и корнях тысячелистника накапливаются металлы - Cu, Zn. Это отличие важно при проведении биогеохимических исследований с поисковой целью.

**Ключевые слова:** геохимические исследования, фоновое валовое содержание, подвижные формы, рудопроявления, Марморощинский массив.

**Постановка проблеми.** Мармароський гірський масив кристалічних порід знаходиться у Східних Карпатах на приграничних територіях України та Румунії. Нами розглянуто північно-



західну частину Мармароського масиву, яка розташована на території Українських Карпат. Тектонічна природа масиву і його геологічна будова до цього часу залишаються дискусійними. Масив складений з твердих кристалічних порід – гнейсів, слюдяних і кварцових сланців, мармуроподібних вапняків юрського періоду, що обумовлює специфічні риси рельєфу, ґрунтового покриву, флори. Саме тут розповсюджені території букових пралісів, які є прикладом недоторканих антропогенним навантаженням комплексних лісних екосистем. Основна увага наших досліджень приділена геохімічній складовій території зростання букових пралісів Мармароського масиву, або первісних лісів, яких майже не торкнулася життєдіяльність людини (занесено до списку світової спадщини ЮНЕСКО). Тут ніколи не проводилась господарська діяльність, ліс має такий самий вигляд, як і тисячі років тому.

Геохімічні дослідження букових пралісів Мармароського масиву особливо важливі, так як питання хімічної складової об'єктів довкілля (ґрунтів, рослинності) є основою визначення ступеню трансформації територій в часі. Карпати належать до однієї з найбільш досконало вивчених територій. За попередніми оцінками фахівців, загальні ресурси Карпатської металогенічної провінції становлять: Au – 400 тонн, Ag – 5,5 тис. тонн, Pb – 2,7 млн. тонн, Zn – 5,3 млн. тонн [1]. Рудопрояви містять самородний аурум, аргентум та мінерали аргентуму (сульфосоли, сульфіди, гідросульфіди), асоційовані з піритом, халькопіритом, арсенопіритом, піротином, марказитом, гематитом, галенітом та інші, що безпосередньо відобразяться на хімічному складі ґрунтовірних порід та ґрунтів. Саме тому важливим є визначення фонового вмісту хімічних елементів у ґрунтах, що стане основою для встановлення рудних ділянок, а в разі забруднення території – тією «крапкою відрахунку», на яку треба спиратися при визначенні еколого-геохімічного стану території гірських масивів букових пралісів.

**Метою роботи** є визначення фонового валового вмісту хімічних елементів (Mn, Ni, Co, Ti, V, Cr, Mo, W, Zr, Hf, Rb, Ta, Cu, Pb, Ag, Sb, Bi, Zn, Cd, Sn, Ge, Ga, Be, Sc, Ce, La, Y, Yb, Th, As, Ba, Li, P) та основних рухомих форм металів – Cu, Pb, Zn у ґрунтах лісових екосистем букових пралісів Мармароського масиву Українських Карпат; визначення біогеохімічних особливостей концентрації хімічних елементів рослинністю (опад буку, звіробій, деревій, білий гриб), що стане основою літо- і біогеохімічних пошуків та моніторингових досліджень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Увага більшості дослідників стосується вивчення закономірності розподілу хімічних елементів в

техногенно забруднених ґрунтах – території з аномально високими концентраціями хімічних елементів. В таких дослідженнях ключовим моментом є відділення антропогенної складової від фонових значень.

Основою геохімічних особливостей природних і техногенних геохімічних аномалій є вивчення розподілу хімічних елементів в різних природних середовищах. Українські Карпати є одним з найбільш перспективних рудних регіонів, про що свідчать результати металогенічного вивчення території. Останнім часом для пошуків рудних родовищ в закритих районах все більше застосовуються геохімічні методи пошуків за вторинними ореолами і потоками розсіювання – В.А. Алексєнко (1989), О.В. Лукашев (2010), та ін. Досвід застосування геохімічних пошуків за вторинними ореолами розсіювання на території Карпат обмежений. В.В. Полікарпочкін та О.П. Соловов та ін. [8] запропонували застосовувати математичні моделі формування вторинних ореолів для різних типів схильного зсуву. За припущеннями – дефлюкційні ореоли мають вигляд шарів, які витягнуті від виходу рудних тіл на денну поверхню до підніжжя схилу; глибина залягання ореолу в осадових породах залежить від положення рудного тіла на схилі; конфігурація шарів рихлих утворень може бути визначена на основі рівняння балансу їх вільного руху.

Вирішальне значення при формуванні вторинних літохімічних ореолів мають геохімічні і мінералогічні особливості руд, вмісних порід і первинних ореолів, що обумовлюють асоціацію прямих і непрямих елементів-індикаторів. Поведінка хімічних елементів у зоні гіпергенезу може бути істотно відмінною, а умови, які сприяють посиленню міграційної здатності одних елементів, можуть значно зменшити здатність до міграції інших. Розподіл мікроелементів у ґрунтах Карпат вивчали Н.К. Крупський, Ю.Я. Сущик [2] і багато інших.

Після цього періоду детальних досліджень щодо геохімічного складу ґрунтів, рослинності не проводилися. За літературними даними, існують лише дані про узагальнюючий (фоновий) вміст, який наведений для різних типів ґрунтів [3], а найбільш повна оцінка фонового вмісту хімічних елементів у ґрунтах наведена в рамках міжнародного проекту GEMAS [4]. Однак, річ йде лише про середній валовий вміст хімічних елементів у різних типах ґрунтів, без характеристики мінерального складу ґрунтів та прив'язки до конкретної місцевості. І саме тому, ці дані неможливо використовувати, як еталонні з пошуковою чи екологічною метою.

В результаті комплексного дослідження геохімічної складової території КБЗ нами опубліко-

вані монографія [5], де представлено результати вивчення закономірностей розподілу хімічних елементів та їх рухомих форм в об'єктах довкілля – ґрунтах, підземних та поверхневих водах, рослинності, грибах та атмосферних опадах та дослідження [6], де надано результати літохімічних, гідрохімічних та біогеохімічних досліджень лише на локальних ділянках в межах Мармароського, Кузій-Трибушанського (Кузійського), Чорногірського, Свидовецького заповідних масивів та встановлено геохімічні особливості рудних та техногенних аномалій у природних комплексах (ґрунтах, водах, рослинах) на різних орографічних рівнях природних ландшафтів. Їх подальше дослідження можуть стати основою багаточислового геохімічного картування з визначенням аномалій хімічних елементів, пов'язаних з рудопроявами поліметалів чи зонами екологічного ризику.

На сьогодні важливим є питання встановлення фоновому вмісту хімічних елементів у межах недоторканих територій (букових пралісів) Мармароського масиву, що може стати основою геохімічних методів пошуку поліметалічних рудопроявів чи визначення ступеню техногенного навантаження.

**Матеріали та методи.** Матеріалом для досліджень були проби поверхневих відкладів (ґрунтів) і рослинності – опад (сухі листя бука), однорічні трави – звіробій (*Hypericum L.*) і деревій (*Achillea millefolium*) та білі гриби (*Boletus edulis*), які автори статті відібрали за період липень-вересень 2019 року на 7 полігонах Мармароського та частково Чорногірського масивів Українських Карпат.

Дослідження було проведено на території Чорногірського, Кузій-Трибушанського та Мармароського заповідних масивів КБЗ: Чорногірський масив – урочище Кевелів; Кузій-Трибушанський масив – парк Буркут, урочище Підділ, гора Фігура, ділянка Форель; Мармароський масив – потік Білий, урочище Ограба.

На різних висотах було відібрано проби ґрунту і рослинний опад (сухі листя буку, що не були піддані розкладанню). Всього відібрано близько 30 проб ґрунту з кожної ділянки (всього 210 проб), і така ж кількість проб опадів. На ділянці гора Фігура відібрані проби білого гриба (12), звіробою (30) і деревію (32).

**Літохімічне опробування.** Відбір проб поверхневих відкладів (ґрунтів) виконувались з індикаторного горизонту за однаковою методикою: проби відбирались із верхнього шару 5см методом „конверту” із стороною квадрату 10 м, з подальшим об'єднанням п'яти точкових проб в одну, загальною вагою 1,5–2,0 кг. Відібрані проби висушувались до повітряно-сухого стану, розти-

ралися та просіювались на капроновому ситі з розміром отворів 2 мм, потім квартувались та розділялись на лабораторні наважки і дублікати.

Кількісний валовий хімічний аналіз ґрунтів і золи рослин виконували на спектрографі Сатурн-3 з графітовою пічкою в хіміко-аналітичному центрі Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України (аналітики – В.І. Коломієць, О.А. Жук). Чутливість аналізів для різних елементів – від 0,01 мкг/дм<sup>3</sup> до 0,0001 мкг/дм<sup>3</sup>.

Для визначення рухомих форм Cu, Pb, Zn зразки підлягали попередній обробці з метою переведення елементів, що визначаються, у розчин. Стандартні розчини готували за методикою І.О. Столярова, або шляхом послідовного десятикратного розведення дистильованою водою стандартного розчину концентрації 1 моль/см<sup>3</sup>. Наважку ґрунту (3 г), заздалегідь просіяну і відквартовану, поміщали у стакан місткістю 200 см<sup>3</sup>, заливали 30 см<sup>3</sup> 1н НСl, струшували протягом 10 хвилин на струшувачі «Water bath shaker type 357». Відфільтровували розчин через фільтр «біла стрічка», в отриманому фільтраті заміряли оптичну густину розчину на атомно-абсорбційному спектрофотометрі КАС 15М (аналітики – В.І. Коломієць, О.А. Жук). Згідно з калібрувальним графіком, побудованим за стандартними розчинами, визначали концентрацію металів.

Для визначення рН з отриманого фільтрату відбирали аліквоту 10 см<sup>3</sup> і на іонометрі ЕВ-74 (система скляний електрод ЕВЛ 1М 3,1 у парі з хлор-аргентум електродом порівняння ЕВЛ 1М 5,1) визначали рН. Для визначення Eh з отриманого фільтрату відбиралась аліквота 10 см<sup>3</sup> і на іонометрі ЕВ-74 (електрод платиновий ЕПВ – 1, електрод порівняння ЕВЛ М 1,5) визначався Eh (ЕРС). Обсяг контрольних вимірів становить 10 % від загальної кількості визначень кожного параметру.

**Біогеохімічне опробування.** Головними, найбільш поширеними для території об'єктами випробування рослинності були опад (сухі листя буку), трави – звіробій та деревій та білі гриби. Критеріями вибору згаданих фітооб'єктів для геохімічного випробування була їх повсюдна присутність в пунктах комплексного геохімічного опробування (проби рослинності відбирались в пунктах опробування поверхневих відкладів). По можливості, проби рослин відбирались методом „конверту” із стороною квадрату 10 м, з подальшим об'єднанням п'яти точкових проб в одну, загальною вагою 0,5–1,0 кг. Відібрані проби висушувались до повітряно-сухого стану та спопелялись у муфельних печах (у фарфорових тиглях) при вільному доступі кисню і температурі 400°C. Отриманий попіл розтирався у фар-

форовій ступці та пересипався в паперові пакети, які здавались в лабораторію для аналітичних досліджень.

*Аналітичні дослідження.* Нормуючим показником для локальних ділянок є фоновий вміст елемента, який був розрахований на основі медіанних значень.

Розрахунок форм існування металів Cu, Pb, Zn при різних рН у ґрунтових розчинів виконано за програмою PHREEQC (міграція елементів, враховує всі вірогідні форми і всі конкуруючі реакції, що відбуваються в системі) з використанням методів термодинамічного аналізу і математичного моделювання [7]. Для співставлення результатів в термодинаміці використовують стандартний стан, під яким розуміють параметри і стани речовин при їх активностях, рівних одиниці,  $P = 0,1$  МПа і  $T = 25^\circ$  С. Класична фізико-хімічна термодинаміка має справу з рівноважними, оборотними і ізолюваними системами. Фізико-хімічні розрахунки, засновані на методах рівноважної термодинаміки, мають роль орієнтиру при дослідженнях. Результати розрахунків, заснованих на таких методах в геохімії можуть бути використані для прогнозування вірогідності процесів і явищ.

Розрахунок коефіцієнту рухомості (Кр, %) проводився за формулою:  $K_r = C_{рф}/C_{вв} \cdot 100\%$ , де  $C_{рф}$  – вміст рухомої форми металів у ґрунтах (мг/кг),  $C_{вв}$  – вміст валової форми металів у ґрунтах (мг/кг) [8].

При дослідженні рослинності було використано такий показник, як коефіцієнт біологічного поглинання ( $A_x$ ) [8]. Інтенсивність поглинання характеризується відношенням вмісту елемента в золі рослин до його вмісту у ґрунті (гірській породі).  $A_x = I_x/n_x$ , де  $I_x$  – вміст елемента в золі рослин,  $n_x$  – в ґрунті, на якому росте ця рослина. Статистичний аналіз отриманих даних виконували за програмою Statistica 10.

**Характеристика ділянок досліджень.** Для дослідження обрано шість полігонів (ділянок букових пралісів) в межах Мармароського масиву та одна – в межах Чорногірського масиву. Це охоронні заповідні території Карпатського біосферного заповідника (КБЗ): Мармароський масив (Кузій-Трибушанський та Мармароський за поділом КБЗ) та Чорногірський масив (за поділом КБЗ). Чорногірський масив: урочище Кевелів; Кузій-Трибушанський масив: парк Буркут (в подальшому – п.Буркут), урочище Підділ (в подальшому – ур. Підділ), гора Фігура (в подальшому – г.Фігура), ділянка Форель (в подальшому – д. Форель); Мармароський масив: потік Білий (в подальшому – п.Білий), урочище Ограба (в подальшому – ур. Ограба). Для наочності та характеристики території робіт надано схему

розташування ділянок досліджень та тектонічну схему (рис. 1).

Для визначення процесів міграції і концентрації хімічних елементів у ґрунтах букових пралісів важливим показником є характеристика ґрунтовірних порід і саме ґрунтів. Для наочності складено таблицю, яка в загальних рисах характеризує ділянки досліджень (табл. 1).

Всі ділянки досліджень знаходяться у низькогірному висотному поясі (400–800м), окрім ділянки – г. Фігура (1070 м н.р.м.), що є середньогірським висотним поясом. Ґрунти слабо диференційовані на генетичні горизонти, вміст органічної речовини 3–12% [9]. У складі органічної речовини переважають фульвокислоти.

*Чорногірський масив КБЗ.* Урочище Кевелів знаходиться у південно-східній частині масиву, у південно-західному підніжжі гори Какараза (1558 м), на правому березі потоку Кевелів (схил  $30^\circ$ , 780 м н.р.м.). За тектонічним поділом – Дуклянський покрив (рис. 1б): флішова зона, яка представлена піщано-глинистими відкладами нижньої крейди, що виділяються темним забарвленням, помітною окремнілістю і абсолютною некарбонатністю [9]. Переважають світло-бурі лісові, суглинисті ґрунти (рН 5).

*Кузій-Трибушанський масив КБЗ.* Парк Буркут розташований у північній частині масиву, на північно східному схилі гори Камінь (1149 м), на правому березі потоку Буркут (800–900 м від центральної частини м. Рахів та автодороги Мукачево-Рогатин), у верхній частині лісопаркової поляни на висоті 550 м н.р.м. Ґрунтовірні породи представлені пісковиками, аргілітами та алевролітами. Переважають світло-бурі лісові, піщано-суглинисті (рН 4,7).

Урочище Підділ, г.Фігура, ділянка Форель знаходяться в межах Кузій-Трибушанського масиву КБЗ, за тектонічним поділом – Мармароський масив (рис. 1б). Ґрунтовірні породи – карбонатні (вапняки, доломіти, мармури). Ур. Підділ знаходиться у східній частині схилу гори Рахівська (1159 м), на висоті 540 м н.р.м., у верхній частині дендропарку центральної садиби КБЗ, на відстані 200–230 м західніше від правого берега річки Тиса та автодороги Мукачево – Рогатин. Переважають світло-бурі лісові, супіщані ґрунти (рН 5,7).

Ділянка г. Фігура розташована на східному схилі гори Фігура (1409 м), у 7,5 км на південний захід від м. Рахів, на висоті 1070 м н.р.м. (на лісовій привершинній поляні площею 2,5–3 га). Ґрунти – темно бурі лісові, суглинисті (рН 7).

Ділянка Форель (чи потік Лихий) розміщена на південно-західному схилі гори Лисина (1409м), на лівому березі потоку Лихий (3,5–4 км на південний захід від центру с. Костилівка та у

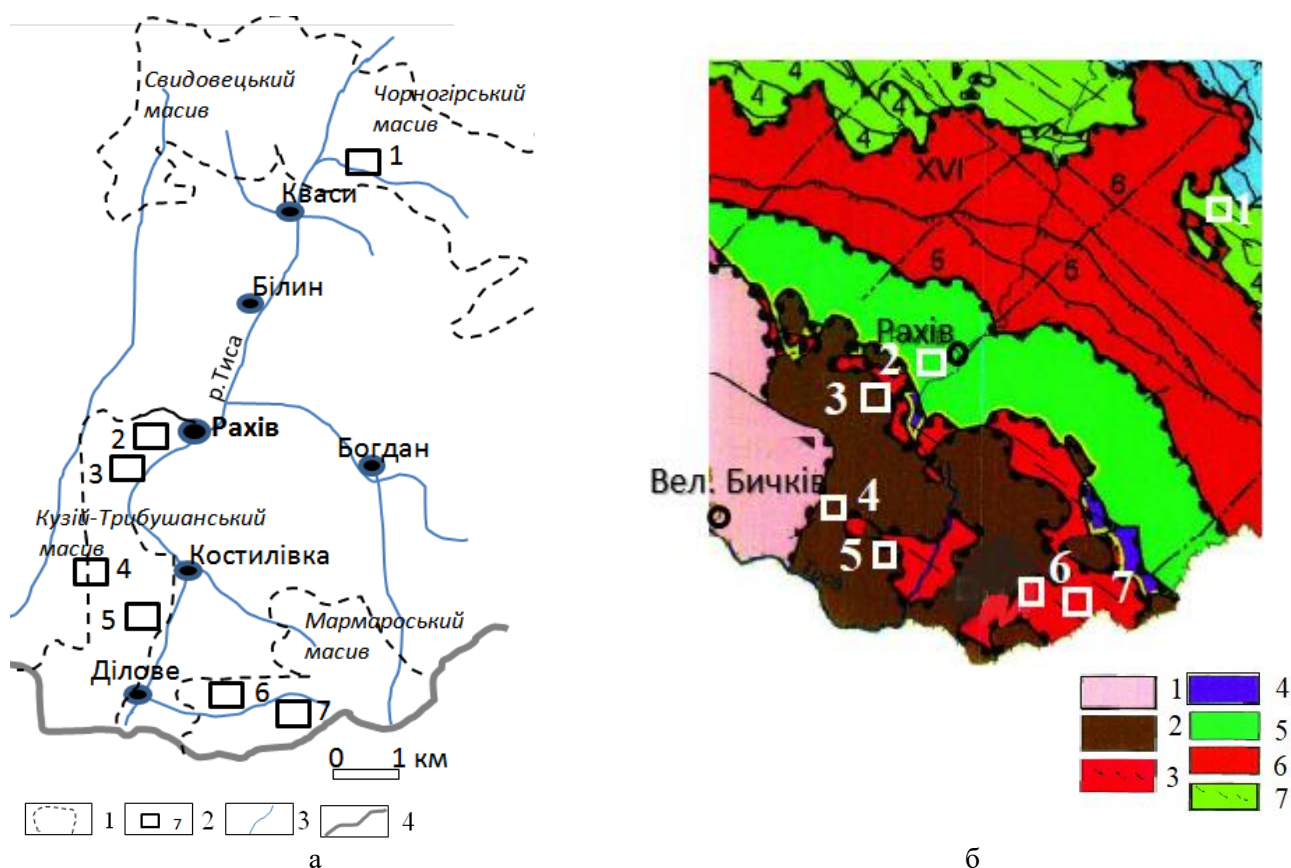


Рис. 1. Схема розташування ділянок досліджень (а): 1 – границі заповідних масивів КБЗ, 2 – ділянки досліджень та їх номери: 1 – ур. Кевелів, 2 – п. Буркут, 3 – ур. Підділ, 4 – г. Фігура, 5 – д. Форель, 6 – п. Білий, 7 – ур. Ограба, 3 – ріки, 4 – границя України; (б) тектонічна схема [геологічна карта дочетвертинних утворень (Карпатська серія) М-35-XXXI (Надвірна), L-35-I, 2009р.]: Внутрішні Карпати, Мармароський масив (1– Монастирський покрив, 2 – Діловецький покрив, 3 – Білопотоцький покрив); Зовнішні Карпати (4 – Кам’янопотоцький покрив, 5 – Рахівський покрив, 6 – Поркулецький покрив, 7 – Дуклянський покрив) (ділянки та їх номери згідно рис. 1а)

Таблиця 1

Характеристика ділянок досліджень

Номер на схемі (рис. 1)	Назва ділянки	Висота (н р.м, м)	Масив КБЗ	Тектонічний поділ	Тип ґрунту (рН)	Ґрунотвірні породи
1	ур. Кевелів	780	Чорногірський	Дуклянський покрив	Світло-бурі лісові, суглинисті (рН 5)	Пісковики, аргіліти
2	п. Буркут	530	Кузій-Трибушанський	Рахівський масив	Світло-бурі лісові, піщано-суглинисті (рН 4,7)	
3	ур. Підділ	540		Мармароський масив	Світло-бурі лісові, супіщані (рН 5,7)	Карбонатні породи (доломіти, вапняк)
4	г. Фігура	1070			Темно бурі лісові, суглинисті (рН 7)	
5	д. Форель	530		Світло-бурі лісові, суглинисті (рН 6,3)		
6	п. Білий	465	Мармароський	Світло-бурі лісові, супіщано-суглинисті (рН 4)	Кристалічні породи (граніто-гнейси)	
7	ур. Ограба	590		Теж саме (рН 3,8)		

800–900 м від автодороги «Мукачево – Рога-тин»), уверх по потоку Лихий на висоті 530 м н.р.м. Грунти – світло-бурі лісові, суглинисті (рН 6,3).

Ділянки – потік Білий та урочище Ограба віднесені до Мармароського масиву КБЗ, за тектонічним поділом це теж Мармароський масив. Грунтотвірними породами є кристалічні породи – граніто-гнейсовий комплекс. Бурі гірсько-лісові ґрунти (п.Білий, ур. Ограба) відзначаються високим вмістом перегною, вміст його сягає 10–15% [10]. Гірські породи, на яких формуються ґрунти, дуже бідні на сполуки кальцію. Це зумовлює їх низьке насичення катіонами двовалентних металів і високу кислотність (рН 3,8–4). Грунти сильнокамяністі, у переважній більшості середньосуглинисті із доброю водопроникною та повітряпроникною здатністю. В умовах теплої клімату відбувається їх швидке розкладання, мінералізація і вилуговування органічних залишків, що сприяє розвитку окислювальних умов. Мараморош – єдина складова частина букових пралісів на метаморфічних породах, завдяки яким сформувався особливий ґрунтовий та рослинний покрив [9]. Тут зростають високопродуктивні ялицево-букові праліси. Ця ділянка безпосередньо межує з румунським природним парком Гори Мараморощини, які разом утворюють єдину природну територію. Ділянки п.Білий і ур. Ограба віднесені до Мармароського масиву КБЗ.

Ділянка п. Білий знаходиться на правому березі потоку Білий (уверх по потоку, на висоті 465 м н.р.м.), у 70–80 м від ґрунтової дороги на південних схилах хребта Мандеш, на відстані 2,8 км від центру села Ділове. Крутизна схилу у ділянці відбору проб – 30°, експозиція схилу – південна. Грунти – світло-бурі лісові, супіщано-суглинисті (рН 4).

Урочище Ограба знаходиться на лівому березі потоку Білий (уверх по течії лівої притоки річки Тиса – потоку Білий на висоті 590 м н.р.м.), у 100–120 м від ґрунтової дороги, на північних схилах гори Прислоп (1281 м) та на відстані 5,5–6 км від центру села Ділове. Крутизна схилу у ділянці відбору проб – 30°, експозиція схилу – північна. У південному напрямку на відстані 2,5 км від місця відбору проб проходить державний кордон з Румунією. Грунти – світло-бурі лісові, супіщано-суглинисті (рН 3,8).

Всі ґрунти віднесені до одного типу – бурі гірсько-лісові ґрунти (буроземи). Мінералогічний склад ґрунтів залежить від ґрунтоутворюючих гірських порід. Так, мінералогічний склад ґрунтів ділянок – п. Білий та ур. Ограба представлений кварцом, польовими шпатами, біотитом, та мусковитом, в незначній кількості зустрічається гранат, ставроліт, дістен, турмалін, що ха-

рактерно для підстелюючих гнейсово-сланцевих порід [1, 2, 9]. На ділянках, де породоутворюючими породами є слюдисто-карбонатні сланці (ур. Підділ, г. Фігура, д. Форель) у мінеральному складі ґрунтів приймають участь – кальцит, доломіт, кварц, плагіоклаз, сиріцит, хлорит, біотит, а також апатит, титанит.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження.**

Першим етапом наших досліджень було визначення валового хімічного складу ґрунтів букових пралісів обраних ділянок. З цією метою у контрольних пробах за профілем ґрунтів (0–30 см), через кожні 5 см проведено опробування, що показало однорідність їх хімічного складу. Тому, масовий пробовідбір проведено за глибиною 5–10 см. Для визначення фонового вмісту хімічних елементів важливим було відібрати проби з декількох рівнів схилів (щоб виключити аномальні значення). Проби ґрунтів було відібрано с чотирьох висотних рівнів – через кожні 5 м, м н.р.м: ур. Кевелів – 780, 785, 790, 795, п. Буркут – 530, 535, 540, 545, ур. Підділ – 540, 545, 550, 555, д.Форель – 530, 535, 540, 545, п.Білий – 465, 470, 475, 480, ур. Ограба – 590, 595, 600, 605. Для загальної уяви побудовано графіки вмісту металів (Cu, Pb, Zn) у ґрунтах на різних висотних рівнях (рис. 2).

Розглядаючи графіки, можна помітити, що у ґрунтах п. Буркут і п. Білий розподіл елементів рівномірний, тоді як ур. Ограба, ур. Кевелів та д.Форель характеризуються значними коливаннями значень Cu. Це пов'язано з наявністю змін рельєфу – на більш пологих ділянках спостерігається підвищення глинистої складової у ґрунтах і відбувається найбільша концентрація міді (у глинах Cu складає 57 мг/кг, тоді як пісковицях у десять разів менше – 5 мг/кг [2, 11]).

Наприклад, у ґрунтах ур. Кевелів лише на рівні 790 м н.р.м. вміст міді 38 мг/кг, тоді як на інших – від 12 мг/кг до 15 мг/кг, медіанне значення – 14 мг/кг. Таким же чином встановлено медіанні значення і на інших ділянках. Медіанні значення вмісту хімічних елементів і стали основою визначення фонових концентрацій (табл. 2).

Визначено, що вміст W, Hf, Ta, Ag, Sb, Cd, Ge, Th, As нижче чутливості аналізу на всіх ділянках досліджень. При аналізі фонового вмісту хімічних елементів у ґрунтах, виділено групу елементів, вміст яких підвищений на ділянках (ур. Підділ, д.Форель, г.Фігура), де ґрунтотвірними породами є карбонатні – Co, Ni, V, Cu, Zn, Pb, P, Mn, Ti. Це обумовлено акумуляцією металів в карбонатних породах і на карбонатних геохімічних бар'єрах, які формуються в ґрунтах. Наступна група елементів Cr, Mo, Zr, Sn, Be, La, Y, Yb, Ba, Li, характеризується підвищеним вмі-



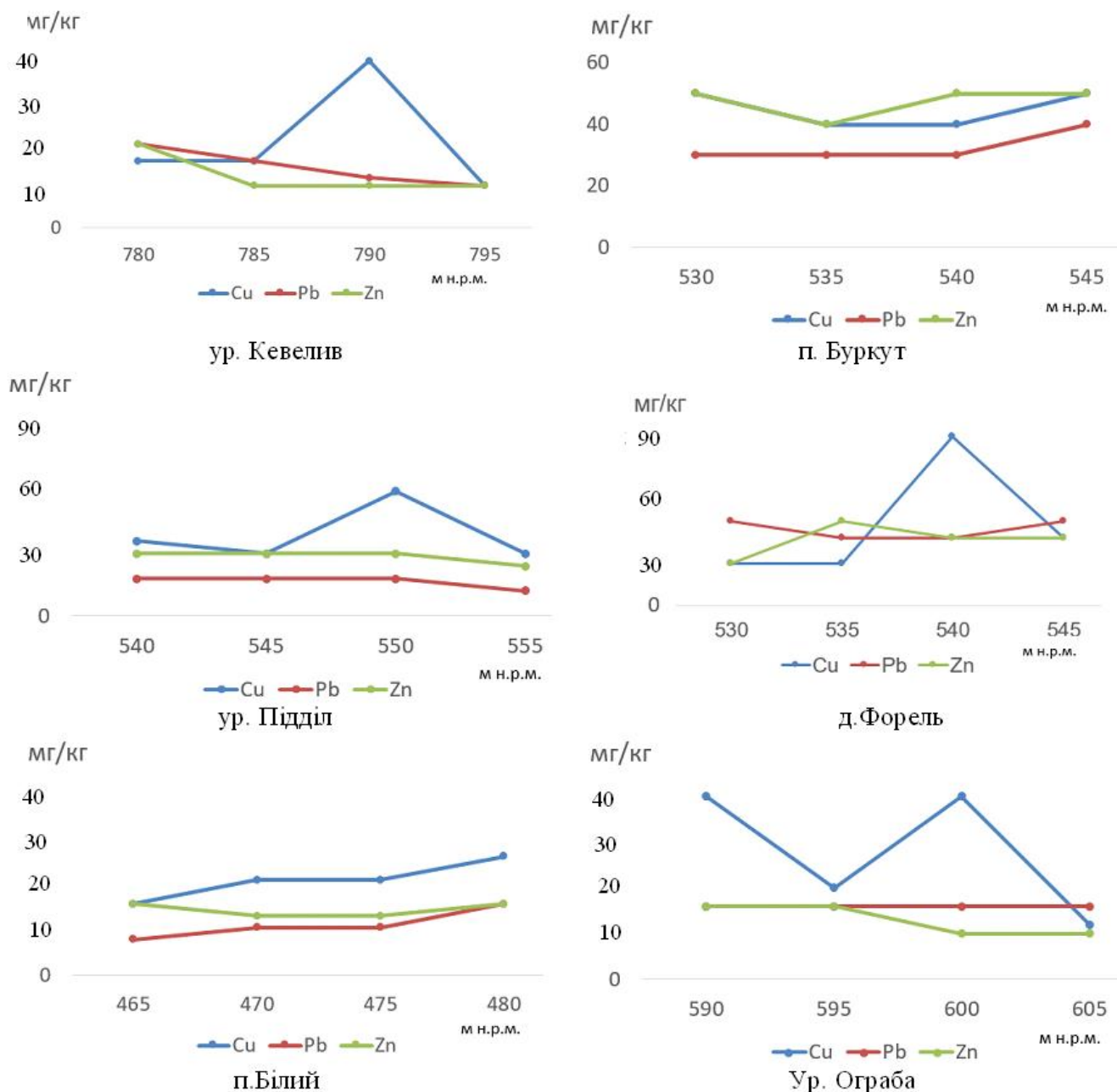


Рис. 2. Графіки розподілу Cu, Pb, Zn у ґрунтах різних висотних рівнів досліджуваних ділянок

стом у ґрунтах, де карбонати відсутні (ур. Ограба, п.Білий, п.Буркут, ур. Кевелив). Вміст Ga, Se у вивчаємих ґрунтах майже однаковий.

*Пошукове значення геохімічних досліджень.* Визначення фонових валових значень важливо для проведення загального моніторингу територій, які ще не були вивчені відносно геохімічної складової, але для пошукових цілей першорядне значення мають рухомі форми хімічних елементів. Це було доведено дослідженнями, проведеними раніш на території родовища золота Сауляк (правий беріг р. Тиса, біля с. Ділове), що було відкрито у 1974р. при пошуках корінного джерела вторинного літохімічного ореолу золота (0,03–0,1 г/т), встановленого в ґрунтових відкладах на алювії р.Сауляк [1]. Золотоосними є кварцові і

кварц-карбонатні жили та прожилкові зони серед вапняково-сланцевих порід. Продуктивна вапняково-сланцева товща – 50–70м, рудні тіла – 0,4–6,8м; за протяжністю – до 320м, по падінню – 260м, глибина залягання рудних тіл 250–600м. Рудна мінералізація представлена високопробним золотом та сульфідами. Середній вміст золота в рудних тілах – 5–10 г/т, срібла – до 30 г/т; вміст сульфідів не перевищує перших відсотків. Переважаючим мінералом серед сульфідів родовища є піротин ( $Fe_7S_8$ ), сфалерит ( $ZnS$ ), галеніт ( $PbS$ ), пірит ( $FeS_2$ ), марказит ( $FeS_2$ ), халькопірит ( $CuFeS_2$ ), арсенопірит ( $FeAsS$ ) і бляклі руди, що містяться в знакових кількостях [13]. Високопробне золото (830–930) утворює пластинки на границях зерен нерудних мінералів, мікротріщинах

Фоновий (валовий) вміст елементів у ґрунтах (мг/кг) ділянок

Хім. ел.	Назва ділянок							Кларк ґрунтів Світу [11]
	ур.Ограба	п.Білий	п.Буркут	ур.Кевелив	ур.Підділ	д.Форель	г.Фігура	
	Ґрунтотвірні породи							
	граніто-гнейси		пісковики		карбонатні породи			
	рН ґрунтів							
	3,8	4	4,7	5	5,7	6,3	7	
Mn	600	700	800	750	750	800	1000	850,00
Ni	25	30	35	40	40	45	50	40,00
Co	4,5	4,5	4,5	5	8	10	9	8,00
Ti	1900	1800	2000	2500	2500	3250	3000	4600,00
V	20	35	50	60	100	100	80	100,00
Cr	200	150	120	100	50	45	45	200,00
Mo	3,5	2	1	1	1	1	1	2,00
Zr	600	500	400	450	450	400	300	300,00
Rb	8	10	8	7	7	6	5	100,00
Cu	14	13	15	14	30	40	60	20,00
Pb	12	16	14	17	50	80	100	10,00
Zn	35	30	45	40	70	80	80	50,00
Sn	5	4	4	4	6	6,5	6,5	10,00
Ga	20	10	5	20	8	10	9	30,00
Be	8	9	7	6	6	3	4	6,00
Sc	10	12	10	8	6	6	5	7,00
La	45	40	40	40	30	20	30	40,00
Y	55	50	30	55	45	50	40	50,00
Yb	6	8	4	5	2,5	2,5	2	3,50
Ba	300	400	300	350	250	150	100	500,00
Li	30	30	20	20	15	10	10	30,00
P	600	600	500	500	350	300	300	800,00

в кварці, мікрочлечення в піротині або сфалериті, тонкі виділення по спайності в галеніті, неправильні виділення у зростках сульфідів різного складу. Крім срібла, в самородному золоті присутні – залізо, свинець, арсен і ртуть, а також мідь і сурма. У зонах околорудних змін зростає вміст Cu, Zn, Pb, Ag, Au, As. Зважаючи на те, що руди залягають на значній глибині, пошуки проводили за сольовими ореолами, особливістю яких є можливість утворення ореолів розсіяння не тільки у відкладах елювій-делювію, але і в перекриваючих відкладах. Виникнення накладених і залишкових ореолів пов'язують з впливом гіпергенних процесів на руди і їх первинні ореоли. При аналізі даних валового вмісту та рухомих форм хімічних елементів на ділянці Сауляк встановлено, що основними елементами-індикаторами зруденіння є Au, Zn, Ag, Pb, Cu [6]. Літохімічне опробування за рухомими формами дозволило встановити чотири геохімічні аномалії, перспективні для пошуків золота.

На прикладі родовища золота Сауляк та рудопроявів поліметалів, авторами було доведено, що найбільш ефективне значення мають методи пошуків корисних копалин за рухомими формами хімічних елементів, термодинамічно стійких в певних фізико-хімічних умовах середовища. Як показали дослідження закономірностей розподілу валового вмісту та рухомих форм хімічних елементів у ґрунтах досліджуваних ділянок, металогенічна спеціалізація визначається індикаторними для неї рухомими формами Cu, Zn, Pb. Зважаючи на те, що основним фактором міграції різних форм хімічних елементів є рН середовища, в умовах вивчаємої території їх визначає рН ґрунтів – 3,8–7, тобто слабо-кисла та нейтральна реакція. Характеризуючи форми міграції металів необхідно відмітити [14], що найбільш стійка форма при рН 3–5:  $Pb^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  (біля 90%). Це характерно для ділянок – ур. Кевелив, п.Буркут, п.Білий, ур. Ограба. Поступово рухомість зменшується до 60%, і провідну роль

мають карбонатні нерозчинні форми (ділянки – ур. Підділ, г.Фігура, д.Форель). Можна припустити, що це пов'язано із зміною вмісту органічної складової та мінерального складу ґрунтів. Наприклад, при рН більше 6 мідь може виявитися пов'язаною у вигляді фосфатів, сульфатів, карбонатів і фіксується ґрунтами. Крім того, рухливість міді більша в піщаних ґрунтах, менша – у важкосуглинистих. Саме наявністю різної фракції в ґрунтах і пояснюється коливання вмісту рухомих форм міді. Для Pb характерно чітко виражена тенденція до накопичення в ґрунті, що пов'язано з малорухомістю іонів навіть при низьких значеннях рН, так як даний елемент утримується шаром гумусу і слабо мігрує в ґрунтовому покриві [12, 15]. Переважна роль рН як фактора рухомості властива в основному Pb і Cu, як елементам з високою спорідненістю до органіки. З цієї ж причини валові концентрації Pb і Cu тісно пов'язані з гумусом [16]. Визначено, що свинець в ґрунтах ділянок досліджень більш рухомий, ніж цинк. Це пов'язано з тим, що піщані ґрунти, з одного боку, стимулюють рухомість елементів, а з іншого, не здатні ефективно зберігати їх рухомі форми. Для визначення ступеню рухомості хімічних елементів у порових розчинах ґрунтів різних ділянок розраховано коефіцієнт рухомості в залежності від валового вмісту та вмісту рухомих форм (табл. 3).

Збільшення значення цього коефіцієнту буде визначати не надходження рухомих форм хімічних елементів у поровий розчин ґрунту з його мінеральної складової (розчинення, розклад та

інше), а буде пов'язана з капілярним чи дифузійним надходженням від рудного об'єкту до денної поверхні [17]. Тому, при геохімічних методах пошуків корисних копалин доцільно використання аномалій за коефіцієнтом рухомості.

При побудові графіків валового вмісту Cu, Zn, Pb (рис. 3а) наявно, що валовий вміст збільшується у ґрунтах на карбонатних породах, мг/кг: Pb 60–80, Cu та Zn 40–60, тоді як у інших ґрунтах їх вміст у два рази менший.

Але графік вмісту рухомих форм (рис. 3б) не показує динаміку зміни рухомості. Наприклад, ґрунти ур. Ограба (рН 3,8) (ґрунтотвірні породи – граніто-гнейси) вміщують, мг/кг: Cu 14, Zn 12, Pb 30 (валовий вміст); рухомі форми, мг/кг: Cu 4,7, Zn 2,2, Pb 7; а ґрунти ділянки г. Фігура (рН 7) (ґрунтотвірні – карбонатні породи), мг/кг: Cu 60, Zn 60, Pb 100 (валовий вміст); рухомі форми, мг/кг: Cu 3, Zn 4, Pb 2. Тобто, при великій різниці вмісту валових форм різниця у рухомих формах між двома ділянками невелика. Тоді як графік, побудований за коефіцієнтом рухомості (рис. 3б) дає змогу прослідкувати саме динаміку рухомості хімічних елементів в залежності від рН, характерних для різних типів ґрунтів.

За вищезгаданими ділянками досліджень маємо коефіцієнти рухомості (Кр),%: ур. Ограба – Cu 34, Zn 18, Pb 23; ділянка г.Фігура – Cu 5, Zn 7, Pb 2. Тобто, рухомість елементів у ґрунтах (на граніто-гнейсах) ур. Ограба вища, ніж у ґрунтах (на карбонатних породах) г.Фігура – Cu – у 5 разів, Zn у 3 рази, Pb – у 10 разів. Найбільшу рухомість у ґрунтах на пісковицях та граніто-гнейсах

Таблиця 3

Вміст валових і рухомих форм та коефіцієнт рухомості Cu, Zn, Pb у ґрунтах ділянок

Назва ділянки	Форми металів	Cu, мг/кг	Zn, мг/кг	Pb, мг/кг	Кр, Cu (%)	Кр, Zn (%)	Кр, Pb (%)	рН ґрунтів
ур. Ограба	1	14	12	30	34	18	23	3,8
	2	4,7	2,2	7				
п.Білий	1	15	16	35	35	14	23	4
	2	5,3	2,2	8				
п.Буркут	1	15	14	40	29	14	18	4,7
	2	4,3	2	7				
ур. Кевелив	1	14	17	40	26	14	15	5
	2	3,7	2,3	6				
ур.Підділ	1	30	30	50	10	10	6	5,7
	2	3	4	3				
д.Форель	1	40	50	80	5	10	5	6,3
	2	2	5	3				
г.Фігура	1	60	60	100	5	7	2	7
	2	3	4	2				

Примітка: 1 – валовий вміст, 2 – рухомі форми

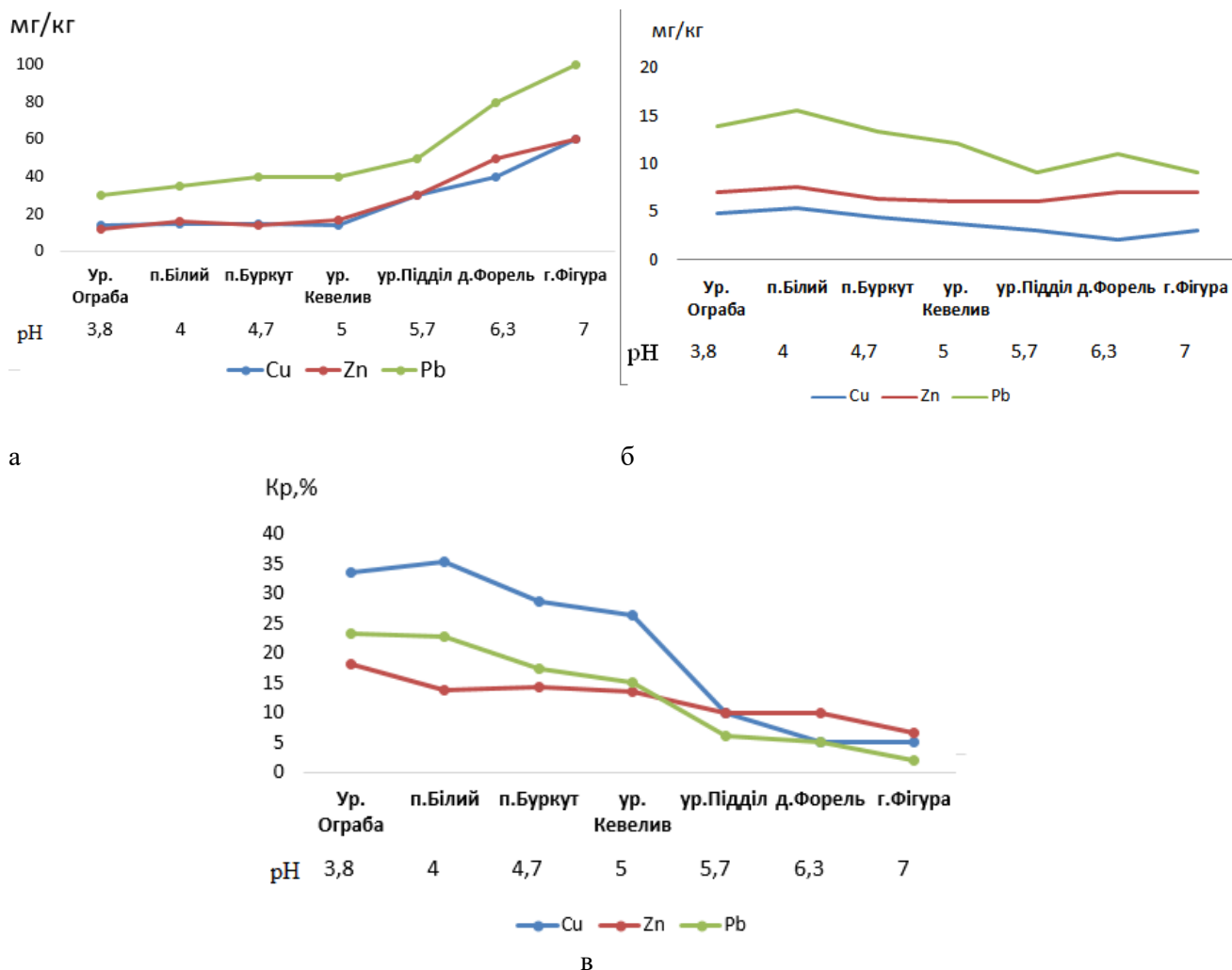


Рис. 3. Графіки валового вмісту (а), рухомих форм (б) та коефіцієнту рухомості (в) Cu, Zn, Pb у ґрунтах

проявляє мідь (30–40%), потім свинець (20–25%), а потім цинк (до 15%). У ґрунтах на карбонатних породах рухомість не перевищує 10%. Отримані дані дають інформацію, що при збільшенні рН, збільшується кількість металів, пов'язаних у комплекс. На території досліджень було визначено рН ґрунтів, що дало змогу побудувати схему розподілу цього показника за площею (рис. 4).

Це важливо, бо більшість металів мають значну рухомість у кислому середовищі, і стають інертними у нейтральному та лужному.

*Екологічне значення геохімічних досліджень.* У раніш опублікованій статті [12] нами було вперше проаналізовано викиди промислових підприємств території України та Румунії, що можуть мати вплив на забруднення атмосфери, відповідно ґрунту та рослинності. Дослідження проведені на ділянках, поблизу яких не розташовано промислових підприємств. Лише 12–15 км на захід від ділянок г.Фігура та Форель розташовано лісопилне та стругальне виробництво (просочування деревини) ТОВ «БРУНО ЛТД», с. Великий Бичків (елементами забруднювачами мо-

жуть бути – Cr, Fe, Cu, Mg, F) та підприємство «Закарпатський арматурний завод», п. Кобилицька Поляна (елементами забруднювачами можуть бути Cu, Fe, Zn, Pb, Cr). Визначаючи техногенний вплив ми будемо мати змогу встановити джерело та ступінь забруднення, виходячи з особливостей перерахованих виробництв.

Щодо утворення техногенних аномалій, то аналіз даних за складом та концентрацією хімічних елементів показує, що практично усі види техногенного навантаження формують відходи з аномальним вмістом широкого комплексу хімічних елементів, які є джерелами забруднення навколишнього середовища. Оцінити еколого-геохімічний вплив того чи іншого джерела забруднення можна за допомогою непрямих методів, на основі досліджень геохімічних аномалій в навколишньому середовищі. При цьому необхідно враховувати наступні обставини: забруднення в повітрі не нагромаджується, тоді як в водних системах та поверхневих відкладах воно може депонуватись на довгий час; забруднення викидами та стоками є розсіяним, тоді як твердими відходами є строго локалізованим; поверхневі

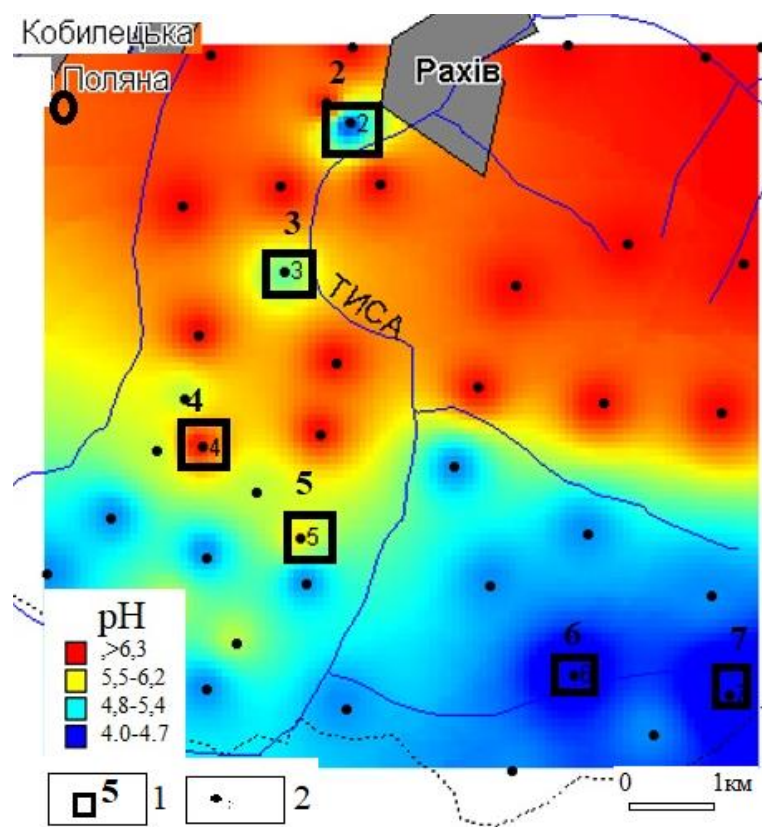


Рис. 4. Схема розподілу значень рН у ґрунтах території досліджень. 1 – номер ділянки (згідно рис. 1), 2 – точки відбору проб ґрунтів для визначення показника рН

відклади (ґрунти) є багаторічним депонентом забруднення. Крім того, необхідно оцінювати виявлене забруднення в об'єктах середовища довкілля, розрізняючи його за екологічною дією на людину та біоту – пряма чи віддалена [4]. Пряма екологічна дія забруднення призводить до безпосереднього погіршення якості життя сьогодні (забруднення атмосфери проживання, вживання води та продуктів харчування). Віддалена екологічна дія забруднення призводить до погіршення якості життя в перспективі (забруднення територій твердими промисловими відходами, ґрунтів випадіннями із атмосфери і тому подібне). Зважаючи на те, що територія досліджень – природоохоронна територія з особливим статусом, локальне забруднення навколишнього середовища (антропогенне), відбувається лише в результаті людської діяльності, що призводить до аномального вмісту хімічних елементів у ґрунті, природних водах, рослинах і атмосферних опадах. Контроль оцінки аномального вмісту хімічних елементів у об'єктах довкілля може бути проведений лише при умові визначення та порівняння з параметрами геохімічного фону. Саме тому, при вивченні геохімічних аномалій було встановлено геохімічний фон територій, що стане основою для еколого-геохімічної оцінки об'єктів довкілля.

*Визначення фонового вмісту хімічних еле-*

*ментів у ґрунтах для пошукових та екологічних завдань.* Завжди при екологічних чи пошукових дослідженнях оцінки вмісту хімічних елементів у ґрунтах виникає питання – які дані обрати за еталон (значення, яке порівнюється). На сьогодні, існують кларки Світу, Європи (різних авторів) [11], кларки України (за програмою Gemas) [4] та інші. Для порівняльного аналізу представлено таблицю з наведенням кларків ґрунтів Світу, України та частини України – Закарпаття (за переважаючими ґрунтоутвірними породами) (табл. 4).

Аналізуючи дані таблиці (кларки України та Світу) приходимо до висновку, що у ґрунтах України кларки хімічних елементів – Mn, Ni, Ti, V, Cr, Rb, Cu, Pb, Ga, La, Y, Ba, Li, P менше, ніж у ґрунтах Світу; Mo, Sn – однакові; Zr, Zn, Sc, Se, Yb більші (Zr – у два рази).

Порівнюючи кларки хімічних елементів у ґрунтах України з кларками ґрунтів Закарпаття бачимо, що у ґрунтах на карбонатних породах Закарпаття значення кларків Mn, Ni, Zn, Cu у два рази більше, відповідно: Mn (567:1000), Ni (25:50), Zn (51:80), Cu (13:50), Pb (17:75); V, Zr, P, інші кларки в два рази менше, де ґрунтоутвірними породами є пісковики: V (68:25), Zr (372:500), P (620:300). Це показує, що при геохімічному аналізі (встановлення кларків концентрації, геохімічних асоціацій та інше) важливим



Порівняльна таблиця кларків хімічних елементів ґрунтів (валовий вміст) Світу, України та частини України – Закарпаття (ґрунотвірні породи), мг/кг

Ґрунотвірні породи	Mn	Ni	Co	Ti	V	Cr	Mo	Zr	Rb	Cu	Pb
Світу											
–	850	40	8	4600	100	200	2	150	100	20	32
України											
–	567	25	8,7	3960	68	76	2	372	70	13	17
Закарпаття											
граніто-гнейси	600	30	4,5	1500	25	100	3	500	80	14	14
пісковики	750	40	7	200	40	80	2	400	67	15	16
карбонати	1000	50	10	3000	70	30	1	350	70	50	75
Світу											
–	Zn	Sn	Ga	Sc	Ce	La	Y	Yb	Ba	Li	P
–	50	10	15	7	50	40	50	2,5	500	30	800
України											
–	51	10	10	8	59	23,5	26	3,3	384,5	11,7	620
Закарпаття											
граніто-гнейси	35	5	15	11	60	40	50	6	300	30	600
пісковики	40	4	10	9	57	40	40	5	300	20	500
карбонати	80	6.5	10	6	50	20	40	2,5	250	10	300

Примітка: "–" немає даних

показником є саме склад ґрунотвірних порід, бо це дає змогу охарактеризувати геохімічні процеси (наявність геохімічних бар'єрів, сорбція, десорбція та інше) та прогнозувати міграцію чи концентрацію хімічних елементів у ґрунтах.

*Біогеохімічні дослідження (пошуковий та екологічний сенс).* Біогеохімічні методи засновані на дослідженні хімічного складу живої речовини (рослин), спостереженні за його видовим складом і морфологічними особливостями. Вони широко використовуються для виявлення рівня забруднення навколишнього середовища [18–22]. За допомогою біогеохімічних методів вирішується широкий спектр завдань: встановлення закономірностей розподілу хімічних елементів в різних частинах рослин; виявлення асоціації хімічних елементів для різних типів рослин; виявлення комплексу елементів-індикаторів для вирішення ряду екологічних та пошукових питань, встановлення особливостей та походження біогеохімічних аномалій та інші.

Об'єктом наших досліджень було опад (листя буку), рівномірно поширений на всіх ділянках. Малий біологічний кругообіг відбувається за схемою: ґрунт – дерево – опад – лісова підстилка – ґрунт [21]. Він здійснюється неодноразово за період існування деревостану. Щорічний опад

поступово трансформується у складові елементи ґрунту, які поглинаються ліською рослинністю і використовуються для побудови нових сполук. Далі відбувається надходження частини цих сполук назад у ґрунт і їх подальша трансформація.

На тих же висотах, що і при відборі ґрунту, було відібрано опад (сухі листя буку), в яких також (як і в ґрунті) визначали валовий вміст 33 мікроелементів. Встановлено, що тільки 6 мікроелементів (Zn, Cu, Pb, Co, Ni, Mn) надійно фіксуються у опаді (табл. 5).

Для інтерпретації отриманих результатів нами використовувалася шкала, що наводиться А. Кабата-Пендіас, Х. Пендіас [19], бо в ній зазначена градація вмісту в листі досить широкого спектра хімічних елементів. Орієнтовна концентрація мікроелементів в зрілих тканинах листя за узагальненими даними для видів рослин, мг/кг сухої маси: достатня або нормальна: Zn 27–150, Cu 5–30, Ni 0,1–5,0, Mn 20–300, Co 0,02–1, Pb 5–10; надлишкова або токсична: Zn 100–400, Cu 20–100, Ni 10–100, Mn 300–500, Co 15–50, Pb 30–300. Зважаючи на вищевикладене, після аналізу вмісту мікроелементів у опаді визначено наступне: Zn – нормальна концентрація (від 10 до 100 мг/кг); Cu від нормальної (20–30 мг/кг) – ур. Ограба, п. Білий, д. Форель до надлишкової (100

Вміст металів (мг/кг) у опаді (сухому листі буку) ділянок досліджень

Хім. ел.	ур. Ограба	п.Білий	п.Буркут	ур. Кевелив	ур. Підділ	д.Форель
Zn	70–80	10–15	10–15	20–100	10–50	50–80
Cu	20–30	20–30	30–100	30–100	20–100	10–30
Pb	4–10	2–3	5–20	3–10	5–30	4–5
Co	1–2	1–2	3–6	2–3	1–2	2–3
Ni	5–10	2–8	2–50	5–10	5–10	6–10
Mn	1500–4000	500–800	1000–4000	600–800	4000–5000	1000–2000

Примітка: Мінімальний та максимальний вміст

мг/кг) – урочища Підділ, Кевелив, п.Буркут, Pb та Ni – на всіх ділянках нормальна концентрація, лише на ділянці Буркут надлишкова Ni – до 50 мг/кг, концентрація Mn надлишкова для всіх ділянок (500–4000 мг/кг). Річ у тому, що у кислих ґрунтах марганець присутній у вигляді легкорухливого двовалентного іону, і його фіксація залежна від вмісту глинистої складової.

Наступним етапом досліджень було визначення елементів-концентраторів багаторічних трав'янистих рослин – звіробою (*Hypericum L.*) і деревію (*Achillea millefolium*) та білого грибу (*Boletus edulis*) на ділянці г. Фігура. У рослин окремо відібрано корені, листя та стебла і квіти. Взірці звіробою 30–60 см заввишки стебел; листки довгасто-овальні, квітки жовті, п'ятипелюсткові, зібрані в щитоподібну волоть, мають тонке, розгалужене кореневище. Взірці деревію 20–100 см заввишки, стебло пряме, ребристе, листки довгасті, квітки в дрібних кошиках зібрані у густе, верхівкове, щитоподібно-волотисте суцвіття. Взірці білого гриба - діаметр капелюшка до 5–10 сантиметрів, висота ніжки становить 5–10 сантиметрів.

Для оцінки інтенсивності поглинання мікроелементів рослинами нами використаний коефіцієнт біологічного поглинання (Ах), який визначається як частка від вмісту мікроелемента в золі рослин і його вмісту в кореневмісному шарі ґрунту. На діаграмах показано результати розрахованого показника Ах для кожного виду рослин (рис. 5).

За інтенсивністю біологічного поглинання (Ах) всі елементи можна розділити на наступні категорії: елементи енергійного поглинання (10–100); елементи сильного поглинання (1–10); елементи слабого поглинання і середнього захоплення (0,1–1); елементи слабого захоплення (0,01–0,1) [11]. Встановлено, ряд елементів у рослинах (за зменшенням концентрації) за показником Ах: звіробій  $P_{56} > Z_{n16} > (Mn, Cu)_6 > Ba_3 > (Ni, Co)_2$ ; деревій  $P_{36} > Z_{n16} > Ba_{12} > Mn_7 > Cu_5 > (Ni, Co, Ti)_2$ . Тобто, для трав елементами енергійного поглинання є Р, Zn, елементами сильного поглинання – Ва, Mn, Cu, Ni, Со, Ті, елементи слабого поглинання і середнього захвату – V, Cr.

Для білого гриба (Ах):  $P_{40} > Z_{n10} > Cu_3$ : елементом енергійного поглинання є Р, елементи сильного поглинання – Zn, Cu; елементи слабого поглинання і середнього захвату – Mn, Ni, Со, Ті, V, Cr, Мо, Ва.

Для аналізу вмісту виявлених елементів у частинах рослин було розраховане процентне їх відношення до сумарного вмісту (в цілому, до рослини). Визначено, що характер накопичення рослинами хімічних елементів різний – у звіробої акумуляторами (більше 50%) Mn, Cu, Zn є стебла та листя, Ва – коріння, Р – квіти. Тоді як деревію – Mn, Cu, Zn – коріння, Ва – листки, Р – квіти. Ця інформація важлива при проведенні екологічних чи пошукових біогеохімічних робіт. Так, індикаторами поліметалічних рудопроявів (Cu, Zn) будуть стебла і листя звіробою, тоді як для деревію – коріння

**Висновки.** В результаті геохімічних досліджень недоторканих територій (букових пралісів) Мармароського масиву Українських Карпат отримано наступні результати. 1. Розраховано фонові значення вмісту хімічних елементів у ґрунтах (Co, Ni, V, Cu, Zn, Pb, P, Mn, Ti, Cr, Mo, Zr, Sn, Be, La, Y, Yb, Ba, Li, Ga, Ce), що стане основою геохімічних пошуків та визначення показників, які відображають ступінь та особливість забруднення. 2. Визначено групу хімічних елементів у ґрунтах – Co, Ni, V, Cu, Zn, Pb, P, Mn, Ti, вміст яких підвищений на ділянках (ур. Підділ, д.Форель, г.Фігура), де ґрунтотвірними породами є карбонатні та групу хімічних елементів – Cr, Mo, Zr, Sn, Be, La, Y, Yb, Ba, Li з підвищеним вмістом у ґрунтах, де карбонати відсутні (ур. Ограба, п.Білий, п.Буркут, ур. Кевелив). 3. Встановлено, що рухомість металів – Cu, Pb, Zn у ґрунтах букових пралісів, де ґрунтотвірними породами є граніто-гнейси та пісковики вища, ніж у ґрунтах на карбонатних породах у декілька разів: Cu–5, Zn–3, Pb–10, що важливо враховувати при пошукових роботах. 4. За порівнянням кларків хімічних елементів у ґрунтах (Світу, України в цілому, та лісових екосистем Мармароського масиву) з'ясовано, що важливим показником є склад ґрунтотвірних порід. Це дає змогу охарактеризувати геохімічні процеси (ная-

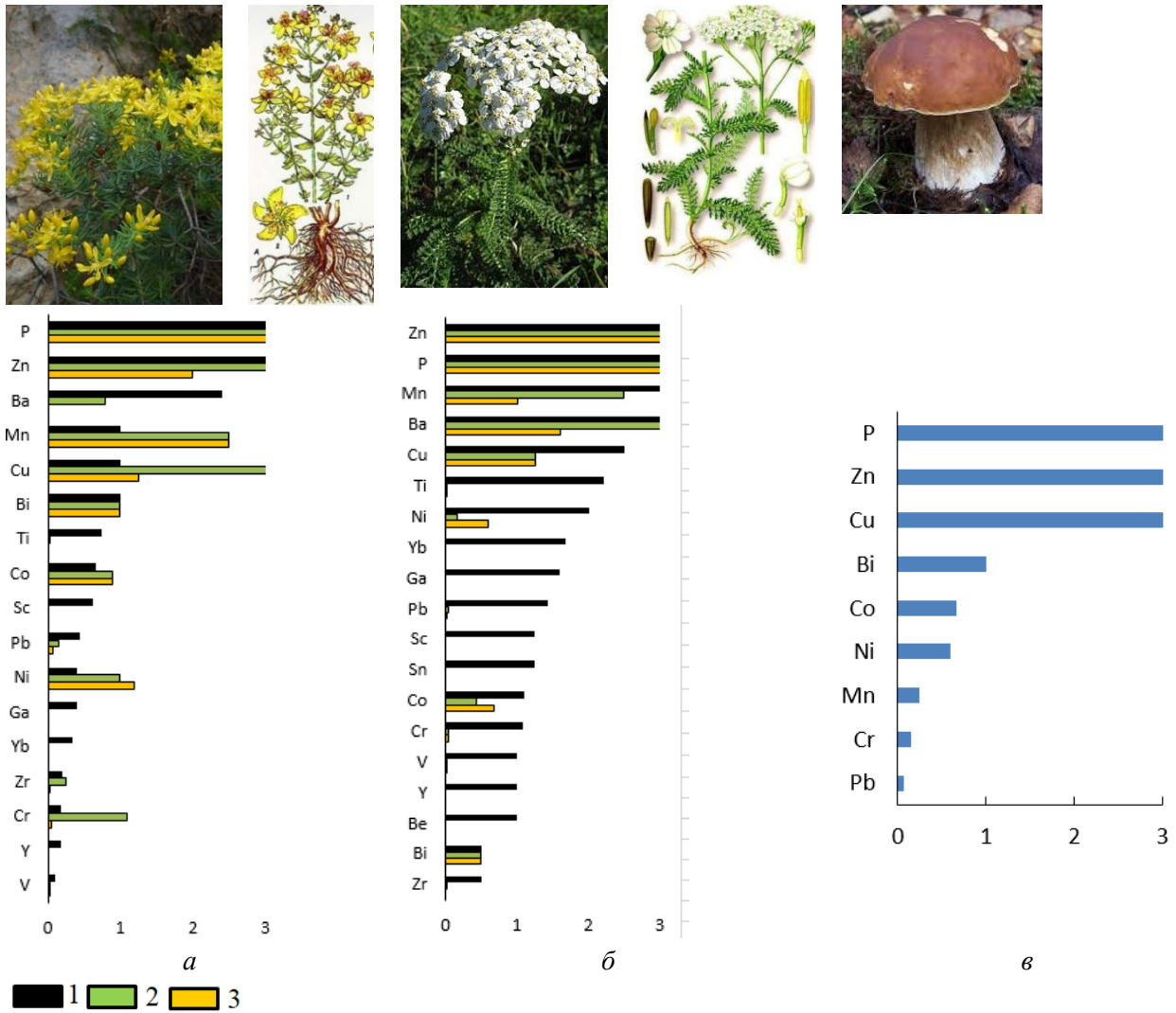


Рис. 5. Діаграми накопичення хімічних елементів рослинністю (Ах):  
а – звіробій, б – деревій, в – білий гриб; 1 – коріння, 2 – листки і стебла, 3 – квіти

вність геохімічних бар'єрів, сорбція, десорбція та інше) та прогнозувати міграцію чи концентрацію хімічних елементів. 5. Біогеохімічні дослідження щодо хімічного складу (Zn, Cu, Pb, Co, Ni, Mn) опадів листя буку пралісів дозволили визначити наступне: Zn, Pb, Ni – нормальна концентрація на всіх ділянках, Cu від нормальної (20–30 мг/кг) – ур. Ограба, п.Білий, д.Форель до надлишкової (100 мг/кг) – урочища Підділ, Кевелів, п.Буркут, Mn – надлишкова для всіх ділянок (500–4000 мг/кг). 6. Виконано аналіз хімічного складу рослинності та її частин (звіробій, деревій) та білого гриба на ділянці г.Фігура. Визначено, що характер накопичення рослинами хімічних елементів різний – у звіробою стебла та листя є акумуляторами (більше 50%) Mn, Cu, Zn;

Ba – коріння; P – квіти. Тоді як у деревію Mn, Cu, Zn накопичують коріння; Ba – листки; P – квіти. Для білого гриба елементами енергійного накопичення є P, Zn, Cu. Встановлено, що індикаторами поліметалічних рудопроявів (Cu, Zn) територій досліджень можуть бути стебла і листя звіробою та коріння деревію.

**Перспективи подальших досліджень.** Результати проведених досліджень показали, що виявлені закономірності розподілу хімічних елементів та їх рухомих форм у ґрунтах та рослинності на різних ділянках екосистем пралісів Мармароського масиву можуть стати основою при проведенні пошукових робіт, прогнозування екологічного стану територій і в цілому, основою еколого-геохімічного моніторингу.

#### Література

1. *Металічні корисні копалини [Текст] / ред. Д.С. Гурський, К.Ю. Єсипчук, В.І. Калінін та ін. – Львів: Центр Європи. – 2006. – 785 с.*
2. *Суцник Ю.Я. Геохимия зоны гипергенеза Украинских Карпат [Текст] / Ю.Я. Суцник. – К.: Наук. думка. – 1978. – 210 с.*

3. Жовинський Э.Я. Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины [Текст] / Э.Я. Жовинский, И.В. Кураева. – К.: Наук. думка, 2002. – 213 с.
4. Клос В.Р. Регіональні геохімічні дослідження ґрунтів України в рамках міжнародного проекту з геохімічного картування сільськогосподарських та пасовищних земель Європи (GEMAS) [Текст] / В.Р. Клос, М. Бірке, Е.Я Жовинський та ін. // Пошукова та екологічна геохімія. – 2012. – № 1. – С. 51–67.
5. Жовинський Е.Я. Геохімія об'єктів довкілля Карпатського біосферного заповідника [Текст] / Е.Я. Жовинський, Н.О. Крюченко, П.С.Папарига. – К. :ТОВ «НВП «Інтерсервіс». – 2012. – 100 с.
6. Крюченко Н.О. Рудні та техногенні геохімічні аномалії заповідних територій Українських Карпат (на прикладі Карпатського біосферного заповідника) [Текст] / Н.О. Крюченко, Е.Я. Жовинський, П.С. Папарига. – К.: ТОВ НВП Інтерсервіс. – 2018. – 148 с.
7. Жовинский Э.Я. Подвижные формы химических элементов и их значение при геохимических поисках [Текст] / Э.Я. Жовинский, Н.О. Крюченко // Минералогический журнал. – 2006. – Т. 28. – № 2. – С. 88–93.
8. Григорян С. П. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений [Текст] / С. П. Григорян, А. П. Соловов, М. Ф. Кузин. – Москва: Недра. – 1983. – 191 с.
9. Природа Закарпатської області [Текст] / ред. К.І. Геренчука. – Львів: Вища школа. – 1981. – 156 с.
10. Вовк О. Ґрунтове різноманіття оселищ (*habitats*) українських Карпат і перспективи його охорони [Текст] / О. Вовк, О. Орлов // Біологічні Студії. – 2014. – Т. 8. – № 3–4. – С. 157–168.
11. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия [Текст] / В.А. Алексеенко. – М.: Логос. – 2000. – 626 с.
12. Крюченко Н.О. Техногенне забруднення (мікроелементний склад) снігового покриву гірських вершин Карпатського біосферного заповідника [Текст] / Н.О. Крюченко, Е.Я. Жовинський, П.С. Папарига // Геохімія та рудоутворення. – 2019. – В. 40. – С.6-14. <https://doi.org/10.15407/gof.2019.40.006>
13. Михайлов В.А. Металогенія золота [Текст] / В.А. Михайлов, В.Я. Федчук. – К.: Київський університет. – 2008. – 391 с.
14. Жовинский Э.Я. Основы поисковой и экологической геохимии [Текст] / Э.Я. Жовинский, Н.О. Крюченко // Минералогический журнал – 2014. – Т. 36. – №3. – С. 7–11.
15. Самофалова И.А. Химический состав почв и почвообразующих пород [Текст] / И.А. Самофалова. – Пермь: Пермская ГСХА. 2009. – 132 с.
16. Крюченко Н.О., Жовинський Е.Я., Папарига П.С. Геохімія ґрунтів Долини нарцисів та урочища Співакове (Закарпаття) [Текст] // Минералогический журнал. – 2019. – Т. 41. – № 4. – С. 50–60. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.41.04.050>
17. Крюченко Н.О. Форми хімічних елементів-індикаторів у поверхневих відкладах над рудопроявами поліметалів [Текст] / Н.О. Крюченко, Е.Я. Жовинський, О.А. Андрієвська. – Минералогический журнал – 2016. – Т. 38. – №2. – С.82–87.
18. Palutoglu M. Phytoremediation of Cadmium by Native Plants Grown on Mining Soil [Text] / M. Palutoglu, B. Akgul, V. Suyarko, M. Yakovenko, N. Kryuchenko, A. Sasmaz // Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. – 2018. – Vol. 100. – Issue 2. – P. 293–297. <https://doi.org/10.1007/s00128-017-2220-5>
19. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях [Текст] / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир. – 1989. – 439 с.
20. Mazhari S.A. Soil geochemistry as a tool for the origin investigation and environmental evaluation of urban parks in Mashhad city, NE of Iran Source [Text] / Mazhari, Seyed Ali; Bajestani, Ali Reza Mazloumi; Hatefi, Fereshteh; Aliabadi, Kazem; Haghghi, Faezeh // Environmental Earth Sciences. – 2018. – Vol. 77. – Issue 13. – Article number: 492. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7684-z>
21. Ильин В. Б. Элементарный химический состав растений [Текст] / В. Б. Ильин. – Новосибирск: Наука. – 1985. – 129 с.
22. Lang F. Soil phosphorus supply controls P nutrition strategies of beech forest ecosystems in Central Europe [Text] / F. Lang, J. Krüger, I. Chmara // Biogeochemistry. – 2017. – Vol. 136. – P. 5–29. <https://doi.org/10.1007/s10533-017-0375-0>

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

UDC 550.42:546.4./7:631.4(477)

***Nataliya Kryuchenko,***

Doctor of Sciences (Geology), Professor, Leading Researcher, M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the National Academy of Sciences of Ukraine, 34 Acad. Palladina Sq., Kyiv, 03142, Ukraine, e-mail: [nataliya.kryuchenko@gmail.com](mailto:nataliya.kryuchenko@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8774-9089>;

***Edward Zhovinsky,***

Doctor of Sciences (Geology and Mineralogy), Professor, Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Head of the Department of exploratory and environmental geochemistry, M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the National Academy of Sciences of Ukraine, e-mail: [zhovinsky@ukr.net](mailto:zhovinsky@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-1601-5998>;

***Petro Paparyga,***

PhD (Geology), Head of the Laboratory for Environmental Monitoring, Carpathian Biosphere Reserve of the Ministry of Environmental Protection of Ukraine, 77 Krasne Pleso St., Rakhiv, 90600, Ukraine, e-mail: [paparyga.ps@ukr.net](mailto:paparyga.ps@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-4021-0809>

## GEOCHEMICAL RESEARCHES OF THE MARMAROSH MASSIF OF THE UKRAINIAN CARPATHIANS

**Formulation of the problem.** The main focus of our research is on the geochemical composition of the growth areas of beech forests in the Marmarosh Massif of the Ukrainian Carpathians, or primeval forests, which are almost unaffected by human activity. Geochemical investigations of beech forests are especially important, since the question of chemical component of environmental objects (soils, vegetation) is the basis for determining the degree of territories transformation in time. The Carpathians belong to one of the most studied metallogenic provinces. The ore occurrence contains natural gold, silver and silver minerals (sulfates, sulfides, hydrosulfides) associated with pyrite, chalcopyrite, arsenopyrite, pyrrhotite, marcasite, hematite, galena, and other. It is important to determine the background content of chemical elements in soils, which will become the basis for geochemical searches and the determination of pollution - "reference point", which should be relied upon when conducting environmental and geochemical studies in the territory of beech virgin forests.

**The purpose of the article.** The purpose of this work is to determine the background gross content of chemical elements (Mn, Ni, Co, Ti, V, Cr, Mo, W, Zr, Hf, Rb, Ta, Cu, Pb, Ag, Sb, Bi, Zn, Cd, Sn, Ge, Ga, Be, Sc, Ce, La, Y, Yb, Th, As, Ba, Li, P) and the main mobile forms of metals - Cu, Pb, Zn in soils of forest ecosystems of beech forests of the Marmarosh Massif; determination of biogeochemical features of the concentration of chemical elements by vegetation - beech leaves, *Hypericum L.*, *Achillea millefolium*, *Boletus edulis*, which will become the basis for monitoring studies.

**Methods.** Lithochemical, biogeochemical testing was carried out. The gross content of chemical elements (emission spectral analysis) and mobile forms of metals (atomic absorption analysis) was determined.

**Results.** The authors calculated the background values of chemical elements content in the soils of forest ecosystems of beech protected areas of the Marmarosh Massif. In conducting lithochemical studies, chemical elements (gross content) – Co, Ni, V, Cu, Zn, Pb, P, Mn, Ti, whose contents are higher in soils, where carbonate rocks are soil-forming and in the absence of carbonates - Cr, Mo, have been established Zr, Sn, Be, La, Y, Yb, Ba, Li. The main moving forms of metals in soils (Cu, Pb, Zn) were determined and their coefficients of mobility were calculated, on the basis of which it was established that the mobility of metals in soils where soil-forming rocks are granite-gneisses and sandstones higher than in soil-soils is 3–10 times, in addition, the pH value of soils is a dominant factor in solving the migration or concentration of metals and the formation of secondary salt halos in the presence of ore. An analysis of the chemical composition of the indicator vegetation and its parts – *Hypericum L.*, *Achillea millefolium* and *Boletus edulis* in the area of Mount Figura was performed. *Boletus edulis*, *St. Hypericum L.*, wort stems and yarrow *Achillea millefolium* are identified as Cu, Zn concentrators. This distinction is important when conducting biogeochemical studies with a search purpose.

**Scientific novelty and practical significance.** The results of the conducted researches showed that the regularities of distribution of chemical elements and their mobile forms in soils and vegetation in different parts of the Trans Carpathian forest ecosystems can be the basis for the exploration, forecasting the ecological status of the territories and, in general, ecological and geochemical monitoring.

**Keywords:** geochemical researches, background content, moving forms, ore occurrences, Marmarosh massif.



### References

1. Gursky, K.Yu. Ezipchuk, VI Kalinin (Ed.). (2006). *Metallic Minerals*. Lviv: Center of Europe, 785.
2. Suschik, Yu.Ya. (1978). *Geochemistry of the hypergenesis zone of the Ukrainian Carpathians*. Kiev: Naukova Dumka, 210.
3. Zhovinsky, E.Ya., Kuraeva, I.V. (2002). *Geochemistry of Heavy Metals in Soils of Ukraine*. Kiev: Naukova dumka, 213.
4. Klos V.R., Birke M., Zhovinsky E. Ya. (2012). *Regional geochemical studies of soils of Ukraine within the framework of the international project on geochemical mapping of agricultural and pasture lands of Europe (GEMAS). Exploration and ecological geochemistry*. 1, 51–67.
5. Zhovinsky, E.Ya., Kryuchenko, N.O., Paparyga, P.S. (2012). *Geochemistry of the Environmental Objects of the Carpathian Biosphere Reserve*. Kiev: Interservice, 100.
6. Kryuchenko, N.O., Zhovinsky, E.Ya., Paparyga, P.S. (2018). *Ore and technogenic geochemical anomalies of the nature reserves territories of the Ukrainian Carpathians (on the example of the Carpathian Biosphere Reserve)*. Kiev: Interservice, 148.
7. Zhovinsky E.Ya., Kryuchenko N.O. (2006). *Mobile forms of chemical elements and their significance in geochemical searches*. *Mineralogical journal*. 28 (2), 88–93.
8. Grigoryan S. P., Solovov S. P., Kuzin M. F. (1983). *Instruction on geochemical methods of prospecting ore deposits*. Moscow: Nedra 191.
9. Gerenchuk, K.I. (Ed.). (1981). *Nature of Transcarpathian region*. Lviv: High School, 156.
10. Vovk O., Orlov O. (2014). *Soil diversity of habitats of Ukrainian Carpathians and prospects for its protection*. *Biological Studies*. 8(3–4), 157–168.
11. Alekseenko, V.A. (2000). *Ecological geochemistry*. Moscow: Logos, 626.
12. Kryuchenko N.O., Zhovinsky E.Ya., Paparyga P.S. (2019). *Technogenic pollution (microelement composition) of snow cover of mountain peaks of Carpathian Biosphere Reserve*. *Geochemistry and Ore Formation*. 40, 6–14. <https://doi.org/10.15407/gof.2019.40.006>
13. Mikhailov, V.A., Fedchuk, V.Ya. (2008). *The metallogeny of gold*. Kyiv: University, 391.
14. Zhovinsky E.Ya., Kryuchenko N.O. (2014). *Fundamentals of exploratory and environmental geochemistry*. *Mineralogical journal*. 36(3), 7–11.
15. Samofalova I.A. (2009). *The chemical composition of soils and parent rocks*. Perm: Perm State Agricultural Academy, 132.
16. Kryuchenko N.O., Zhovinsky E.Ya., Paparyga P.S. (2019). *Geochemistry of Soils of Narcissus Valley and Spivakovo (Transcarpathia) Tract*. *Mineralogical Journal*. 41(4), 50–60. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.41.04.050>
17. Kryuchenko N.O., Zhovinsky E.Ya., Andreevskaya O.A. (2016). *Forms of chemical indicator elements in surface deposits over ores of polymetals*. *Mineralogical Journal*. 38(2), 82–87.
18. Palutoglu M., Akgul B., Suyarko V., Yakovenko M., Kryuchenko N., Sasmaz A. (2018). *Phytoremediation of Cadmium by Native Plants Grown on Mining Soil*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 100(2), 293–297. <https://doi.org/10.1007/s00128-017-2220-5>
19. Kabata-Pendias, A., Pendias, H. (1989). *Trace elements in soils and plants*. Moscow: World, 439.
20. Mazhari S.A., Bajestani A., Hatefi F., Aliabadi K., Faezeh H. (2018). *Soil geochemistry as a tool for the origin investigation and environmental evaluation of urban parks in Mashhad city, NE of Iran Source*. *Environmental Earth Sciences*. 77(13), 492. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7684-z>
21. Ilyin, V. B. (1985). *Elementary chemical composition of plants*. Novosibirsk: Science, 129.
22. Lang F., Krüger J., Chmara I. (2017). *Soil phosphorus supply controls P nutrition strategies of beech forest ecosystems in Central Europe*. *Biogeochemistry*. 136, 5–29. <https://doi.org/10.1007/s10533-017-0375-0>

УДК 631.43

**Осипов Валерій Валерійович,**

к. геогр. н., старший науковий співробітник відділу гідрохімії  
Українського гідрометеорологічного інституту, пр. Науки, 37, м. Київ, 03028, Україна,  
e-mail: [valery\\_osipov@ukr.net](mailto:valery_osipov@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-4853-8021>;

**Бігун Оксана Миколаївна,**

к. с.-г. н., старший науковий співробітник лабораторії геоєкофізики ґрунтів  
Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського»,  
вул. Чайковська, 4, м. Харків, 61024, Україна,  
e-mail: [oksana\\_bigun@ukr.net](mailto:oksana_bigun@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-8461-4928>

## ОЦІНКА ПЕДОТРАНСФЕРНИХ ФУНКЦІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ФІЛЬТРАЦІЇ ҐРУНТІВ УКРАЇНИ

Параметризація гідрологічних моделей вимагає знання фільтраційних властивостей ґрунтів. Часто такі дані відсутні та найкращим виходом є використання педотрансферних функцій (ПТФ). Розглянуто десять ПТФ, як давно відомі (Cosby та ін. (1984), Wösten та ін. (1999), Saxton та Rawls (2006), Weynants та ін. (2009)), так і останні (Toth та ін. (2015), Rosetta3), що оперують різним набором параметрів для визначення коефіцієнту фільтрації ( $K_f$ ): вміст піску, пилу та глини, щільність будови, частка органічного вуглецю, частка гумусу. Розрахункові значення  $K_f$  було порівняно з наявними даними фільтрації ґрунтів України. Найбільш релевантні результати в ПТФ Wösten та Rosetta3, але не для всіх типів ґрунтів та генетичних горизонтів. Усі ПТФ занижують  $K_f$  нижнього шару (0,3-2 м) середньогумусних типових та звичайних чорноземів та завищують у 2-5 разів для умовно водотривких горизонтів (< 2 мм/година). На підставі розрахункових та експериментальних значень отримано карту фільтрації нижнього та верхнього шарів ґрунтів України масштабу 1:2500000. Найбільшу швидкість фільтрації мають ґрунти піщаного механічного складу, що поширені в Поліссі.  $K_f$  суглинкових та глинистих ґрунтів лісостепу та степу можуть відрізнятися на порядок для різних типів ґрунтів – найкраще пропускають воду ті, що мають високу структурність (реградовані ґрунти, типові та звичайні чорноземи). Найменші  $K_f$  (0,2-3 мм/година) у лучно-чорноземних глибоко солонцюваті ґрунтах, солонців, осолоділих глейових ґрунтів та солодів, нижнього шару дернових оглеєних та суглинкових дерново-підзолистих ґрунтів.  $K_f$  може варіюватися залежно від ландшафтного розташування ґрунтового розрізу, обробітку ґрунту та його промерзання, тому отримані розрахункові значення слід розглядати, як найбільш ймовірні. Отримані результати прийнятні для використання в гідрологічних розрахунках та моделюванні.

**Ключові слова:** педотрансферна функція, коефіцієнт фільтрації, гранулометричний склад, карта ґрунтів України, Rosetta3.

**В. В. Осипов, О. Н. Бігун. ОЦЕНКА ПЕДОТРАНСФЕРНЫХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПОЧВ УКРАИНЫ.** Параметризация гидрологических моделей требует знания фильтрационных свойств почв. Часто такие данные отсутствуют и лучшим выходом является использование педотрансферных функций (ПТФ). Рассмотрены десять ПТФ, как давно известные (Cosby и др. (1984), Wösten и др. (1999), Saxton и Rawls (2006), Weynants и др. (2009)), так и последние (Toth и др. (2015), Rosetta3), оперирующие разным набором параметров для определения коэффициента фильтрации ( $K_f$ ): содержание песка, пыли и глины, плотность строения, доля органического углерода, доля гумуса. Расчетные значения  $K_f$  сравнивались с имеющимися данными фильтрации почв Украины. Наиболее релевантные результаты у ПТФ Wösten и Rosetta3, но не для всех типов почв и генетических горизонтов. Все ПТФ занижают  $K_f$  нижнего слоя (0,3-2 м) среднегумусных типичных и обыкновенных черноземов и завышают в 2-5 раз для относительно водоупорных горизонтов (<2 мм/час). На основании расчетных и экспериментальных значений получено карту фильтрации нижнего и верхнего слоев почв Украины масштаба 1:2500000. Наибольшая скорость фильтрации у почв песчаного механического состава, распространены в Полесье.  $K_f$  суглинистых и глинистых почв лесостепи и степи могут отличаться на порядок для различных типов почв – лучше пропускают воду те, у которых выше структурность (реградированные почвы, типичные и обыкновенные черноземы). Наименьшие  $K_f$  (0,2-3 мм / час) в лугово-черноземных глибоко солонцеватых почв, солонцов, осолоделых глеевых почв и солодов, нижнего слоя дерновых оглеенных и суглинистых дерново-подзолистых почв.  $K_f$  может варьироваться в зависимости от ландшафтного расположения почвенного разреза, обработки почвы и её промерзания, поэтому полученные расчетные значения следует считать наиболее вероятными. Полученные результаты приемлемы для использования в гидрологических расчетах и моделировании.

**Ключевые слова:** педотрансферная функция, коэффициент фильтрации, гранулометрический состав, карта почв Украины, Rosetta3.

**Вступ.** Фільтраційні властивості ґрунтів є одним із найважливіших складників, що контролює рух рідини у вадозній зоні, а отже, безпосередньо впливає на процеси випаровування, транспірації та формування водного стоку. На сьогодні активно розвиваються гідрологічні моделі, у яких ці процеси описуються не тільки емпіричними, а й фізичними рівняннями. Серед таких моделей найпоширенішою є SWAT (Soil and Water Assessment Tool), що також впроваджується в Україні [1]. З-поміж інших фізичних параме-

трів, для параметризації моделі необхідно визначити коефіцієнт фільтрації ( $K_f$ ). Цю величину можна визначити шляхом польових досліджень, але на практиці, особливо якщо говорити про великі водозбори, дані щодо  $K_f$  для всіх груп ґрунтів, не кажучи вже про окремі горизонти, відсутні. Вихід із цієї ситуації – це використання педотрансферних функцій (ПТФ), що дозволяють визначити необхідні властивості ґрунтів на підставі наявних даних.

**Аналіз попередніх публікацій.** Активний

розвиток ПТФ почався ще минулого століття. Серед оглядових робіт варто зазначити [2], де розглянуто методи створення ПТФ та наводиться перелік характеристик ґрунтів, що використовуються для визначення гідравлічних характеристик за допомогою ПТФ. У праці [3] окрім цього розглядають використання ПТФ для параметризації теплових, біохімічних, біотичних процесів та транспорту розчинених речовин у профілі ґрунту. У роботі [4] синтезовано інформацію щодо використання ПТФ саме для розрахунку  $K_f$ , крім усього іншого наведено характеристику масивів даних, які на сьогодні є для створення ПТФ. В усіх обзорах торкаються проблем та обмежень, що пов'язані з використанням ПТФ. Передусім це те, що ПТФ не враховують інформацію щодо структурності ґрунтів (утворення агрегатів, макропорозність), по-друге, надійність ПТФ у регіонах за межами вихідної бази даних, по-третє, алгоритми оптимізації під час створення ПТФ. На щастя, останні покращуються з розвитком інформаційних технологій.

Отже, **мета цієї роботи** – проаналізувати наявні ПТФ та визначити, які найкраще підходять для розрахунку  $K_f$  ґрунтів України. У такий спосіб відтворити приблизні значення та основні закономірності  $K_f$  ґрунтів України та їхніх окремих генетичних горизонтів, що надалі можна буде використовувати для параметризації гідрологічних моделей із розосередженими параметрами.

**Матеріали й методи.** У роботі обрано ПТФ, що є найбільш універсальними (табл. 1), тобто для їхнього створення використано велику кількість зразків різних типів ґрунтів широко спектру гранулометричного складу. Також, у цих функціях використано різні методики для визначення  $K_f$ : рівняння регресії, дерево рішень та нейронна мережа.

Найбільший масив інформації отримано з бази даних «Властивості ґрунтів України» Інституту ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського [11], також частину даних зібрано з довідника «Справочник агрогидрологических свойств почв УССР» [12], «Атлас почв УССР» [13] та «Почвы Украины и повышение их плодородия» [14]. Загалом кількість розрізів ґрунту становить 171, що налічують 942 горизонти. Ґрунтові розрізи відібрано в такий спосіб, щоби охопити всі 40 класів ґрунтів та різновиди (гранулометричний склад) окремих полігонів, що відповідають карті ґрунтів України масштабу 1:2 500 000 [15].  $K_f$  розраховано для кожного генетичного горизонту. Щоби визначити загальне значення  $K_f$  для верхнього або нижнього шарів обрано мінімальне значення, оскільки фільтрація ґрунтового шару, що складається з декіль-

кох горизонтів із різним  $K_f$ , визначається  $K_f$  горизонту з найменшим значенням [16].

**Результати та обговорення.** На рисунках 1, 2, 3, 4 розрахункові значення  $K_f$  найбільш розповсюджених ґрунтів України порівнюються з експериментальними даними польових досліджень ( $K_{\text{спостереження}}$ ), на підставі яких було складено карту меліоративного районування України [17]. Кожне розрахункове значення  $K_f$  позначено точкою, їхня кількість однакова для кожної ПТФ, але іноді це не помітно, оскільки точки накладаються одна на одну. Зазначимо, що в атласі [17] наведено типові значення  $K_f$ , а не максимальні та мінімальні значення, тому незначний вихід розрахункових значень за межі  $K_{\text{спостереження}}$  можна вважати допустимим.

Фільтрація піщаних дерново-підзолистих ґрунтів у 5-6 разів вище, ніж глинисто-піщаних [18], що зумовлює такий широкий інтервал значень коефіцієнта фільтрації (рис. 1А). Виразність ілювіального горизонту збільшується в напрямку супіщаних різновидів та середньо-, сильнопідзолистих видів, що призводить до зменшення  $K_f$  нижнього шару (рис. 1Г). У дерново-середньопідзолистих оглеєних ґрунтах після насичення оглеєного шару нижньої частини ілювіального горизонту часто абсолютно зупиняється фільтрація води, що призводить до заболочування ґрунту [18].

Найбільш співставні результати коефіцієнту фільтрації для дерново-слабопідзолистих ґрунтів отримано за  $K_{\text{Wösten}}$  та  $K_{\text{Rosetta\_SSC\_BD}}$ , дерново-середньопідзолистих –  $K_{\text{Rosetta\_SSC\_BD}}$ , що також найкраще серед усіх передбачає тенденцію зменшення коефіцієнту фільтрації між верхнім та нижнім шаром (уповільнення фільтрації для нижнього шару у 2-13 разів).

Сірі опідзолені ґрунти та чорноземи опідзолені мають більш важкий гранулометричний склад, ніж дерново-підзолисті, переважно легкосуглинковий та середньосуглинковий, тому загалом швидкість фільтрації знижується. Для опідзолених ґрунтів (рис. 2А,Б) найкраще з експериментальними даними збігаються значення  $K_{\text{Rosetta\_SSC\_BD}}$  для обох шарів, для нижнього –  $K_{\text{Weynants}}$ . Для типових чорноземів найбільш реалістичні значення має  $K_{\text{Wösten}}$ , усі інші ПТФ занижують коефіцієнт фільтрації нижнього горизонту (рис. 2В,Г).

Чорноземи звичайні та південні мають переважно середньосуглинковий та важкосуглинковий гранулометричний склад, але коефіцієнти фільтрації не зменшуються, оскільки ці ґрунти мають високу структурність, що сприяє фільтрації. На жаль, жодна ПТФ не відтворює коефіцієнти фільтрації нижнього шару звичайних чорноземів (рис. 3Б). Верхній шар найкраще описують

Перелік ПТФ для визначення  $K_{\phi}$ , що використано в роботі

Автор, рік публікації	Необхідні властивості ґрунту
Cosby та інші, 1984 [5]	а) % піску ( $sand^a$ ); б) % піску ( $sand$ ), % глини ( $clay^a$ )
<p>а) <math>K_{Cosby\_S} = 25,4 \cdot 10^{0,0153 \cdot sand - 0,884}</math> [мм/година]</p> <p>б) <math>K_{Cosby\_SC} = 25,4 \cdot 10^{0,0126 \cdot sand - 0,0064 \cdot clay - 0,6}</math> [мм/година]</p>	
Wösten та інші, 1999 [6]	Верхній ( $topsoil = 1$ )/нижній ( $topsoil = 0$ ) шар <sup>б</sup> , % пилу ( $silt^a$ ), % глини ( $clay$ ), щільність будови (BD), % гумусу (OM)
$K_{Wösten} = \exp[7,755 + 0,0352 \cdot silt + 0,93 \cdot topsoil - 0,967 \cdot BD^2 - 0,000484 \cdot clay^2 - 0,000322 \cdot silt^2 + 0,001 \cdot silt - 0,0758 \cdot OM - 0,643 \cdot \ln(silt) - 0,01398 \cdot BD \cdot clay - 0,1673 \cdot BD \cdot OM + 0,02986 \cdot topsoil \cdot clay - 0,03305 \cdot topsoil \cdot silt]$ [мм/година]	
Saxton та Rawls, 2006 [7]	пісок ( $sand$ ), глина ( $clay$ ) в долях одиниці, % гумусу (OM)
<p><math>K_{Saxton \&amp; Rawls} = 1930 \cdot (\theta_S - \theta_{33})^{3-\lambda}</math> [мм/година]</p> <p><math>\theta_{33} = \theta_{33t} + [1,283 \cdot (\theta_{33t})^2 - 0,374 \cdot \theta_{33t} - 0,015]</math></p> <p><math>\theta_{33t} = -0,251 \cdot sand - 0,195 \cdot clay + 0,011 \cdot OM + 0,006 \cdot sand \cdot OM - 0,027 \cdot clay \cdot OM + 0,452 \cdot sand \cdot clay + 0,299</math></p> <p><math>\theta_{1500} = \theta_{1500t} + (0,14 \cdot \theta_{1500t} - 0,02)</math></p> <p><math>\theta_{1500t} = -0,024 \cdot sand + 0,487 \cdot clay + 0,006 \cdot OM + 0,005 \cdot sand \cdot OM - 0,013 \cdot clay \cdot OM + 0,068 \cdot sand \cdot clay + 0,031</math></p> <p><math>\theta_{S-33} = \theta_{(S-33)t} + 0,636 \theta_{(S-33)t} - 0,107</math></p> <p><math>\theta_{(S-33)t} = 0,278 \cdot sand + 0,034 \cdot clay + 0,022 \cdot OM - 0,018 \cdot sand \cdot OM - 0,027 \cdot clay \cdot OM - 0,584 \cdot sand \cdot clay + 0,078</math></p> <p><math>\theta_S = \theta_{33} + \theta_{S-33} - 0,097 \cdot sand + 0,043</math></p> <p><math>\lambda = [\ln(\theta_{33}) - \ln(\theta_{1500})] / [\ln(1500) - \ln(33)]</math></p>	
Weynants та інші, 2009 [8]	% піску ( $sand$ ), щільність будови (BD), % органічного вуглецю (OC)
$K_{Weynants} = \exp(1,9582 + 0,0308 \cdot sand - 0,6142 \cdot BD - 0,01566 \cdot OC)$ [мм/година]	
Toth та інші, 2015 [9]	а) нижній/верхній шар, $FAO\_MOD^c$ б) нижній/верхній шар, % органічного вуглецю (OC), $FAO\_MOD$ в) нижній/верхній шар, % органічного вуглецю (OC), % піску ( $sand$ ), % пилу ( $silt$ ), % глини ( $clay$ )
<p>а) <math>\log_{10}(K_{Toth\_FAO\_MOD+TS}) =</math> [см/доба]</p> <p>1) = 0,01; якщо нижній шар, <i>fine, very fine</i></p> <p>2) = 0,77; якщо нижній шар, <i>coarse, medium, medium fine, organic</i></p> <p>3) = 1,14; якщо верхній шар, <i>coarse, fine, medium fine, organic, very fine</i></p> <p>4) = 2,23; якщо верхній шар, <i>medium</i></p> <p>б) <math>\log_{10}(K_{Toth\_FAO\_MOD+OC+TS}) =</math> [см/доба]</p> <p>1) = -1,16; якщо нижній шар, <math>0,96 \leq OC &lt; 0,97</math>, <i>fine, medium, medium fine</i></p> <p>2) = -0,44; якщо нижній шар, <math>0,96 \leq OC &lt; 0,97</math>, <i>coarse, very fine</i></p> <p>3) = -0,75; якщо нижній шар, <math>1,52 \leq OC &lt; 1,54</math></p> <p>4) = -0,58; якщо нижній шар, <math>2,04 \leq OC &lt; 2,12</math></p> <p>5) = -0,45; якщо нижній шар, <math>2,65 \leq OC &lt; 3,86</math></p> <p>6) = 0,37; якщо нижній шар, <math>3,86 \leq OC</math></p> <p>7) = 1,29; якщо нижній шар, <math>2,12 \leq OC &lt; 2,65</math></p> <p>8) = 1,33; якщо нижній шар, <math>1,54 \leq OC &lt; 2,04</math></p> <p>9) = 1,13; якщо нижній шар, <math>0,97 \leq OC &lt; 1,52</math></p> <p>10) = -0,87; якщо верхній шар, <math>2,09 \leq OC &lt; 2,1</math></p> <p>11) = -0,38; якщо верхній шар, <math>2,4 \leq OC</math>, <i>fine, medium fine, organic, very fine</i></p> <p>12) = 1,67; якщо верхній шар, <math>2,1 \leq OC &lt; 2,4</math>, <i>fine, medium fine, organic, very fine</i></p> <p>13) = 1,19; якщо верхній шар, <math>2,1 \leq OC</math>, <i>coarse, medium</i></p> <p>14) = -0,49; якщо верхній шар, <math>1,52 \leq OC &lt; 1,54</math></p> <p>15) = 1,74; якщо верхній шар, <math>1,54 \leq OC &lt; 2,09</math></p> <p>16) = 1,8; якщо верхній шар, <math>0,96 \leq OC &lt; 1,52</math></p> <p>17) = -1,56; якщо верхній шар, <math>0,4 \leq OC &lt; 0,41</math>, <i>fine, medium, medium fine, very fine</i></p> <p>18) = -0,42; якщо <math>0,4 \leq OC &lt; 0,41</math>, <i>coarse</i></p> <p>19) = 0,79; якщо <math>0,41 \leq OC &lt; 0,96</math>, <i>fine, very fine</i></p> <p>20) = 1,54; якщо <math>0,41 \leq OC &lt; 0,96</math>, <i>coarse, medium, medium fine</i></p>	

21) = 0,55; якщо $OC < 0,07$ 22) = 0,66; якщо $0,07 \leq OC < 0,4$ , <i>fine, very fine</i> 23) = 1,3; якщо $0,07 \leq OC < 0,4$ , <i>medium, medium fine</i> 24) = 1,83; якщо $0,07 \leq OC < 0,4$ , <i>coarse</i>  е) $\log_{10}(K_{TotH\_SSC\_OC\_TS}) =$ [см/доба] 1) = -0,95; якщо нижній шар, $0,96 \leq OC < 0,97$ 2) = -0,75; якщо нижній шар, $1,52 \leq OC < 1,54$ 3) = -0,25; якщо нижній шар, $2,04 \leq OC$ 4) = 1,33; якщо нижній шар, $1,54 \leq OC < 2,04$ 5) = 1,13; якщо нижній шар, $0,97 \leq OC < 1,52$ 6) = -0,87; якщо верхній шар, $2,09 \leq OC < 2,1$ 7) = -0,22; якщо верхній шар, $2,42 \leq OC$ , <i>sand &lt; 38,95%</i> 8) = 1,82; якщо верхній шар, $2,1 \leq OC < 2,42$ , <i>sand &lt; 38,95%</i> 9) = 1,44; якщо верхній шар, $2,1 \leq OC$ , <i>sand <math>\geq</math> 38,95%</i> 10) = 0,01; якщо верхній шар, $0,96 \leq OC < 2,09$ , <i>silt &lt; 10,85%</i> 11) = -0,46; якщо верхній шар, $1,52 \leq OC < 1,54$ , <i>silt <math>\geq</math> 10,85%</i> 12) = 1,72; якщо верхній шар, $1,52 \leq OC < 1,54$ , <i>silt <math>\geq</math> 10,85%</i> 13) = 1,82; якщо верхній шар, $0,96 \leq OC < 1,52$ , <i>silt <math>\geq</math> 10,85%</i> 14) = -1,81; якщо $0,4 \leq OC < 0,41$ , <i>silt <math>\geq</math> 32,11%</i> 15) = -0,4; якщо $0,4 \leq OC < 0,41$ , <i>silt &lt; 32,11%</i> 16) = 0,67; якщо $0,41 \leq OC < 0,96$ , <i>clay <math>\geq</math> 37,4%</i> 17) = 1,53; якщо $0,41 \leq OC < 0,96$ , <i>silt &lt; 37,4%</i> 18) = 0,55; якщо $OC < 0,07$ 19) = -0,11; якщо $0,07 \leq OC < 0,4$ , <i>sand &lt; 5,77%</i> 20) = 1,28; якщо $0,07 \leq OC < 0,4$ , $5,77 < sand \leq 69,72\%$ 20) = 1,96; якщо $0,07 \leq OC < 0,4$ , <i>sand <math>\leq</math> 69,72%</i>	
Zhang та Schaap, 2017 [10]	а) % піску ( <i>sand</i> ), % пилу ( <i>silt</i> ), % глини ( <i>clay</i> ) б) % піску ( <i>sand</i> ), % пилу ( <i>silt</i> ), % глини ( <i>clay</i> ), щільність будови (BD)
Скрипт для розрахунку програмною мовою Python можна завантажити за посиланням <a href="http://www.u.arizona.edu/~vgzhang/download.html">http://www.u.arizona.edu/~vgzhang/download.html</a> [см/доба]	

<sup>a</sup> *sand* – частинки діаметром 0,05-2 mm, *silt* – 0,002-0,05 mm, *clay* < 0,002 mm  
<sup>б</sup> Верхній шар – генетичні горизонти A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub> (або H<sub>0</sub>, H); нижній шар – генетичні горизонти A<sub>2</sub>, B, C (або E, I, P)  
<sup>в</sup> FAO\_MOD – модифікована класифікація механічного складу FAO (*coarse*: *clay* < 18% та *sand* > 65%; *medium*: 18% < *clay* < 35% та *sand* > 15%, або *clay* < 18% та 15% < *sand* < 65%; *medium fine*: *clay* < 35% та *sand* < 15%; *fine*: 35% < *clay* < 60%; *very fine*: *clay* > 60%; *organic* – органігенні ґрунти)

$K_{Rosetta\_SSC\_BD}$ ,  $K_{Saxton \& Rawls}$  та  $K_{Wosten}$  (рис. 3А). Для чорноземів південних коефіцієнт фільтрації всього профілю непогано відтворюється  $K_{Wosten}$ , але для верхнього шару краще результати в  $K_{Rosetta\_SSC\_BD}$ ,  $K_{Wosten}$  завищує значення для залишково солонцюватих ґрунтів (рис. 3В,Г).

Всі ПТФ занижують коефіцієнт фільтрації нижнього шару лучних ґрунтів, але  $K_{Wosten}$  майже повністю перебиває всі значення як верхнього, так і нижнього (рис. 4А,Б). Найкращі значення для гірських ґрунтів показує  $K_{Rosetta\_SSC\_BD}$  (рис. 4В,Г).

Найбільшу швидкість фільтрації мають ґрунти піщаного механічного складу, більш важкі ґрунти повільніше пропускають воду. Однак, якщо ці ґрунти оструктурені, то їхній  $K_f$  значно зростає, як порівняти з неоструктуреними ґрунтами того ж гранулометричного складу. Так, найбільший  $K_f$  верхнього шару мають ґрунти Полісся, що переважно представлені піщаними

( $K_f > 80$  мм/година), глинисто-піщаними (25-80 мм/година) та супіщаними (10-30 мм/година) дерновими та дерново-підзолистими ґрунтами (рис. 5). Але вже наявність у останніх більш щільного з більшим вмістом глини (<0.002 мм) ілювіального горизонту зменшує  $K_f$  нижнього шару до 2-6 мм/година, а для суглинистих дерново-середньо- та сильнопідзолистих ґрунтів Передкарпаття до 0,1-0,3 мм/година (рис. 6).

Попри високі експериментальні значення  $K_f$ , у природних умовах піщані дерново-підзолисті та дерново-підзолисті оглеєні знизу ґрунти, тобто автоморфні за умовами формування, часто перебувають у стані зневоднення пор, що перешкоджає інфільтрації поверхневої вологи [19]. Просторова інфільтрація проявляється тільки в умовах надмірного зволоження завдяки водам, що притікають зі схилів, накопичуються у денної поверхні та проникають до рівня ґрунто-



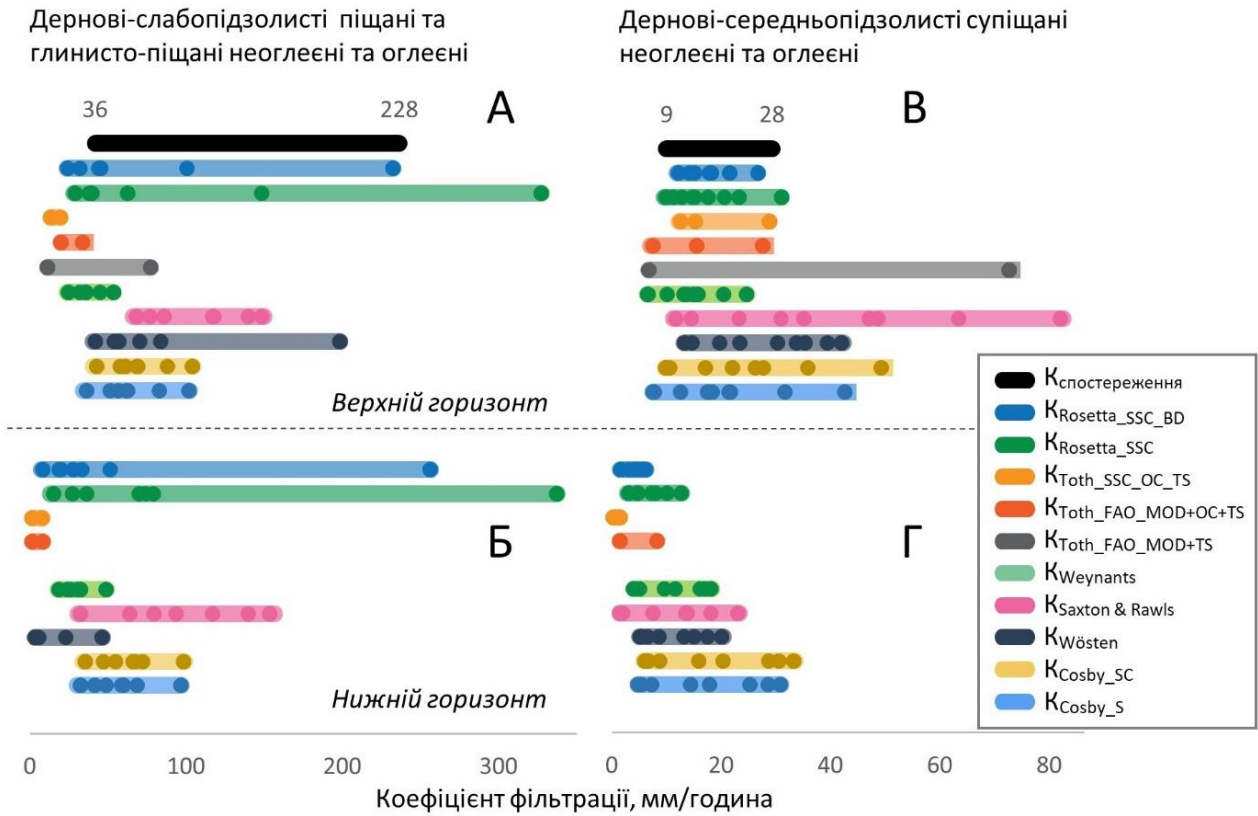


Рис. 1. Порівняння  $K_f$  дерново-підзолистих ґрунтів з експериментальними значеннями (за матеріалами [17], [18])

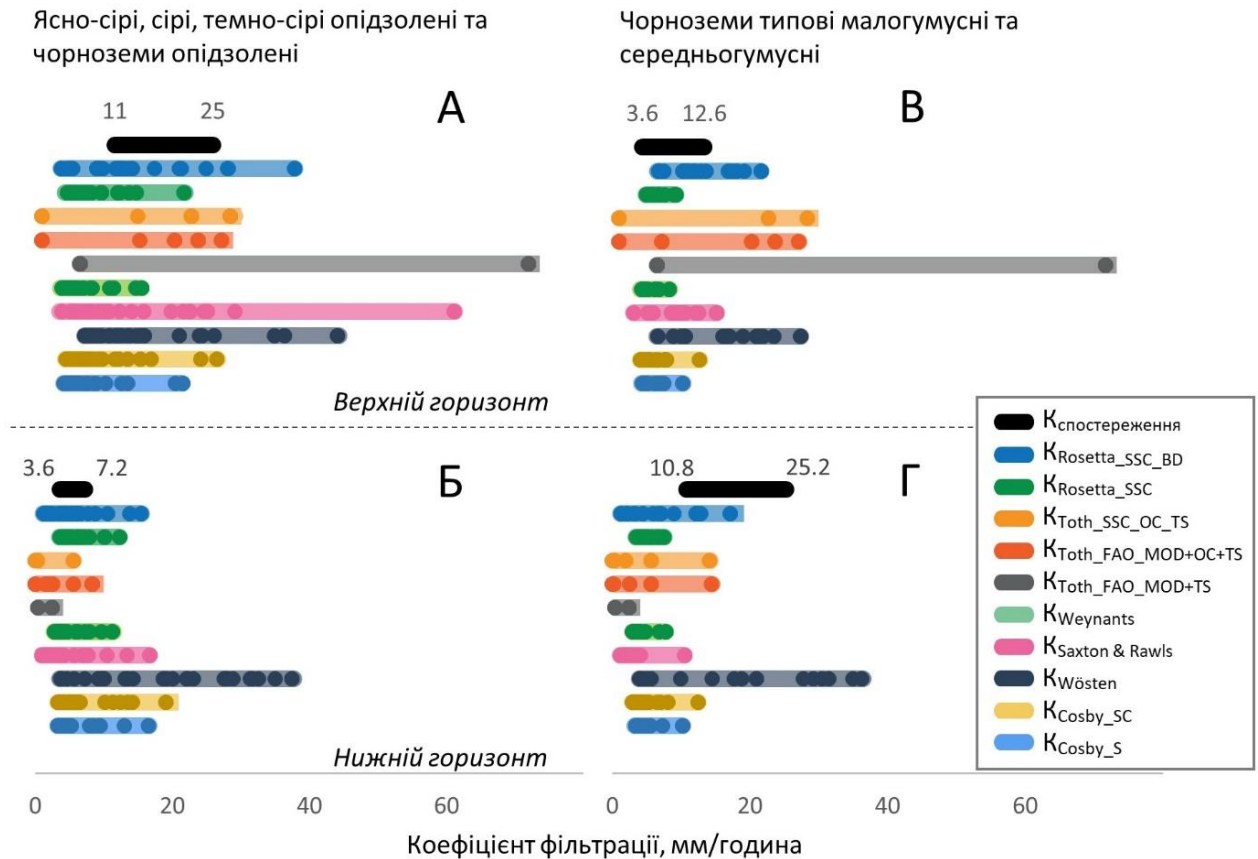


Рис. 2. Порівняння  $K_f$  сірих ґрунтів та чорноземів опідзолених та типових з експериментальними значеннями (за матеріалами [17])

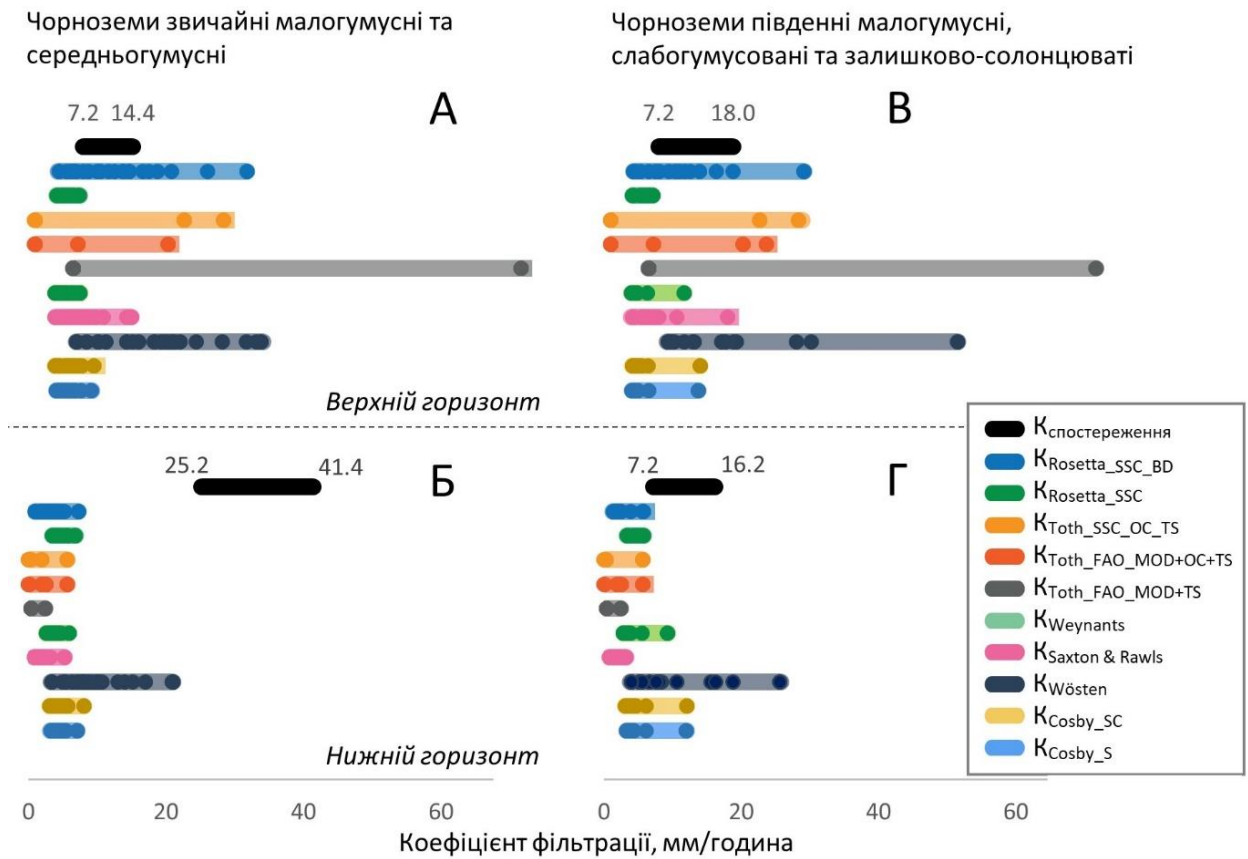


Рис. 3. Порівняння  $K_f$  чорноземів звичайних та південних з експериментальними значеннями (за матеріалами [17])

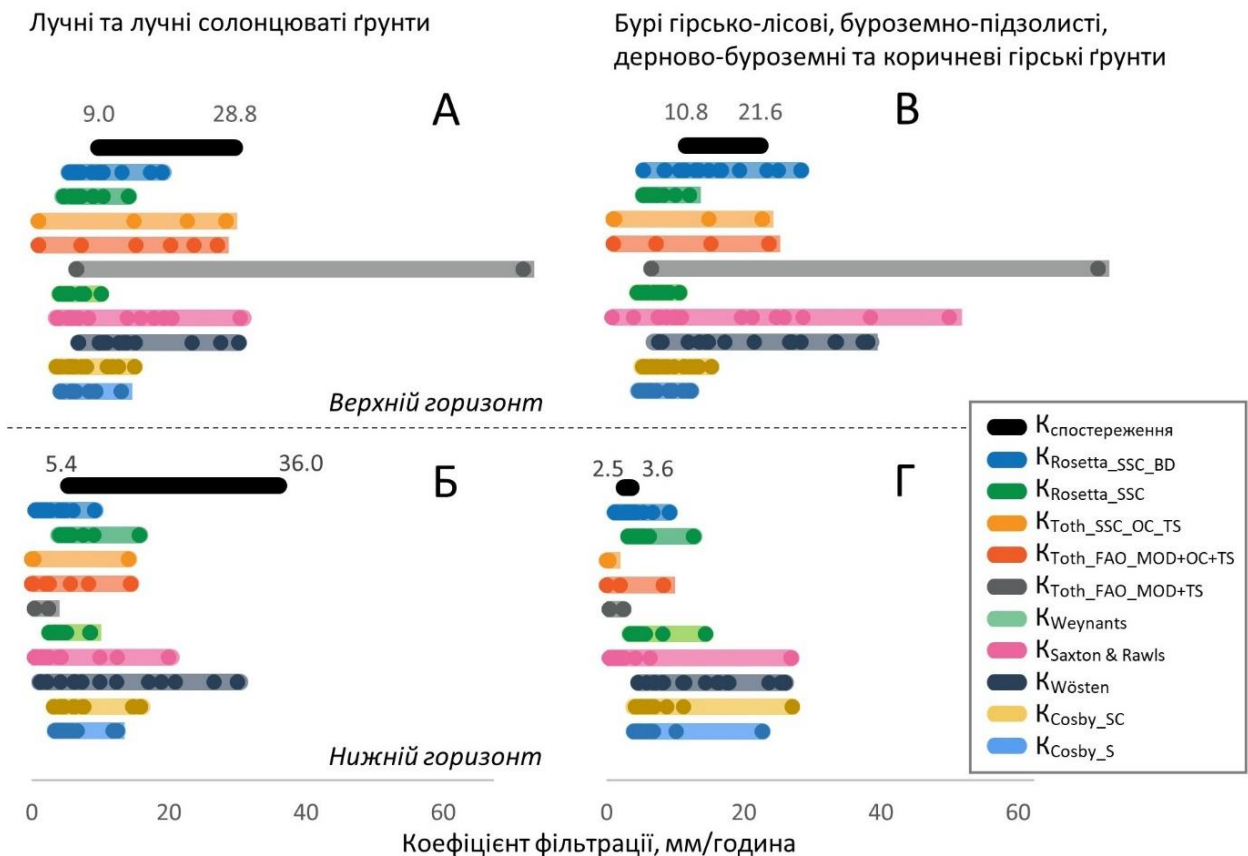


Рис. 4. Порівняння  $K_f$  лучних та гірських ґрунтів з експериментальними значеннями (за матеріалам [17])



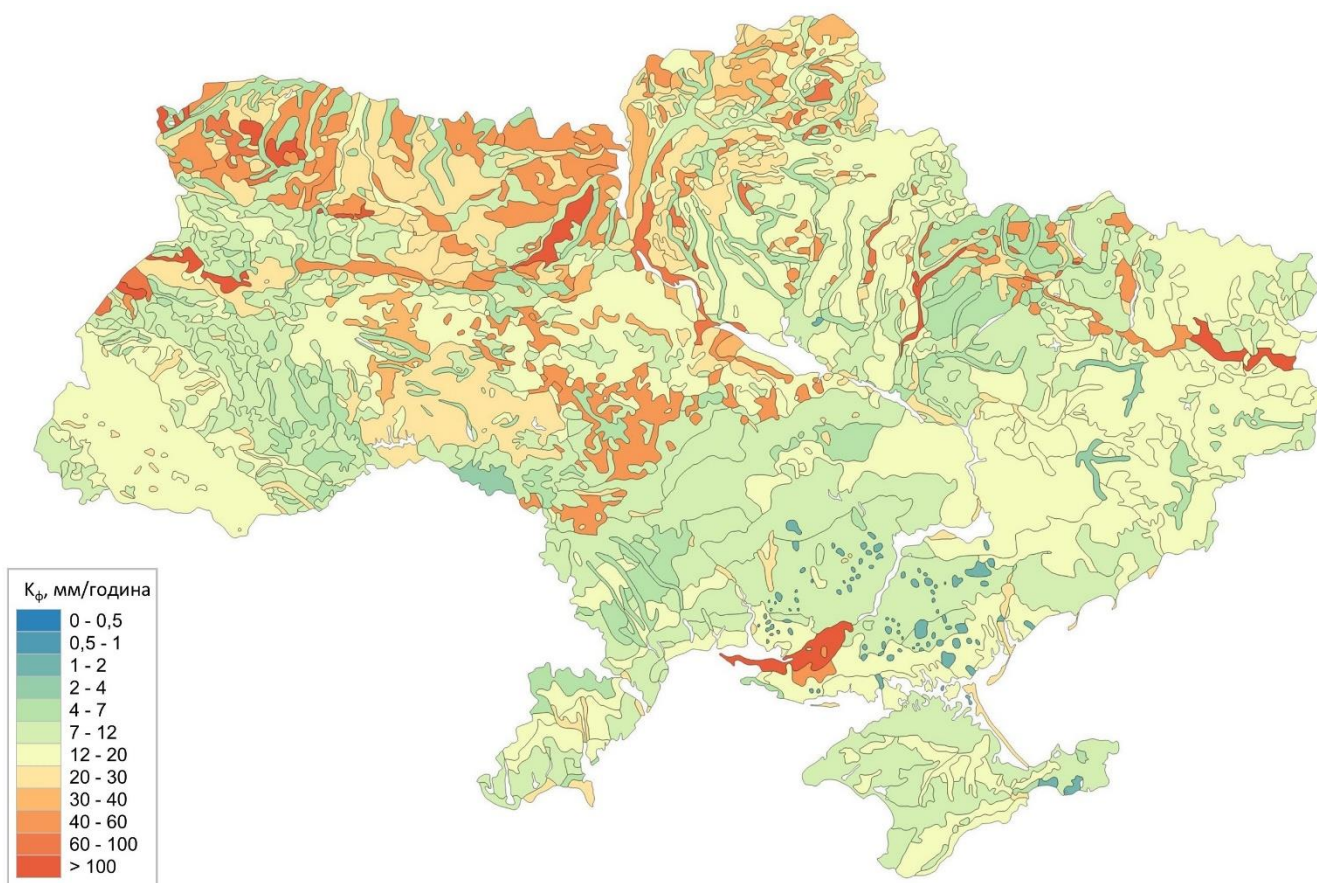


Рис. 5. К<sub>φ</sub> верхнього шару (горизонти А<sub>0</sub>, А<sub>1</sub>) ґрунтів України

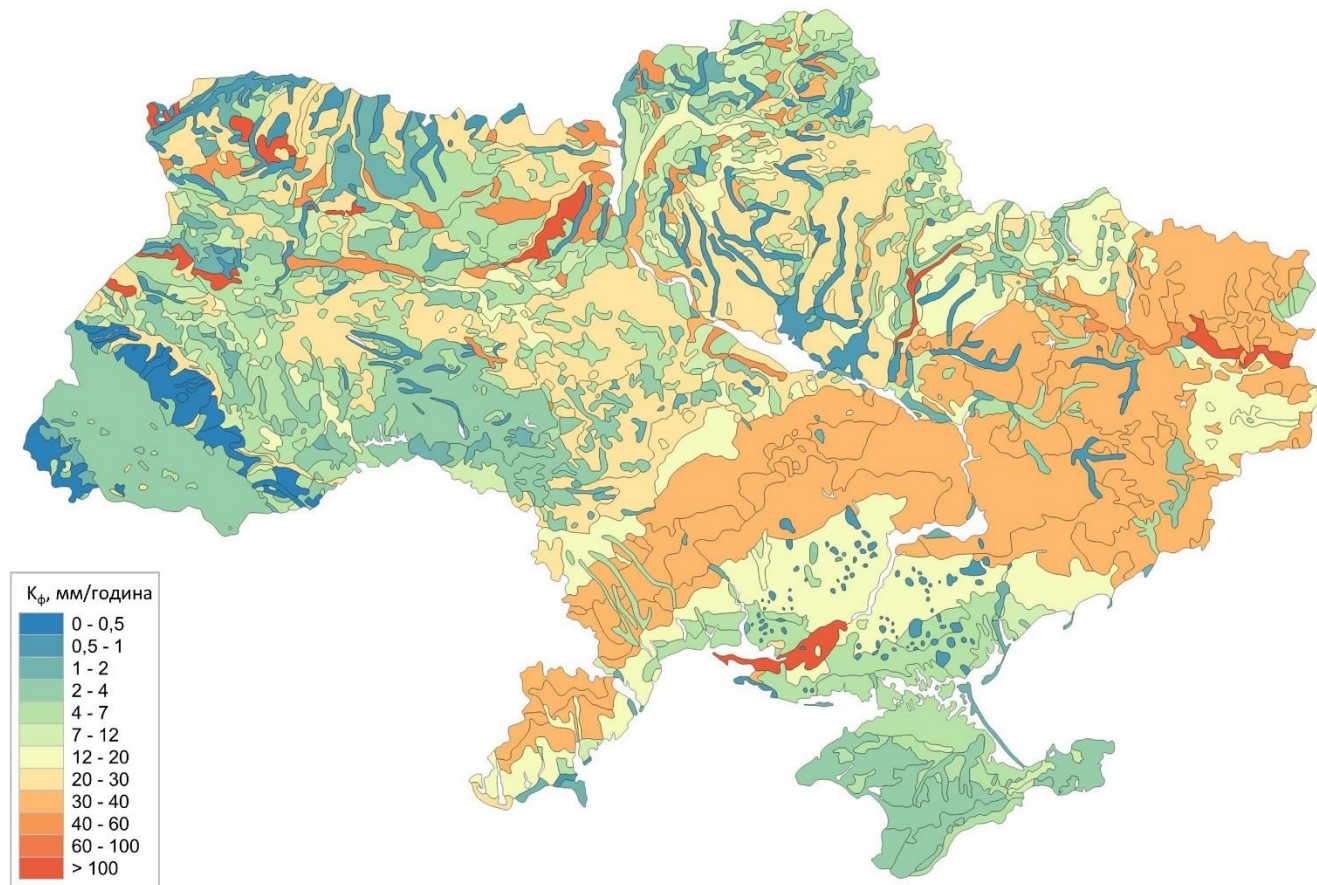


Рис. 6. К<sub>φ</sub> нижнього шару (мінімальне серед горизонтів А<sub>2</sub>, В, С) ґрунтів України

вих вод.

Далі на південь гранулометричний склад змінюється з переважно легкосуглинкових та середньосуглинкових ґрунтів лісостепу до важкосуглинкових та глинистих ґрунтів степової зони. Але такої ж зональної тенденції зменшення  $K_f$  не спостерігається, тому що здебільшого території розповсюджені чорноземи, що мають високі структурні характеристики та гарно пропускають вологу.  $K_f$  верхнього шару чорноземів 5-20 мм/година й ще більш високі для нижнього шару – 10-40 мм/година. Приблизно такі самі  $K_f$  для верхнього шару мають сірі, темно-сірі опідзолені ґрунти та чорноземи опідзолені, бурі гірсько-лісові та дерново-буроземні ґрунти (10-25 мм/година), хоча мають більш легкий склад, переважно легкосуглинковий.  $K_f$  нижнього шару, як порівняти з чорноземами, менший – 2,5-7 мм/година.  $K_f$  лучно-чорноземних та лучних ґрунтів, що поширені на терасах річок, депресіях на плато та поймах, зменшується з поглибленням процесів солонцювання та осолодіння – найменші значення мають солонці, осолоділі глейові ґрунти та солоді (0,2-3 мм/година).

Коли коефіцієнт фільтрації материнських порід або горизонтів ґрунтового профілю виявляється рівним або нижче 0,05 м/доба ( $\approx$  2 мм/година), то такі шари можна розглядати як водотривкі [20]. Над ними часто формується верховодка, що призводить до заболочування ґрунту.

Варто зауважити, що  $K_f$  залежить не тільки від ґрунту та гранулометричного складу, а й від ландшафтного розташування ґрунтового розрізу й сільськогосподарських практик, що застосовуються [14]. Ці параметри також можуть бути складником ПТФ [2], але на регіональному рівні. Також не варто забувати, що під час сніготанення при контакті з мерзлим ґрунтом взагалі може утворюватися водонепроникний шар [21]. Тому отримана карта  $K_f$  показує найбільш імовірні значення, а не встановлює достовірне значення для будь-якої точки.

**Висновки.** У роботі розглянуто ПТФ, які для розрахунку  $K_f$  використовують гранулометричний склад, щільність будови, вміст органічного вуглецю або гумусу. На відміну від фільтраційних властивостей, цю інформацію набагато легше встановити для всіх основних ґрунтів України, та їхніх окремих генетичних горизонтів. У такий спосіб розраховано  $K_f$  верхнього та нижнього шарів усіх 40-ка класів ґрунтів України, що відповідають карті масштабу 1:2 500 000.

Співставлення з наявними даними  $K_f$  показує, що серед усіх найчастіше релевантні зна-

чення мають ПТФ Wösten ( $K_{W\ddot{o}sten}$ ) та Rosetta3 ( $K_{Rosetta\_SSC\_BD}$ ). Для розрахунку  $K_f$  верхнього шару дерново-слабопідзолистих ґрунтів рекомендовано  $K_{W\ddot{o}sten}$ , середньопідзолистих –  $K_{Rosetta\_SSC\_BD}$ . У літературі відсутні конкретні значення  $K_f$  нижнього шару піщаних та супіщаних дерново-підзолистих ґрунтів, але відомо, що швидкість фільтрації значно зменшується через наявність ілювіального горизонту. Найкраще цю тенденцію відтворює Rosetta3 –  $K_f$  супіщаних дерново-середньопідзолистих ґрунтів з 10-25 для верхнього зменшується до 2-6 мм/година для нижнього шару. Для верхнього шару ясно-сірих та сірих опідзолених ґрунтів найбільш релевантні значення є в  $K_{Saxton \& Rawls}$ , темно-сірих опідзолених –  $K_{W\ddot{o}sten}$ , чорноземів опідзолених –  $K_{Rosetta\_SSC\_BD}$ , для нижнього шару згаданих ґрунтів –  $K_{Weynants}$ . Структурність чорноземів сприяє фільтрації, що важко передати за допомогою ПТФ, тому всі вони занижують  $K_f$  нижнього шару типових середньогумусних та звичайних чорноземів, тільки для типових малогумусних та південних чорноземів можна використати  $K_{W\ddot{o}sten}$ . Для верхнього шару підходять  $K_{Saxton \& Rawls}$  (чорноземи типові),  $K_{Rosetta\_SSC\_BD}$  (чорноземи звичайні малогумусні, чорноземи типові залишково солонцюваті),  $K_{W\ddot{o}sten}$  (чорноземи звичайні середньогумусні та південні). Верхній шар лугово-чорноземних (окрім глибоко-солонцюватих), темно-каштанових та каштанових ґрунтів найкраще описує  $K_{Rosetta\_SSC\_BD}$ , а нижній –  $K_{W\ddot{o}sten}$ . Увесь профіль лучних ґрунтів –  $K_{W\ddot{o}sten}$ . А для бурих гірсько-лісових, дерново-буроземних та коричневих ґрунтів найбільш релевантні значення отримано за  $K_{Rosetta\_SSC\_BD}$  для нижнього та верхнього шарів.

На жаль усі ПТФ завищують значення  $K_f$ , коли значення, що отримано спостереженнями, дуже низькі – 0,2-3 мм/година (лучно-чорноземні глибоко солонцюваті ґрунти, солонці, осолоділі глейові ґрунти та солоді, нижній шар дернових оглеєних ґрунтів). Також зазначимо, що за експериментальними даними  $K_f$  лучно-болотних та торф'яно-болотних ґрунтів коливається в широких межах (1-144 мм/година), але наявних розрізів у базі даних недостатньо, щоби оцінити якість ПТФ.

В результаті синтезу експериментальних та розрахункових значень, на основі карти ґрунтів України масштабу 1:2 500 000 отримано карту, що відображає найбільш імовірний діапазон  $K_f$  нижнього та верхнього шарів усіх представлених на карті класів ґрунтів, що достатньо точно для використання її у моделюванні гідрологічних та геофізичних процесів.

## Література

1. Osypov V. The desna river daily multi-site streamflow modeling using swat with detail snowmelt adjustment / V. Osypov, N. Osadcha, D. Hlotka[et al.] // *Journal of Geography and Geology*. – 2018. – Vol. 10, No. 3. – P. 92–110.
2. Wösten J. H. M. Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics / J. H. M. Wösten, Y. A. Pachepsky, W. J. Rawls // *Journal of Hydrology*. – 2001. – Vol. 251, No. 3–4. – P. 123–150.
3. Van Looy K. Pedotransfer functions in earth system science: challenges and perspectives / K. Van Looy, J. Bouma, M. Herbst[et al.] // *Reviews of Geophysics*. – 2017. – Vol. 55, No. 4. – P. 1199–1256.
4. Zhang Y. Estimation of saturated hydraulic conductivity with pedotransfer functions: a review / Y. Zhang, M. G. Schaap // *Journal of Hydrology*. – 2019. – Vol. 575. – P. 1011–1030.
5. Cosby B. J. A statistical exploration of the relationships of soil moisture characteristics to the physical properties of soils / B. J. Cosby, G. M. Hornberger, R. B. Clapp, T. R. Ginn // *Water Resources Research*. – 1984. – Vol. 20, No. 6. – P. 682–690.
6. Wösten J. H. Development and use of a database of hydraulic properties of european soils / J. H. Wösten, A. Lilly, A. Nemes, C. Le Bas // *Geoderma*. – 1999. – Vol. 90, No. 3–4. – P. 169–185.
7. Saxton K. E. Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions / K. E. Saxton, W. J. Rawls // *Soil Science Society of America Journal*. – 2006. – Vol. 70, No. 5. – P. 1569–1578.
8. Weynants M. Revisiting vereecken pedotransfer functions: introducing a closed-form hydraulic model / M. Weynants, H. Vereecken, M. Javaux // *Vadose Zone Journal*. – 2009. – Vol. 8, No. 1. – P. 86–95.
9. Tóth B. New generation of hydraulic pedotransfer functions for europe / B. Tóth, M. Weynants, A. Nemes [et al.] // *European Journal of Soil Science*. – 2015. – Vol. 66, No. 1. – P. 226–238.
10. Zhang Y. Weighted recalibration of the rosetta pedotransfer model with improved estimates of hydraulic parameter distributions and summary statistics (Rosetta3) / Y. Zhang, M. G. Schaap // *Journal of Hydrology*. – 2017. – Vol. 547. – P. 39–53.
11. Лактионова Т. Н. База даних “Свойства почв Украины” (структура и порядок использования) / Т. Н. Лактионова, В. В. Медведев, К. В. Савченко[et al.]. – Харьков : ЦТ №1, 2012. – 150 с.
12. Справочник агрогидрологических свойств почв Украинской ССР / Ред. А. А. Мороз. – Ленинград : Гидрометеорологическое изд., 1965. – 550 р.
13. Атлас почв Украинской ССР / Ред. Н. К. Крупский, Н. И. Полупан. – Киев : Урожай, 1979. – 160 с.
14. Почвы украины и повышение их плодородия. т.1. экология, режимы и процессы, классификация и генетико-производственные аспекты / Ред. Н. И. Полупан. – Киев : Урожай, 1988. – 296 с.
15. Почвенная карта Украинской ССР. Масштаб 1:2500000. Главное управление геодезии и картографии при совете министров СССР (ГУГК). УкрНИИ почвоведения и агрохимии им. А.Н. Соколовского / Ред. Н. К. Крупский. – Москва: 1977.
16. Роде А. А. Водные свойства почв и грунтов / А. А. Роде. – Москва : Изд. Академии наук СССР, 1955. – 132 с.
17. Почвенно-мелиоративное районирование. Масштаб 1:4000000 / Атлас природных условий и естественных ресурсов Украинской ССР. – Москва : ГУГК, 1978. – С. 183.
18. Иовенко Н. Г. Водно-физические свойства и водный режим почв усср / Н. Г. Иовенко. – Ленинград : Гидромет. изд., 1960. – 352 с.
19. Романова Т. А. Водный режим почв беларуси / Т. А. Романова. – Минск : ИВЦ Минфина, 2015. – 144 с.
20. Зайдельман Ф. Р. Мелиорация почв / Ф. Р. Зайдельман. – Москва : Изд-во МГУ, 1987. – 305 с.
21. Будник С. В. Гидродинамика и гидрохимия склоновых водотоков / С. В. Будник, В. К. Хильчевский. – Киев : ИГЛ “Обрії,” 2005. – 368 с.

**Внесок авторів:** Осипов В.В. – концептуалізація, підготовка вхідних даних, методологія, розрахунки, написання тексту; Бігун О.М. – підготовка вхідних даних, написання тексту.



UDC 631.43

**Osypov Valeriy,**

PhD (Geography), Senior Researcher, Hydrochemistry Department,  
Ukrainian Hydrometeorological Institute, 37 Nauki Av., Kyiv, 03028, Ukraine,  
e-mail: [valery\\_osipov@ukr.net](mailto:valery_osipov@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-4853-8021>;

**Bihun Oksana,**

PhD (Agriculture), Senior Scientist Researcher, Geoecophysics of Soil Laboratory,  
National Scientific Center “O.N. Sokolovsky Institute for Soil Science and Agrochemistry Researched”,  
4 Chaikovska St., Kharkiv, 61024, Ukraine,  
e-mail: [oksana\\_bigun@ukr.net](mailto:oksana_bigun@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-8461-4928>

## EVALUATION OF PEDOTRANSFER FUNCTIONS TO PREDICT SATURATED HYDRAULIC CONDUCTIVITY OF UKRAINIAN SOILS

**Literature overview.** The parameterization of hydrological models requires knowledge of the soil filtration properties. Generally, soil profiles are characterized by properties such as sand, silt and clay content, bulk density, organic carbon fraction or humus content, and no data on filtration properties are available. Ukrainian soil database, created in Geoecophysics of soil laboratory of National Scientific Center “Institute for Soil Science and Agrochemistry Researched named after O.N. Sokolovsky” (Laktionova et al., 2012), among other properties has extensive data on texture and bulk density for more than 2000 profiles, less on organic carbon content, and almost no data on saturated hydraulic conductivity ( $K_{sat}$ ). The most probable ranges of  $K_{sat}$  for most types of Ukrainian soils are given in the Atlas of natural conditions and natural resources of the Ukrainian SSR (“Pochvenno-meliorativnoye rayonirovaniye. Masshtab 1:4000000,” 1978), however, the data doesn't present  $K_{sat}$  for different textures inside one soil type. To fill this gap, the best solution is the applying of pedotransfer function (PTF).

**The purpose** of this work is to synthesize the most realistic  $K_{sat}$  of the main soil groups of Ukraine, corresponding to a scale map of 1:2 500 000 (Krupskiy, 1977), as well as their genetic horizons, on the basis of calculated and experimental values available in the literature.

**Material and methods.** Ten PTFs used in the study are based on regression equations (Cosby et al., 1984; Saxton & Rawls, 2006; Weynants et al., 2009; Wösten et al., 1999), decision tree (Tóth et al., 2015), or neural network (Zhang & Schaap, 2017).  $K_{sat}$  was estimated for 942 horizons of 171 profiles which represented all 40 soil groups (corresponding to the legend of 1:2 500 000 map) of Ukraine according to Dokuchaev classification.

**Results.** Wösten and Rosetta3 PTFs are determined as the most relevant by comparing the calculated  $K_{sat}$  values with the available data of the bottom (horizons A<sub>2</sub>, B, C) and top (A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub>) soil layers of Ukraine. In particular, they are relevant for widespread soils such as Soddy podzolic soils (WRB – Eutric podzoluvic soils), dark gray podzolized soils (Phaeozems Albic), chernozems podzolized (Chernozems Chernic), chernozems southern (Chernozems Calcic), meadow-chernozemic soils (Phaeozems Haplic), dark chestnut and chestnut soils (Kastanozems Haplic and Kastanozems Luvic), meadow soils (Umbrisols Gleic, Fluvisols Dystric, Fluvisols Eutric, Leptosols Umbric), mountain soils (Cambisols), and top layer of Chernozems ordinary (Chernozems Chernic). Unfortunately, all ten PTFs underestimate 2-4 times  $K_{sat}$  of bottom layer of ordinary and typical chernozems (Chernozems Chernic) and overestimate 2-5 times for relatively impermeable horizons (< 2 mm/h).

**Conclusions.** Based on the calculated and experimental values, the map of  $K_{sat}$  of the top and bottom soil layers was obtained. Sandy soils, common in Polissia, have the highest filtration rate.  $K_{sat}$  of loam and clay soils of forest-steppe and steppe can differ between different types by an order. The highest  $K_{sat}$  have soils with high structural properties (Chernozems Luvic, Chernozems Chernic). The lowest  $K_{sat}$  (0.2-3 mm/h) have Phaeozems Sodic, Solonetz, Solonchaks, Planosols Albic, and bottom layer of soddy manly gley (Arenosols Protic/ Haplic) and loamy soddy podzolic soils (Albelvisols Umbric). The estimated values should be considered as the most probable because  $K_{sat}$  depends on landscape location of soil profile, tillage operations, and soil temperate. The results are acceptable to use in hydrological calculations and modeling.

**Keywords:** pedotransfer function, saturated hydraulic conductivity, soil texture, soil map of Ukraine, Rosetta3.

### References

1. Osypov, V., Osadcha, N., Hlotka, D., Osadchyi, V., & Nabyvanets, J. (2018). The Desna River Daily Multi-Site Streamflow Modeling Using SWAT with Detail Snowmelt Adjustment. *Journal of Geography and Geology*, 10(3), 92–110. <https://doi.org/10.5539/jgg.v10n3p92>

2. Wösten, J. H. M., Pachepsky, Y. A., & Rawls, W. J. (2001). Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. *Journal of Hydrology*, 251(3–4), 123–150. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00464-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00464-4)
3. Van Looy, K., Bouma, J., Herbst, M., Koestel, J., Minasny, B., Mishra, U., ... Vereecken, H. (2017). Pedotransfer Functions in Earth System Science: Challenges and Perspectives. *Reviews of Geophysics*, 55(4), 1199–1256. <https://doi.org/10.1002/2017RG000581>
4. Zhang, Y., & Schaap, M. G. (2019). Estimation of saturated hydraulic conductivity with pedotransfer functions: A review. *Journal of Hydrology*, 575, 1011–1030. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.058>
5. Cosby, B. J., Hornberger, G. M., Clapp, R. B., & Ginn, T. R. (1984). A Statistical Exploration of the Relationships of Soil Moisture Characteristics to the Physical Properties of Soils. *Water Resources Research*, 20(6), 682–690. <https://doi.org/10.1029/WR020i006p00682>
6. Wösten, J. H. ., Lilly, A., Nemes, A., & Le Bas, C. (1999). Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. *Geoderma*, 90(3–4), 169–185. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(98\)00132-3](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(98)00132-3)
7. Saxton, K. E., & Rawls, W. J. (2006). Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. *Soil Science Society of America Journal*, 70(5), 1569–1578. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0117>
8. Weynants, M., Vereecken, H., & Javaux, M. (2009). Revisiting Vereecken Pedotransfer Functions: Introducing a Closed-Form Hydraulic Model. *Vadose Zone Journal*, 8(1), 86–95. <https://doi.org/10.2136/vzj2008.0062>
9. Tóth, B., Weynants, M., Nemes, A., Makó, A., Bilas, G., & Tóth, G. (2015). New generation of hydraulic pedotransfer functions for Europe. *European Journal of Soil Science*, 66(1), 226–238. <https://doi.org/10.1111/ejss.12192>
10. Zhang, Y., & Schaap, M. G. (2017). Weighted recalibration of the Rosetta pedotransfer model with improved estimates of hydraulic parameter distributions and summary statistics (Rosetta3). *Journal of Hydrology*, 547, 39–53. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.01.004>
11. Laktionova, T. M., Medvedev, V. V., Savchenko, K. V., Bigun, O. M., Sheiko, S. M., & Nakisko, S. G. (2012). *Soil properties database (structure & operating procedure) (2nd ed.)*. DT #1.
12. Moroz, A. A. (Ed.). (1965). *Handbook of agrohydrological properties of soils of the Ukrainian SSR*. Leningrad: Gidrometeorologicheskoye izd.
13. Krupskiy, N. K., & Polupan, N. I. (Eds.) (1979). *Atlas of soils of the Ukrainian SSR*. Kyiv: Urozhay.
14. Polupan, N. I. (Ed.). (1988). *Soils of Ukraine and increasing their fertility. T.1. Ecology, water regimes and processes, classification and genetic-production aspects*. Kyiv: Urozhay.
15. Krupskiy, N. K. (Ed.) (1977). *Soil map of the Ukrainian SSR. Scale 1:2500000*. Main Directorate of Geodesy and Cartography under the Council of Ministers of the USSR (GUGK). Ukrainian Research Institute of Soil Science and Agricultural Chemistry named after O.N. Sokolovsky. Moscow.
16. Rode, A. A. (1955). *Water properties of soils*. Moscow: Izd. Akademii nauk SSSR.
17. *Soil-melioration zoning. Scale 1:4000000*. (1978). In *Atlas of natural conditions and natural resources of the Ukrainian SSR*. Moscow: GUGK, 126.
18. Iovenko, N. G. (1960). *Hydrophysical properties and water regime of soils of the Ukrainian SSR*. Leningrad: Gidromet. izd.
19. Romanova, T. A. (2015). *Water regime of Belarus soils*. Minsk: ICC of the Ministry of Finance.
20. Zaydelman, F. R. (1987). *Melioratsiya pochv*. Moscow: Izd. MGU.
21. Budnik, S. V., & Kchilchevsky, V. K. (2005). *Hydrodynamics and hydrochemistry of flows*. Kyiv: Obriyi Publisher.

УДК 553.98

**Сергій Федорович Поверенний,**

старший наук. співробітник Українського науково-дослідного інституту природних газів,  
Гімназійна наб., 20, м. Харків, 61010, Україна,  
e-mail: [sergei-poverennyi@ukr.net](mailto:sergei-poverennyi@ukr.net), <https://orsid.org/0000-0002-7836-6278>;

**Анатолій Іонович Лур'є,**

д. геол.-мінер. н., професор, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,  
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна,  
e-mail: [anlure16@gmail.com](mailto:anlure16@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0003-4836-5781>;

**Олена Валерівна Піддубна,**

молодший наук. співробітник Українського науково-дослідного інституту природних газів,  
e-mail: [abit201087@gmail.com](mailto:abit201087@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-6966-3289>;

**Олександр Ілліч Фик,**

д. техн. н., доцент, кафедра військового зв'язку та інформатизації,  
Національна академія Національної гвардії України,  
пл. Захисників України, 3, м. Харків, 61001, Україна,  
e-mail: [aifleks@ukr.net](mailto:aifleks@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0001-6735-6229>

## ЩОДО МОЖЛИВОСТІ ОЦІНКИ ЗМОЧУВАНІСТІ НАФТОГАЗОНОСНИХ ПЛАСТІВ ЗА ЇХ ОСНОВНИМИ КОЛЕКТОРСЬКИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Одним з найважливіших параметрів продуктивних нафтогазоносних пластів представляється їх змочуваність. Ця характеристика має велике значення для визначення можливості просування пластових вод в нафтогазоносні горизонти, попередження вибіркового обводнення свердловин і зниження вмісту залишкової нафти в пласті. З'явилися роботи, в яких затверджується можливість оцінки змочуваності продуктивних пластів за даними про їх основні колекторські властивості, зокрема, залишкову водонасиченість і водоутримуючу здатність. Найбільше значення це має для промислової геофізики, яка отримує можливість оцінювати змочуваність продуктивного пласта за каротажним даними, використовуючи заздалегідь побудовану в лабораторних умовах залежність між показником змочування і фіктивної товщиною плівки залишкової води, яка розраховується за значеннями основних колекторських властивостей породи. Дана робота присвячена вивченню можливості побудови цієї залежності в лабораторних умовах за лабораторними даними. В якості контрольного показника змочування використовується кут змочування, який визначається за розробленим в Україні методом М. Ю. Нес-теренко, що стандартизований на рівні ГСТУ, а також показник змочуваності «М», який визначається за широко поширеним методом ОСТ 39-180-85. Наведено короткий опис запропонованої методики розрахунку фіктивної плівки, результати фактичних лабораторних визначень змочуваності зіставлені з результатами лабораторних визначень залишкового водонасичення і водоутримуючої здібності, а також з розрахунковими значеннями товщини фіктивної плівки, розрахованої за лабораторними даними. Побудовано графіки, що відображають зв'язки між основними колекторськими властивостями і розрахунковою товщиною фіктивної плівки залишкової води, зроблені висновки про можливість практичного застосування запропонованої методики.

**Ключові слова:** змочуваність, змочуваність порід-колекторів, змочуваність продуктивних колекторів, змочуваність за геофізичними даними, показники змочування, методи визначення змочуваності, залишкова вода, водоутримуюча здатність.

**С. Ф. Поверенний, А. І. Лур'є, Е. В. Піддубная, А. І. Фик. О ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ СМАЧИВАЕМОСТИ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ПЛАСТОВ ПО ИХ ОСНОВНЫМ КОЛЕКТОРСКИМ СВОЙСТВАМ.** Одним из важнейших параметров продуктивных нефтегазоносных пластов представляется их смачиваемость. Эта характеристика имеет большое значение для определения возможности продвижения пластовых вод в нефтегазоносные горизонты, предупреждения избирательного обводнения скважин и снижения содержания остаточной нефти в пласте. Появились работы, в которых утверждается возможность оценки смачиваемости продуктивных пластов по данным об их основных колекторских свойствах, в частности, остаточной водонасыщенности и водоудерживающей способности. Наибольшее значение это имеет для промышленной геофизики, которая получает возможность оценивать смачиваемость продуктивного пласта по каротажным данным, используя заранее построенную в лабораторных условиях зависимость между показателем смачивания и фиктивной толщиной плёнки остаточной воды, рассчитываемой по значениям основных колекторских свойств породы. Данная работа посвящена изучению возможности построения этой зависимости в лабораторных условиях по лабораторным данным. В качестве контрольного показателя смачивания используется угол смачивания, определяемый по разработанному в Украине методу М.Ю. Нес-теренко, стандартизованному на уровне ГСТУ, а также показатель смачиваемости «М», определяемый по широко распространённому методу ОСТ 39-180-85. Приведено краткое описание апробированной методики расчёта фиктивной плёнки, результаты фактических лабораторных определений смачиваемости сопоставлены с результатами лабораторных определений остаточной водонасыщенности и водоудерживающей способности, а также с расчётными значениями толщины фиктивной плёнки, рассчитанной по лабораторным данным. Построены графики, отражающие связи между основными колекторскими свойствами и расчётной толщиной фиктивной плёнки остаточной воды, сделаны выводы о возможности практического применения предложенной методики.

**Ключевые слова:** смачиваемость, смачиваемость пород-колекторов, смачиваемость продуктивных колекторов, смачиваемость по данным геофизики, показатели смачивания, методы определения смачиваемости, остаточная вода, водоудерживающая способность.

**Постановка проблеми.** Змочуваність породи є важливим параметром, від якого залежать основні показники розробки родовищ вуглеводнів. Так, гідрофобна характеристика

пластів переводить запаси, які вони містять, в розряд важковидобувних. Нехтування оцінкою змочуваності колектора призводить до небажаних наслідків при видобутку, таких як різка обводненість видобутої продукції, високе значення залишкової нафти в пласті, і, як наслідок, до низької виробки вуглеводнів і значних економічних втрат.

На даний момент багато нафтогазових компаній відчують складнощі при розробці нафтових і газових родовищ, експлуатація яких ведеться багато років. Основні складності пов'язані з проривом води при заводненні, виборчому обводненні свердловин і збільшенню гідрофобізації колектора внаслідок адсорбції компонентів нафти у вигляді смол, асфальтенів і бітумів в процесі розробки. Все це призводить до зниження темпу відбору вуглеводнів, значного збільшення обводнення і в підсумку до зниження кінцевих показників вилучення вуглеводнів. Існує багато методів впливу на нафтогазовий колектор з метою отримання економічно вигідного припливу вуглеводневої сировини. Але який би метод не був застосований, виникає завдання з контролю і коригування змочуваності, вирішення якої неможливо без визначення реальної відносної змочуваності колектора водою і вуглеводнями.

Останнім часом в роботах російських геологів [1,2,3,4] з'явилися публікації, присвячені визначенню змочуваності продуктивних пластів за відомими значеннями основних колекторських властивостей порід, зокрема, водоутримуючої здатності (ВУЗ) або залишкової водонасиченості (ЗВ) які, в свою чергу, визначені за даними геофізичних досліджень свердловин (ГДС). Приклади використання ЗВ або коефіцієнта газонасичення ( $K_g$ ) для оцінки змочуваності за даними ГДС описані в літературі і раніше [5,6,7,8], проте вони ґрунтувалися на емпіричному правилі: колектор, що містить залишкову воду в кількості до 10-15%, переважно гідрофобний, що містить залишкову воду в кількості більшій 10-15% - переважно гідрофільний. Таким чином, в якості показника змочуваності на пряму виступало значення залишкового водонасичення. В роботах [1,2,3,4] в якості основного показника змочуваності використовується товщина фіктивної плівки залишкової води.

Лабораторні визначення змочуваності за стандартними методиками [9,10] досить трудомісткі і, якщо ці визначення дійсно можливо замінити розрахунком на основі визначення вмісту залишкової води або навіть комплексу основних колекторських властивостей - пористості, проникності і залишкової водонасиченості, це б значно полегшило, спростило, прискорило процес досліджень порід-колекторів нафти і газу. Однак,

головне, що дозволяє запропонована методика - це прогноз змочуваності продуктивних пластів за даними промислової геофізики на основі попередньо встановлених в лабораторних умовах залежностей між показником змочуваності і основними колекторськими властивостями. У даній роботі ми не торкаємося проблем, пов'язаних з інтерпретацією каротажу (зокрема, визначення за його даними проникності), а зосереджуємося на залежності між показником змочуваності і основними колекторськими властивостями, що має бути побудована на підставі даних, отриманих в лабораторних умовах.

**Мета даної роботи** - апробувати запропоновану авторами робіт [1,2,3,4] методику розрахунку змочуваності, перевірити в лабораторних умовах можливість встановлення залежності між показником змочуваності, що розраховується за запропонованою методикою (товщина фіктивної плівки залишкової води) і медіанним кутом змочування, який є показником змочуваності, згідно стандартного методу [10], який використовується в Україні, а також оцінити можливість практичного застосування методики

**Аналіз попередніх робіт по темі.** Перш за все, відзначимо, що в різних роботах [1,2,3] методика називалася по-різному. В роботі [1] йшлося про зв'язок змочуваності з колекторськими властивостями продуктивних пластів, робота [2] називалася «водоутримуюча здатність і змочуваність продуктивних пластів», в роботі [3] йшлося про прогноз змочуваності по об'ємному вмісту залишкової води. На наш погляд, в основі методики лежить зв'язок змочуваності із залишковою водонасиченістю, але сама методика у всіх трьох випадках зводиться до розрахунку за наявними значеннями основних колекторських властивостей (пористості, проникності, залишкової водонасиченості). Відзначимо так само, що під водоутримуючою здатністю в роботах [2,3] розуміють комплексний показник - твір пористості на залишкову водонасиченість ( $K_p \cdot K_{зв}$ ). Наше розуміння терміна «водоутримуюча здатність» не збігається з точкою зору авторів робіт [1,2,3,4], але в рамках даної статті ми разом з ними будемо використовувати термін в цьому сенсі ( $K_p \cdot K_{зв}$ ).

Опишемо коротко методику розрахунку, що підлягає апробації і покладені в основу вихідні положення. Можна прийняти, що до виникнення покладів і надходження нафти в резервуар більшість пластів є гідрофільними, нафтоматеринські - гідрофобні. Основна причина зміни змочуваності - гідрофобізації - полярні сполуки, що містяться в смолах і асфальтенах. Мікрокапіляри залишаються такими, що змочуються водою (туди не надходить нафта), а макрокапіляри, що

складають ефективну пористість, стають частково або повністю гідрофобними. Розподіл гідрофільних і гідрофобних ділянок фільтруючої порової поверхні в типовому випадку носить мозаїчний характер.

На думку авторів методики, що апробується, ступінь гідрофільності продуктивного пласта можна **якісно** оцінити вмістом залишкової води: чим вище її вміст - тим вище гідрофільність. Для **кількісної** характеристики ступеня гідрофільності пропонується використовувати товщину ефективною (швидше фіктивної, так і будемо називати) плівки залишкової води на поверхні фільтраційних каналів. У різних роботах [1,2,3] теоретичне обґрунтування і розрахункові формули дещо змінюються, найбільш детально питання опрацьовано в роботі [2], по якій воно і викладено нижче.

Для частково гідрофільного колектору весь об'єм залишкової води можна уявити як площу гідрофільних ділянок ( $F_v$ ), помножену на товщину шару води, що покриває ці ділянки ( $\sigma$ ). Можна записати:

$$F_v \cdot \sigma / V_{зр} = S_v \cdot \sigma,$$

де  $S_v$  – питома поверхня, покрита залишковою водою,  $V_{зр}$  - об'єм зразка.

При цьому

$$F_v \cdot \sigma / V_{зр} = S_v \cdot \sigma = V_{зв} / V_{зр}$$

де  $V_{зв}$  - об'єм залишкової води.

Останнє співвідношення можна представити у вигляді добутку значень двох основних параметрів колекторських властивостей – коефіцієнтів пористості ( $K_n$ ) і залишкової водонасиченості ( $K_{зв}$ ):

$$K_{зв} \cdot K_n = (V_{зв}/V_{пор}) \cdot (V_{пор}/V_{зр}) = V_{зв} / V_{зр},$$

де  $V_{пор}$  - об'єм пор зразка.

Якщо подумки поширити даний об'єм залишкової води по всій площі поверхні порового простору ( $S$ ), отримаємо деяку фіктивну товщину плівки залишкової води ( $\sigma_f$ ), тоді:

$$S_v \cdot \sigma = S \cdot \sigma_f = K_{зв} \cdot K_n$$

Визначаємо показник гідрофільності ( $M$ ) як відношення частини поверхні, покритої залишковою водою, до всієї поверхні, тоді:

$$M = S_v / S = \sigma_f / \sigma$$

Якщо в цьому виразі прийняти, що товщина плівки на гідрофільних ділянках не змінюється, то  $M$  буде залежати від  $\sigma_f$ . Тобто, чим більше  $\sigma_f$ , тим більше частина площі, зайнята водою, тим більше  $M$ , тим більш гідрофільною є порода.

Знайти товщину фіктивної плівки можна через колекторські властивості порід:

$$\sigma_f = K_n \cdot K_{зв} / S. \quad (1)$$

Для знаходження  $S$  використовується формула Козені–Кармана [11]:

$$K_{пр} = K_n^3 / (f \cdot T^2 \cdot S^2),$$

тут  $K_{пр}$  – коефіцієнт газопроникності,  $f$  – коефіцієнт форми, для циліндричних каналів рівний 2,  $T$  – коефіцієнт гідравлічної звивистості, який визначається з наступного виразу:

$T^2 = R_p \cdot K_n = K_n / K_n^m$ , де  $R_p$  – параметр пористості, а  $m \approx 2$ . тоді:

$$K_{пр} = K_n^3 / (2 \cdot K_n^{-1} \cdot S^2),$$

$$S = K_n^2 / \sqrt{2K_{пр}} = K_n^2 / (2K_{пр})^{0.5}$$

Тепер з (1) знаходимо  $\sigma_f$ :

$$\sigma_f = (K_n \cdot K_{зв}) / \{K_n^2 / (2K_{пр})^{0.5}\} = K_{зв} \cdot (2K_{пр})^{0.5} / K_n,$$

де  $K_{зв}$  – частки одиниці,  $K_n$  – частки одиниці,  $K_{пр}$  – Дарсі.

Таким чином, отримана розрахункова формула для обчислення товщини фіктивної плівки, за якою можна оцінити ступінь гідрофільності пласта. Тепер, в лабораторних умовах, одним із спеціально застосовуваних для цього методів, визначаємо змочуваність зразків керна та зіставляємо з товщиною фіктивної плівки, розрахованої за відомими значеннями колекторських властивостей цих же зразків. Товщина плівки повинна бути прямо пропорційна показнику змочуваності, який змінюється від 0 до 1 так, що 1 відповідає повністю гідрофільній породі (впливає з визначення показника, як  $M = S_v / S$ ). Варто зазначити, що у виведенні розрахункової формули міститься досить багато спрощень і припущень. Для прикладу можна вказати на те, що важко розраховувати на постійну товщину плівок залишкової води у формулі  $M = \sigma_f / \sigma$ ; у формулі Козені–Кармана мова йде про питому поверхню фільтрації, а не питому поверхню взагалі; гідравлічна звивистість не рівнозначна електричній і т.п. Однак, все це не має значення, якщо дійсно є прямий зв'язок розрахованої за цією формулою фіктивної товщини плівки залишкової води і показника змочуваності.

Якщо в роботах [1,2] тільки викладається методика визначення, то в роботі [3] наводяться зіставлення даних лабораторного визначення показника гідрофільності з результатами розрахунку по відомим колекторським властивостям і запропонованим формулам. В роботі використані зразки з карбонатних та теригенних різновікових нафтогазоносних відкладів Євразії. Залишивши карбонати в спокої, оскільки в нашій колекції їх немає, розглянемо наведену в тексті таблицю по пісковиках, де зібрані дані зіставлень для теригенних зразків газового родовища Середній Тюнг (Якутія), газоконденсатного родовища Новий Уренгой (Зах. Сибір) і нафтового Ромашкинсько-



го родовища (Волго-Уральська нафтогазоносна провінція). Всього було досліджено 220 зразків з відкладів віком від нижнього тріасу до девону. Таблиця побудована з розбивкою по родовищах та класах колекторів (згідно з класифікацією А.А. Ханіна [12,13], по кожному родовищу містить середні для класів значення основних колекторських властивостей ( $K_p$ ,  $K_{пр}$ ,  $K_{зв}$ ), відповідні середні значення показника гідрофобізації (що розуміється як відношення площі поверхні пор зайнятої вуглеводнями, до загальної площі поверхні порового простору), товщини фіктивної плівки і значення ВУЗ.

З таблиці можна зробити наступні висновки: з підвищенням ступеню гідрофобізації товщина плівки зменшується, по відношенню до ЗВ і ВУЗ ситуація неоднозначна: в двох родовищах зі зменшенням товщини плівки і ЗВ і ВУЗ ростуть, в одному – знижуються. Так само неоднозначний зв'язок товщини плівки з проникністю: у двох родовищах зі збільшенням проникності товщина плівки зростає, в одному – знижується. На жаль, в таблиці наведені тільки середні і дисперсію значень оцінити неможливо.

Причиною того, що автори акцентують увагу саме на творі  $K_p \cdot K_{зв}$ , при тому, що для розрахунку треба знати і значення  $K_{пр}$ ,  $\epsilon$ , мабуть, те, що обидва ці параметри стійко визначаються за даними геофізичних досліджень свердловин, а необхідна для розрахунку проникність по каротажу «визначається лише побічно». З огляду на це, автори наводять узагальнену формулу для розрахунку проникності пластів по визначеним в комплексі ГДС значенням  $K_p$  і  $K_{зв}$ , забезпечуючи все необхідне для розрахунку змочуваності за даними промислової геофізики. Однак, попередньо зв'язок показника змочуваності з фіктивною товщиною плівки і ВУЗ передбачається встановити шляхом лабораторних досліджень зразків ядра продуктивного пласта, де змочуваність визначається одним із загальноприйнятих методів [9,10], а абсолютна газопроникність визначається на пермеаметрі згідно [14]. Якщо цей зв'язок буде надійно встановлено в лабораторних умовах, його можна застосовувати і для оцінки змочуваності за даними промислової геофізики.

**Виклад основного матеріалу.** В Україні діє ГСТУ 41-32-2002 [10], який регламентує методику визначення змочуваності. Ця методика принципово відмінна від тієї, що використовується в Росії – методики ОСТ 39-180-85 [9]. Для оцінки можливості практичного застосування запропонованого розрахункового методу визначення змочуваності по колекторським властивостям, необхідно було зіставити його результати з результатами визначення змочуваності по ГСТУ 41-32-2002.

В ході роботи використані 83 визначення змочуваності зразків піщаних колекторів різних родовищ центральної і південно-східної частини ДДЗ, виконані в рамках детальних досліджень ядерного матеріалу [15]. Пористість використаних зразків варіює від 1,4 до 25,5%; газопроникність – від  $<0,01$  до 1409,51 мД; залишкова водонасиченість – від 6,2 до 83,6%; структури пісковиків характеризуються медіанними діаметрами від 0,5 до 37 мкм. Розрахунки товщини фіктивної плівки проводилися за формулами, наведеними в роботах [2,3]. Однак, оскільки найбільш обґрунтованою представляється формула, наведена в роботі [2], саме по ній і виконані основні розрахунки, результати яких використані в даній статті.

Визначення змочуваності, виконані за ГСТУ 41-32-2002, показали, що серед 83 досліджених зразків присутні 61 істотно гідрофільний (ГФЛ) зразок, 19 зразків з мікрогетерогенною змочуваністю (МГЗ) і 3 гідрофобних (ГФБ) зразка. Для кожного була розрахована товщина фіктивної плівки і порівняна з результатом прямого визначення. В результаті з'ясувалося, що гідрофільним зразкам відповідають товщини плівок від 0,11 до 2,29 мкм, зразки з мікрогетерогенною змочуваністю мають плівки товщиною 0,13-1,24 мкм, а гідрофобні зразки – 0,065-0,17 мкм (табл.1). Враховуючи, що останніх лише три, і вони володіють не найкращими колекторськими властивостями, не можна бути впевненим у тому, що гідрофобні зразки не матимуть і більш товстих плівок, а значить, робити будь-які висновки з їх участю треба дуже обережно.

З таблиці 1 видно, що середні товщини фіктивних плівок гідрофільних зразків більші, ніж середні товщини плівок зразків з мікрогетерогенною змочуваністю і гідрофобних. Однак, діапазон товщин фіктивних плівок для гідрофільних зразків повністю перекриває діапазон плівок зразків з гетерогенною змочуваністю і частково - зразків гідрофобних. Тобто, товщина плівок гідрофільних зразків варіює в таких межах, що відрізнити їх від зразків з МГЗ та ГФБ зразків неможливо. Те ж саме з ВУЗ, але відмінність середніх значень виражена менш чітко. За змістом ЗВ на перше місце виходять гідрофобні пісковики, які мали б містити її мінімальну кількість.

Згадаємо таблицю роботи [3], де наведені дані зіставлень для теригенних зразків і побудуємо подібну. Наявні в нашому розпорядженні 83 зразка розсортуємо по класах А.А. Ханіна [12,13] з доповненнями І.О. Мухаринської [16], розрахуємо середні для класів значення товщини плівки, кута змочування, ЗВ і ВУЗ (табл. 2). Масив зразків представлений зразками колекторів

семи класів. З поліпшенням класу колектора збільшується товщина плівки і зменшується кут змочування, тобто порода стає більш гідрофільною. Оскільки розподіл по класах є, перш за все, розподіл по проникності, це узгоджується з гра-

фіками рис. 4 і рис. 8. Виключення становить перший клас, але це можна пояснити як малим числом зразків, що усереднено, так і тим, що товщина плівки перестає рости при проникності більше 1 Дарсі (рис. 4).

Таблиця 1

Характеристики зразків різних груп по гідрофільності

Група по гідрофільності	ГФЛ	МГЗ	ГФБ
Товщина фіктивної плівки, мкм	0,11-2,29 (1,2)*	0,13-1,24 (0,68)	0,065-0,17 (0,12)
Водоутримуюча здатність, $K_p \cdot K_{зв}$	0,01-0,084 (0,047)	0,01-0,076 (0,043)	0,038-0,046 (0,042)
Залишкова вода	6,2-65,6 (35,9)	11,95-83,58 (47,8)	77,91-81,42 (79,8)
Всього зразків 83	61	19	3

\*Значення від–до, в дужках середні значення

Таблиця 2

Усереднені характеристики змочуваності порід-колекторів різних класів збірної колекції

Клас колектора	Товщина фіктивної плівки, мкм	Кут змочування	ЗВ,%	ВУЗ
7	0,204	88,3	65,7	0,04
6	0,215	88,2	28,8	0,031
5	0,225	85,9	28,8	0,031
4	0,407	77,4	25,1	0,04
3	0,733	75,2	18,1	0,034
2	2,09	72,2	14,4	0,028
1	1,33	72,2	15,2	0,031

Чітко видно, що зі збільшенням товщини фіктивної плівки знижуються значення інтегрального кута змочування, тобто, **порода стає більш** гідрофільною. Але при цьому зі збільшенням товщини плівки знижується значення ЗВ, а значення ВУЗ розташовані хаотично, без видимої закономірності.

В роботах [1,2,3,4] йшлося про прогноз змочуваності **продуктивних** відкладів. В нашій колекції не всі 83 зразка взяті з продуктивних пластів. Розглянемо колекцію з 20 зразків, відібраних з продуктивного горизонту С-5 Чкалівського родовища. За даними свердловинної геофізики в розрізі продуктивним є інтервал 2839-2856 м, який включає в себе інтервал відбору ядра 2839-2854,4 м. Винос ядра складає без малого 90%. Спочатку нижня частина розрізу була інтерпретована як насичена нафтою, що має більшу гидрофобізуючу здатність порівняно з вуглеводневим газом. Пізніше, при переінтерпретації матеріалів ГДС до підрахунку, весь розріз був інтерпретований як газоносний, що і було підтверджено випробуванням. Проте, всі 20 зразків за даними фактичних визначень методом ГСТУ [10] виявилися гідрофільними, з інтегральними кутами змочування 59,8-89,8 °. Єдиний зразок показав слабку гидрофобізацію великих порових

каналів. Ці зразки представлені всього трьома класами колекторів (табл. 3). Як і в таблиці 2, з підвищенням класу колектора збільшується товщина плівки, але зі збільшенням товщини плівки кут змочування росте, тобто порода стає більш гидрофобною. З ростом товщини плівки зменшується ЗВ і ВУЗ.

З метою співставлення наших результатів і результатів, наведених у роботі [3], побудовано таблицю 4, в котру зведені якісні дані про те, як змінюються показники гидрофобізації, ЗВ, ВУС і газопроникності ( $K_{пр}$ ) зі зміною товщини фіктивної плівки. Перший рядок таблиці містить інформацію, почерпнуту з таблиць роботи [3], інші – з таблиць 1,2,3 даної роботи. Як видно з таблиці, в тих випадках, коли досліджується збірна колекція з 83 зразків, наші результати в головному підтверджують результати, отримані в роботі [3]: з потовщенням плівки порода стає більш гидрофільною. За всіма іншими параметрами в усякому разі немає явного протиріччя.

У випадку, коли розглядається невелика за обсягом вибірка таблиці 3 з одного продуктивного горизонту, ми отримуємо зворотню залежність: з потовщенням плівки порода стає більш гидрофобною і, відповідно, менш гидрофільною. За іншими показниками явних протиріч з роботою

Усереднені характеристики змочуваності порід-колекторів різних класів горизонту С-5 Чкалівського родовища

Клас колектора	Товщина фіктивної плівки	Кут змочування	ЗВ	ВУЗ
4	0,367	66,5	18,9	0,0286
3	0,755	68	13,9	0,0251
2	2,102	69,6	10,8	0,0219

Таблиця 4

Співставлення якісних зв'язків товщини фіктивної плівки з основними колекторськими властивостями за даними роботи [3] і нашими даними

Джерело інформації	Б <sub>ф</sub> , мкм	ГФБ	ГФЛ	ЗВ, %	ВУЗ, %	К <sub>пр</sub> , мД
Таблиця з роботи [3]	↑	↓	↑	↑↓	↑↓	↑↓
Табл. 1 по 83 зразках	↑	↓	↑	↓	↑	-
Табл. 2 по 83 зразках	↑	↓	↑	↓	↑↓	↑
Табл. 3 по 20 зразках	↑	↑	↓	↓	↓	↑

Примітки: ↑ - значення зростають, ↓ - значення убавають, ↑↓ - присутні обидва варіанти, ↓↑ - хаотичний розподіл значень.

[3] немає, а з результатами таблиць 1 і 2 зазначається розбіжність за характером зміни значень ВУЗ.

Отже, за умови великого числа зразків якісний зв'язок між ЗВ і ВУЗ та ступенем гідрофільності неоднозначний, якісний зв'язок товщини плівки і ступеня гідрофільності зразка підтверджується. Для оцінки сили цього зв'язку побудуємо графіки залежностей всіх розглянутих раніше параметрів від товщини плівки.

Для кожного зразка був визначений інтегральний кут змочування, в тих випадках, коли він не міг бути визначений, розраховувався середній кут змочування. Обидва кути зіставлялися з товщиною плівки (рис. 1). З рисунка видно, що намічається слабо виражений зв'язок між товщиною плівки і інтегральним кутом змочування:

чим товще фіктивна плівка, тим менше кут змочування, тобто тим більше зразок гідрофільний. Такий же, але трохи гірше виражений зв'язок між товщиною плівки і середнім кутом. Шуканий зв'язок для окремо взятої групи гідрофільних зразків виражений дещо гірше, для групи зразків з МГЗ – дещо краще. Отже, зв'язок показника змочуваності, в ролі якого виступає інтегральний кут змочування, визначений за ГСТУ 41-32-2002, з товщиною фіктивної плівки існує, але він мінімальний.

Для перевірки положення про те, що товщина плівки пов'язана зі значенням ВУЗ, побудований графік, рис. 2. Як видно з графіка, згаданий зв'язок якщо і є, то виражений він дуже слабо, причому товщина плівки зі збільшенням ВУЗ повинна збільшуватися, а вона зменшується.

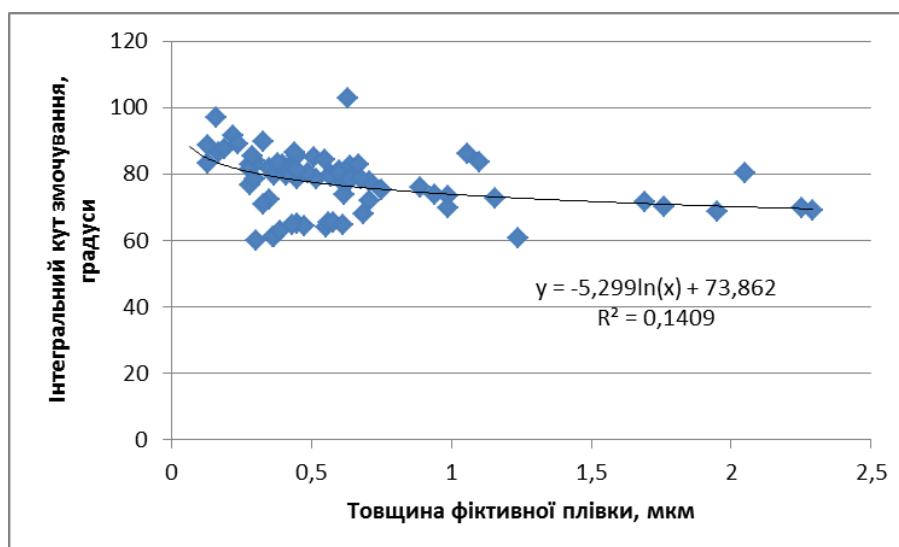
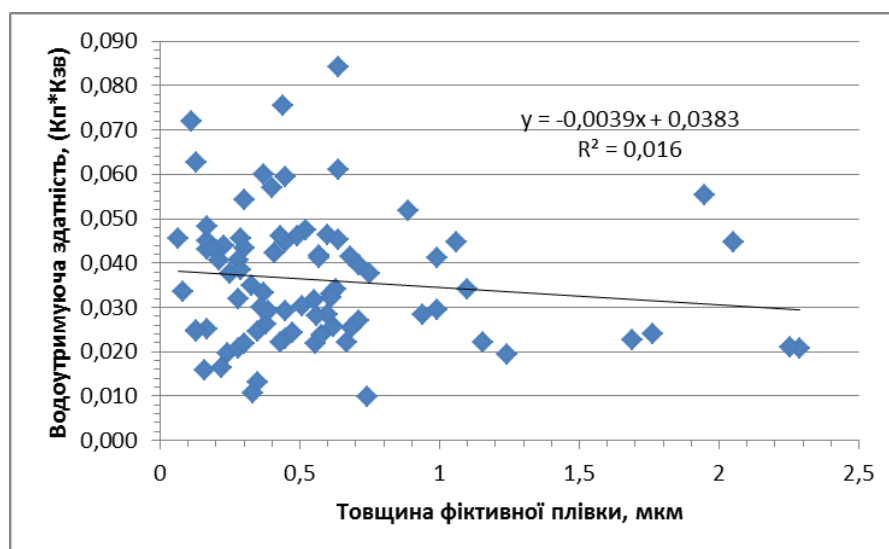


Рис. 1. Зв'язок розрахованої товщини фіктивної плівки і інтегрального кута змочування

Рис. 2. Зв'язок товщини фіктивної плівки з водоутримуючою здатністю ( $K_{п} \cdot K_{зв}$ )

Для перевірки положення про те, що товщина плівки пов'язана зі значенням ЗВ, побудовано графік, рис. 3. Як видно з графіка, зв'язок виражений помітно краще, але зв'язок зворотній: чим більше товщина фіктивної плівки, тобто чим більш гідрофільна порода, тим менше ЗВ. Виходимо в протиріччя з вихідним положенням: чим більше гідрофільна порода, тим вищий вміст ЗВ.

Порівняно добре виражений зв'язок товщини плівки з абсолютною газопроникністю зразків (рис.4). Чим більше газопроникність зразків, тим товще розрахункова плівка залишкової води, тим більш гідрофільною є порода. Однак, це справедливо до певних значень проникності: при досягненні проникності близько 1 Дарсі зростання товщини плівки припиняється. Цей зв'язок виражений навіть краще, ніж зв'язок проникності із залишковою водонасиченістю, який апроксимується рівнянням  $y = 42,926x^{-0,167}$  при  $R^2 = 0,7147$ .

Отже, на колекції з 83 зразків, відібраних з різних горизонтів різних родовищ, встановлено мінімальний прямий зв'язок кута змочування і товщини фіктивної плівки залишкової води.

Розглянемо колекцію з 20 зразків, відібраних з продуктивного горизонту С-5 Чкалівського родовища. Як показує рис. 5, для даної вибірки зразків безумовно продуктивного пласта (продуктивність підтверджена випробуванням) зв'язок кута змочування і товщини плівки виражений ще слабше, ніж для колекції в цілому, причому, зв'язок має зворотну спрямованість: чим товще фіктивна плівка залишкової води, тим більше кут змочування, тим більш гідрофобна порода.

До слова сказати: можна сперечатися щодо класифікації порід за змочуваністю, наведеної в ГСТУ [10]. Згідно з цим документом, до порід з нейтральною змочуваністю відносять породи з інтегральним кутом змочування рівним  $90^\circ$ . На

нашу думку, повинен бути певний діапазон кутів змочування, при якому порода характеризується як порода з нейтральною (або проміжною) змочуваністю. Наприклад, можна взяти градації К.І. Багрінцевої [17] і виділяти як гідрофільні породи з кутом змочування  $0-75^\circ$ , як нейтральні - з кутом  $75-105^\circ$ , а як гідрофобні - з кутом більше  $105^\circ$ . Однак, навіть в цьому випадку, породи Чкалівського родовища що розглядаються, за інтегральним кутом змочування будуть віднесені до гідрофільних, за винятком одного зразка, який буде мати нейтральну змочуваність.

Порівняно з колекцією в цілому, дещо краще виражений зв'язок товщини плівки з ВУЗ (рис. 6), ЗВ (рис. 7) і абсолютною газопроникністю (рис. 8).

Однак, як і в попередньому випадку, зв'язок товщини плівки з ВУЗ і ЗВ зворотний: чим більше ВУЗ і ЗВ – тим тонше фіктивна плівка. Як і на графіках основної колекції зразків, найкраще виражений зв'язок товщини плівки з проникністю: чим вище газопроникність, тим більше товщина фіктивної плівки залишкової води, тобто тим більш гідрофільною є порода.

Складемо таблицю 5, де крім якісних зв'язків, відповідних таблиці 4, наведені коефіцієнти апроксимації, використані в якості характеристики сили зв'язку.

Як видно з таблиці 5, сила зв'язку товщини фіктивної плівки і крайового кута змочування дуже слабка і легко може бути нейтралізована іншими, більш сильними зв'язками, наприклад впливом переважаючого розміру пор або глинистості [18,19]. Інакше кажучи, у загальному випадку зв'язок існує, але для конкретного пласта його можна і не помітити. Слабким є і зв'язок товщини фіктивної плівки з ВУЗ, порівняно непогано виражений зв'язок товщини фіктивної плівки

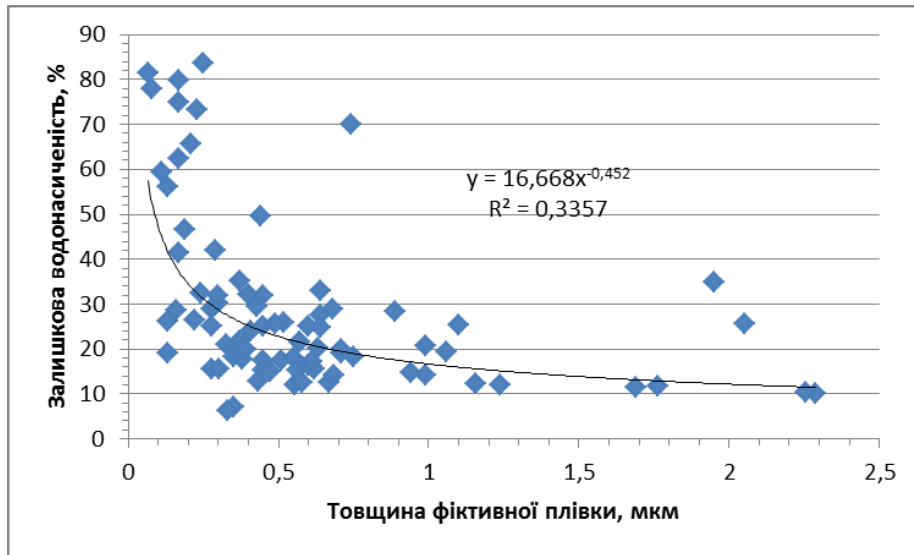


Рис. 3. Зв'язок товщини фіктивної плівки із залишковою водонасиченістю

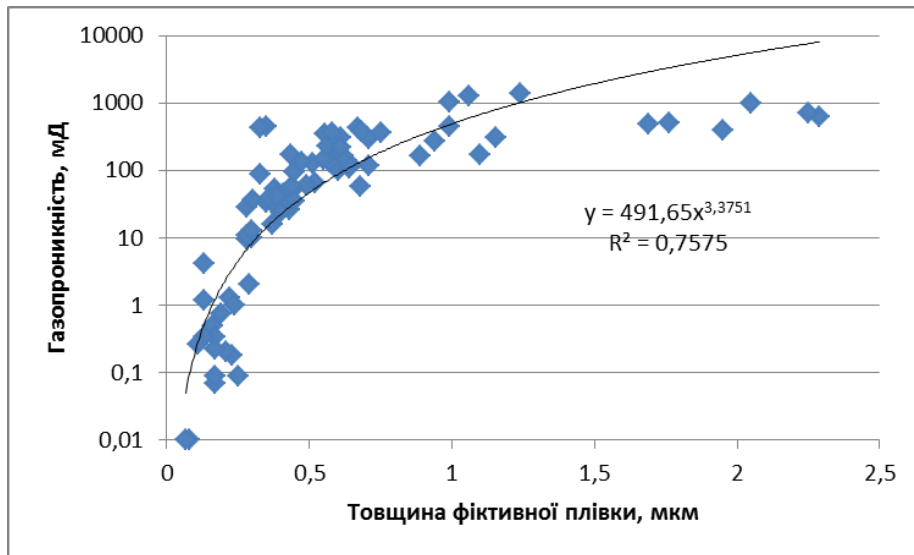


Рис. 4. Зв'язок товщини фіктивної плівки з газопроникністю зразків

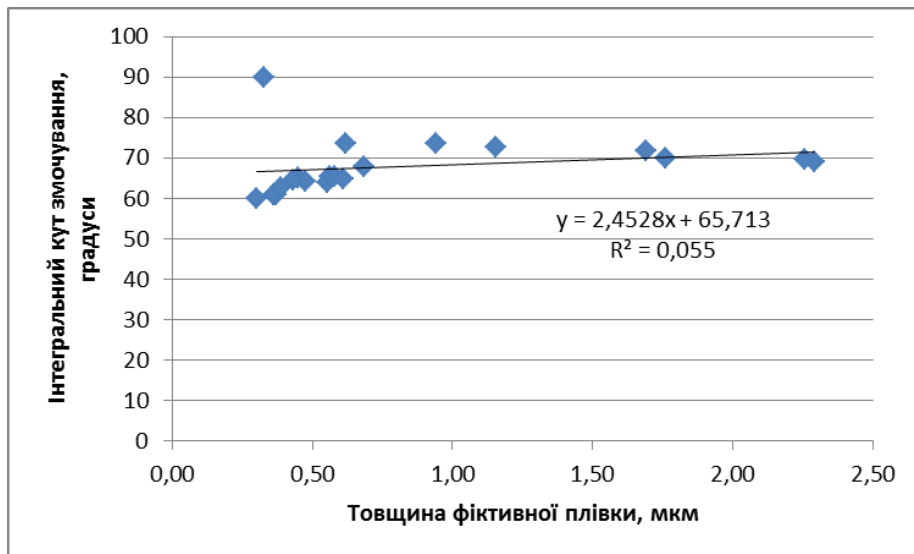


Рис. 5. Зіставлення інтегрального кута змочування і розрахункової товщини фіктивної плівки для зразків Чкалівського родовища



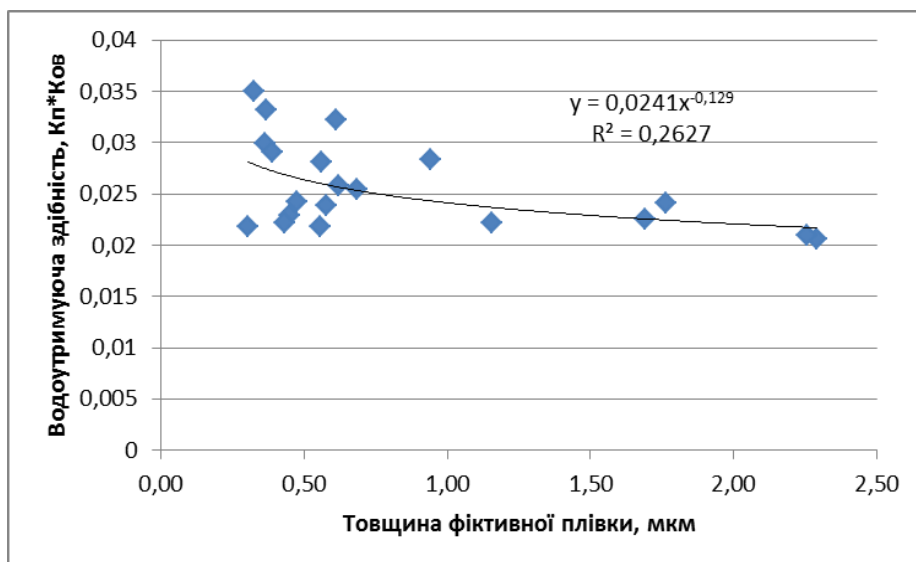


Рис. 6. Зв'язок товщини фіктивної плівки з ВУЗ ( $K_{п} \cdot K_{зв}$ ) для зразків Чкалівського родовища

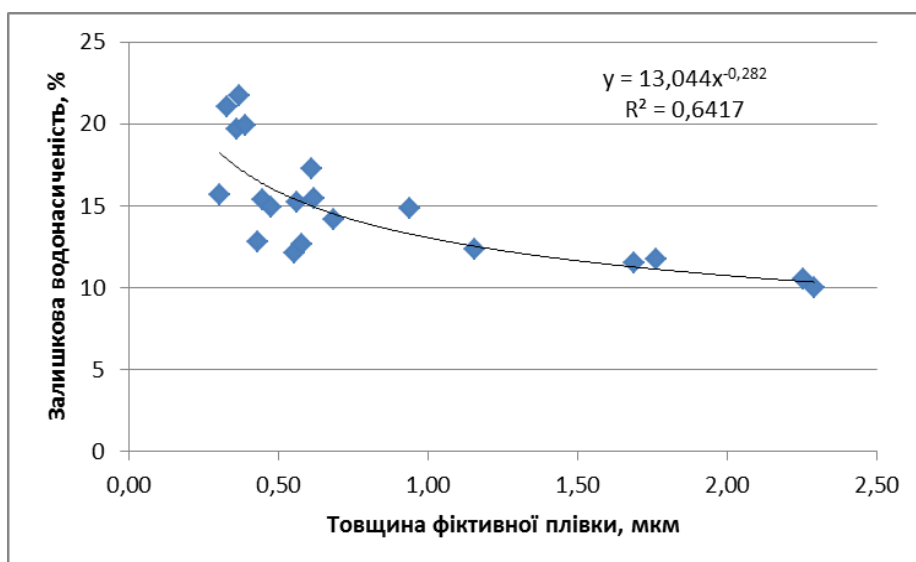


Рис. 7. Зв'язок товщини фіктивної плівки із ЗВ для зразків Чкалівського родовища

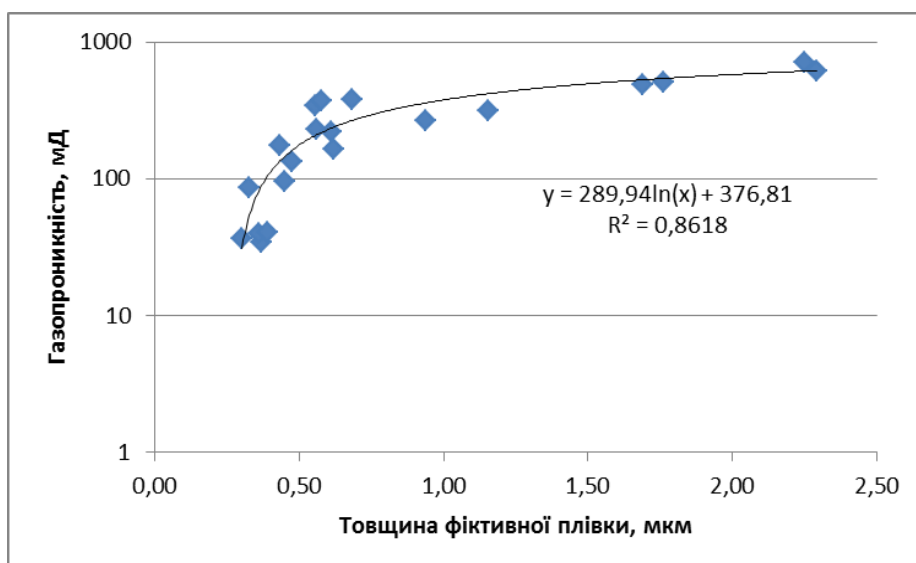


Рис. 8. Зв'язок товщини фіктивної плівки з газопроникністю для зразків Чкалівського родовища

Таблиця 5

Джерело інформації	Б <sub>ф</sub> , мкм	Θ, градус	ГФЛ	ЗВ %	ВУЗ, %	К <sub>пр</sub> , мД
Колекція з 83 зразків різних родовищ і горизонтів	↑	↓ 0,1409	↑	↓ 0,3357	↓ 0,016	↑ 0,7575
Колекція з 20 зразків з одного продуктивного горизонту	↑	↑ 0,055	↓	↓ 0,6417	↓ 0,2627	↑ 0,8618

з ЗВ, а найкраще – з газопроникністю породи. Але в обох останніх випадках зв'язок зворотний очікуваному, тобто, потовщення фіктивної плівки пов'язане зі зниженням значень цих параметрів. В анотації до роботи [2] згадується про те, що кількісна оцінка гідрофільності по ВУЗ можлива, в першу чергу, для карбонатних колекторів, які зазвичай містять мінімум глинистого матеріалу. Там же зазначено, що в теригенних колекторах зв'язок між гідрофільністю і ВУЗ можна очікувати тільки для порід з однаковою глинистістю і незмінним мінеральним складом. У разі колекції зразків горизонту С-5 Чкалівського родовища ми маємо якраз зразки приблизно постійного, істотно кварцового мінерального складу з приблизно рівною невеликою глинистістю, представлену каолінітом. Однак, значущого прямого зв'язку між ВУЗ, товщиною плівки і гідрофільністю породи не виявлено.

Автори даної роботи вважають, що змочуваність порід-колекторів безумовно пов'язана з вмістом залишкової води, більш того, саме існування залишкової води обумовлено наявністю змочуваності. Однак, вміст залишкової води залежить не тільки від змочуваності, але і від інших факторів, до числа яких можна, перш за все, віднести розміри пор породи. Вплив розмірів пор, точніше, вплив присутності великих пор, показано в роботах [18,19,20]. Наприклад, для даної колекції з 83 зразків, краще виражений

зв'язок товщини плівки з медіанним діаметром пор, ніж з ВУЗ або ЗВ. (Рис. 9. Порівняти з рис. 2 і рис. 3).

Усі аналізи змочуваності, про які йшлося вище, виконані згідно ГСТУ 41-32-2002 [10]. Для перевірки отриманих результатів по 16 зразках Чкалівського родовища була визначена змочуваність по ОСТ 39-180-85 і результати зіставлені з розрахунковими товщинами фіктивних плівок. Результат зіставлення наведено на рис.10, який показує слабкий зворотній зв'язок між товщиною плівки і показником М - чим товще плівка, тим менше М, тим більш гідрофобною є порода. Для цієї вибірки використання для співставлення результатів по ОСТ 39-180-85 тільки підтвердило висновки, зроблені з використанням результатів по ГСТУ 41-32-2002: на невеликих колекціях, використовуючи даний метод розрахунку, ми можемо отримати недостовірний результат.

**Заключення.** Нагадаємо, що, на думку авторів методики, що апробується, ступінь гідрофільності продуктивного пласта якісно характеризується вмістом залишкової води: чим вище її вміст - тим вище гідрофільність [2]. Для кількісної характеристики ступеня гідрофільності пропонується використовувати товщину фіктивної плівки залишкової води на поверхні фільтраційних каналів, яка повинна наростати прямо пропорційно ступеню гідрофільності (зворотно пропорційно крайовому куту змочуваності), і яка

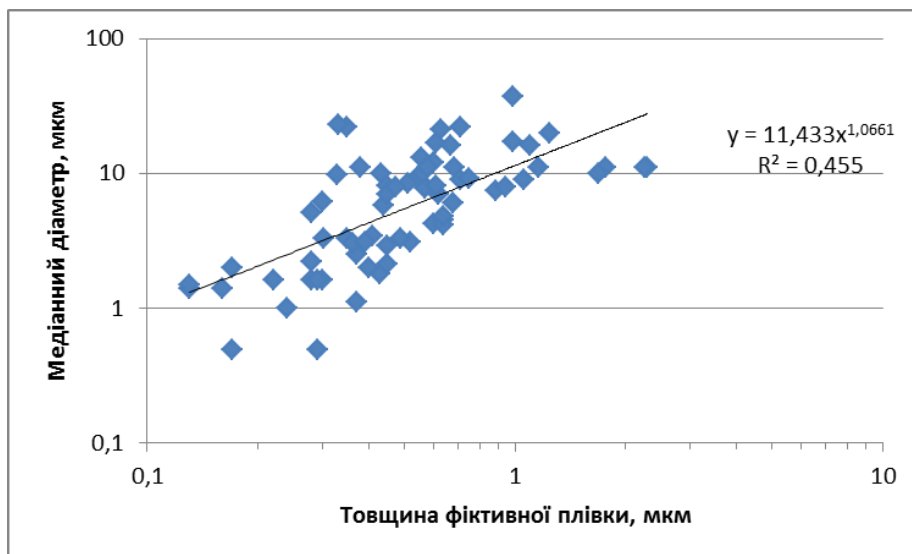


Рис. 9. Зв'язок товщини фіктивної плівки з медіанним діаметром пор зразків

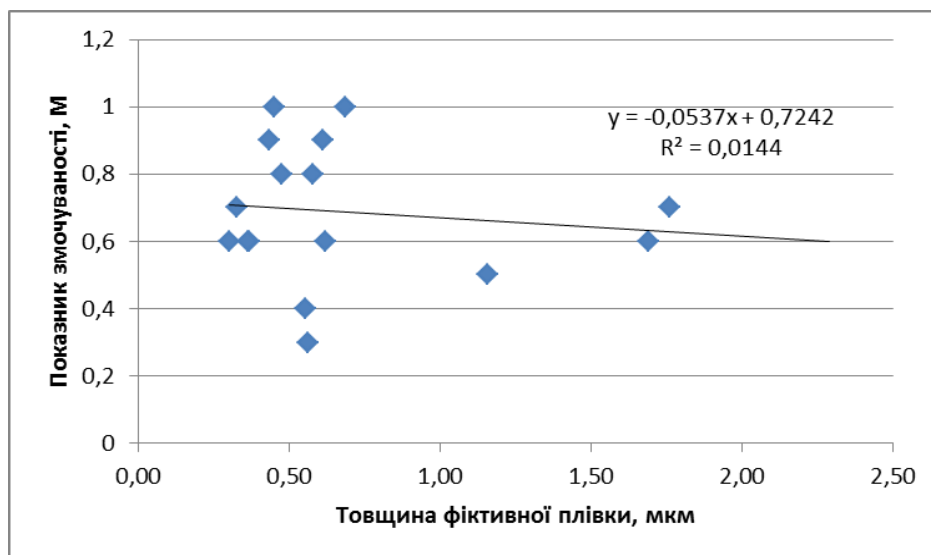


Рис. 10. Зв'язок товщини фіктивної плівки з показником М для зразків горизонту С-5 Чкалівського родовища

визначається за значеннями ВУЗ [2,3].

На основі виконаних лабораторних досліджень можна стверджувати, що згідно наших даних, і даних [3], значення ЗВ зі зростанням розрахункової гідрофільності породи можуть як збільшуватись, так і зменшуватись (табл. 4,5). Зв'язок ЗВ з кутом змочування неоднозначний і для оцінки ступеня гідрофільності порід повинний застосовуватися з великою обережністю. Оцінка повинна проводитися з урахуванням усього комплексу факторів, що впливають на змочуваність.

Щодо кількісної оцінки гідрофільності по товщині фіктивної плівки ЗВ, то по-перше, визначити товщину плівки за ВУЗ вельми проблематично, вони надто слабо зв'язані (рис. 2,6), по-друге, товщина плівки слабо і неоднозначно пов'язана з показником змочуваності, в якості якого використаний кут змочування, визначений за методикою ГСТУ 41-32-2002 і показник М при досліді з використанням ОСТ 39-180-85 (рис. 1,5,10). Можливо, справа в запропонованих формулах для розрахунку товщини плівки, і ідея отримає подальший розвиток, однак, на даному

етапі замінити прямий вимір показників змочуваності на розрахунок за відомими значеннями основних колекторських властивостей неможливо.

**Висновок.** Встановлена відсутність значущих зв'язків між даними лабораторних досліджень унеможлиблює розрахунок змочуваності за відомими значеннями основних колекторських властивостей згідно рекомендованої в роботі [2] формулі, а значить і практичне застосування запропонованої в роботах [1,2,3] методики у лабораторній практиці. Зроблений висновок не можна безумовно поширити на оцінку змочуваності по даним ГДС (визначення як залишкового водонасичення, так і коефіцієнта газонасичення за даними ГДС має свою специфіку) але неможливість побудови шуканих залежностей в лабораторних умовах змушує з обережністю підходити до такого роду розрахунків. Виконана робота допоможе запобігти грубих помилок при оцінці змочуваності, що проводиться в різних виробничих цілях, наприклад, при розробці методів запобігання вибіркового обводненню свердловин.

#### Література

1. Ахметов Р.Т. Связь смачиваемости с коллекторскими свойствами продуктивных пластов [Текст] / Р.Т. Ахметов, В.А. Калентьева // Современные технологии в нефтегазовом деле. Сборник трудов международной научно-технической конференции. Т1. – Уфа, 2015. – 412 с.
2. Ахметов Р.Т. Водоудерживающая способность и смачиваемость продуктивных пластов. [Текст] / Р.Т. Ахметов, В.В. Мухаметшин // Нефтегазопромышленное дело, 2015. – Т. 15, № 2. – С. 34-37.
3. Ахметов Р.Т. Прогноз показателя смачиваемости по объёмному содержанию остаточной воды. [Текст] / Р.Т. Ахметов, Ю.В. Зейгман, В.В. Мухаметшин, А.В. Андреев, Ш.Х. Султанов // Нефть и газ, 2017. – № 2. – С. 39-43.
4. Ахметов Р.Т. Влияние гидрофобизации коллекторов на остаточную нефтенасыщенность. [Текст] / Р.Т. Ахметов, Г.Ф. Шамсутдинова // Современные технологии в нефтегазовом деле. Сборник трудов международной научно-технической конференции. Т1. Изд-во УГНТУ, Уфа, 2018. – 389 с.
5. Пирсон Сильвен Дж. Учение о нефтяном пласте [Текст] / Сильвен Дж. Пирсон – М.: Гос. Науч.-техн изд-во нефтяной и горно-топливной литературы, 1961. – 570 с.

6. Нестеренко М.Ю. Петрографічні основи обґрунтування флюїдонасичення порід-колекторів [Текст] / Монограф. / М.Ю. Нестеренко. – К.: УкрДГРІ, 2010. – 224 с.
7. Абеленцев В.М. Прогнозування обводнення порід-колекторів за характером їхньої змочуваності [Текст] / В.М. Абеленцев // Збірник «Питання розвитку газової промисловості України». – Х., УкрНДІгаз. – 2008. – Вип. XXXVI. – С. 134-136.
8. Абеленцев В.М. Геологічні умови вилучення залишкових запасів і дорозвідки родовищ вуглеводнів північної прибортової зони Дніпровсько-Донецької западини [Текст] / монограф. / В.М. Абеленцев, А.Й. Лур'є, Л.О. Міщенко. – Х.: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2014. – 192 с.
9. ОСТ 39-180-85. Нефть. Метод определения смачиваемости углеводородсодержащих пород [Текст]. Введён 01.07.1985. Миннефтепром СССР, 1985. – 13 с.
10. ГСТУ 41-32-2002. Визначення змочуваності порід колекторів методом центрифугування зразків [Текст]. – К.: Мінекоресурсів України, 2002.
11. Добрынин В.М. Петрофизика [Текст] / В.М. Добрынин, Б.Ю. Вендельштейн, Д.А. Кожевников. – М.: Недра, 1991. – 368 с.
12. Ханин А.А. Породы-коллекторы нефти и газа и их изучение. – М.: Недра, 1969. – 368 с.
13. Ханин А.А. Породы-коллекторы нефти и газа нефтегазоносных провинций СССР [Текст] / А.А. Ханин. – М.: Недра, 1973. – 304 с.
14. СОУ 73.1-41-08.11.08:2006. Визначення коефіцієнтів абсолютної та ефективної проникності гірських порід за стаціонарної фільтрації газу. Методичні вказівки. ЛВ УкрДГРІ; Київ-Львів, 2006.
15. СОУ 09.1-30019775-218:2013 Дослідження керна нафтових і газових свердловин. Порядок проведення [Текст]. – Київ, ПАТ «Укргазвидобування», 2013. – 28 с.
16. Мухаринская И.А. Оценочная классификация газонефтеносных коллекторов восточной Украины [Текст] / И.А. Мухаринская. – В сб. Развитие газовой промышленности Украинской ССР. – М.: Недра, 1969. – С. 117.
17. Багринцева К.И. Трещиноватость осадочных пород [Текст] / К.И. Багринцева. – М.: Недра, 1982. – 256 с.
18. Михайлов Н.Н. Показатели смачиваемости в пористой среде и зависимость между ними [Текст] / Н.Н. Михайлов, Л.С. Сечина, И.П. Гурбатова // Электронный научный журнал «Георесурсы, геознергетика, геополитика», вып. 1(3), 2011.
19. Михайлов Н.Н. Условия формирования микроструктурной смачиваемости и их влияние на фильтрационно-емкостные свойства продуктивных пластов. [Текст] / Н.Н. Михайлов, Н.А. Семёнова, Л.С. Сечина // Электронный научный журнал «Георесурсы, геознергетика, геополитика», вып. 1(1), 2010.
20. Михайлов Н.Н. Влияние микроструктуры порового пространства на гидрофобизацию коллекторов нефти и газа. [Текст] / Н.Н. Михайлов, В.А. Кузьмин, К.А. Моторова, Л.С. Сечина // Вестник Московского Университета, сер. 4, геология, 2016. – №5. – С. 67-75.
21. Гегузин Я.Е. Капля [Текст] / Я.Е. Гегузин. – М.: Недра, 1973. – 160 с.

**Внесок авторів:** Поверенний С.Ф. – аналіз літературних і фактичних даних, постановка проблеми, концепція роботи, методологія, складання таблиць і побудова графіків, написання тексту; Піддубна О.В. – виконання аналізів, розрахунки, підготовка даних, написання тексту; Лур'є А.Й. і Фик О.І. – аналіз, оцінка і обговорення вихідних матеріалів і отриманих результатів, написання тексту.

UDC 553.98

**Sergey Poverennyi,**

Senior Researcher, Ukrainian Research Institute for Natural Gases,  
20 Gimnaziyna naberejna, Kharkiv, 61010, Ukraine,

e-mail: [sergei-poverennyi@ukr.net](mailto:sergei-poverennyi@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-7836-6278>;

**Anatoliy Lurye,**

Doctor of Sciences (Geology and Mineralogy), Professor,  
V. N. Karazin Kharkiv University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,

e-mail: [anlure16@gmail.com](mailto:anlure16@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0003-4836-5781>;

**Olena Piddubna,**

Junior Researcher, Ukrainian Research Institute for Natural Gases,

e-mail: [abit201087@gmail.com](mailto:abit201087@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-6966-3289>;

**Oleksandr Fyk**

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,

Department of Military Communications and Informatization,

National Academy of the National Guard of Ukraine, 3 Zakhysnykiv Ukrayiny Sq., Kharkiv, 61001 Ukraine,

e-mail: [aifleks@ukr.net](mailto:aifleks@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0001-6735-6229>

**ON THE POSSIBILITY OF WETTABILITY ASSESSMENT OF OIL AND GAS RESERVOIRS  
BY THEIR MAIN COLLECTOR PROPERTIES**

**Problem statement.** In some publications, the possibility of determining the wettability according to geophysical studies of wells (GIS), in particular, defined in the complex GIS residual water saturation or water retention capacity. As the main quantitative indicator of wettability, the thickness of the fictitious film of residual water is used. If this idea is true, then the calculation of wettability is possible and the results of determining the same parameters in the course of laboratory studies of core material.

**The purpose of this work** is to test the proposed method for calculating wettability on the basis of data on the main reservoir properties of rocks obtained in the laboratory and to assess the possibility of practical application of this technique.

**Scientific and practical significance.** The wettability of the rock surface is an important parameter on which the main indicators of the development of hydrocarbon deposits depend. At the moment, many oil and gas companies are experiencing difficulties in developing long-term fields. This is a breakthrough of water during water flooding, selective flooding of the wells and increased water-repellency of the reservoir in the development process. Taken together, this leads to a decrease in the rate of hydrocarbon extraction, a significant increase in flooding and, as a result, to a decrease in the final indicators of hydrocarbon recovery and significant economic losses. There are many methods of influencing the oil and gas reservoir in order to obtain a cost-effective inflow of hydrocarbons. But whatever method was used, there is a question of control and adjustment of wettability, the solution of which is impossible without determining the real relative wettability of the reservoir with water and hydrocarbons. Core material, which can determine the wettability of standard methods, is not selected enough and the possibility of calculating the wettability of GIS data could fundamentally improve the situation.

**Analysis of available publications on the topic.** In the course of the work, the theoretical background of the proposed technique, the conclusion of the formula for calculating the thickness of the dummy film and the data on practical application given in the available works were analyzed. According to the authors of the tested method, the degree of hydrophilicity of the productive formation is qualitatively characterized by the content of residual water: the higher its content, the more hydrophilic the rock. To quantify the degree of hydrophilicity, it is proposed to use the thickness of the fictitious film of residual water on the surface of pore channels, which should increase in direct proportion to the degree of hydrophilicity and which is determined by the values of the water-holding capacity of rocks.

**Materials of own researches.** On the basis of laboratory studies, the results of which are presented in the article, it can be argued that the values of residual water saturation with increasing hydrophilicity can both increase and decrease. The relationship between residual water saturation and wetting angle is ambiguous and should be used with great care to assess the degree of hydrophilicity of rocks.

Quantification of hydrophilicity on the thickness of the dummy film of residual water is complicated by the fact that, first, to determine the film thickness for water-holding capacity is highly problematic, they are too weakly bound, and secondly, the film thickness is poorly and ambiguously connected with the wetting, which used the wetting angle, and the index "M" defined by standard methods. Perhaps it is the proposed formulas for calculating the thickness of the fictitious film and the idea can be further developed, however, at this stage to replace the direct definition of wettability on the calculation of known values of reservoir properties is impossible.

**Conclusion.** Calculation of wettability by known values of basic reservoir properties determined in laboratory conditions is impossible. We stipulate that this conclusion cannot be unconditionally transferred to the assessment of wettability according to GIS (determination of both residual water saturation and gas saturation coefficient according to GIS has its own specifics), but the impossibility of constructing the desired connections in the laboratory forces caution to approach such calculations. The performed work will help to avoid gross errors in the assessment of wettability, performed for various practical purposes, in particular, in the development of methods to prevent selective flooding of wells.

**Keywords:** wettability, wettability of reservoir rocks, wettability of productive reservoirs, wettability according to the Geophysics, wetting parameters, methods for determining wettability, residual water, water-holding capacity.

#### **References**

1. Ahmetov R.T., Kalent'eva V.A. (2015). *Svjaz' smachivaemosti s kollektorskimi svojstvami produktivnyh plastov [Connection of wettability with reservoir properties of productive layers]. Sovremennye tehnologii v neftegazovom dele. Sbornik trudov mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. T. 1, Ufa, 412.*
2. Ahmetov R.T., Muhametshin V.V. (2015). *Vodouderzhivajushhaja sposobnost' i smachivaemost' produktivnyh plastov [Water-holding capacity and wettability of productive layers.]. Neftegazopromyslovoe delo, 2015, 15, 2, 34-37.*



3. Ahmetov R.T., Zejgman Ju.V., Muhametshin V.V., Andreev A.V., Sultanov Sh.H. (2017). Prognoz pokazatelja smachivaemosti po ob"jomnomu sodержaniju ostatocnoj vody [Forecast of wettability index by volume content of residual water]. *Neft' i gaz*, 2, 39-43.
4. Ahmetov R.T., Shamsutdinova G.F. (2018). Vlijanie gidrofobizacii kollektorov na ostatocnuju nefenasysshennost' [The effect of hydrophobization of reservoir residual oil saturation]. *Sovremennye tehnologii v neftegazovom dele. Sbornik trudov mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. T. 1, Izd-vo UGNTU, Ufa*, 389.
5. Pirson Sil'ven Dzh. (1961). Uchenie o nefljanom plaste [The doctrine of the oil reservoir]. *M.: Gos. Nauch.-tehn izd-vo nefljanoy i gorno-toplivnoj literatury*, 570.
6. Nesterenko M.Ju. (2010). Petrografichni osnovi obruntuvannja fljuïdonasichennja porid-kolektoriv [Petrographic bases of substantiation of fluid saturation of reservoir rocks]. *K.: UkrDGRI*, 224.
7. Abielientsev V.M. (2008). Prohnozuvannia obyvodnennia porid-kolektoriv za kharakterom yikhoi zmochuvanosti [Prediction of reservoir rocks watering by the nature of their wettability]. *Zbirnyk «Pytannia rozvytku hazovoi promyslovosti Ukrainy»*. Kharkiv: UkrNDIgaz, XXXVI, 134-136.
8. Abielientsev V.M., Lurie A.I., Mishchenko L.O. (2014). Heolohichni umovy vyluchennia zalyshkovykh zapasiv i dorozvidky rodovyshch vuhlevodniv pivnichnoi prybortovoi zony Dniprovsko-Donetskoï zapadyny [Geological conditions of withdrawal of residual reserves and additional exploration of hydrocarbon deposits of the Northern instrument zone of the Dnieper-Donetsk depression], *Kharkiv: V.N. Karazin KhNU*, 192.
9. OST 39-180-85 (1985). Neft'. Metod opredelenija smachivaemosti uglevodorodsoderzhashhih porod [Method for determination of wettability of hydrocarbon-containing rocks.]. *Vvedjon 01.07.1985. Minnefteprom SSSR*, 13.
10. HSTU 41-32-2002 (2002). Vyznachennia zmochuvanosti porid kolektoriv metodom tsentryfuhuvannia zrazkiv [Determination of wettability of reservoir rocks by centrifugation of the samples]. *K.: Minekoresursiv Ukrainy*.
11. Dobrynin V.M., Vendel'shtejn B.Ju., Kozhevnikov D.A. (1991). Petrofizika [Petrophysics]. *M.: Nedra*, 368.
12. Hanin A.A. (1969). Porody-kollektory nefiti i gaza i ih izuchenie [Reservoir rocks of oil and gas and their study]. *Nedra*, 368.
13. Hanin A.A. (1973). Porody-kollektory nefiti i gaza neftegazonosnyh provincij SSSR [Rocks-reservoirs of oil and gas of oil and gas-bearing provinces of the USSR]. *M.: Nedra*, 304.
14. SOU 73.1-41-08.11.08:2006 (2006). Vyznachennia koefitsientiv absolutnoi ta efektyvnoi pronyknosti hirskykh porid za statsionarnoi filtratsii hazu [Determination of coefficients of absolute and effective permeability of rocks at stationary gas filtration]. *Metodychni vkazivky. LV UkrDHRI, Kyiv-Lviv*.
15. SOU 09.1-30019775-218:2013 (2013). Doslidzhennia kerna naftovykh i hazovykh sverdlovyn [Core studies of oil and gas wells]. *Poriadok provedennia Kyiv, PAT «Ukrhazvydobuannia»*, 28.
6. Muharinskaja I.A.(1969). Ocenohnaja klassifikacija gazoneftenosnyh kollektorov vostochnoj Ukrainy [Estimated classification of gas and oil reservoirs of Eastern Ukraine]. *V sb. Razvitie gazovoj promyshlennosti Ukrainskoj SSR, M.: Nedra*, 117.
17. Bagrinceva K.I. (1982). Treshhinovatost' osadochnyh porod [Fracture of sedimentary rocks]. *M.: Nedra*, 256.
18. Mihajlov N.N., Sechina L.S., Gurbatova I.P. (2011). Pokazateli smachivaemosti v poristoj srede i zavisimost' mezhdunami [Indicators of wettability in a porous medium and the relationship between them]. *Jelektronnyj nauchnyj zhurnal «Georesursy, geojenergetika, geopolitika»*, 1(3).
19. Mihajlov N.N., Semjonova N.A., Sechina L.S. (2010). Uslovija formirovanija mikrostrukturnoj smachivaemosti i ih vlijanie na fil'tracionno-emkostnye svojstva produktivnyh plastov [Formation conditions of microstructural wettability and their influence on filtration-capacitive properties of productive layers.]. *Jelektronnyj nauchnyj zhurnal «Georesursy, geojenergetika, geopolitika»*, 1(1).
20. Mihajlov N.N., Kuz'min V.A., Motorova K.A., Sechina L.S. (2016). Vlijanie mikrostrukturnykh porovogo prostranstva na gidrofobizaciju kollektorov nefiti i gaza [Influence of microstructure of pore space on hydrophobization of oil and gas reservoirs.]. *Vestnik Moskovskogo Universiteta, Ser. 4, Geologija*, 5, 67-75.
21. Geguzin Ja.E. (1973). Kaplja [Drop]. *M.: Nedra*, 160.

UDC 556.314:550.4

**Vasyl Grygorovych Suyarko,**

Doctor of Science (Geology and Mineralogy), Professor,  
V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,  
e-mail: [vgusuyarko@gmail.com](mailto:vgusuyarko@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-3693-4767>;

**Liliya Volodymyrivna Ishchenko,**

PhD (Geology), Department of Mineralogy, Petrography and Minerals,  
V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [lvishchenko23@gmail.com](mailto:lvishchenko23@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0848-368X>;

**Artem Mykhailovich Yerofieiev,**

PhD Student, Department of Mineralogy, Petrography and Minerals,  
V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [pro100graf@gmail.com](mailto:pro100graf@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-7228-8934>;

**Valeriy Vasylovich Sukhov,**

PhD (Geology), Head Laboratory, Department of Geology, V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [donsanchos77@gmail.com](mailto:donsanchos77@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-5784-5248>;

**Yanina Stanislavivna Shmorh,**

PhD (Geology), Oil And Gas Institut – National Research Institute,  
25 A Lubicz St., Krakow, 31-503, Poland,  
e-mail: [shmorh@inig.pl](mailto:shmorh@inig.pl), <https://orcid.org/0000-0003-2359-2048>

## HEAVY METALS IN OILS AND FORMATION OF BITUMEN-HYDROTHERMAL ASSOCIATIONS IN THE ROCKS OF THE DNIEPER-DONETSK PALEORIFT

**В. Г. Суярко, Л. В. Ищенко, А. М. Єрофєєв, В. В. Сухов, Я. С. Шморг. ВАЖКІ МЕТАЛИ У НАФТАХ ТА ФОРМУВАННЯ БІТУМО-ГІДРОТЕРМАЛЬНИХ АСОЦІАЦІЙ У ПОРОДАХ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОГО ПАЛЕОРИФТУ.** Розглянуто закономірності накопичення важких металів у нафтах та їх взаємозв'язок з утворенням бітумо-гідротермальних мінеральних асоціацій у породах рудних полів в межах Дніпровсько-Донецької западини та Донецької складчастої структури.

Описано процес тепломасоперенесення у літосфері, що є основним фактором формування як вуглеводнево-металевих флюїдних систем, так і родовищ вуглеводнів та гідротермалітів. Насамперед це явище пов'язане із альпійською тектонічною активізацією, що призвело до утворення консидементаційних мезозойсько-альпійських складчастих антиклінальних структур, у межах яких функціонує потужна геохімічна система «вода-вуглеводні-гідротерми». У межах цієї системи спостерігається висхідне розвантаження мінералоутворюючих флюїдів, які характеризуються широким комплексом мікроелементів включно з важкими металами (V, Mn, Al, Hg, Cr, Fe, Zn, Co, Ni).

Досліджено процеси, що призводять до накопичення важких металів у нафтах та утворення бітумо-гідротермальних асоціацій у гірських породах.

З'ясовано деякі закономірності вмісту важких металів у нафтах, що пов'язані з особливостями формування покладів в межах різних геологічних структур.

Визначено геохімічну закономірність збільшення концентрацій важких металів з глибиною залягання нафти. Це пов'язано з високими вмістами сірчанних сполук у вигляді гідротермальних сульфідних мінералів, які активно гідролізуються в умовах високих температур і призводять до вилугування металів та надходження їх у флюїдні системи, де утворюються стійкі сірчані комплекси. Таким чином на контакті металоміщуючих та вуглеводневих флюїдів, що мають спільні шляхи міграції, цілком можливим є збагачення нафт важкими металами.

Наведено можливості практичного використання результатів дослідження для прогнозування та пошуку родовищ корисних копалин.

**Ключові слова:** важкі метали, нафта, бітумо-гідротермальні асоціації, палеорифт, розломи, висхідне тепломасоперенесення, флюїди.

**В. Г. Суярко, Л. В. Ищенко, А. М. Ерофеев, В. В. Сухов, Я. С. Шморг. ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В НЕФТЯХ И ФОРМИРОВАНИЕ БИТУМО-ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ АССОЦИАЦИЙ В ПОРОДАХ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОГО ПАЛЕОРИФТА.** Рассмотрены закономерности накопления тяжелых металлов в нефтях и их взаимосвязь с образованием битумно-гидротермальных минеральных ассоциаций в породах рудных полей в пределах Днепровско-Донецкой впадины и Донецкой складчатой структуры.

Описан процесс тепломасопереноса в литосфере, который является основным фактором формирования как углеводородно-металлических флюидных систем, так и месторождений углеводородов и гидротермалитов. Прежде всего это явление связано с альпийской тектонической активизацией, которая привела к образованию консидементационных мезозойско-альпийских складчатых антиклинальных структур, в рамках которых функционирует мощная геохимическая система «вода-углеводороды-гидротермы». В рамках этой системы наблюдаются восходящие разгрузки минералообразующих флюидов, которые характеризуются широким комплексом микроэлементов, включая тяжелые металлы (V, Mn, Al, Hg, Cr, Fe, Zn, Co, Ni).

Исследованы процессы, приводящие к накоплению тяжелых металлов в нефтях и образованию битумо-гидротермальных ассоциаций в горных породах.

Выявлено некоторые закономерности содержания тяжелых металлов в нефтях, связанные с особенностями формирования залежей в пределах различных геологических структур.

*Определена геохимическая закономерность увеличения концентраций тяжелых металлов с глубиной залегания нефти. Это связано с высоким содержанием сернистых соединений в виде гидротермальных сульфидных минералов, которые активно гидролизуются в условиях высоких температур и приводят к выщелачиванию металлов и поступлению их в флюидные системы, где образуются устойчивые серные комплексы. Таким образом, на контакте металлосодержащих и углеводородных флюидов, имеющих общие пути миграции, вполне возможно обогащение нефтей тяжелыми металлами.*

*Приведены возможности практического использования результатов исследования для прогнозирования и поиска месторождений полезных ископаемых.*

**Ключевые слова:** *тяжелые металлы, нефть, битумо-гидротермальные ассоциации, палеорифт, разломы, восходящий теплоперенос, флюиды.*

**Introduction.** The problem of hydrocarbons and heavy metals' coexistence in geological space is interesting, given its theoretical and practical significance. This has been highlighted in many works of domestic and foreign scientists from different positions due to the lack of unambiguity in the explanation of this phenomenon.

Heavy metals are not only found in most oils, but also occur with bitumens in bitumen-hydrothermal mineral associations of ore deposits. The main issue in solving this problem is the study of genetic, spatial and temporal relationships of heavy metals and hydrocarbons. Based on practical material, the authors have tried to highlight geological and geochemical processes of the hydrothermal-hydrocarbon natural systems' formation, using case study of the Dnieper-Donetsk Paleorift (DDP) within the Dnieper-Donetsk Depression (DDD) and Donetsk Folded Structure (DFS), allowing us to offer our vision of this geological phenomenon.

The conclusions of the research will be useful for modeling the processes of hydrocarbon accumulations' formation and ore hydrothermal fields.

**The subject of the research** is oil and bitumen-hydrothermal mineral associations.

**The object of the research** is geochemical systems of hydrocarbons and heavy metals.

**The main material.** The Dnieper-Donetsk (Dono-Dnieper) paleorift (avlakogen) is an ancient Paleozoic rift of the Eastern European platform [7,26], which within Ukraine consists of two geological structures: the Dnieper-Donetsk depression (DDD) and the Donetsk folded structure (DFS). The paleorift filled with terrigenous-carbonate-carbonaceous sedimentary rocks, up to 10–20 km thick, sometimes larger, is characterized by high oil and gas bearing capacity, and DFS is characterized by industrial hydrothermal mineralization [4, 16]. This is because the geological structure of the paleorift as well as the processes that occur in its geostructure during geological development.

Rifts as tensile structures, together with compression structures – orogens, play the leading role in the functioning of the processes of ascending heat and mass transfer, associated with the migration of deep fluids in the lithosphere. This, in turn, promotes the transfer of gas-liquid fluids through faults and the formation of various oil and gas and hydrothermal (including ore) mineral deposits in zones of

tectonic decomposition of sedimentary strata.

In our opinion, the intensity of heat and mass transfer in riftogens is caused by the influence of heat flux from the mantle diapir under the crystal bed. Its excitation during periods of tectonic activation not only determines the directions and velocities of individual lithosphere plates that limit riftogens, but also causes a periodic increase in the mantle thermal field, which is the major factor in the formation of both hydrocarbon-metal fluid systems and hydrocarbon deposits [2,3,23].

Riftogens by internal structure are divided into symmetrical and asymmetric. The Dnieper-Donetsk paleorift belongs to the first type and consists of separate tectonic ridge-like segments, which are divided by transform transverse faults [31,34,2]. Within these ridge-like depressions, which are in fact separate Paleozoic lithospheric blocks, younger sedimentary Mesozoic-Alpine folded anticline structures characterized by hydrothermal-hydrocarbon fluid dynamics were formed in the sedimentary stratum. This, in particular, led to the formation of hydrocarbon-hydrothermal systems in the fault zones, which affected not only the presence of heavy metals such as Hg, V, Co, Ni, Pb and others in the oils of the region, but also the formation of ore hydrothermal mineralization zones in the form of ore manifestations and deposits of mercury and mercury-polymetallic specialization with accessories in the form of minerals such as Cu, Ni, Co, Fe, etc. [16].

Among the deposits of hydrocarbons of DDD, in the rocks of which there is hydrothermal mineralization (among which there is ore mineralization), there should be noted: Khurinskoe, Yulivskoe, Machukhskoe, Yablunovskoe, Kotelevskoe, and others [17]. Instead, methane gases and naphthenes (bitumens and asphaltenes) constantly accompany the DFS hydrothermal ore fields such as Mykytivske, Druzhkivsko-Kostiantynivske, Slovyanske [11] in the process of ascending unloading along the faults of deep hydrocarbon-hydrothermal streams from the generalized core to the depths structures. In the near-surface layer of sedimentary rocks this led to the formation of strong geochemical barriers, within which there was, first of all, hydrothermal mineral formation [26,31,37,12], as well as oil and gas accumulation [21]. Most productively, these processes took place in the region in the Laramian phase of alpine tectogenesis, which is associated with the

formation of mercury and mercury-polymetallic deposits [29] with bitumen-hydrothermal mineral associations in which some hydrocarbons and hydrothermalites may, in our opinion, have a paragenetic relation [3,7,11,10].

Hydrocarbons and metal-containing fluids are transported in the earth's crust with the obligatory participation of H<sub>2</sub>O in gaseous and liquid forms. In the process of migration through the zones of open faults, they all form fluid systems "water-hydrocarbons-hydrothermal vents", which at different stages of tectonic activation of faults carry out "injection intrusion" into the sedimentary layer [17]. Groundwater and brines play a huge role in the emergence of physico-chemical barriers (t°, pH) within which the processes of hydrothermal mineral formation take place [26,38,24]. Within the lower hydrodynamic floor at the depth of 5-6 km, these solutions exist in the region in the form of strong brines with mineralization up to 320.00 g/dm<sup>3</sup> and are characterized by temperatures ≥150-200°C, high pH values (≥9), CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, He, H<sub>2</sub> with mercury vapor saturation, and the presence of wide range of trace elements, including various heavy metals, in its composition [19,26,33].

At present, the ascending unloading of high-pressure deep waters and brines under the action of heat and mass transfer processes within hydrothermal ore fields and hydrocarbon deposits causes the formation of complex geothermal, hydrogeochemical and hydrogeothermal anomalies. Spatially they coincide with areas of modern upward tectonic movements (up to 5.0-10.0 mm per year) [38]. The formation of such complex hydrodynamic-gas-dynamic-geothermal-geochemical anomalies is the evidence of heat and mass transfer processes that occurred in areas of modern tectonic activation of faults [20,38]. The fluid flows discharged here differ in the phase and geochemical diversity of chemical elements and their compounds in the form of gases, vapors, liquids and suspensions. Within the ore fields of the region, these streams contain carbon monoxide and dioxide, methane, mercury vapor, and various ions and complexes of heavy metals in liquid solutions [27,37].

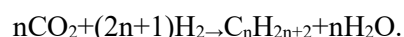
Most oil and gas-oil fields, in the oil of which the presence of heavy metals has been analytically determined, are confined to anticlinal structures that accompany the zones of deep faults [9]. This also applies to bitumen-hydrothermal mineral associations of DFS [37]. Hydrothermalites in quartz, the composition of gaseous-liquid inclusions of which constantly include methane and its homologues, also control the faults in the region [6].

These factors may indicate the formation of end-to-end interformational fluid systems, which are favorable for the migration in the earth's crust of

both hydrocarbon compounds and heavy metals, in fluid-dynamically active areas of faults [20,24,38].

Hydrocarbons are of both biogenic and abiogenic origin, and the source of heavy metals can be mantle exhalates of the weathering crust of the foundation, ore mineralization of sedimentary rocks, as well as fluids of posthydrothermal activation of alpine (Iaramian) hydrothermal systems [26,38].

The interaction of hydrocarbons with heavy metals in natural geochemical systems is difficult to understand without realizing the possibility of presence of certain amount of abiogenic (synthesized) hydrocarbon compounds in oils. Their presence in bitumen is evidenced by the results of isotopic studies of carbon [24]. In such circumstances, the problem is solved much easier, because it involves the presence of abiogenic hydrocarbons in oils together with heavy metals of mantle-metamorphogenic genesis. The process of generating the synthesized hydrocarbons takes place at a temperature of ≈1000°C according to the scheme (Fischer-Tropsch synthesis):



The same reaction in the presence of catalysts in the form of heavy metals (Co, Ni, Fe, V, etc.) can occur at much lower temperatures such as 400-200°C, which on average corresponds to both lithospheric depths up to 1000 m and medium-temperature hydrothermal vents. That is, the natural synthesis of hydrocarbons and, in particular, naphthenes is quite possible not only in the mantle, but also in the lithosphere. Although the question of presence of biomarkers in abiogenic oil, it would seem, is debatable [13,14]. In our opinion, the genesis of oil, which has signs of organic and inorganic genesis together, is caused by the multiphase of naphthidogenesis [13]. This gives grounds to claim that all hydrocarbons from gases and oils to bitumen and asphaltenes are polygenic. This approach to the genesis, in particular of heavy hydrocarbons, makes it possible to satisfactorily explain both the presence of heavy metals in petroleum and the existence of bitumen-hydrothermal mineral associations.

Heavy metals in DDD oils have been found [9] within various deposits.

Determination of V, Cr was performed on an energy-dispersion spectrometer "SPRUT" SEF 01. Spectrum accumulation time was 600 seconds.

Determination of chemical elements Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Hg was performed on a wave-dispersion spectrometer "SPRUT" SEF 01M1 (№703-96 in the State Register) by calibration method (the analyst – Ph.D. O. O. Baturyn). The measurement time at the peak was  $60 \times 4 = 240$  s, and against the background –  $60 \times 8 = 480$  s. The value of the pulse-statistical coefficient of variation did not exceed

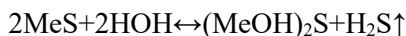
0.5% of the measured value [9]. The concentrations of these elements are shown in table 1:

Table 1

Concentration of heavy metals in the oils of various DDD deposits

№	Deposit	Depths of the deposit, m	Concentrations of heavy metals, ppm								
			V	Mn	Al	Hg	Cr	Fe	Zn	Co	Ni
1	Bakmachske	3600-3610	0,6	-	1,53	0,02	0,14	4,46	1,16	0,06	32,7
2	Krasnozayarske	4200-4500	0,09	-	-	0,16	0,45	221,0	3,29	0,03	2,17
3	Kremenivske	2287-2303	0,82	0,21	1,37	-	0,01	1,48	0,23	0,005	1,20
4	Khukhryanske	3266-3291	3,18	-	2,43	0,20	3,90	1,42	1,51	0,002	38,1
5	Lipovodolinske	4648-4650	0,07	0,21	-	0,01	0,14	4,13	0,41	0,004	-
6	Malosorochynske	2303-2319	2,17	-	2,74	0,01	0,04	0,12	0,25	-	2,72
7	Prokopenkivske	2516-2523	13,2	-	-	0,05	0,14	9,19	1,04	0,02	31,4
8	Raspashnivske	4037-4259	1,75	0,25	3,52	-	0,61	48,5	5,60	0,03	17,6
9	Quiver	1048-1050	2,3	0,09	4,50	0,30	0,71	1,35	0,52	0,13	0,23
10	Solontsiyske	1193-1198	0,16	0,21	-	0,03	0,13	28,7	2,34	0,003	1,50
11	Talalaiyske	3507-3522	12,2	-	-	0,0007	0,39	31,0	1,40	0,02	2,90
12	Perekopivske	4440-4450	0,13	-	-	0,03	0,25	6,22	0,81	-	0,50
13	Yuryivske	1617-1625	9,50	1,60	27,1	-	0,04	0,69	0,35	0,006	4,22

According to our data, the concentrations of heavy metals in oils correlate with their structural composition and, in particular, with high-temperature fractions of oils [9]. It has been experimentally established that the content of heavy metals is directly proportional to the density and depth of oil, which, in our opinion, can be explained by the physicochemical features of the processes of metal accumulation in porphyrin complexes of heavy-boiling oil fractions. According to our calculations, one of the natural sources of some heavy metals in hydrocarbon fluid systems could be not only mineral-forming hydrothermal vents, but also hydrothermal sulfide minerals. It is binary sulfide compounds that are actively hydrolyzed under conditions of high (over 700°C) temperatures, which lead to leaching of metals with their subsequent entry into fluid systems according to the scheme:



As a result, the enrichment of oils with heavy metals at the contact of metal-containing and hydrocarbon fluids that have common migration routes is quite possible. Their migration in oils most often occurs in the form of organometallic complexes or complexes with sulfur. The latter contain hydrocarbon radicals in the form of two unshared pairs of sulfur atoms. This allows them to form complex compounds of the donor-acceptor type with salts of heavy metals having vacant orbits (Ag, Pb, Hg, Cu, Ti, Ni, etc.) [9].

Another source of heavy metals in naphthoids may be the so-called "dark-colored pelitomorphic

polymineral substance" [17] from the Precambrian, Devonian and Coal seams of DDD and other regions of the world. It contains anomalous (100-1000 times higher than Clark) concentrations of rare earths (Ce, La, Nd) and other elements: Zr, Ga, Th, Ti, Cr, V, Sr, Ba, B, U, Hg, Li, Rb, Cs, Zn, Cu, Mn, Au, Pd, etc. [19], which have deep origin and are associated with mantle exhalates [21].

The isotopic composition of carbon of this substance ( $\delta^{13}\text{C}$ ) from - 19.6 to - 23.7 ‰ is much heavier than "organic" in sedimentary rocks, which clearly indicates the influence of mantle fluids during the formation of pelitomorphic substance [16].

Analysis of the distribution of concentrations of heavy metals in oils depending on the depth of sampling from different deposits in the region allowed to establish a clear interrelation between the increase in their concentrations in metals and depth (fig. 1).

To depict the dependence of the depth of the hydrocarbon fluid on its microelement content, the average data on the depths of the deposits, which were approximated graphically by the first approximation, were used. This allowed us to qualitatively illustrate the interrelation between the depth and concentrations of metals in oils [8,9].

Another factor in the natural interaction of hydrocarbons and heavy metals is the formation of "bitumen-hydrothermal mineral associations" in the rocks of DDP that are paragenesis of hydrothermal minerals and natural bitumen in the rocks of ore fields. Bitumens are represented by solid, viscous, and viscous-liquid varieties, which consist of high molecular weight structured hydrocarbons and het-



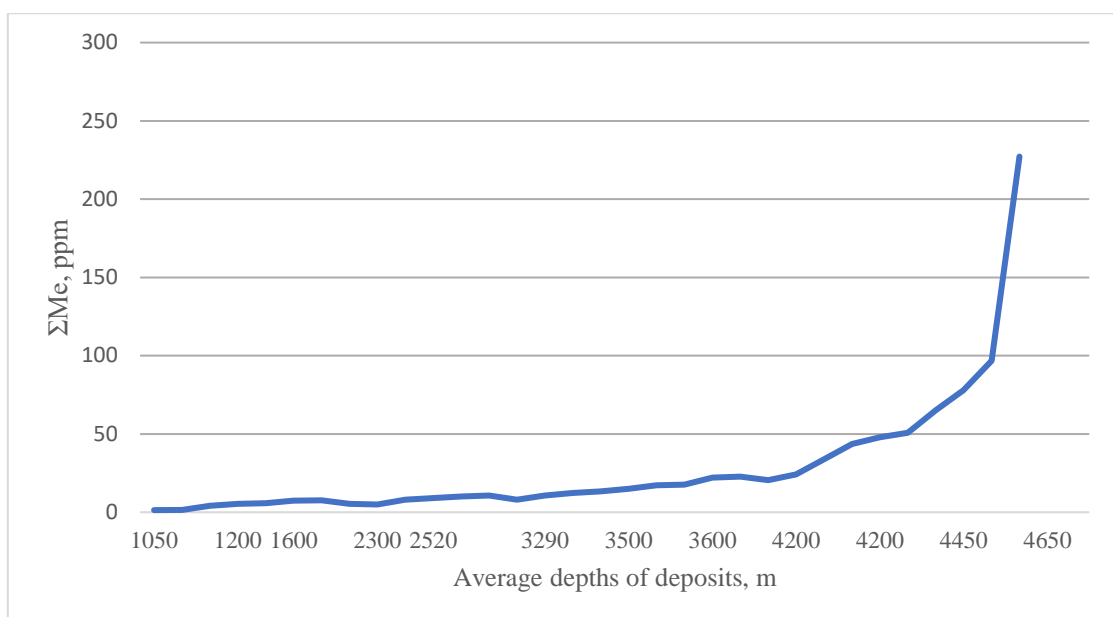


Fig. 1. Dependence of heavy metal concentrations in oils on depth

eroatomic (oxygen, sulfur, nitrogen, metal) compounds. Ore minerals are represented by sulfides of such heavy metals as mercury, lead, zinc [16,10,11].

Bitumen-hydrothermal mineral associations are a global phenomenon observed within hydrothermal ore fields associated with alpine tectonic activation [22,23,30,35,36,38].

The energetic and material basis of bitumen-hydrothermal mineral formation is fluid heat and mass transfer [15,38]. This process occurred most intensively during the periods of alpine tectonic ac-

tivation (Laramian and Attic phases) [24]. Analysis of the isotopic composition of bitumen carbon from Druzhkivsko-Kostiantynivsky, Mykytivsky and Slovyansky ore fields, performed on mass spectrometers MI 1305 MV (the analysts – V. S. Moroz and L. I. Proskurko) and MI-1201-AG (the analyst – A. M. Erofeev), indicates that along with the predominance of organic carbon enriched in  $^{12}\text{C}$ , they also have an increased amount of heavy isotope ( $^{13}\text{C}$ ), which may indicate its abiogenic origin (table 2):

Table 2

Carbon isotope composition in bitumen of hydrothermal ore fields of Donbass

Sample №	Mineral substance	Sampling point	$\delta^{13}\text{C}$ , ‰ (PDB standard)
1	bitumen	Druzhkivsko-Kostiantynivske ore field	-18.27
2	bitumen	Druzhkivsko-Kostiantynivske ore field	-21.73
3	bitumen	Druzhkivsko-Kostiantynivske ore field	-18.71
4	bitumen	Druzhkivsko-Kostiantynivske ore field	-19.19
5	bitumen	Mykytiv ore field	-22.22
6	bitumen	Mykytiv ore field	-18.71
7	bitumen	Mykytiv ore field	-22.48
8	bitumen	Mykytiv ore field	-22.62
9	bitumen	Mykytiv ore field	-25.16
10	bitumen	Slovyanske ore field	-19.19
11	bitumen	Slovyanske ore field	-27.07

Inorganic synthesis of carbon and hydrogen atoms in endogenous fluid streams can take place at temperatures of about  $1000^\circ\text{C}$  with the formation of compounds of the  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$  type [24,32], which together with mantle-crustal exglates were transferred to the densification zones in anticlinal structures. Due to the temperature of the process of hydrothermal mineral formation ( $500^\circ\text{C}$ - $150^\circ\text{C}$ ), light hydrocarbons (gases) left the natural hydrocarbon-hydrothermal

system, and the heaviest hydrocarbons, in the form of heavy oils, which were converted into bitumen, took part in mineral formation.

The front of hydrothermal vents in the process of ascending movement through the underlying tectonic channels passed through a large ( $\geq 10$  km) terrigenous-carbonaceous stratum, capturing not only kerogen scattered in the rocks, but also mobilizing huge masses of organic hydrocarbon compounds

from coal seams, which eventually led to a significant reduction of the specific content of synthesized hydrocarbon compounds at the final stage of formation of bitumen-hydrothermal mineral associations [24]. This indicates not only that the bitumens of bitumen-hydrothermal mineral associations of hydrothermal ore fields of the region have a polygenic biogenic-abiogenic genesis, but also the formation of such geochemical systems in which they together with heavy metals can enter common fluid flows.

The established features of the interaction of hydrocarbon and metal-containing fluids allow, first of all, to predict oil deposits in the structures of the anticlinal type at great depths. They also make it possible to determine not only the sources of oil generation, but also the ways in which hydrocarbons enter the deposit. In particular, this applies to the explanation of how there is a constant natural replenishment of hydrocarbon accumulations in oil and gas deposits (such as in Shebelinsky deposit).

#### Conclusions.

1. Concentrations of heavy metals in oils naturally increase with the depth of their occurrence and their density. Their entry into hydrocarbon streams takes place due to endogenous fluid flows or ore-forming hydrothermal vents, at the stages of alpine tectonic activation of the Dnieper-Donetsk paleorift.

2. The energy-material basis for the formation of fluid hydrocarbon-hydrothermal systems in the rocks of the Dnieper-Donetsk paleorift is the global process of ascending heat and mass transfer in the earth's crust, which occurs along fault zones during alpine tectonic activation (Laramian and Attic phases).

3. Formation of fluid systems in the deep parts of the earth's crust of the region occurs with the participation of synthesized and organic hydrocarbons and mantle exhalates and hydrothermal vents. While these systems are cooling, liquid hydrocarbon fractions (oils) are being enriched with heavy metals, and hydrothermal vents are being enriched with bitumen-forming naphthides.

4. Practical conclusions on the problem of finding heavy metals in oils and the formation of bitumen-hydrothermal mineral associations in hydrothermal ore fields are grounded in reasonable modeling of the processes of formation of hydrocarbon accumulations and hydrothermal ore mineralization. They can significantly increase the efficiency of forecasting and searching for these types of minerals.

The results of the study have not only theoretical but also practical significance and can be used for prediction and search for hydrocarbon accumulations.

#### References

1. Багрий И.Д. Гидро- геосинергетическая биогенно-мантийная гипотеза образования углеводородов и её роль при обосновании прямопоисковой технологии / И.Д. Багрий // Геологический журнал. – 2016. – №2. – С. 107–132.
2. Бартацук О. В. Системна організація диз'юнктивної тектоніки консолідованого фундаменту Дніпровсько-Донецького палеорифту. Частина 1. Лінеamenti / О. Бартацук // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія "Геологія. Географія. Екологія", 2016. – Вип. 45. – С. 14–22.
3. Безрук К.О. Геохімія ртуті і підземних водах геологічних структур Донецької складчастої споруди/ К.О. Безрук, Г.В. Лисиченко, В.Г. Суярко. – Київ: Вид-во НАН України, 2013. – 132 с.
4. Белоус И.Р. О региональных структурах, контролирующих сурьмяно-ртутное оруденение Донбасса и Днепровско-Донецкой впадины / И.Р. Белоус // Геол. журнал. – 1986. – Т. 46, № 2. – С. 125-132.
5. Вассоевич Н.Б. Геохимия органического вещества и происхождение нефти / Н.Б. Вассоевич // Избранные труды. – Москва: Наука, 1986. – С. 324-339.
6. Возняк Д.К. Мікрровключення та реконструкція умов ендегенного мінералоутворення / Д.К. Возняк. – Київ: Наукова думка, 2007. – 279 с.
7. Гавриш В.К. Ртутно-вуглеводнева зональність Доно-Дніпровського прогину / В.К. Гавриш, Л.А. Добрянський, М.В. Курило // Доп. АН. УРСР. – 1987. – № 7. – С. 18-21.
8. Єрофєєв А.М. Вміст важких металів у нафтах прикарпатської та Дніпровсько-Донецької нафтогазоносних провінцій України / А.М. Єрофєєв // Science Rise. – 2019. – №9. – С. 27-31.
9. Єрофєєв А.М. Про вмісти, міграцію та концентрацію важких металів у нафтах (на прикладі Дніпровсько-Донецької западини та Прикарпатського прогину) // А.М. Єрофєєв, І. Березовський // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2019. – №1 (178).
10. Іщенко Л. В. Бітумо-гідротермальні асоціації Дружківсько-Костянтинівської антиклінали (Донбас) / Л. В. Іщенко // Сучасні проблеми геологічних наук: матеріали VI Всеукраїнської молодіжної наукової конференції-школи, 14-16 квітня: тези доп. – Київ, 2016. – С. 43–46.
11. Іщенко Л. В. Закономірності розміщення покладів вуглеводнів та зон гідротермальної мінералізації на території східної частини Донецької складчастої споруди / Л. В. Іщенко // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія». – 2016. – №45. – С. 38–42.

12. Клитченко М.А. Построение геолого-генетических моделей ртутных месторождений на примере Никитовского рудного поля (Донбасс) / М.А. Клитченко, В.Г. Суярко // Геология рудных месторождений. – 1989. – №5. – С. 57-68.
13. Кропоткин П.Н. Дегазация Земли и генерация углеводородов / П.Н. Кропоткин // Журнал Всесоюзного химического общества имени Д.И. Менделеева. – 1986. – Т.31. – №5. – С. 540-547.
14. Кудрявцев Н.А. Генезис нефти и газа / Н.А. Кудрявцев. – Ленинград: Недра, 1973. – 216 с.
15. Кучеров В.Г. Генезис углеводородов и образование залежей нефти и природного газа / В. Г. Кучеров // Научно-технический сборник "Вестник газовой науки". – 2013. – №1. – С. 86–91.
16. Лазаренко Е.К. Минералогия Донецкого бассейна / Е.К. Лазаренко, Б.С. Панов, В.И. Павлишин. – Киев: Наукова думка, 1975. – Ч. 2. – 502 с.
17. Лукин А.Е. Литогеодинамические факторы нефтегазонакопления в авлакогенных бассейнах / А.Е. Лукин. – К.: Наукова думка, 1997. – 225 с.
18. Лукин А.Е. О происхождении нефти и газа (геосинергетическая концепция природных углеводородно-генерирующих систем) // Геол. журнал. – 1999. – № 1. – С. 30–42.
19. Лукин А.Е. Глубинные факторы формирования Припятско-Днепроовско-Донецкой системы нефтегазоносных бассейнов / А.Е. Лукин, П.Ф. Шпак // Геологический журнал, 1991. – №5. – 27-38.
20. Лукин А.Е. О сквозьформационных флюидопроводящих системах в нефтегазоносных бассейнах / А.Е. Лукин // Геол. журнал. – 2004. – №3. – С. 34-45.
21. Лукин А.Е. Дегазация земли, нефтидогенез и нефтегазоносность. Статья 2 / А.Е. Лукин // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2016. – № 4. – С. 79-94.
22. Реддер Э. Флюидные включения как реликты рудообразующих флюидов / Э. Реддер // Геохимия гидротермальных рудных месторождений. – Москва: Мир, 1970. – С. 428-479.
23. Слободской Р.М. Элементарноорганические соединения и эндогенное рудообразование / Р.М.Слободской // Советская геология. – 1978. – №3. – С. 54-67.
24. Суярко В.Г. Изотопный склад карбону бітумів гідротермальних полів Донбасу / В. Г. Суярко, Л. В. Іщенко // Доповіді Національної академії наук України. – 2018. – № 11. – С. 63-67.
25. Суярко В.Г. Геохимические особенности подземных вод Донбасса / В.Г. Суярко // Геохимия. – 1988. – № 5. – С. 738-747.
26. Суярко В.Г. Геохимия подземных вод восточной части Днепровско-Донецкого авлакогена / В.Г. Суярко. – Харьков: ХНУ им. В.Н. Каразина, 2006. – 296 с.
27. Суярко В.Г. Гидрогеохимические особенности и поисковые критерии ртутных месторождений Донбасса / В.Г. Суярко // Геол. журнал. – 1981. – №2. – 147-149.
28. Суярко В.Г. До питання про можливі причини формування гідрокарбонатно-натрієвих вод у глибинних горизоннтах палеозою / В.Г. Суярко, О.М. Істомін // ДАН України. – 2005. – № 2. – С. 114-116.
29. Суярко В.Г. О возрасте ртутного оруденения Никитовского рудного поля / В.Г. Суярко, М.А. Клитченко // Условия локализации сурьмяно-ртутного и флюоритового оруденения в рудных полях. – Новосибирск: Наука, 1991. – С. 72-74.
30. Уайт Э.Д. Месторождения ртути и цветных металлов, связанные с термальными минеральными источниками / Э.Д. Уайт // Геохимия рудных месторождений / Э.Д. Уайт. – Москва: Мир, 1970. – С. 479–524.
31. Хаин В.Е. Рифтогенез и нефтегазоносность: основные проблемы / В.Е. Хаин, Б.А. Соколов // Геологический журнал, 1991. – №5. – С. 3-12.
32. Чекалюк Э.Б. Нефть верхней мантии Земли / Э.Б. Чекалюк. – Киев: Наукова думка, 1967. – 256 с.
33. Чекунов А.В. Геодинамика палеорифтов Украины/ А.В. Чекунов, В.К. Гавриш, Р.И. Кутас // Геологический журнал, 1990. – №6. – С. 3-10.
34. Chorowicz, J. Transfer and transform fault zones in continental rifts: examples in the Afro-Arabian Rift System. Implications of crust breaking // J. Afr. Earth Sci., 1989, 8;(2/4). – P. 203-214.
35. Liu D. Bitumen and Dispersed Organic Matter Related to Mineralization in Stratabound Deposits, South China / D. Liu, J. Fu, R. Jia // Bitumens in Ore Deposits. – 1993. – №9. – С. 171–175.
36. Parnell J. Fluid inclusion constraints on temperatures of petroleum migration from authigenic quartz in bitumen veins / J. Parnell, P. Carey, B. Monson // Chemical Geology. – 1996. – №129. – С. 217–226.
37. Suyako V.G. Bitumen-hydrothermal mineral association in the rocks of the eastern part Dnipro-Donetsk rift / V.G. Suyako, L.V. Ishchenko // Nowoczesna nauka: teoria i praktyka: Mater. II Międz. Konf. Nauk.- Prakt. – 2018. – P. 273-275.
38. 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. Gavrilyuk // Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology". – 2018. – №48. – P. 113–123. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-48-09>

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

UDC 556.314:550.4

**Vasyl Suyarko,**

Doctor of Science (Geology and Mineralogy), Professor,  
V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,  
e-mail: [vgস্যুয়ার্কো@gmail.com](mailto:vgস্যুয়ার্কো@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-3693-4767>;

**Liliya Ishchenko,**

PhD (Geology), Department of Mineralogy, Petrography and Minerals,  
V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [lvishchenko23@gmail.com](mailto:lvishchenko23@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0848-368X>;

**Artem Yerofiev,**

PhD Student, Department of Mineralogy, Petrography and Minerals,  
V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [pro100graf@gmail.com](mailto:pro100graf@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-7228-8934>;

**Valeriy Sukhov,**

PhD (Geology), Head Laboratory, Department of Geology, V. N. Karazin Kharkiv National University,  
e-mail: [donsanchos77@gmail.com](mailto:donsanchos77@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-5784-5248>;

**Yanina Shmorh,**

PhD (Geology), Institute of Geological Sciences,  
25 A Lubicz St., Krakow, 31-503, Poland,  
e-mail: [shmorh@inig.pl](mailto:shmorh@inig.pl), <https://orcid.org/0000-0003-2359-2048>

## HEAVY METALS IN OILS AND FORMATION OF BITUMEN-HYDROTHERMAL ASSOCIATIONS IN THE ROCKS OF THE DNEIPER-DONETSK PALEORIFT

**Formulation of the problem of the article.** The problem of common finding of hydrocarbons and heavy metals in the geological space is very interesting from the point of view of theoretical and practical meaning. It was discussed in many works of domestic and foreign scientists from different positions, stipulated by the absence of ambiguity in the explanation of this fact. It is important that heavy metals are present not only in oils, but also in bitumen of bituminous-hydrothermal mineral associations of ore fields in the region.

**The main aim of the article** is to research the genetic, spatial and temporal correlation of heavy metals and hydrocarbons.

**Research Methods.** The processes adducting to the accumulation of heavy metals in oils and the formation of bituminous-hydrothermal associations in rocks have been researched. In particular, the definition of heavy metals in oils from various deposits of the Dnieper-Donetsk basin was performed using the X-ray fluorescence method and the definition of the isotopic composition of carbon of solid bitumen - by mass spectrometric methods.

**Results.** The processes adducting to the accumulation of heavy metals in oils and the formation of bituminous-hydrothermal associations in rocks have been researched. These processes are associated with ascending heat and mass transfer, which adduct to the unloading of fluid streams, which contained a variety of chemical elements, including compounds of carbon dioxide, methane, mercury vapor, and complexes of heavy metal. Spatially, that process coincides with the anticlinal structures which accompany the zones of deep faults.

It has been found that the concentrations of heavy metals in oils are associated with the peculiarities of deposits formation within different geological structures. Physical-chemical conditions for the formation of hydrocarbon-hydrothermal fluid systems, which involve both biogenic and abiogenic (synthesized) hydrocarbons, were determined. The established geochemical regularity of increasing concentrations of heavy metals with the depth of oil occurrence is associated with high contents of sulfur compounds in the form of hydrothermal sulfide minerals, which are actively hydrolyzed at high temperatures and lead to leaching of metals and their entry into fluid's systems where stable sulfur complexes are formed.

**Scientific novelty and practical importance.** The formation of hydrocarbon-heavy metal systems within the Dnieper-Donetsk basin occurs with the participation of synthesized and organic hydrocarbons, as well as mantle exhalates and hydrothermal vent. The result is cooling of these systems. Hydrocarbon fractions (oil) are enriched with heavy metals, and hydrothermal vents are enriched with bitumen-forming naphthides. The practical importance of this research is increase in the efficiency of forecasting and prospecting of hydrocarbon deposits at the expense of theoretical modeling of the bituminous-hydrothermal mineral associations formation in ore fields.

**Keywords:** heavy metals, oil, bitumen-hydrothermal associations, paleorift, faults, ascending heat and mass transfer, fluids.

#### References

1. Bagrij I. D. (2016). *Gidro-geosinergeticheskaja biogenno-mantijnaja gipoteza obrazovanija uglevodorodov i ejo rol' pri obosnovanii prjamopoiiskovoj tehnologii [Hydro-geosynergetic biogenic-mantle hypothesis of hydrocarbon formation and its role in substantiating direct search technology]. Geological Journal, 2, 107–132.*
2. Bartashhuk O. V. (2016). *Sy`stemma organizaciyi dy`z'yunkty`vnoyi tektoniky` konsolidovanogo fundamentu Dniprovs`ko–Donecz`kogo paleory`ftu. Chasty`na 1. Lineamenty` [System organization of disjunctive tectonics of the consolidated foundation of the Dnieper-Donetsk paleorift. Part 1. Lineaments]. Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", 45, 14–22.*
3. Bezruk K. O., Ly`sy`chenko G. V., Suyarko V. G. (2013). *Geoximiya rtuti i pidzemny`x vodax geologichny`x struktur Donecz`koyi skladchatoyi sporudy [Geochemistry of mercury and groundwater of geological structures of Donetsk folded structure]. Ky`yiv: Vy`d–vo NAN Ukrainy`, 132.*
4. Belous I. R. (1986). *O regional'nyh strukturah, kontrolirujushhih sur'mjano-rtutnoe orudnenie Donbassa i Dneprovsko-Doneckoj vpadiny [About the regional structures controlling antimony-mercury mineralization]. Geological Journal, 46 (2), 125-132.*
5. Vassoevich N. B. (1986). *Geohimija organicheskogo veshhesta i proishozhdenie nefiti [Geochemistry of organic matter and the genesis of oil]. Izbrannye trudy. Moscow, Russia: Nauka, 324-339.*
6. Voznyak D. K. (2007). *Mikrovklyuchennya ta rekonstrukciya umov endogennoho mineraloutvorennya [Microinclusion and reconstruction of conditions of endogenous mineral formation]. Ukraine, Ky`yiv, Naukova dumka, 279.*
7. Gavry`sh V. K., Dobryans`ky`j L. A., Kury`lo M. V. (1987). *Rtutno-vuglevodneva zonal`nist` Dono-Dniprovs`kogo progy`nu [Mercury-hydrocarbon zonation of the Don-Dnieper depression]. Dop. AN URSSR, 7, 18-21.*
8. Yerofyeyev A. M. (2019). *Vmist vazhky`x metaliv u naftax pry`karpats`koyi ta Dniprovs`ko-Donecz`koyi naftogazonosny`x provincij Ukrainy` [The content of heavy metals in the oils of the Carpathian and Dnieper-Donetsk oil and gas provinces of Ukraine]. Science Rise, 9, 27-31.*
9. Yerofyeyev A. M., Berezovs`ky`j I. (2019). *Pro vmisty`, migraciyu ta koncentraciyu vazhky`x metaliv u naftax (na pry`kladi Dniprovs`ko-Donecz`koyi zapady`ny` ta Pry`karpats`kogo progy`nu) [On contents, migration and concentration of heavy metals in oils (case of the Dnieper-Donetsk basin and the Carpathian Depression)]. Geologiya i geoximiya goryuchy`x kopaly`n, 1 (178).*
10. Ishhenko L. V. (2016). *Bitumo-gidrotermal`ni asociaciyi Druzhkivs`ko-Kostyanty`nivs`koyi anty`klinali (Donbas). Suchasni problemy` geologichny`x nauk. VI Vseukrayins`koyi molodizhnoyi naukovoyi konferenciyi-shkoly` [Bitumen-hydrothermal associations of Druzhkivsko-Konstantinovskaya anticline (Donbass)]. Ukraine Ky`yiv, 43–46.*
11. Ishhenko L. V. (2016). *Zakonomirnosti rozmishhennya pokladiv vuglevodniv ta zon gidrotermal`noyi mineralizaciyi na tery`toriyi sxidnoyi chasty`ny` Donecz`koyi skladchatoyi sporudy` [Regularities placement of deposits of hydrocarbon and zones of hydrothermal mineralization on the territory of the eastern part of the Donetsk folded structure]. Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", 45, 38–42.*
12. Klitchenko M. A., Sujarko V. G. (1989). *Postroenie geologo-geneticheskikh modelej rtutnyh mestorozhdenij na primere Nikitovskogo rudnogo polja (Donbass) [The construction of geological and genetic models of mercury deposits for example of the Nikitovsky ore`s field (Donbass)]. Geologija rudnyh mestorozhdenij, 5, 57-68.*
13. Kropotkin P. N. (1986). *Degezacija Zemli i generacija uglevodorodov [Degassing of Earth and hydrocarbon generation]. Zhurnal Vsesojuznogo himicheskogo obshhestva imeni D.I. Mendeleeva, 31(5), 540-547.*
14. Kudrjavcev N. A. (1973). *Genesis nefiti i gaza [The genesis of oil and gas]. Leningrad, Nedra, 216.*
15. Kucherov V. G. (2013). *Genesis uglevodorodov i obrazovanie zalezhej nefiti i prirodnoho gaza [Genesis of hydrocarbons and formation deposits of oil and natural gas]. Nauchno-tehnicheskij sbornik "Vesnik gazovoj nauki", 1, 86–91.*
16. Lazarenko E. K., Panov B. S., Pavlishin V. I. (1975). *Mineralogija Doneckogo bassejna [Mineralogy of the Donetsk basin]. Kiev: Naukova dumka, 502.*
17. Lukin A. E. (1997). *Litogeodinamicheskie faktory neftegazonakoplenija v avlakogennyh bassejnah [Lithogeodynamic factors of oil and gas accumulation in aulacogenic basins]. Kiev: Naukova dumka, 225.*
18. Lukin A. E. (1999). *O proishozhdenii nefiti i gaza (geosinergeticheskaja koncepcija prirodnyh uglevodorodno-generirujushhih sistem) [On the origin of oil and gas (geosynergetic concept of natural hydrocarbon-generating systems)]. Geological Journal, 1, 30–42.*
19. Lukin A. E., Shpak P. F. (1991). *Glubinnye faktory formirovanija Pripjatsko-Dneprovsko-Dneckoj sistemy neftegazonosnyh bassejnov [Deep factors of the formation of the Pripyat-Dnieper-Donets system of oil and gas basins]. Geological Journal, 5, 27-38.*
20. Lukin A. E. (2004). *O skvoz'formacionnyh fljuidoprovodjashhih sistemah v neftegazonosnyh bassejnah [On Cross-Formation Fluid-Conducting Systems in Oil-and-Gas-Bearing Basins]. Geological Journal, 3, 34-45.*
21. Lukin A. E. (2016). *Degazacija zemli, naftidogenez i neftegazonosnost' [Degassing of the earth, and oil and gas naftidogenesis. Article 2]. Stat'ja 2. Zbirnik naukovih prac' UkrDGRI, 4, 79-94.*
22. Redder Je. (1970). *Fljuidnye vkljuchenija kak relikty rudoobrazujushhih fljuidov. Geohimija gidrotermal'nyh rudnyh mestorozhdenij [Fluid inclusions as relics of ore-forming fluids]. Moskow: Mir, 428–479.*



23. Slobodskoj R. M. (1978). *Jelementorganicheskie soedinenija i jendogennoe rudoobrazovanie [Organoelement compounds and endogenous ore formation]*. *Sovetskaja geologija*, 3, 54–67.
24. Suyarko V. G., Ishhenko L. V. (2018). *Izotopnyj sklad karbonu bitumiv gidrotermal'nyx poliv Donbasu [Isotopic composition of carbon bitumen of hydrothermal fields of Donbass]*. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 11, 63-67.
25. Sujarko V. G. (1988). *Geohimicheskie osobennosti podzemnyh vod Donbassa [Geochemical features of groundwater of the Donbass]*. *Geohimija*. 5, 738-747.
26. Sujarko V. G. (2006). *Geohimija podzemnyh vod vostochnoj chasti Dneprovsko-Donetskogo avlakogena [Geochemistry of underground waters of the eastern part of the Dnieper-Donets aulacogene]*. Kharkiv, V.N. Karazin KhNU, 296.
27. Sujarko V. G. (1981) *Gidrogeohimicheskie osobennosti i poiskovyje kriterii rtutnyh mestorozhdenij Donbassa [Hydrogeochemical features and search criteria for mercury deposits of Donbass]*. *Geological Journal*, 2, 147-149.
28. Suyarko V. G., Istomin O. M. (2005). *Do py'tannya pro mozhy'vi pry'chy'ny` formuvannya gidrokarbonatno-natrijevy`x vod u gly'bny`x gory`zontax paleozoyu [To the question of possible causes of the formation of hydrocarbonate-sodium waters in the deep horizons of the Paleozoic]*. *DAN Ukrayiny`*, 2, 114-116.
29. Sujarko V. G., Klitchenko M. A. (1991). *O vozraste rtutnogo orudnenija Nikitovskogo rudnogo polja. Uslovija lokalizacii sur'mjano-rtutono i fljuoritovogo orudnenija v rudnyh poljah [About the age of mercury mineralization of the Nikitovsky ore field. Conditions of localization of antimony-mercury and fluorite mineralization in ore fields]*. Novosibirsk: Nauka, 72-74.
30. Uajt Je. D. (1970). *Mestorozhdenija rtuti i cvetnyh metallov, svjazannye s termal'nymi mineral'nymi istochnikami. [Deposits of mercury and non-ferrous metals associated with thermal mineral sources]*. *Geochemistry of ore deposits*. Moscow: Mir, 479–524.
31. Hain V. E., Sokolov B. A. (1991). *Riftogenez i neftegazonosnost': osnovnovnye problem [Riftogenesis and oil and gas potential: main problems]*. *Geological Journal*, 5, 3-12.
32. Chekaljuk Je. B. (1967). *Neft' verhnjej mantii Zemli [Oil of the upper mantle of the Earth]*. Kiev: Naukova dumka, 256.
33. Chekunov A. V., Gavrish V. K., Kutas R. I (1990). *Geodinamika paleoriftov Ukrainy [Geodynamics of paleorifts of Ukraine]*. *Geological Journal*, 6, 3-10.
34. Chorowicz, J. (1989). *Transfer and transform fault zones in continental rifts: examples in the Afro-Arabian Rift System. Implications of crust breaking*. *J. Afr. Earth Sci.*, 8:(2/4), 203-214.
35. Liu D. J. Fu, R. Jia (1993). *Bitumen and Dispersed Organic Matter Related to Mineralization in Stratabound Deposits, South China. Bitumens in Ore Deposits*, 9, 171–175.
36. Parnell J. Carey P., Monson B. (1996). *Fluid inclusion constraints on temperatures of petroleum migration from authigenic quartz in bitumen veins*. *Chemical Geology*, 129, 217–226.
37. Suyarko V. G., Ishchenko L. V. (2018). *Bitumen-hydrothermal mineral association in the rocks of the eastern part Dnipro-Donetsk rift. Nowoczesna nauka: teoria i praktyka: Mater. II Międz. Konf. nauk.- prakt.*, 273-275.
38. Suyarko V. G. Ishchenko L. V., Gavrylyuk 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>

# ГЕОГРАФІЯ

УДК 911.9[502.6:504.054]

**Галаган Олександр Опанасович,**

к. геогр. н, зав. навчальної екологічної лабораторії  
Київського національного університету імені Тараса Шевченка,  
просп. Глушкова, 2-А, м. Київ, 03680, Україна,  
e-mail: [geolab@ukr.net](mailto:geolab@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-1449-3638>;

**Корогода Наталія Петрівна,**

к. геогр. н., доцент кафедри фізичної географії та геоecології  
Київського національного університету імені Тараса Шевченка,  
e-mail: [nkorogoda@ukr.net](mailto:nkorogoda@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-1518-2997>;

**Гродзинський Михайло Дмитрович,**

д. геогр. н., зав. кафедри фізичної географії та геоecології  
Київського національного університету імені Тараса Шевченка,  
e-mail: [mgrodz@ukr.net](mailto:mgrodz@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0001-6461-6531>;

**Ободовський Олександр Григорович,**

д. геогр. н., професор кафедри гідрології та гідроекології  
Київського національного університету імені Тараса Шевченка,  
e-mail: [obodovskiy58@gmail.com](mailto:obodovskiy58@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-3778-0189>

## ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ ПРИАВТОМАГІСТРАЛЬНИХ ГЕОСИСТЕМ СПОЛУКАМИ СВИНЦЮ

*Робота присвячена перевірці положень методики геоінформаційного моделювання актуального рівня забруднення сполуками свинцю ґрунтів приавтомагістральних геосистем. Методика використовує геоінформаційні та математичні моделі, за якими описується поведінка сполук свинцю при формуванні поля забруднення. Це моделі просторового розповсюдження важких металів в атмосферному повітрі, ґрунті, системі «ґрунт-рослина». Відпрацювання положень методики відбувалось в межах тестової ділянки, що має типові для природної зони мішаних лісів рівнинний флювіогляціальний та флювіальний рельєф, близьке до поверхні залягання ґрунтових вод, наявність заболочених територій, наявність ґрунтів переважно легкого механічного складу з кислою реакцією та фульватним типом гумусу. В процесі моделювання було визначено загальну кількість сполук свинцю, що надходить за одиницю часу в геосистему. За моделю розсіювання домішок в атмосфері було отримано картографічне відображення розподілу сполук свинцю у приземних шарах атмосфери. Визначено кількість сполук свинцю, що потрапляє на поверхню ґрунту з приземних шарів атмосфери. На основі побудованої поверхні було визначено кількість свинцю, що виносяться з ґрунтів в процесі латеральної, радіальної та біогенної міграції. В результаті моделювання було визначено просторові параметри поля забруднення та швидкість процесу забруднення (або, навпаки, самоочищення) ґрунтів за основними геохімічними сценаріями. Встановлено, що в геосистемах тестової ділянки найвищу ймовірність акумуляції за сценарієм латеральної міграції мають замкнені від'ємні форми рельєфу. Визначення інтенсивності міграції розчинних форм свинцю у ґрунтах в процесі радіальної міграції, показало, що через проведене вапнування ґрунтів, лише на невеликій частині тестової ділянки простежується «дуже слабка» інтенсивність міграції металу, та, відповідно, «слабка» небезпека забруднення рослин. Переважно це стосується накопичення розчинних сполук свинцю в рослинах концентраторах. Дана методика може бути застосована для будь-якого важкого металу та інших фізико-географічних умов, що дозволяє реалізовувати таке моделювання в проектах екологічного менеджменту, визначаючи оптимальний рівень антропогенного навантаження у межах приавтомагістральних агроecосистем.*

**Ключові слова:** геоінформаційне моделювання, забруднення ґрунтів, сполуки свинцю, приавтомагістральні геосистеми, латеральна міграція, радіальна міграція.

**А. А. Галаган, Н. П. Корогода, М. Д. Гродзинский, А. Г. Ободовский. ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ПРИАВТОМАГИСТРАЛЬНЫХ ГЕОСИСТЕМ СОЕДИНЕНИЯМИ СВИНЦА.** Работа посвящена проверке методики геоинформационного моделирования актуального уровня загрязнения соединениями свинца почв приавтомагистральных геосистем. В методике используются геоинформационные и математические модели, с помощью которых описывается поведение соединений свинца при формировании поля загрязнения. Это модели пространственного распределения тяжелых металлов в атмосферном воздухе, почве, системе «почва-растение». Отработка положений методики происходила в пределах тестового участка, который имеет типичные для природной зоны смешанных лесов равнинный флювиогляциальный и флювиальный рельеф, близкое к поверхности залегание грунтовых вод, наличие заболоченных территорий, наличие почв преимущественно легкого механического состава с кислой реакцией и фульватным типом гумуса. В процессе моделирования было определено общее количество соединений свинца, попадающее за единицу времени в пределы геосистемы. Используя модель рассеивания примесей в атмосфере, было получено картографическое отображение распределения соединений свинца в приземных слоях атмосферы. Определено количество соединений свинца, попадающее на поверхность почвы из приземных слоев атмосферы. На основе построенной поверхности рассчитывалось количество свинца, выносящееся из почв, в процессе латеральной, радиальной и биогенной миграции. В ре-

зультате моделювання були визначені просторові параметри поля забруднення і швидкість процесу забруднення (або, навпаки, самоочищення) ґрунту за основними геохімічними сценаріями. Встановлено, що в геосистемах тестового ділянки найвищою ймовірністю накопичення за сценарієм латеральної міграції мають замкнуті негативні форми рельєфу. Визначення інтенсивності міграції розчинимих форм свинцю в ґрунтах в процесі радіальної міграції показало, що через проведеного раніше известкування ґрунту, лише на невеликій частині тестового ділянки простежується «дуже слабка» інтенсивність міграції металу, і відповідно «слабка» небезпека забруднення рослин. Переважно це стосується накопичення розчинимих сполук свинцю в рослинах-концентраціях. Ця методика може застосовуватися для різних важких металів і інших фізико-географічних умов, що дозволяє реалізувати подібне моделювання в проектах екологічного менеджменту, визначаючи оптимальний рівень антропогенного навантаження в межах приватомагістральних агрокосмосистем.

**Ключові слова:** геоінформаційне моделювання, забруднення ґрунту, сполуки свинцю, приватомагістральні геосистеми, латеральна міграція, радіальна міграція.

**Вступ.** Підтримання стабільного стану ландшафтів є одним із головних завдань Європейської ландшафтної конвенції [35]. Однією з проблем, що виникає у досягненні цієї мети є складність визначення ступеня та швидкості зміни характеристик ландшафту або його окремих компонентів. Необхідність чіткої, передусім кількісної, оцінки стану та швидкості змін у компонентах ландшафту, в тому числі їх забруднення, а також просторових характеристик даного процесу є нагальним питанням сьогодення.

Одним з чинників антропогенного впливу на ландшафти є автомобільний транспорт, роль якого у забрудненні атмосферного повітря постійно зростає. Наприклад у Київській області кількість забруднюючих речовин від автотранспорту за 20 років (1994-2014 рр.) зросла на 57 % з 93,9 до 147,6 тис. т. [21]. Серед інших поллютантів, автотранспорт виступає і джерелом емісії сполук важких металів (ВМ): Zn, Cu, Ni, Cd. При цьому, незважаючи на прийняті в ЄС вимоги [33], на сьогодні відпрацьовані гази з двигунів лишаються джерелом надходження сполук свинцю в геосистеми поблизу автодоріг.

ґрунти є одним з тих геокомпонентів, характеристика яких є найбільш інформативною при визначенні стану ландшафтів. Це обумовлено декількома причинами: по-перше у ґрунтах зосереджуються потоки хімічних елементів, по-друге – ґрунт є певним природним буфером, властивості якого визначають можливість та швидкість перенесення хімічних елементів, зокрема важких металів, в інші геокомпоненти.

Актуальність дослідження забруднення ґрунтів сполуками ВМ полягає перш за все у властивостях самих ВМ, головною з яких є здатність до надтривалого перебування в ґрунтах, в результаті чого відбувається їх накопичення. Наприклад, період напіввиведення з ґрунту Zn складає 500 років, Cd – 1100, Cu – 1500, Pb – 5900 років [14]. Це пояснює майже повсюдне підвищення концентрацій сполук ВМ та формування локальних геохімічних аномалій у ґрунтах приватомагістральних геосистем.

Сполуки ВМ, серед яких і свинець, залежно від фізико-хімічних властивостей ґрунту мають

можливість мігрувати у рослини, в тому числі і продукцію рослинництва, оскільки часто в безпосередній близькості до автошляхів розташовані сільськогосподарські угіддя. Така продукція може стати джерелом небезпеки для здоров'я населення. Тож виявлення нинішніх і майбутніх «потенційно небезпечних» ділянок, що виникають як за рахунок осадження ВМ з атмосферного повітря, так і їх перерозподілу в ґрунтах за рахунок геохімічної міграції, є актуальним напрямком у геоекологічних дослідженнях.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогодні існує значний науковий доробок, що стосується оцінки умов перерозподілу важких металів у ландшафтах, зокрема досліджувались закономірності поширення та акумуляції ВМ у різних типах ґрунтів: [4, 22-24, 34]. Детально досліджувались рельєфозалежні фактори міграції, з'ясовано просторовий розподіл вмісту важких металів в поверхневому шарі ґрунтів ерозійних ландшафтно-геохімічних систем [4, 32] тощо. Існує також низка досліджень, присвячена безпосередньо проблемі забруднення ґрунтів приватомагістральних геосистем сполуками свинцю. Преш за все це роботи, що стосуються питань: формування загального поля забруднення вздовж автомагістралей [8, 39], зокрема на території міст [34], зв'язку між ступенем забрудненості ґрунту та рослинного покриву [19, 40, 41], у тому числі обумовленості ступеня забрудненості сільськогосподарських культур рівнем забрудненості ґрунту [38] та ін.

Безумовно, одним з найбільш інформативних способів дослідження міграційних процесів є моделювання. Наразі існує ряд моделей, за якими зокрема описуються процеси міграції речовин у ґрунтах. Зокрема математичні, статистичні, фізико-хімічні, ерозійні моделі тощо [8, 13, 25, 29, 31, 32, 37].

Візуалізація результатів моделювання, звичайно відображається при складанні відповідних карт. Методичні основи ландшафтного, ландшафтно-геохімічного та еколого-геохімічного напряму картографування представлені у роботах: М.А. Глазовської, О.І. Перельмана, В.В. Добровольського; К.Т. Геренчука, А.А. Відіної, Г.П.

Міллера та ін.; В.С. Давидчука, Л.Ю. Сорокіної та ін.; Л.Л. Малишевої; Саєта та ін. [11, 18, 23]. Ці методичні підходи, є основою геоінформаційного моделювання міграції хімічних елементів в геосистемах. Геоінформаційне моделювання, на відміну від інших, дозволяє, за дискретними даними, визначати просторові параметри поля забруднення, розраховувати «щільність явища» на досліджуваній території, а також залежність між декількома геопараметрами. У низці робіт, передусім у [3-5, 11, 15-17, 26, 27] узагальнено і представлено основні методичні підходи, а також математичні і геоінформаційні моделі, які можуть стати ефективними для геоінформаційного моделювання забруднення приавтомагістральних геосистем важкими металами.

**Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми.** Аналіз публікацій, засвідчує, що загальною тенденцією є зменшення кількості поллютантів в ґрунтах при віддаленні від джерела емісії. Втім, досить часто, території, розташовані на значній відстані від джерела емісії, мають вищі концентрації поллютантів ніж ті, що знаходяться в безпосередній близькості до нього. Останнє відбувається внаслідок міграційних процесів поллютантів в ґрунті [36]. Саме постійно триваючий процес перерозподілу наявних поллютантів, а також перманентний характер емісії «нових» в приавтомагістральні геосистеми, обумовлюють складність при визначенні ступеня забруднення ґрунтів геосистем та швидкості цього процесу. Тож невіршеними на сьогодні лишаються проблеми: а) визначення просторових характеристик існуючого поля забруднення, задля виявлення «безпечних територій» ведення сільського господарства; б) визначення місць розташування таких територій у майбутньому, зважаючи на основні геохімічні сценарії поведінки поллютантів у ґрунті та силу антропогенного тиску.

**Формулювання мети статті.** Названі проблеми можуть бути вирішені при застосуванні ГІС-інструментарю у процесі моделювання міграційних сценаріїв поведінки ВМ у ґрунті. У наших попередніх роботах [5-8] була представлена методика геоінформаційного моделювання при визначенні забруднення ґрунтів приавтомагістральних геосистем важкими металами. Дана методика дозволяє визначити баланс ВМ, як різницю між «забрудненням» і «очищенням» та встановити актуальний рівень забруднення (АРЗ) приавтомагістральних геосистем.

З огляду на необхідність комплексного підходу при аналізі інтегральних залежностей і взаємодій поллютантів і компонентів геосистеми, та використовуючи актуальні підходи в геоекології, доцільним вважаємо проведення оцінки стану та

моделювання міграційних сценаріїв поведінки сполук ВМ в межах *приавтомагістральних геосистем*, що визначаються як природно-технічні геосистеми, які знаходяться в зоні впливу дорожніх об'єктів I та II екологічних класів (оскільки за своїми характеристиками такі об'єкти є потенційно найбільш небезпечними [28]). Відповідно до масштабу дослідження, геосистеми тестової ділянки розглядалися на рівні урочищ, проте межі саме приавтомагістральних геосистем визначалися нами за рівнем забруднення ґрунтів, оскільки останні є хоча й відкритою, але досить консервативною складовою геосистеми, де відбуваються відтерміновані у часі процеси фізичної, хімічної та біологічної активності речовини, в тому числі міграційні процеси. Відповідно зміни, які відбуваються в ґрунтах, найбільш інформативно віддзеркалюють ситуацію в геосистемі загалом. Таким чином приавтомагістральними геосистемами ми вважали урочища (або їх частини) рівень забруднення ґрунтів яких, за коефіцієнтом техногенної концентрації (коефіцієнтом аномальності) визначається як «помірний» [12].

Проте, процес моделювання потребує своєї перевірки для реальних територій з різними геохімічними сценаріями перерозподілу важких металів. Тож, метою роботи стала перевірка вищезгаданої методики в умовах природної зони мішаних лісів, що складають близько 18% площі рівнинної частини України. Відповідно до поставленої мети, у даній роботі вирішується низка завдань:

1. викладення положень згаданої методики;
2. власне моделювання актуального рівня забруднення на прикладі тестової ділянки, зважаючи на особливості поведінки ВМ в умовах, типових для зони мішаних лісів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Відповідно завдань роботи, по-перше наведемо *методичні аспекти реалізації моделювання*. Територіальний розподіл та поведінка важких металів, що містяться у викидах автотранспорту, визначаються не лише властивостями самих поллютантів, а й умовами території. Так, М.А. Глазовською при вивченні стійкості геосистем, як їх здатності до самоочищення, було вирішено ландшафтні, ландшафтно-геохімічні та ландшафтно-геофізичні фактори, що визначають можливості виносу і розсіяння хімічних елементів і відображають міграційні сценарії, характерні для сполук ВМ [10]. Так, наприклад, між фізико-хімічними властивостями ґрунту та рухомістю важких металів встановлена тісна кореляційна залежність [30]. Тож, по-перше, були визначені властивості ґрунтів, що створюють умови міграції. Такими властивостями є:

1. Лужно-кислотні (рН). Це пояснюється тим, що присутність карбонатного, гідрокарбонатного та сульфатного іонів в ґрунтовому розчині призводить до утворення нерозчинних сполук ВМ з лужноземельними металами (Са, Mg, Sr, Ва) і призупинення їх хімічної міграційної активності, аж до повного виведення з міграційних потоків. Вже при слаболужних значеннях у верхньому шарі ґрунтів (0–5см) відбувається акумуляція важких металів. Натомість у кислому середовищі зазначені елементи є більш рухливими і відбувається їх вилуговування через профіль легкодренованих ґрунтів з інфільтруючими потоками.

2. Окисно-відновний потенціал (Eh) - при зміні окисно-відновної обстановки в сторону відновної виникають умови для підвищення рухливості більшості металів.

3. Вміст та склад гумусу – поведінка металів в ґрунті визначається їх закріпленням гумусовою речовиною в процесі обмінної адсорбції на поверхні гумусу і через формування з гумусом комплексних сполук. Тому, подекуди, пропонується використання гумінових сполук (гумату натрію), як один зі способів обмеження міграції ВМ. Проте, наявність в складі гумусової речовини фульвокислот, з якими метали утворюють водорозчинні комплексні сполуки, призводить до активізації процесів радіальної міграції останніх [1].

4. Ємність катіонного обміну ґрунту, що контролює швидкість міграції ВМ по профілю, визначають наступні властивості:

- мінералогічний склад, а саме вміст карбонатів та гіпсу, що обумовлює абсорбційну здатність ґрунту;

- кількість глинистих мінералів, що є сильним сорбентом, здатним міцно закріплювати елементи за рахунок обмінної адсорбції поверхнею глин;

- співвідношення кількості кварцу та польового шпату - мінералів, які майже не утримують хімічні елементи, до кількості монтморилоніту та вермикуліту, тобто мінералів з великою сорбційною ємністю;

- механічний або гранулометричний склад, зокрема наявність та кількість мулуватої фракції, оскільки від неї залежить сорбційна ємність ґрунту, а також його щільність, а отже, фільтраційні властивості. Наявність та кількість глинистої фракції має прямий вплив на закріплення важких металів. На ґрунтах з важким механічним складом небезпека надходження ВМ в рослини є нижчою (найбільшу здатність до фіксації мають важкі суглинки);

- ступінь насиченості катіонами (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>) визначає поглинальну здатність ґрунтів і

їх спроможність утримувати сполуки ВМ.

Іншим вагомим фактором перерозподілу поліантів, є рельєф території. Зокрема істотною є роль рельєфу, як орографічного бар'єру, що визначає напрямок формування та ширину зони розсіювання; напрямок та стрімкість схилів, що визначають параметри поверхневого стоку та ерозійних процесів, співвідношення акумулятивних, транзитних та елювіальних геосистем [17, 32]; положення геосистеми в ландшафтно-геохімічному спряженні, адже воно визначає процеси латеральної міграції, в результаті яких геохімічно підлеглі ландшафти депресій рельєфу можуть мати більш високі показники концентрації ВМ, ніж автономні ландшафти [10, 22].

Названі фактори, стали такими, які ми передусім враховували при визначенні актуального рівня забруднення (АРЗ) ґрунтів важкими металами. Рівень АРЗ дозволяє встановити не лише кількісні, а й «часові» параметри процесу забруднення (або очищення), що залежить як від величини антропогенного тиску (потужності джерела емісії), так і ландшафтно-геохімічних умов місцевості. А складені в результаті модельних побудов за допомогою ГІС-інструментарію моноелементні та/або поліелементні карти забруднення ґрунтів при автомагістральних геосистемах, а також територій, що не потрапляють в безпосередню зону впливу автошляху, проте мають підвищену концентрацію поліантів, за рахунок міграційних геохімічних процесів, дозволяють встановити і просторові параметри поля забруднення.

Задля реалізації методики весь процес геоінформаційного моделювання поділявся на два етапи:

1. визначення кількості привнесених ВМ за певний період часу;

2. визначення кількості винесених, та/або вилучених з міграційних шляхів металів за той самий часовий проміжок.

На кожному етапі власними моделями і засобами підтримувалося отримання, збереження масиву даних, а також аналіз і відображення результатів моделювання. Втім ефективність будь-якого моделювання визначається якістю «вхідних даних». Її забезпечує проведення польових та лабораторних досліджень ґрунтів на предмет вивчення основних умов міграції сполук свинцю. Зокрема, задля перевірки результатів моделювання, в даній роботі нами, під час польових досліджень були відібрані проби ґрунту на 83 точках. Пробовідбір відбувався у найбільш репрезентативних точках тестової ділянки, де існують ландшафтні умови для зміни напрямку та/або швидкості міграційних процесів. Задовільне співпадіння при співставленні результатів



лабораторних досліджень ґрунтів із побудованою в результаті моделювання картою забруднення сполуками свинцю ґрунтів тестової ділянки дало підстави для висновків про результативність методики.

Ґрунт відбирався з верхніх горизонтів (до 20 см). Під час лабораторних досліджень були визначені по-перше характеристики ґрунтів що визначають умови міграції сполук свинцю: рН; гранулометричний склад; вміст гумусу. По-друге – проведено дослідження ґрунтів на вміст сполук свинцю, методами рентген-флуоресцентного та атомноабсорбційного аналізу.

Задля ефективного процесу геоінформаційного моделювання про тестову ділянку були створені бази даних (БД). Для всіх рішень застосовується єдиний робочий програмний інструментарій універсальної повнофункціональної ГІС MapInfo Professional. При запитах до БД для геоінформаційного модельного аналізу використовувалися як стандартні, вбудовані і додатково укомплектовані, функціональні модулі обраного інструментарію ГІС, так і результати адаптації їх для певних нестандартних процедур, а також спеціально створені додатки.

В процесі роботи нами були побудовані, тематичні електронні карти, вихідного масштабу 1:10000 (ландшафтна карта, карта ґрунтів тощо). Разом з тим використовувались окремі геопросторові дані з бази OpenStreetMap (забудова, транспортна мережа та ін.).

Загалом БД містить блоки: «Надходження ВМ», «Очищення геосистем», які є геоінформаційним втіленням відповідних етапів моделювання.

У процесі моделювання були використані геоінформаційні та математичні моделі, за якими описується поведінка ВМ при формуванні первинного поля забруднення. Це моделі просторового розповсюдження домішок в атмосферному повітрі, зокрема модель М.С.Берлянда, що базується на рівняннях турбулентної дифузії [2]. Дана модель була використана при формуванні карти просторового розподілу ВМ в приземному шарі атмосферного повітря. Така модель була обрана, оскільки враховує як потужність джерела емісії, так і фізико-географічні фактори розподілу домішок, зокрема рельєф місцевості та мікрокліматичні характеристики території. Тож побудована таким чином поверхня відображає просторові характеристики та інтенсивність первинного поля забруднення.

Наступним етапом модельних розрахунків було визначення кількості сполук свинцю, що потрапляє на поверхню ґрунту з приземних шарів атмосфери. Ці розрахунки базувались на рівнянні регресії, що відображає залежність між

вмістом металів в приземному шарі повітря та їх концентрацією у верхньому шарі ґрунту. Тож, з побудованої поверхні забруднення приземного шару атмосферного повітря, при застосуванні рівнянь переходу поллютантів в інші депонуючі середовища, зокрема в поверхневий шар ґрунтів, було сформовано карту первинного поля забруднення ґрунтів приавтомагістральних геосистем.

Ще одним «джерелом постачання ВМ» в ґрунти можуть виступати і ґрунти сусідніх геосистем, передусім тих, що знаходяться вище в катенарному спряженні. Тому, при розрахунку кількості металів, що надходять в ґрунти геосистем за таким сценарієм, ми використовували моделі втрат ґрунту за рахунок ерозійних процесів [15, 20].

Ці ж моделі використовувались і при визначенні кількості металів, що виносяться за межі геосистеми за рахунок міграційних процесів (тобто другому етапі моделювання). Загалом, у відповідності до основних геохімічних сценаріїв поведінки ВМ у ґрунті, даний етап моделювання включав формування наступних субблоків [5]:

1. «Очищення ґрунтів від ВМ у процесі латеральної міграції», інформація з якого створює можливість на основі аналізу основних факторів міграції, визначити кількість ВМ, що виносяться за межі геосистем [25].

2. «Очищення ґрунтів від ВМ у процесі радіальної міграції», який дає можливість визначити (на основі методики [37] та моделей [29]):

- ділянки, на яких відбувається міграція розчинних форм ВМ,
- інтенсивність міграційних процесів,
- небезпечність ділянки її для господарського використання.

3. «Очищення ґрунтів від ВМ у процесі закріплення на геохімічних бар'єрах», що створює можливість визначення кількості ВМ, які будуть виведені з міграційних потоків.

4. «Очищення ґрунтів від ВМ за рахунок біогеохімічних процесів», в якому стає можливим визначення кількості ВМ, винесених за межі геосистем (наприклад з урожаєм).

По-перше обраховувалась кількість сполук свинцю, що виносяться з ґрунтів в процесі латеральної міграції. Даний механізм оснований на механічному переміщенні нерозчинних форм свинцю. Умовами утворення нерозчинних форм свинцю є фізико-хімічні властивості ґрунту [37]. Зокрема кислотність, механічний склад, вміст та склад гумусу в ґрунтах можуть лімітувати можливість утворення розчинних форм, отже відповідні властивості ґрунтів, стали атрибутами нашої БД.

Задля розрахунків були використані методичні підходи, що дозволяють визначити втрату

грунту з ділянки за рахунок ерозійних процесів [15, 16, 20, 25].

Параметрами для розрахунків були: 1. концентрації сполук свинцю у поверхневому шарі ґрунту; 2. механічний склад, водопроникність, структура, вміст гумусу, тобто властивості ґрунтів, що визначають їх протиерозійну стійкість; 3. форма схилу, його довжина та ухил – топографічний фактор місцевості, який визначає швидкість проходження ерозійних процесів; 4. кількість опадів протягом року та їх характер, що визначають їх ерозійну здатність; 5. наявність та вид рослинного покриву на території. Названі атрибути, дозволили обрахувати кількість ґрунту, що виносилась з ділянки за певний проміжок часу.

Моделювання процесів винесення (привнесення) ґрунту відбувалося наступним чином: на основі цифрової карти рельєфу, була створена цифрова модель рельєфу території у вигляді нерегулярної триангуляційної мережі (TIN) за алгоритмом триангуляції Делоне [8]. Тобто з набору точок з відомими висотними позначками, було побудовано трикутники, максимально близькі до рівносторонніх фігур. Для тестової ділянки кількість трикутників склала 159505. Кожен трикутник у такій мережі являє собою частину поверхні з унікальними і однорідними морфометричними характеристиками, що визначають напрямки та швидкість протікання процесів латеральної міграції. Розрахунок всіх параметрів проводився в зазначених трикутниках. Значення ж винесення ґрунту з геосистеми обраховувалось як середньовиважене за площами трикутників. Тож, відповідно, була визначена і кількість нерозчинних сполук свинцю, що виноситься за межі геосистем з загальною масою ґрунту в процесі латеральної міграції. Таким чином, в процесі роботи нами були визначені геосистеми (та/або їх час-

тини), в яких переважають процеси винесення нерозчинних сполук свинцю, що визначає їх рівень можливостей до самоочищення від сполук свинцю в процесі латеральної міграції. Геосистемами з високим рівнем таких можливостей ми вважали ті, в яких швидкість винесення сполук свинцю перевищує швидкість їх привнесення, а низький – навпаки, ділянками з середнім рівнем вважалися такі, де швидкість привнесення і винесення була приблизно однаковою.

Проте, згідно методики [8] визначення актуального рівня забруднення ґрунтів геосистем, можливо лише за умови комплексного аналізу латерального та радіального перерозподілу сполук свинцю. Відповідно, наступним кроком стало визначення інтенсивності міграції розчинних форм свинцю у ґрунтах в процесі радіальної міграції. Це стосувались лише невеликої частини дослідної ділянки, де потенційно можливим був такий сценарій (за показниками кислотності ґрунтів (див. вище)). На швидкість процесу радіальної міграції, крім показників рН ґрунту, впливають його інші фізико-хімічні особливості, наприклад легкий механічний склад, фульватний тип гумусу, відсутність карбонатів та ін. Тож всі ці фактори були проаналізовані під час моделювання. Для цього, на основі методики [37], для ґрунтів рН сольової витяжки яких менше або дорівнював лімітуючим значенням (для Pb лімітуючим є значення рН 4,2), було визначено бали зв'язування обумовлені вмістом гумусу (табл. 1), гранулометричним складом ґрунтів (табл. 2)

В результаті визначення суми балів з таблиць 1-2, для кожного типу ґрунту, було отримано атрибут, що характеризував відносний ступінь зв'язування ( $B_{total}$ ) та інтенсивність радіальної міграції сполук свинцю, таким чином визначаючи небезпечність ділянки для сільськогосподарського використання (табл. 3).

Таблиця 1

Бали зв'язування для сполук Pb, обумовлені вмістом гумусу, на основі [37]

Вміст гумусу (%)	Бал зв'язування $B_{(h)}$	Міграція розчинних форм Pb
$\leq 2$	0	Швидка
$> 2 - 8$	0,5	Ускладнена
$> 8$	1,0	Умовно відсутня

Таблиця 2

Бали зв'язування для сполук Pb, обумовлені гранулометричним складом ґрунтів, на основі [37]

Гранулометричний склад	Бал зв'язування $B_{(m)}$	Міграція розчинних форм Pb
Піщані	0	Швидка
Супіщані, легко-, середньо-, важко-суглинкові	0,5	Нормальна
Глинисті	1,0	Ускладнена
Глина	1,5	Умовно відсутня

Можливості радіальної міграції Pb, обумовлені характеристиками ґрунту

Бал зв'язування ( $B_{total}$ )	Інтенсивність міграції розчинних форм металу	Небезпека	Наслідки для господарської діяльності
0	дуже сильна	дуже сильна	повне руйнування рослинної складової геосистеми, повна втрата врожаю
1	сильна	сильна	комплексне зниження якості ґрунтів (пригнічення ферментативних процесів); можливий активний перехід в рослини через їх кореневу систему
2	помірна	середня	можливий активний перехід в рослини через їх кореневу систему
3	слабка	послаблена	можливий перехід в рослини через їх кореневу систему
4	дуже слабка	слабка	накопичення в рослинах концентраторах
більше 4	умовно відсутня	дуже слабка	небезпека для природних та агрогеосистем умовно відсутня

Наступним кроком методики є визначення кількості сполук свинцю, що виводяться із речовинно-енергетичних потоків через закріплення на ландшафтно-геохімічних бар'єрах. Такі бар'єри для розчинних форм свинцю формуються у місцях різкої зміни характеристик ґрунту. Виведення ж нерозчинних сполук ВМ із потоків речовини частково може відбуватися у замкнених від'ємних формах рельєфу. Тому реалізація даного завдання проводилась при виконанні попередніх етапів моделювання.

На наступному етапі застосовувались моделі, що описують біогенну міграцію ВМ у геосистемі [19]. За ними розраховувалась кількість сполук ВМ, що переходить з ґрунту в рослини, та може бути винесена за межі геосистеми, наприклад з урожаєм. Задля цього було створено блок БД «Очищення ґрунтів від ВМ за рахунок біогеохімічних процесів» і визначено кількість сполук свинцю, що переходить в рослини за їх коефіцієнтом біологічного поглинання (КБП).

Відповідна, покрокова реалізація методики моделювання дозволила визначити актуальний рівень забруднення (АРЗ) ґрунтів приавтомагістральних агроландшафтів на тестовій ділянці як різницю між кількістю сполук свинцю, що надходила в ґрунти та кількістю, що була виведена з ґрунтів за їх межі та/або виведена з речовинно-енергетичних потоків. Зазначимо також, що така методика може бути застосована для всіх ВМ та різних природних умов.

Другим завданням роботи була **реалізація методики на тестовій ділянці**. Задля відпрацювання положень методики та візуалізації результатів моделювання за приклад було обрано сполуки свинцю. За тестову ділянку, в межах якої відбуваються основні сценарії поведінки сполук свинцю характерні для природної зони

мішаних лісів, була обрана ділянка, що знаходиться в фізико-географічній області Київського Полісся на стику двох фізико-географічних районів Нижньотетерівського та Здвизько-Ірпінського. Дана ділянка, розташована вздовж автотраси регіонального значення Р-02 «Київ-Овруч» між 52 та 58 кілометрами, має типові для природної зони: рівнинний флювіо-гляціальний та флювіальний рельєф, близьке до поверхні залягання ґрунтових вод, наявність заболочених територій, наявність ґрунтів переважно легкого механічного складу з кислою реакцією та гумусом фульватного типу. Для природної рослинності тестової ділянки характерне переважання борів на піщаних ґрунтах, грабово-дубово-соснових лісів, які формуються на супіщаних ґрунтах тощо. На заплавах поширені вільхові ліси, чагарникова, гідроморфна лучно-болотна рослинність. Більшу частину тестової ділянки займають агрогеосистеми, переважно орні землі.

В процесі моделювання актуального рівня забруднення ґрунтів сполуками свинцю було перш за все визначено загальну кількість сполук свинцю, що надходить за одиницю часу в геосистему. Методика розрахунку даного модельного показника та уточнення їх кількості зважаючи на основні шляхи їх надходження була представлена у нашій роботі [9]. На модельній ділянці, серед всіх потенційних джерел емісії полютантів, автотранспорт було визначено таким, що формує поле первинного забруднення, відповідно, кількість сполук свинцю, що надходить від автотранспорту і приймалася за вихідні кількісні параметри первинного поля забруднення. При цьому, в процесі моделювання було проведено уточнення кількості полютантів, що формують первинне поле забруднення, за методикою, наведеною у вищезазначеній роботі. Необхідність даного кро-

ку зумовлюють природні та антропогенні фактори, що впливають на кількість палива, що використовується автомобілями при проходженні ділянки автошляху, а отже і кількість полутантів, що надходить від автотранспорту. Це такі фактори як: тип та кількість палива, що використовується транспортним потоком, рельєф та мікрокліматичні умови території та ін.

Визначивши кількість сполук свинцю, що надходить у приземні шари атмосфери від автотранспорту, використовуючи модель розсіювання домішок в атмосфері [5] було отримано картографічну поверхню розподілу сполук свинцю у приземних шарах атмосфери, при небезпечних швидкостях вітру для тестової ділянки (рис 1) [6].

З рис. 1 видно, що на тестовій ділянці, в ме-

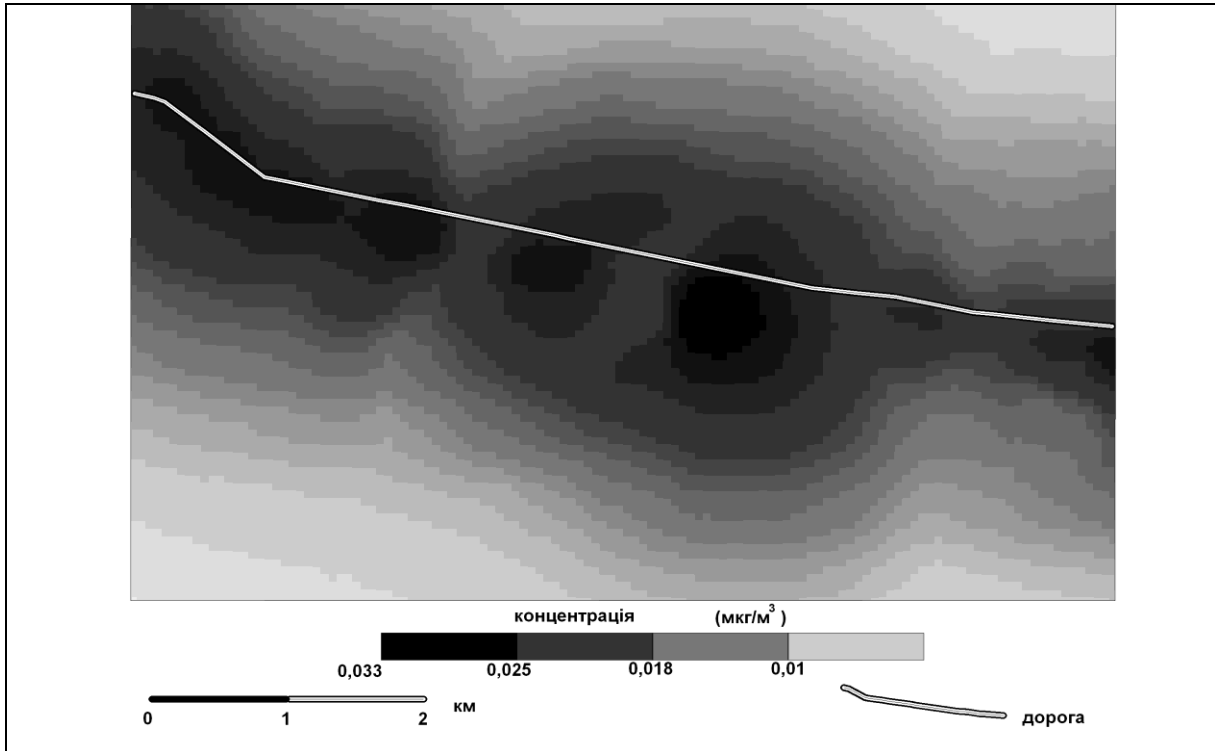


Рис. 1. Забруднення приземного шару атмосферного повітря сполуками свинцю при небезпечних швидкостях вітру

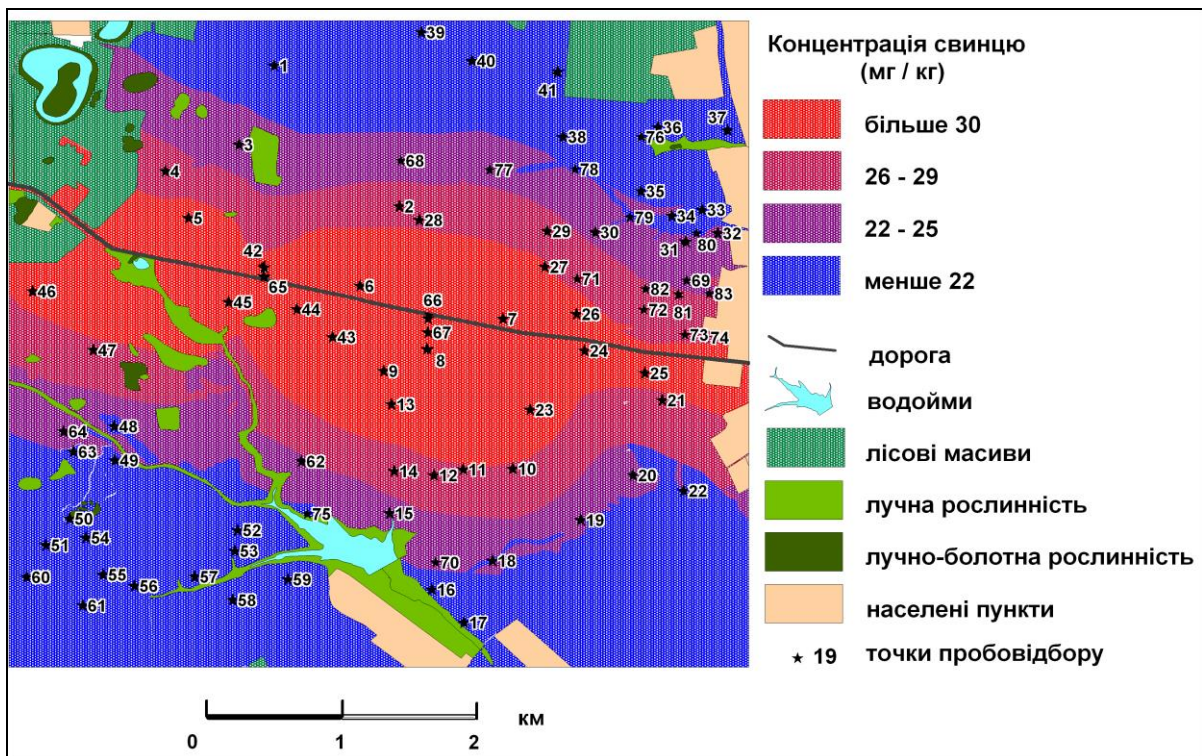


Рис. 2. Забруднення поверхневого шару ґрунту



жах рівнинного рельєфу з незначними перепадами висот, спостерігається достатньо широка смуга розповсюдження сполук свинцю, що вказує на прямий вплив рельєфу місцевості.

В результаті геоінформаційного моделювання, а саме провівши оверлейні операції з цифровими картами «Забруднення приземного шару атмосферного повітря» (рис. 1) і «Ґрунти» було побудовано карту «Забруднення поверхневого шару ґрунту з атмосферного повітря». В результаті ми отримали відображення просторових параметрів та кількісних характеристик первинного поля забруднення поверхневого шару ґрунтів сполуками свинцю (рис. 2).

Створена таким чином поверхня стала основою для моделювання перерозподілу сполук свинцю в ґрунтах за основними міграційними сценаріями, а саме процесами латеральної, радіальної та біогенної міграції. Тож нами були змодельовані всі відповідні сценарії, за методикою [8].

Переважаючими ґрунтами на тестовій ділянці є дерново-середньопідзолисті та дерново-слабопідзолисті супіщані ґрунти, типові для зони мішаних лісів. Їх кислотні властивості є такими, що створюють передумови для переходу сполук свинцю в розчинні форми. Проте, проведене на

даній ділянці вапнування ґрунтів, змінило природні показники кислотності (рис. 3). На сьогоднішню кислотна реакція досліджуваних ґрунтів переважно нейтральна, крім незначної площі у південно-східній частині ділянки. Тож через штучно створені умови, для основної частини тестової ділянки, розрахунки проводилися за моделями, що відображають механізми латеральної міграції нерозчинних сполук свинцю.

Геосистеми тестової ділянки, на рівні урочищ, представлені переважно межирічними рівнинами на воднольодовикових пісках з прошарками оглинених пісків з дерново-середньопідзолистими та дерново-слабопідзолистими супіщаними ґрунтами, що є переважно розорані; рівнинами на воднольодовикових пісках з прошарками оглинених пісків з дерново-середньопідзолистими глейовими ґрунтами, що є розорані; рівнинами на воднольодовикових пісках з прошарками оглинених пісків з дерново-середньопідзолистими глеюватими ґрунтами під лучною рослинністю. Також представлені пологі схили на делювіальних пісках та супісках з дерново-середньопідзолистими супіщаними ґрунтами, розорані; улоговини на делювіальних піскуватих пісках та супісках з дерново-середньопідзолистими глеюватими ґрунтами, розорані та

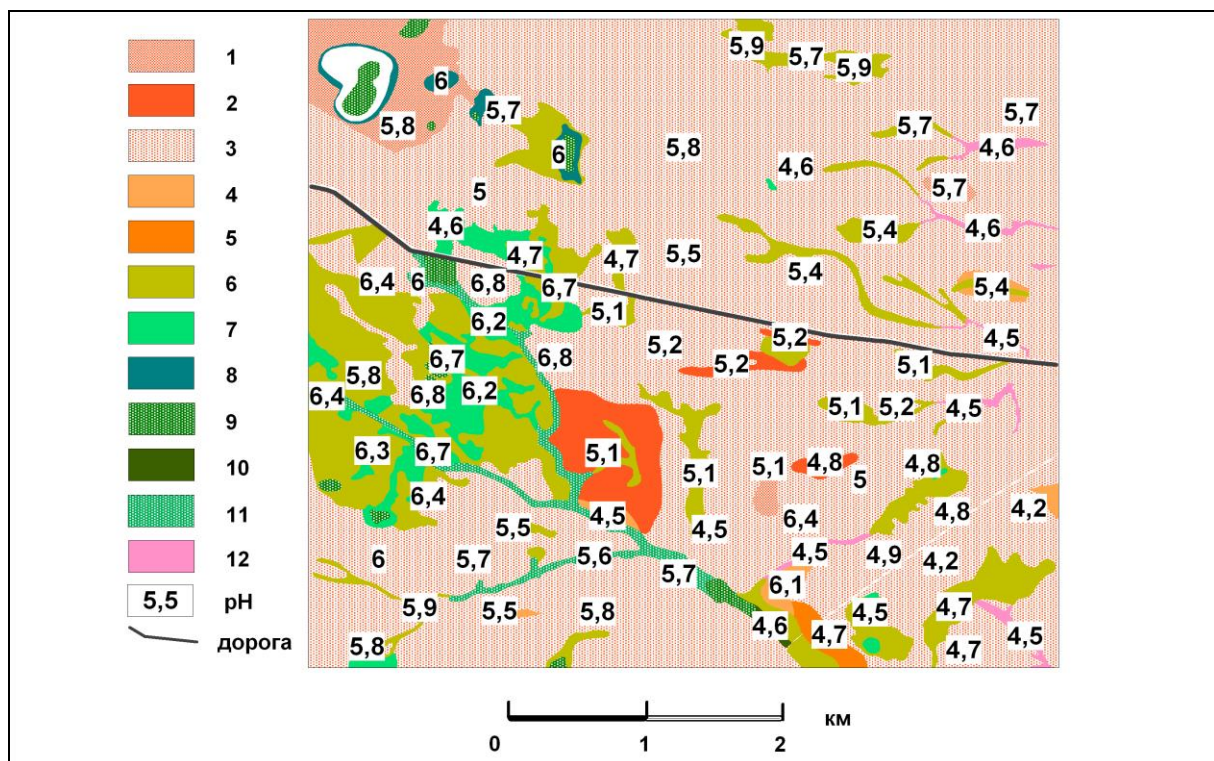


Рис. 3. рН ґрунтів тестової ділянки,

де: 1 – дерново-слабопідзолисті глинисто-піщані, 2 – дерново-середньопідзолисті глинисто-піщані, 3 – дерново-середньопідзолисті супіщані, 4 – дерново-середньопідзолисті слабозмиті супіщані, 5 – дерново-середньопідзолисті слабозмиті, 6 – дерново-середньопідзолисті глеюваті, 7 – дерново-середньопідзолисті глеєві, 8 – дернові глейові неглибокі глинисто-піщані, 9 – болотні супіщані, 10 – торфово-болотні сильнорозкладені середньозольні осушені супіщані, 11 – дернові глейові глибокі в поєднанні з болотними супіщані, 12 – розмиті ґрунти ярів та балок піщані



ін., що є типовими для природної зони мішаних лісів.

Результати моделювання показали наступне: загалом в геосистемах тестової ділянки природні особливості (зокрема переважання рівнинного рельєфу) створюють умови повільного темпу проходження латеральної міграції. Геосистемами з найвищою ймовірністю акумуляції (найнижчим рівнем самоочищення) на тестовій ділянці виявились замкнені від'ємні форми рельєфу (рис. 4). В їх межах відбувається накопичення нерозчинних сполук свинцю, через перманентне їх привнесення зі спряжених геосистем і відсутність винесення за рахунок площинного змиву. Прояви оглеєності ґрунтів та підвищення вмісту глинистої фракції також пояснюють процес накопичення сполук свинцю. Схилі геосистем є найдинамічнішими з точки зору темпів латеральної міграції. Вони виступають як зони винесення (у верхній частині), транзиту або акумуляції (в нижній частині) поллютантів, що залежить від ухилу, типу та фази розвитку рослинності, господарського використання тощо. Геосистеми ерозійної мережі є здебільшо транзитними. Геосистеми заплав переважно акумулюють сполуки ВМ, що виносяться із спряжених геосистем.

Щодо розрахунків інтенсивності проходження процесів радіальної міграції розчинних форм свинцю зазначимо, що результати оверлейного аналізу тематичних шарів «забруднення по-

верхневих шарів ґрунту» (рис. 2) та цифрової карти ґрунтів (значення атрибуту  $B_{(total)}$ ) засвідчили, що у цих ґрунтах простежується «дуже слабка» інтенсивність міграції металу, та, відповідно, «слабка» небезпека забруднення рослин (табл. 3). Переважно це стосується накопичення розчинних сполук свинцю в рослинах концентраторах.

Розрахунок кількості сполук свинцю, що виводяться з міграційних потоків за рахунок закріплення на ландшафтно-геохімічних бар'єрах, є наступним необхідним кроком в процесі моделювання (див. вище). Втім, на даній ділянці, майже всі ґрунти, за рахунок своїх властивостей, обумовлюють наявність геохімічних бар'єрів для розчинних форм сполук свинцю. Для нерозчинних форм - ділянками, де вони можуть локалізуватися, і відповідно виводитися з процесів міграції з площинним змивом, є замкнені від'ємні форми рельєфу. Таким чином, природні особливості території тестової ділянки зумовили можливість окремо не виконувати цей крок, а розрахувати кількість «виведених» сполук свинцю на попередніх двох етапах.

Оверлейний аналіз карти рослинності території та карти «Забруднення поверхневого шару ґрунту...» (рис. 2) дозволив визначити, що на ділянці, де відбувається «дуже слабка» інтенсивність міграції сполук свинцю, ( $B_{(total)}$ ) потенційну здатність до міграції в рослини мають до 100%

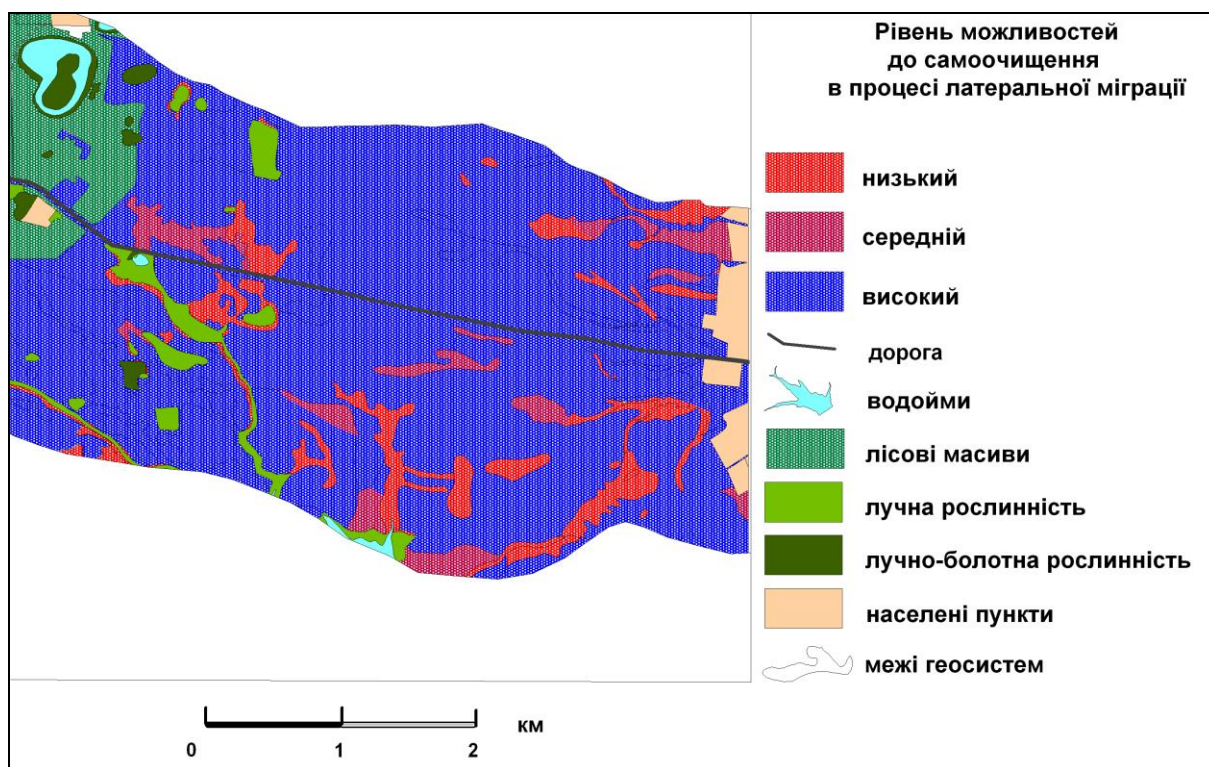


Рис. 4. Рівень можливостей самоочищення від сполук свинцю ґрунтів приавтомагістральних агрогеосистем тестової ділянки в процесі латеральної міграції

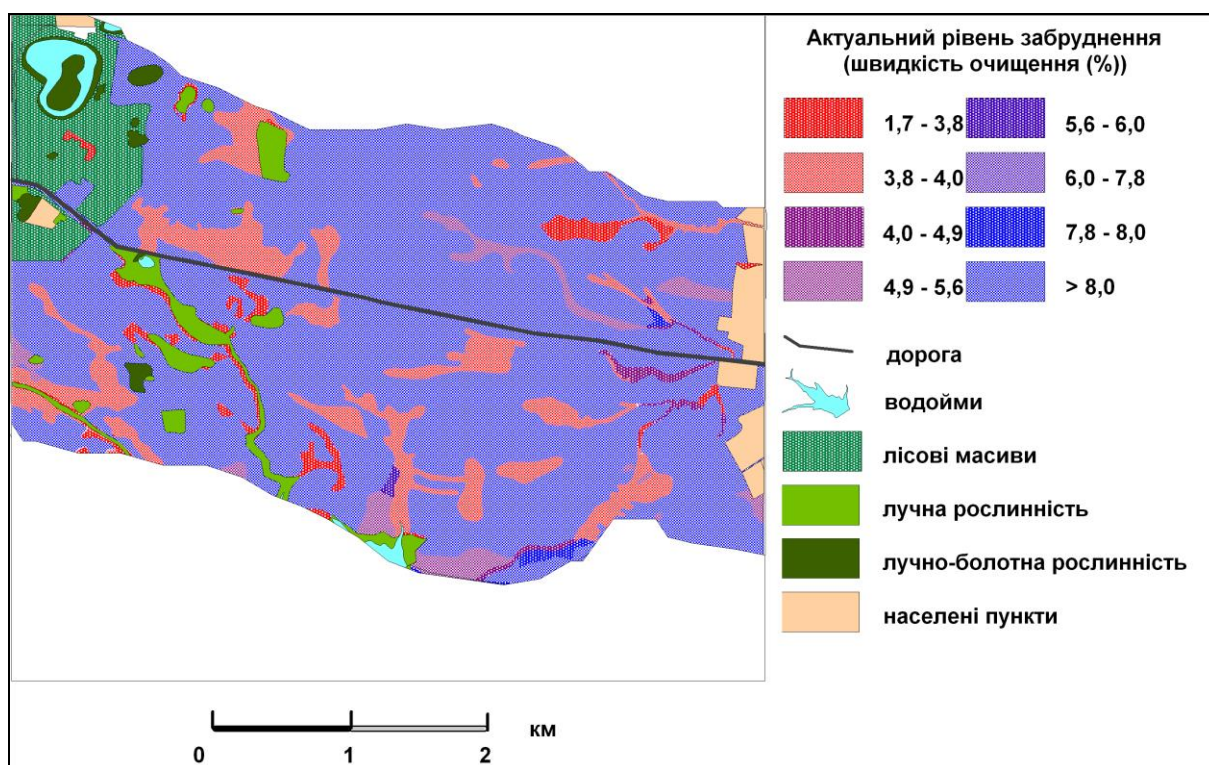


Рис. 5. Актуальний рівень забруднення ґрунтів сполуками свинцю

поллютантів. В той же час, на решті території, де така міграція умовно відсутня, через рівень рН ґрунтів, здатність до переходу у рослини все одно спостерігається у 10% металів, через захоплення нерозчинних сполук металу кореневою системою рослин [19]. Таким чином, через відповідно сформовані запити до бази даних, було розраховано кількість сполук свинцю, що переходить з ґрунту в рослини в межах сільськогосподарських угідь.

В результаті моделювання було визначено ділянки з різним рівнем АРЗ, що відображає швидкість самоочищення (або забруднення) ґрунтів (рис. 5). Зокрема визначено ділянки, де швидкість накопичення, переважає швидкість винесення за основними геохімічними сценаріями. Швидкість процесу формування АРЗ (рис. 5) представлена у відносних показниках (%) різниці, для наочності, проте розрахунки проводилися в абсолютних величинах ( $\text{г/м}^2/\text{рік}$ ). Отримані результати моделювання, задовільно співпали з результатами лабораторних дослідження ґрунтів на вміст сполук свинцю, що засвідчує об'єктивність підходів до моделювання у визначенні просторових параметрів поля забруднення ґрунтів агроecosистем важкими металами за допомогою геоінформаційних технологій.

**Висновки.** В процесі роботи, на тестовій ділянці було відпрацьовано положення загальної методики геоінформаційного моделювання АРЗ, створено серію цифрових карт, та визначено територію, здатні до самоочищення а також швид-

кість даного процесу при існуючому рівні антропогенного навантаження, зважаючи на особливості поведінки сполук свинцю в умовах, типових для природної зони мішаних лісів.

У приавтомагістральних геосистемах тестової ділянки було виокремлено території, що є потенційно небезпечними для вирощування сільськогосподарської продукції, з точки зору забруднення ґрунтів сполуками свинцю. Досить часто це ділянки віддалені від дороги, де забруднення ґрунтів відбувається за рахунок латерального перерозподілу поллютантів. Даний процес обумовлюється ландшафтними особливостями території, передусім характером рельєфу та фізико-хімічними характеристиками ґрунтів, а не «безпосереднім впливом автошляху». Зазначимо, що на 35% площі тестової ділянки ґрунти мають достатньо високі показники самоочищення, переважно це елювіальні та транселювіальні геосистеми, швидкість очищення яких перевищує швидкість надходження металів. На 60% території ґрунти мають середні показники АРЗ (тобто швидкість надходження приблизно така ж як швидкість очищення). Очевидно, це обумовлюється як кількістю поллютантів, так і особливостями їх перерозподілу в геосистемах, що дозволяє говорити про приблизно такі ж концентрації поллютантів в ґрунтах в майбутньому, за умови збереження існуючого рівня антропогенного навантаження. Таким чином, ця територія має позитивний прогноз, щодо можливостей подальшо-

го вирощування безпечної сільськогосподарської продукції.

Дана методика може бути застосована для будь-якого важкого металу та інших фізико-географічних умов, що дозволяє реалізовувати геоінформаційне моделювання в проектах еколо-

гічного менеджменту, визначаючи оптимальний рівень антропогенного навантаження у межах приватомагістральних агроєкосистем, задля підтримання їх у стійкому стані з точки зору забруднення важкими металами та ведення безпечно-го рослинництва.

#### Література

1. Байдина Н.Л. Инактивация тяжелых металлов гумусом и цеолитами в техногенно-загрязненной почве [Текст] / Н.Л. Байдина // Почвоведение. – 1994. – № 4. – С. 121-126.
2. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы [Текст] / М.Е. Берлянд. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 448 с.
3. Блэкберн А.А. О методах расчета баланса тяжелых металлов на водосборной площади [Текст] / А.А. Блэкберн // География и природные ресурсы. – 2001. – №1. – С. 125-128.
4. Волошин І.М. Особливості геохімічного забруднення приватомагістральних смуг Волині: Монографія [Текст] / І.М. Волошин, Л.Ю. Матвійчук, М.І. Лепкий. – Луцьк: ВМА «Терен», 2009. – 244 с.
5. Галаган О.О. Визначення ступеня забруднення приватомагістральних геосистем сполуками важких металів за допомогою математично-картографічного моделювання [Текст] / О.О. Галаган // Фізична географія та геоморфологія. – 2015. – № 4 (80), ч.1. – С.121-125.
6. Галаган А.А., Корогода Н.П. Геоинформационное моделирование загрязнения приземного слоя атмосферы тяжелыми металлами в приватомагистральных геосистемах [Текст] / А.А. Галаган, Н.П. Корогода // Комплексные проблемы техносферной безопасности: матер. междунар. науч.– практ. конф., ч. IV. – Воронеж, 2014. – С.127-131.
7. Галаган О.О. Комплексна оцінка перерозподілу важких металів у приватомагістральних агроландшафтах [Текст] / О.О. Галаган // Соціально-екологічні проблеми переходу до сталого розвитку: реалії та перспективи XXI століття: матер. міжнар. наук. – практ. конф. – Київ-Ялта, 2013. – С. 33-35.
8. Галаган О.О. Моделювання розподілу важких металів у приватомагістральних геосистемах [Текст] / О.О. Галаган // Фізична географія та геоморфологія. – 2013. – № 2 (70). – С.28-33.
9. Галаган О., Корогода Н. Розрахунок кількості важких металів, що надходять у приватомагістральні системи з викидами автотранспорту [Текст] / О. Галаган, Н. Корогода // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Географія. – 2018. – Вип. 4 (73). – С. 20-24.
10. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР: учеб. пособ. для студ. геогр. спец. вузов [Текст] / М.А. Глазовская. – М.: Высшая школа, 1988. – 328 с.
11. Давидчук В.С. Геоінформаційні технології у ландшафтному картографуванні [Текст] / В.С. Давидчук, Л.Ю. Сорокіна, В.В. Родіна та ін. // Фізична географія та геоморфологія. – 2005. – Вип. 47. – С. 24–30.
12. Добровольський В.В. Ландшафтно-геохимические критерии оценки загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами [Текст] / В.В. Добровольський // Почвоведение. – 1999. – № 5. – С. 639–645.
13. Еколого-геохімічні дослідження об'єктів довкілля України [Текст] / під ред. Е.Я. Жовинського, І.В. Кураєвої. – Київ: Альфа-реклама, 2012. – 156 с.
14. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях [Текст] / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
15. Ковальчук І.П. Геопросторове моделювання потенціалу розвитку деградаційних процесів на орних землях [Текст] / І.П. Ковальчук, Т.О. Євсюков, О.С. Мкртчян // Землеустрій і кадастр. – 2009. – №4. – С.72-82.
16. Костріков С.В. Атрибутивні дані для ГІС і визначення морфолого-морфометричних атрибутів флювіального рельєфу [Текст] / С.В. Костріков // Геоінформатика. – 2004. – № 4. – С. 70-77.
17. Костріков С.В. Гідролого-геоморфологічний підхід до дослідження водозбірної організації флювіального рельєфу [Текст] / С.В. Костріков // Український географічний журнал. – 2006. – №3. – С.46-54
18. Малишева Л.Л. Ландшафтно-геохімічна оцінка екологічного стану територій: Монографія [Текст] / Л.Л. Малишева. – К.: РВЦ "Київський університет", 1997. – 264 с.
19. Минкина Т.М. и др. Накопление тяжелых металлов в системе почва – растение в условиях загрязнения [Текст] / Т.М. Минкина и др. // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2011. – № 4. – С. 4-12.
20. Мкртчян О. Геоінформаційне моделювання процесу схилової ерозії / О. Мкртчян [Текст] // Вісник львівського університету. Серія географічна. – 2004. – Вип. 30. – С. 188-193.
21. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2014 році [Текст]. – К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, ФОР Грін Д.С. – 2016. – 350 с.
22. Перельман А.И. Геохимия ландшафта: учеб. пособ. издание 3-е, переработанное и дополненное [Текст] / А.И. Перельман, Н.С. Касимов. – М.: Астрель, 2000. – 768 с.
23. Саєт Ю.Е. Геохимия окружающей среды [Текст] / Ю.Е.Саєт, Б.А. Равич, Е.П. Янин [и др.]. – Москва: «Недра», 1990. – 335 с.



24. Самчук А.І. Просторово–часові особливості розподілу важких металів у антропогенізованих поліських ландшафтах [Текст] / А.І. Самчук, О.Г. Голубцов, О.О. Галаган // Український географічний журнал. – 2009. – №1. – С.19-24
25. Светличный А.А. Эрозиоведение: теоретические и прикладные аспекты: монографія [Текст] / А.А. Светличный, С.Г. Черный, Г.И. Швобс. – Сумы: Унив. кн., 2004. – 410 с.
26. Світличний О.О. Основи геоінформатики: Навч. посібник [Текст] / О.О.Світличний, С.В. Плотницький; за заг. ред. О.О. Світличного. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2006. – 295 с.
27. Сорокіна Л.Ю. Принципи моделювання природно–антропогенних процесів у ландшафтах зон впливу техногенних об'єктів [Текст] / Л.Ю. Сорокіна // Український географічний журнал. – 2008. – № 1. – С. 36-40.
28. Споруди транспорту Автомобільні дороги: ДБН В.2.3–4:2007 [Чинні від 2007–07–01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2007. – 87 с. (Державні будівельні норми України)
29. Сысуев В.В. Моделирование процессов в ландшафтно–геохимических системах [Текст] / В.В. Сысуев. – М.: Наука, 1986. – 301 с.
30. Трускавецький Р.С. Концепція стійкості ґрунтів і ґрунтового покриву щодо зовнішніх навантажень [Текст] / Р.С. Трускавецький // Вісник львівського університету. Серія географічна. – 1998. – Вип. 23. – С. 23-29.
31. Черваньов І.Г. Гідролого–геоморфологічний процес на водозборі: алгоритми структурно–цифрового моделювання [Текст] / І.Г. Черваньов, С.В. Костріков // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2009. – Т.5. – Вып. 1. – С. 52–63.
32. Швобс Г.І. Геоморфологічні умови поверхневого змиву ґрунту [Текст] / Г.І. Швобс, О.О. Світличний // Український географічний журнал. – 2001. – №4. – С. 36-48.
33. DieselNet. Emission standards. EU: cars and light trucks [Electronic resource]. – Available at: <https://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php>
34. Duong T. Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics [Text] / T. Duong, B–K Lee // Journal of Environmental Management. – 2011. – Vol. 92. – P. 554-562.
35. European Landscape Convention [Electronic resource]. – Available at: <https://rm.coe.int/CoERMPublicCommonSearchServices/DisplayDCTMContent?documentId=0900001680080621>
36. Facchinelli A. Multivariate statistical and GIS–based approach to identify heavy metal sources in soils [Text] / A. Facchinelli, E. Sacchi, L. Mallen // Environmental Pollution. – 2001. – Vol. 114. – P. 313-324.
37. Methodendokumentation «Bodenkunde»: Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden [Text] // Geologisches Jahrbuch. Sonderhefte: Reihe G – Heft SG 1– Ad–hoc–AGBoden. Volker Hennings. Herausgegeben von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und den Staatlichen Geologischen Diensten in der Bundesrepublik Deutschland. – Verlag Schweizerbart, Stuttgart, 2000. – 296 p.
38. Nath T.N. Assessment of heavy metals concentration deposited in roadside tea cultivated soil in Dibrugarh District of Assam, India [Text] / T.N.Nath // Journal of Chemistry and Chemical Sciences. – 2015. – V. 5 (1). – P. 5-17.
39. Pagotto C. et al. Heavy Metal Pollution of Road Dust and Roadside Soil near a Major Rural Highway [Text] / C. Pagotto, N. Rémy, M. Legret, P. Le Cloirec // Environmental Technology. – 2010. – V. 22. – P. 307-319.
40. Pivić R.N. et al. Assessment of Soil and Plant Contamination by Select Heavy Metals Along a Major European Highway [Text] / R.N. Pivić, A.B. Stanojković Sebić, J. Pol. J // Polish Journal of Environmental Studies. – 2013. – V. 22, # 5. – P. 1465-1472.
41. Viard B. et al. Integrated assessment of heavy metal (Pb, Zn, Cd) highway pollution: bioaccumulation in soil, Gramineae and land snails [Text] / B. Viard, Fr. Pihan, S. Promeyrat, J–C. Pihan // Chemosphere. – 2004. – Vol. 55. – P. 1349-1359.

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

UDC 911.9 [502.6:504.054]

***Oleksandr Halahan,***

PhD (Geography), Head of the Ecological Laboratory, Taras Shevchenko National University of Kyiv,  
2A Glushkov Av., Kyiv, 03680, Ukraine,

e-mail: [geolab@ukr.net](mailto:geolab@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-1449-3638>;

***Nataliia Korohoda,***

PhD (Geography), Associate professor of Department of Physical Geography and Geoecology,  
Taras Shevchenko National University of Kyiv,

e-mail: [nkorogoda@ukr.net](mailto:nkorogoda@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-1518-2997>;

***Mykhailo Grodzynskiy,***

Doctor of Science (Geography), Head of Department of Physical Geography and Geoecology,  
Taras Shevchenko National University of Kyiv,

e-mail: [mgrodz@ukr.net](mailto:mgrodz@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0001-6461-6531>;

***Oleksandr Obodovskiy,***

Doctor of Science (Geography), Professor of Department of Hydrology and Hydroecology,  
Taras Shevchenko National University of Kyiv,

e-mail: [obodovskiy58@gmail.com](mailto:obodovskiy58@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-3778-0189>

## **GEOINFORMATION MODELING OF SOIL POLLUTION PROCESSES BY LEAD COMPOUNDS IN HIGHWAY GEOSYSTEMS**

In this paper, we have worked out a method of geoinformation modeling of soil pollution by heavy metals in highway geosystems. Permanent process of contamination and redistribution of pollutants in highway geosystems causes difficulties in determining the degree of soil pollution and the speed of this process. This problem can be solved when using the method of geoinformation modeling of pollution by heavy metals compounds of soil. The method allows you to set the spatial parameters of the contamination field and the speed of the contamination process. The **goal of the work is to** test the method on the examples of lead compounds in the soils of the mixed forest zone.

**The methodology** uses geoinformation and mathematical models. These models describe the behavior of lead compounds when forming the contamination field. These are models of spatial distribution of heavy metals in the atmospheric air, soil, «soil-plant system».

**Results:** working out the provisions of the methodology took place at the test area. This area has plain fluvio-glacial and fluvial relief, close to the surface of the groundwater, the presence of wetlands, the soils are preferably of light mechanical composition with acid reaction and fulvatic type of humus, that are typical for the mixed forest zone. The modeling process is divided into two stages: 1. determining the amount of lead compounds brought in over a period of time and 2. determination of the number of lead compounds that have been removed from soil or removed from migration flows the same time period.

At each stage, models and tools supported obtaining, storing data, analyzing and displaying results of modeling. During the modeling process, we determined the total number of lead compounds coming per unit of time into the geosystem. First of all, we have identified the number of lead compounds entering the atmospheric surface from vehicles as the main source of emissions. We used an atmospheric impurity scattering model and obtained a mapping of the distribution of lead compounds in the near-earth layers of atmospheric air at dangerous wind speeds. In the next step, we determined the amount of lead compounds that reach the soil surface. The constructed surface, reflecting the spatial characteristics and intensities of the primary contamination field, became the basis for modeling the “soil cleaning processes”, following the main migration scenarios: lateral, radial and biogenic migration processes. For next step of modeling, we used a method that calculates soil loss (and, accordingly, lead compounds) from the site due to erosion processes. The number of lead compounds recovered from soils during lateral migration was determined. The results showed that in the test site geosystems, natural factors create conditions for the slow lateral migration. Closed negative landforms were geosystems with the highest probability of accumulation. The next step was to determine the migration intensity of soluble forms of lead in soils during radial migration. We determined that due to the liming, these soils show a "very low" intensity of metal migration and, accordingly, a "low" risk of contamination of plants. Preferably this relates to the accumulation of soluble lead compounds in concentrator plants.

In the next step, the amount of lead compounds that were transferred from soil to plants within the farmland was calculated.



**Scientific novelty:** as a result of the step-by-step implementation of the methodology of modeling, a series of digital maps were created and areas with different levels of soil contamination (or self-cleaning) speed were determined. We have identified areas that can be self-cleaning under conditions typical of the mixed forest zone with the existing level of anthropogenic loading. We have identified areas that are potentially dangerous for agricultural production by lead contamination.

**Practical importance.** This method can be applied to any heavy metal and other physical and geographical conditions. It allows to implement modeling in projects of ecological management, to determine the optimum level of anthropogenic load within highway geosystems.

**Keywords:** geoinformation modeling, soil pollution, lead compounds, highway geosystems, lateral migration, radial migration

### References

1. Baydina, N.L. (1994). *Inactivation of heavy metals by humus and zeolites in technologically contaminated soil. Pedology*, 4, 121-126.
2. Berland M.E. (1975). *Modern problems of atmospheric diffusion and atmospheric pollution. L.*, 448.
3. Blackburn A.A. (2001). *About methods for calculating the balance of heavy metals on a catchment area. Geography and natural resources*, 1, 125-128.
4. Voloshin I.M., Matviychuk L.Y., Lepky M.I. (2009). *Features of geochemical contamination of highways of Volyn. Lutsk*, 244.
5. Halahan, O.O. (2015). *Determination of the level of contamination in highway geosystems by heavy metals compounds through mathematical and cartographic modeling. Physic Geography and Geomorphology*, 4 (80), 121-125.
6. Halahan, A.A., Korohoda, N.P. (2014). *Geoinformation modeling of the pollution of the near-earth layer of the atmosphere by heavy metals in the highway geosystems. Complex problems of technosphere safety: materials of the International scientific-practical conference Part IV. Voronezh (Russia)*, 127-131.
7. Halahan, O.O. (2013). *Comprehensive assessment of heavy metals redistribution in highway agrolandscapes. Social-ecological problems of the transition to sustainable development: realities and perspectives of the XXI century: materials of the International scientific-practical conference, Kyiv-Yalta (Ukraine)*, 33-35.
8. Galagan, O.O. (2013). *Modeling of the heavy metals distribution in the highway geosystems. Physic Geography and Geomorphology*, 2 (70), 28-33.
9. Halahan, O., Korogoda, N. (2018). *Calculation of the amount of heavy metals entering to the near-motoways geosystems with vehicle emissions. Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geography*, 4(73), 20-24.
10. Glazovskaya M.A. (1988). *Geochemistry of natural and technogenic landscapes of the USSR. M.*, 328 p.
11. Davidchuk V.S., Sorokina L.Yu., Rodina V.V. et al. (2005) *Geoinformation Technologies in Landscape Mapping. Physical Geography and Geomorphology*, 47, 24-30.
12. Dobrovolsky V.V. (1999). *Landscape-geochemical criteria for assessing soil pollution by heavy metals. Pedology*, 5, 639-645.
13. Zhovinsky E.Ya., Kuraeva I.V. (2012). *Ecological-geochemical studies of environmental objects of Ukraine. K.*, 156.
14. Kabata-Pendias, A., Kabata-Pendias, H. (1989). *Microelements in soils and plants. M.*, 439.
15. Kovalchuk I.P., Yevsukov T.O., Mkrtychyan O.S. (2009). *Geospatial modeling of the potential for degradation processes on arable lands. Land management and cadastre*, 4, 72-82.
16. Kostrikov, C.V. (2004). *Attributive data for GIS and determination of morphological and morphometric attributes of fluvial relief. Geoinformatics*, 4, 70-77.
17. Kostrikov S.V. (2006). *Hydrologic-geomorphological approach to the study of the catchment organization of fluvial relief. Ukrainian Geographical Journal*, 3, 46-54
18. Malysheva L.L. (1997) *Landscape-geochemical assessment of the ecological status of the territories, Kyiv*, 264.
19. Minkina, T. M. et al. (2011). *Accumulation of heavy metals in the soil system - a plant exposed to pollution. Scientific Journal of the Russian Research Institute of Melioration Problems*, 4, 4-12.
20. Mkrtychyan, O. (2004). *Geoinformation modeling of the slope process. Bulletin of Lviv University. Geographic series*, 30, 188-193.
21. *National Report on the State of the Environment in Ukraine in 2014 (2016). K.*, 350.
22. Perelman A.I., Kasimov N.S. (2000). *Geochemistry of the landscape. M.*, 768.
23. Sayet Yu.E. (1990). *Environmental geochemistry. M.*, 335.
24. Samchuk A.I., Golubtsov O.G., Halahan O.O. (2009). *Spatio-temporal features of heavy metals distribution in anthropogenized Polissia landscapes. Ukrainian Geographical Journal*, 1, 19-24.
25. Svetlichny, A.A., Chorniy S.G., Shvebs G.E. (2004). *Erosion Studies: Theoretical and Applied Aspects. Sumy*, 410.
26. Svitlichny O.O., Plotnytsky S.V. (2006). *Fundamentals of Geoinformatics; for the total. ed. O.O. Svitlychny. Sumy*, 295.
27. Sorokina, L.Yu. (2008). *Principles of modeling of natural-anthropogenic processes in landscapes of zones of influence of technogenic objects. Ukrainian Geographical Journal*, 1, 36-40.
28. *Transport Structures Highways: DBN B.2.3-4: 2007 [Effective 2007-07-01]. K. : Minregionstroy of Ukraine, 2007. 87. (State Building Standards of Ukraine)*
29. Sysuev V.V. (1986) *Modeling of processes in landscape-geochemical systems. M.*, 301.

30. Truskavetsky, R.S. (1998). *The concept of soil and soil cover resistance to external loads*. *Visnyk Lviv Univ. Ser. Geogr.*, 23, 23-29.
31. Chervanov I.G., Kostrikov S.V. (2009). *Hydrologic-geomorphological process at the catchment area: algorithms for structural-digital modeling*. *Geopolitics and ecogeodynamics of regions*, 1, 52-63
32. G.I. Shevbs, O.O. Svitlichny (2001). *Geomorphological conditions of surface soil washing*. *Ukrainian Geographical Journal*, 4, 36-48.
33. DieselNet. *Emission standards. EU: cars and light trucks (2017)*. Available at: <https://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php>
34. Duong, T., Lee, B-K. (2011). *Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics*. *Journal of Environmental Management*, 92, 554–562
35. *European Landscape Convention*. Available at: <https://rm.coe.int/CoERMPublicCommonSearchServices/DisplayDCTMContent?documentId=0900001680080621>
36. Facchinelli, A., Sacchi, E., Mallen, L. (2001). *Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils*. *Environmental Pollution*, 114, 313–324.
37. *Methodendokumentation «Bodenkunde»: Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden (2000)*. *Geologisches Jahrbuch. Sonderhefte: Reihe G – Heft SG 1- Ad-hoc-AGBoden*. Volker Hennings. Herausgegeben von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und den Staatlichen Geologischen Diensten in der Bundesrepublik Deutschland. Verlag Schweizerbart, Stuttgart, 296.
38. Nath, T. N. (2015). *Assessment of heavy metals concentration deposited in roadside tea cultivated soil in Dibrugarh District of Assam, India*. *Journal of Chemistry and Chemical Sciences*, 5 (1), 5-17.
39. Pagotto, C., Rémy N., Legret M., Le Cloirec P. (2010). *Heavy Metal Pollution of Road Dust and Roadside Soil near a Major Rural Highway*. *Environmental Technology*, 22, 307-319.
40. Pivić, R. N., Stanojković Sebić A. B., Pol. J. (2013). *Assessment of Soil and Plant Contamination by Select Heavy Metals Along a Major European Highway*. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22 (5), 1465-1472.
41. Viard, B., Pihan Fr., Promeyrat S., Pihan J-C. (2004). *Integrated assessment of heavy metal (Pb, Zn, Cd) highway pollution: bioaccumulation in soil, Graminaceae and land snails*. *Chemosphere*, 55, 1349–1359.

UDC 911.5:913 (477.44)

**Anatoliy Vasyliovych Hudzevich,**

Doctor of Sciences (Geography), Professor, Department of Geography,  
Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University,  
32 Ostrozhskoho St., Vinnytsia, 21001, Ukraine,  
e-mail: [amarek@ua.fm](mailto:amarek@ua.fm), <https://orcid.org/0000-0001-8884-9436>;

**Vasyl Yevhenijovich Liubchenko,**

PhD (Geography), Head of the Research Department of the Karmelyukove Podillya National Nature Park,  
15 Sviato-Mikhailivskia St., Chechelnyk village, 24800, Vinnytsia region, Ukraine,  
e-mail: [vasalve@gmail.com](mailto:vasalve@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-1871-5341>;

**Lina Fedosiivna Bronnikova,**

Senior Lecturer (Agriculture), Department of Agriculture, Soil Science and Agrochemistry  
Vinnytsia National Agrarian University, 3 Soniachna St., Vinnytsia, 21100, Ukraine,  
e-mail: [linabronnikova@gmail.com](mailto:linabronnikova@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-1790-161X>;

**Ludmila Serhiivna Hudzevich,**

PhD (Biology), Associate Professor, Department of Biology,  
Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University,  
e-mail: [gudzevichluda@gmail.com](mailto:gudzevichluda@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-7631-7704>

## LANDSCAPE APPROACH TO REGIONAL FEATURES ORGANIZATION OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT OF THE PROTECTED AREA

**А. В. Гудзевич, В. Є. Любченко, Л. Ф. Броннікова, Л. С. Гудзевич. ЛАНДШАФТНИЙ ПІДХІД ДО ВРАХУВАННЯ РЕГІОНАЛЬНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОРГАНІЗАЦІЇ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ПРИРОДООХОРОННОЇ ТЕРИТОРІЇ.** Розглянуто використання ландшафтного аналізу в якості інструменту для виявлення регіональних особливостей територіальної організації природокористування природоохоронної території рівня національного природного парку. Показано можливості використання ландшафтно-основні в оцінці та визначенні цілей при перспективному плануванні природоохоронної діяльності, зокрема на територіях, які асоціюються із землями запасу та мають цінне природоохоронне значення й перебувають під постійною загрозою інтенсивного негативного антропогенного впливу. Результатом застосування ландшафтного аналізу є встановлення великої різноманітності рівнинних Східноєвропейських ландшафтів Правобережного лісостепу, які диференціюються не тільки за типами та їх широтними (зональними) й аширотними (інтразональними) варіантами, але й з врахуванням їх тривалого господарського освоєння. Використано поєднання типологічного і регіонального підходів до показу нижніх рівнів ландшафтно-структури із складанням ландшафтно-характеристики території, проєктованої до розширення та передачі в постійне користування до складу НПП «Кармелюкове Поділля» та її відображення на ландшафтній карті. Наведена ландшафтна карта демонструє закономірності територіальної диференціації господарської зони природоохоронного середовища і відображає різні форми її структури за антропогенно-ландшафтною різноманітністю. На ній зафіксовано: заміщення широтно-типових лісостепових ландшафтів різногенезисними антропогенними варіантами – сільськогосподарського, лісгосподарського, водогосподарського, природоохоронного та шляхового класів антропогенних ландшафтів; окрім типологічних підрозділів високого рівня (класів і типів ландшафтів), представлено 33 види урочищ, які є наразі найбільш типовими видами ландшафтів ділянок дослідження. Відомості про територіальну структуру і фізіономічні риси ландшафтних комплексів національного природного парку, отримані при ландшафтному картографуванні, можуть бути інтерпретовані з позицій прикладної географії шляхом застосування методів ландшафтного планування найближчим часом.

**Ключові слова:** ландшафтний аналіз, національний природний парк, ландшафтна карта, антропогенні ландшафти, урочища типів місцевості.

**А. В. Гудзевич, В. Е. Любченко, Л. Ф. Бронникова, Л. С. Гудзевич. ЛАНДШАФТНЫЙ ПОДХОД К УЧЕТУ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДООХРАННОЙ ТЕРРИТОРИИ.** Рассмотрено использование ландшафтного анализа в качестве инструмента для выявления региональных особенностей территориальной организации природопользования природоохранной территории уровня национального природного парка. Показаны возможности использования ландшафтно-основной в оценке и определении целей при перспективном планировании природоохранной деятельности, в частности на территориях, которые ассоциируются с землями запаса, имеют ценное природоохранное значение и находятся под постоянной угрозой интенсивного негативного антропогенного воздействия. Результатом применения ландшафтного анализа является установление большего разнообразия равнинных восточноевропейских ландшафтов Правобережной лесостепи, которые дифференцируются не только по типам и их широтными (зональными) и аширотными (интразональными) вариантами, но и с учетом их длительного хозяйственного освоения. Использовано сочетание типологического и регионального подходов к показу нижних уровней ландшафтно-структуры с составлением ландшафтно-характеристики территории, проектируемой к расширению и передаче в постоянное пользование в состав НПП «Кармелюково Подолье» и ее отображения на ландшафтном плане. Приведенная ландшафтная карта демонстрирует закономерности территориальной дифференциации хозяйственной зоны природоохранного среды и отражает различные формы ее структуры с антропогенно-ландшафтным разнообразием. На ней зафиксировано: замещение широтно-типических лесостепных ландшафтов разного генезиса антропогенными вариантами - сельскохозяйственного, лесохозяйственного, водохозяйственного, природоохранного и дорожного классов антропогенных ландшафтов; кроме типологических подразделений высокого уровня (классов и типов ландшафтов), представлено 33 вида урочищ, которые являются сейчас наиболее типичными ландшафтными образованиями участков исследования. Сведения о территориальной структуре и физиономические черты ландшафтных комплексов национального природного парка, полученные при ланд-

шафтном картографировании, могут быть интерпретированы с позиций прикладной географии путем применения методов ландшафтного планирования в ближайшее время.

**Ключевые слова:** ландшафтный анализ, национальный природный парк, ландшафтная карта, антропогенные ландшафты, урочища типов местности.

**Problem Statement.** For the first time in the half-century of Davos Economic Forum, it has been identified that the world's five largest risks are environmental. It is about climate disasters, loss of biodiversity and the destruction of terrestrial and aquatic ecosystems [1, 2]. According to the United Nations Environment Program, UNEP, more than 12% of the land surface is now protected. In the EU countries, the most valuable territories are protected by the Nature 2000 network, which is formed by 27393 sites with a total area of 1 106 612.96 km<sup>2</sup>, including terrestrial 788 487.39 km<sup>2</sup> or 18% of the EU land area [3]. The highest indicator of nature conservation areas of the European community is in Poland – more than 33%. The current overall indicator of nature protection of Ukraine – 6.73% is significantly inferior to the European norm. Ukraine, taking a course to bring the state of the environment in line with European standards, also requires the expansion of the NCF (*nature conservation fund*). The estimated area of the NCF of Ukraine should reach 15% from the state area [4].

Within the regions, the percentage of land conservation is in the range of 0.9% to 14.8% [5]. In particular, in Vinnytsia region as of 01.01.2020 there were 427 territories and objects with a total area of more than 66 thousand hectares. The NCF consists of 43 territories of national importance, of which 1 is a national nature park and 381 of local importance, of which 4 are regional landscapes. But despite the significant number of nature conservation areas and sites, Vinnytsia Oblast occupies only 2.5% of the area and one of the last places in Ukraine by conservation area. The urgent issue of expanding the PFP area can be solved in two ways: by creating new objects and territories or by joining existing conservation areas. Let us note the prospect of the second option, in particular, the expansion of the area of the PZF region by joining valuable territories adjacent to the only one in the area of the «Karmelyukovo Podillya» National Nature Park (NNP).

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

Awareness of the territorial planning importance in terms of landscape approach was the adoption in 2000 of the European Landscape Convention (entered into force on 1 March 2004) [6]. It legally enshrines the term "landscape", indicates the particular value of landscapes to ensure conditions for transition to sustainable development, and the quality and diversity of landscapes are considered a valuable pan-European resource that defines the

quality of life of the population, are the basis of cultural heritage and social well-being.

Landscape approach, in the current state of geographic studies, is defined as a basic operation and an algorithmic method of research in determining the territorial organization of land [7].

Its main essence is determined in the orientation to rank taxonomic and individual-typological diversity and complex representativeness [8], which by means of mapping makes it possible to obtain detailed information about the spatial structure of the nature management of the study region [9-11].

Particular attention is paid to the work of Ukrainian geographers, which justifies the selection of specific structural and geographical directions – landscape-ecological and regional landscape planning, as a system of measures aimed at environmentally balanced organization of nature management in the territories of different local levels of organization of the environmental [12-13].

There is some experience in identifying features of the processes of anthropogenic transformation of modern landscapes of Ukraine, which makes it possible to carry out geo-ecological substantiation of the system of environmental measures [14] and to conduct a regional analysis of the assessment of existing conditions for the creation of nature protection territories.

In particular, for the purpose of development and improvement of the existing network of nature reserves of the region in 1997 by the employees of the interdepartmental complex laboratory of scientific bases of the NAS and Ministry of ekosecurity of Ukraine (Doctor of Biological Sciences T.L. Andrienko, Y.P. Didukh and Candidate of Biological Sciences G.A. Chorna, M.M. Fedorochuk) a preliminary scientific substantiation was made regarding the feasibility of establishing in the southeast of the Vinnytsia region of the Chechelnytsky National Natural Park a total area of about 52 thousand hectares [15].

In 1998 employees of the departments of physical geography and natural sciences of Mykhailo Kotsyubynsky Vinnitsa State Pedagogical University and Vinnytsia Cartographic Factory under the direction of Candidate of Geographic Sciences A.V. Gudzevich continued research work to ensure preparation of materials for creation of multifunctional nature reserve in the specified territory [16]. The personification of the territory of the projected NNP of the South Podillya, which they noted, gave the basis for fixing the name "South Podillya" or "South Podilsky" for this nature-protected object [17].

From 2006 till now the scientific surveys of the territory have continued: botanical – Ph.D. A.A. Kuzemko, V.I. Melnyk, Ph.D. I.O. Skoroplyas, O.O. Shinder, N.A. Pashkevich, O.Z. Petrovich, A.S. Drapaluk, E.O. Vorobyova and biologists Yavorskaya O.G., Vorona E.I.; zoological – Ph.D. V.A. Gorobchishin, Yu.O. Google, P.C. Svitin, O.D. Nekrasova, O.A. Matviychuk, M.Yu. Rusin, O.O. Chovan, D.I. Ocheretnyy. Instead, geographical and cartographic studies were carried out sporadically [15,18,19]. The problem of establishing the landscape structure of both, the park area, and the adjacent, above all valuable in nature protection plan is an urgent task of today. It should be noted that the optimization of the Park territory with the extension of its borders is carried out in accordance with the Project of the territory organization of the «Karmelyukovo Podillya» National Nature Park [20], whose main task is to increase the area of the NNP territory at the expense of valuable adjacent lands.

**Aim, object and methods of research.** The purpose of the study is to use landscape analysis as a tool for identifying regional features of the territorial organization of nature conservation of the level of the national nature park as a future basis for the long-term planning of environmental activities. Landscape analysis, characterized by complexity, and therefore allows to establish the specificity of landscapes, their structural features to form the most

complete idea of the territory as a complex [21, 22-25].

The object of study is Vyshenka tract and adjacent lands, mostly associated with stock lands, which are of environmental value and are under constant threat of intense negative anthropogenic influence (fig. 1).

Field observations [26, 27] were used to form a general picture of landscape cognition and to identify the specific nature of the region, while for the visualization of the data obtained – mapping [28, 29] and spatial-graphical modeling [30-32].

**Exposition of the main research material.** National Natural Park «Karmelyukove Podillya» is one of 55 in Ukraine of this type. It is located on the territory of the southeastern part of Vinnytsia region, covers the south of Chechelnytsky and Trostyanets districts, and borders the Kodyma and Balta regions of Odeschyna [5].

The total area of the NNP is 20203.4 hectares of state-owned land, including 16.518 hectares of land of the state-owned enterprise Chechelnytsky Forestry, which is provided to the Park for permanent use and 3,685.4 hectares of land that is included in it without deletion from land users.

There are a number of adjacent valuable sites in the area of Karmelyukovo Podillya NNP, which remained in a relatively untouched natural state, where forest, steppe, meadow and wetland vegeta-

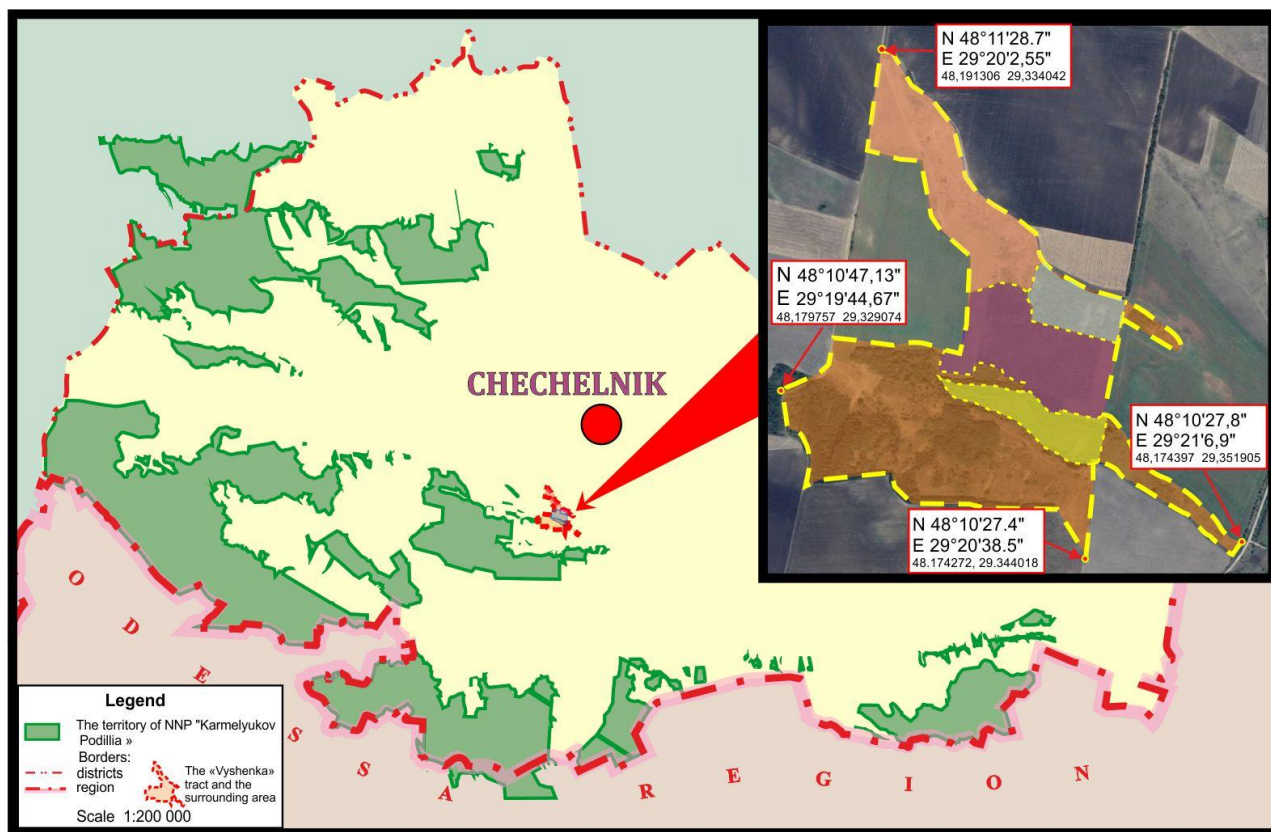


Fig. 1. The «Vyshenka» tract and adjacent territories against the background of the Karmelyukove Podillya National Park



tion with a sufficiently rich fauna gene pool is represented. These territories are of particular value for the protection of the environment, the conservation of, first and foremost, the species of plants and animals included in the Red Book of Ukraine and plant communities included in the Green Paper of Ukraine.

Among the promising territories that are envisaged to be included in the NNP with the right of permanent use, are the terrain within the Chechelnytsia settlement council of the Chechelnytsia district of Vinnytsia region. In local land users, it is known as the "Vyshenka" tract, covering an area of 46.2 ha. Its peculiarity is that it is surrounded by intensively used agrocenoses and is part of the economic zone of the NNP with a total area of 110.9 hectares within the Chechelnytsia settlement council (fig. 2). The lands are included, according to functional zoning [17] and the project of creation of NNP "Karmelyukovo Podillya" without its removal from the user (Decree of the President of Ukraine of December 16, 2009 No. 1057/2009). At present, 18.3 hec-

tares of the designated area is in constant use of the state enterprise Chechelnytsky Forestry [20].

Belonging to the economic zone of the NNP presupposes the traditional management of the economy in compliance with environmental legislation. Currently, there are a number of violations: poaching, burning of grass and tree vegetation, illegal felling of trees, contamination of the territory with household waste, plowing of meadow-steppe areas for crops of agro-crops, destruction of plants and plant communities included in the Red (*Carlina onopordifolia* Besser ex Szafer, Kulcz. et Pawt, *Stipa capillata* L. and *Sorbus torminalis* (L.) Crantz) and Green Book Ukraine (*Festuco valesiacae-Stipetum capillatae* Sillinger 1930). In addition, the proximity of the tract «Vyshenka» to the village of urban type Chechelnyk, which leads to its constant use as a resting place of the population, is marked by constantly increasing negative anthropogenic influence and there is a threat of impoverishment of the biodiversity of this territory.

According to the physical-geographical zoning

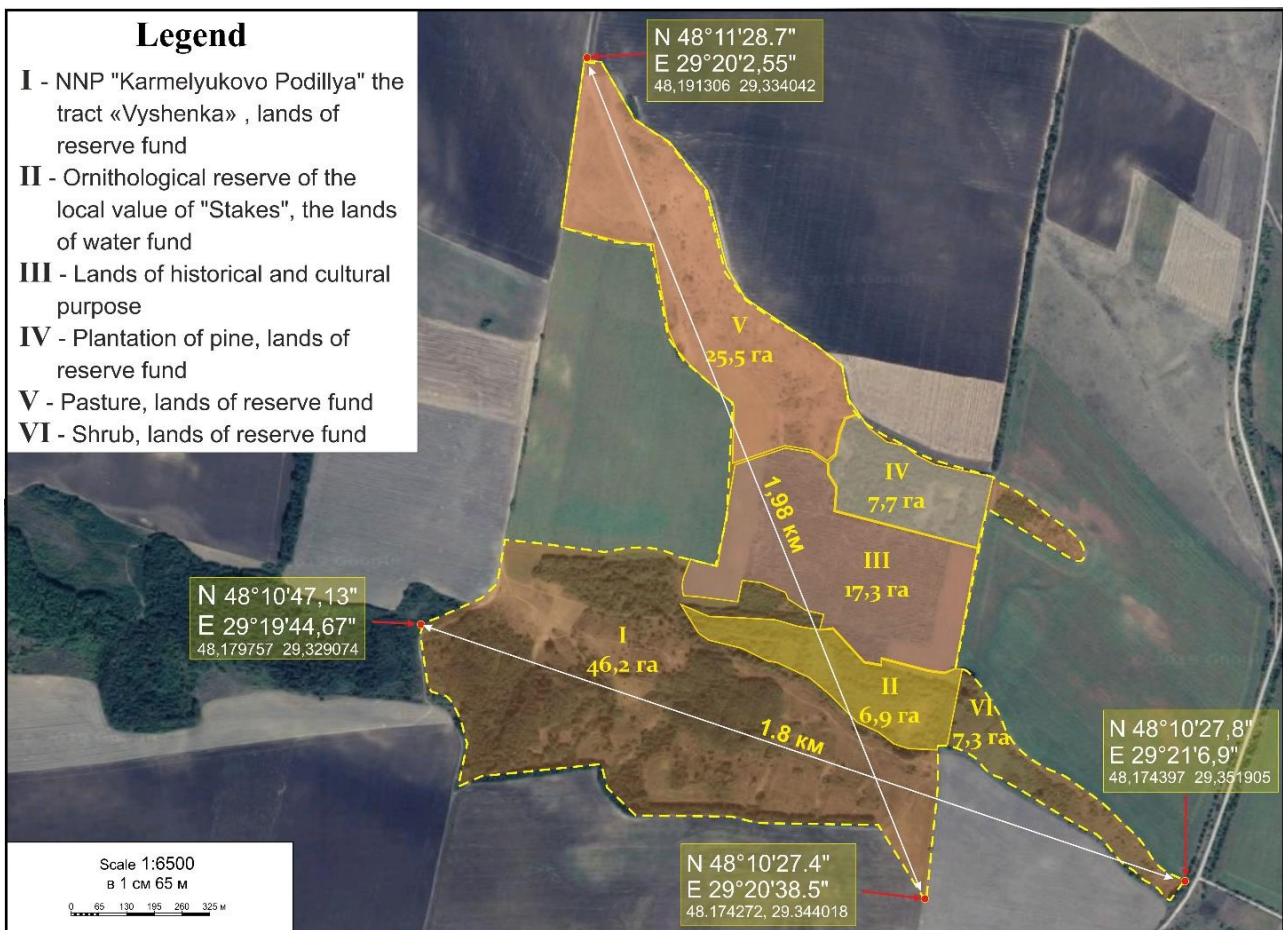


Fig. 2. Land use structure of promising territory for inclusion in NNP "Karmelyukovo Podillya"

of Ukraine the territory of the Vyshenka tract and the surrounding lands is included in the Balt-Savran district of the South Podilsky upland region of the Podilsky-Prydniprovsky region, which is part of the Forest-steppe zone of Ukraine [33].

In geostructural terms, this site belongs to the southwestern slope of the Ukrainian Crystal Shield. According to the geobotanical zoning of Ukraine it belongs to Podilsky-Seredneprydniprovsky sub-province of the Eastern European province of the

European-Siberian forest-steppe region and is located in the Kodymo-Savransky district of rocky oak and common oak forests, southern variant of meadow steppes of the Yampil'-Ananiv district, meadow steppes and vegetation of limestone outcrops [15].

Structurally and typologically, the territory of the Karmelyukove Podillya National Park, which is promising to be expanded, belongs to the class of flat Eastern European landscapes [33], which are differentiated by types and their latitudinal (zonal) and no-latitudinal (intrazonal) variants. According to the latitudinal and typological aspect, the territory is forest-steppe. General background of the forest-steppe complexes is formed by landscapes of elevated forest plains, strongly indented by ravines and gullies, with black podzolic soil. This type of landscapes is a consequence of the active development of erosion-denudation processes within the most hypsometrically elevated in the studied territory of the south-eastern spurs of the Podolsk upland. Wide-undulating longitudinal watershed and slope, mainly ploughed types of terrain, are dominant among the landscapes of this species. There are also weakly wavy finite-watershed and flat-plan watershed types of subordinate importance. They only outline the study area. The forest-steppe type includes three subtypes of landscapes: broad-leaved forest, low-density forest of forest steppe, and meadow-step-

pe [34].

The basis of the territory under analysis is two long, wide and deep enough (30-50 m) gullies, which merge to give the surface of a bumpy-gully view and provide dominance in their composition of the bumpy-gully watershed type of the terrain with podzolic chernozems on gully under the meadow-shrub and forest vegetation.

The peculiarity of the manifestation and distribution of landscape types is caused by the fact that the areas of their location are intersected by intrazonal anthropogenic landscape complexes (LC). Formation of anthropogenic LC is mainly related to nature uses such as forestry and agriculture (forestation, gardening, crop rotation fields and grassland). Other areas, such as transportation, agriculture and environmental protection, are of ancillary character.

The consequence of age-old human activity is the complete replacement of latitudinal vegetation type (deciduous forests and meadow steppes), change of soil cover and its physicochemical properties and formation of different classes of anthropogenic agricultural landscapes with subclasses (field, meadow-pasture, orchard or perennial plantings), forestry, water economic nature conservation and road (fig. 3).

**Rural landscapes** or agricultural landscapes. There are several subclasses – field, meadow-pastu-

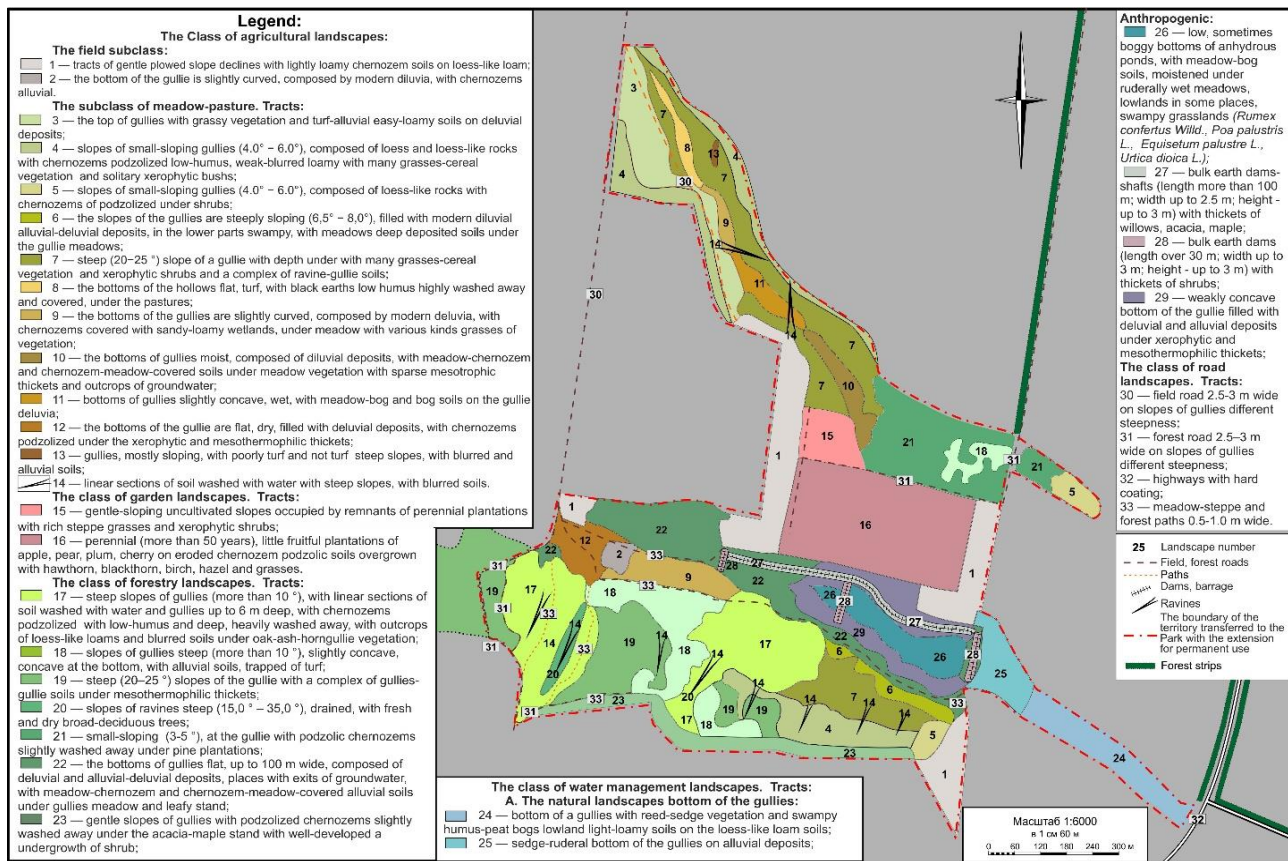


Fig. 3. Structural organization and diversity of typological landscapes perspective territory for inclusion in the Karmelyukove Podillya National Park prospective territory for inclusion in Karmelyukove Podillya National Park

re, orchard.

The *fields* are represented by inclined ploughed sloping slopes with lightly loamy chernozem soils on woody loam on either side of the gullie (see fig. 3). In fact, they are a kind of ecotone of the surrounding land, according to their intended purpose

The *meadows-pastures* in the most holistic form are confined to the reserve lands (25.5 ha), the bottoms of gullies, as well as the southeast slope of the «Vyshenka» tract. The tracts dominate:

1 – Tops of gullies with grasses-cereal vegetation and turf-alluvial light loamy soils on deluvial deposits;

2 – slopes of slightly sloping gullies ( $4.0^\circ - 6.0^\circ$ ), composed of loess and loess-like soil types with black soil of podzolized and low-humus and scantily washed away loam and of the light loam;

3 – the slopes of the gullies are steeply sloping ( $6,5^\circ - 8,0^\circ$ ), filled with modern deluvial, alluvial-deluvial deposits, in the lower parts swampy in some places, with meadow deep alluvial soils under the gully meadows;

4 – steep slope of the gully ( $20-25^\circ$ ) with multifaceted grasses-cereal vegetation and a complex of ravine-gully soils;

5 – the bottoms of the hollows flat, turf, with black earths with low humus, highly washed away and covered, under the pastures;

6 – the bottoms of the gullies are slightly curved, composed by modern deluvial, with chernozems covered with sandy-loamy wetlands, under meadow with various kinds grasses of vegetation;

7 – the bottoms of gullies moist, composed of deluvial deposits, with meadow-chernozem and chernozem-meadow-covered soils under meadow vegetation with sparse mesotrophic thickets and outcrops of groundwater;

8 – bottoms of gullies slightly concave, wet, with meadow-bog and bog soils on the gullies deluvia;

9 – the bottoms of the gullies are flat, dry, filled with deluvial deposits, with chernozems podzolized under the xerophytic and mesothermophilic thickets;

10 – gullies, mostly sloping, with poorly turf and not turf steep slopes, with blurred and alluvial soils;

11 – linear sections of soil washed with water with steep slopes, with blurred soils.

*Garden landscapes* of the study area are confined to the lower slopes of the left side of the gullies. The tracts dominate:

1 – gentle-sloping uncultivated slopes occupied by remnants of perennial plantations with rich steppe grasses and xerophytic shrubs;

2 – *perennial (more than 50 years), little fruitful plantations of apple, pear, plum, cherry on eroded chernozem podzolic soils overgrown with haw-*

*thorn (Crataegus monogyna Jacq.), blackthorn (Prunus spinosa L.), birch (Betula pendula Roth), hazel (Corylus avellana L.) and grasses;*

**Class of forestry landscapes.** The conditions of plowing (slope surfaces, gully-ravine network), complicated by the relief, determined the relatively high afforestation of the studied landscape. Forest crops created in deforestation and previously deforested areas occupy large areas (about 50 hectares) within the «Vyshenka» tract and on the left slope of the gullies, near the old garden. In some cases, logging areas preceded by newly created forest landscapes are covered with steppe vegetation or low-value tree species, most commonly acacia (*Acacia*). The variety of ways of creating self-healing forest landscapes requires the development of a classification scheme for their genesis, which may be one of the tasks of scientific knowledge of the area in the future. All modern forest complexes are represented by two subclasses: conditionally natural, renaturalized and anthropogenic forest landscapes.

The first subclass includes self-healing overgrowths and seed landscapes. The second is forestry and primary-derived landscapes.

The tracts dominate:

1 – steep slopes of gullies (more than  $10^\circ$ ), with linear sections of soil washed with water and gullies up to 6 m deep, with chernozems podzolized with low-humus and deep, heavily washed away, with outcrops of loess-like loams and blurred soils under oak-ash-horngullie vegetation;

2 – slopes of gullies steep (more than  $10^\circ$ ), slightly concave, concave at the bottom, with alluvial soils, trapped of turf;

3 – slopes of ravines steep ( $15,0^\circ - 35,0^\circ$ ), drained, with fresh and dry broad-deciduous trees;

4 – small-sloping ( $3-5^\circ$ ), at the gullie with podzolic chernozems slightly washed away under pine (*Pinus L.*) plantations;

5 – the bottoms of gullies flat, up to 100 m wide, composed of deluvial and alluvial-deluvial deposits, places with exits of groundwater, with meadow-chernozem and chernozem-meadow-covered alluvial soils under gullies meadow and leafy stand;

**Class of water management landscapes** occupies more than 10 hectares and are represented by forested, meadow-stepped and meadow-swamp complexes within the ornithological reserve of the local pond (6.9 hectares; see fig. 2) and the north-eastern suburbs of the «Vyshenka» tract.

Typical types of tracts are the bottoms of gullies with ruderal and wetland vegetation and sod-covered silt-loamy soils on the deluvial deposits. The surface of the tract is flat, complicated by artificial shafts and dikes. There are streams of temporary watercourses, near which the bottoms are heavily



wetland. Tracts outside the reserve are most commonly used under pastures. The vegetation is dominated by sedge-ruderal and shrub-sedge associations, there are small thickets of willow (*Salix cinerea* L., *S. caprea* L., *S. viminalis* L., *S. acutifolia* Willd.), acacia yellow (*Caragana arborescens* Lam.) and white (*Robinia pseudoacacia* L.), maple (*Acer negundo* L.).

The tracts dominate:

*The Natural landscapes bottom of the gullies:*

1 – the bottom of a gully with reed-sedge vegetation and swampy humus-peat bogs lowland light-loamy soils on the loess-like loam soils;

2 – sedge-ruderal bottom of the gullies on alluvial deposits;

*Anthropogenic transformed landscapes:*

1 – low, sometimes boggy bottoms of anhydrous ponds, with meadow-bog soils, moistened under ruderal wet meadows, lowlands in some places, swampy grasslands (horse sorrel *Rumex confertus* Willd., thin-footed marsh *Poa palustris* L., marsh horsetail *Equisetum palustre* L., nettle *Urtica dioica* L.);

2 – bulk earth dams-shafts (length more than 100 m; width up to 2.5 m; height – up to 3 m) with thickets of willows (*Salix acutifolia* Willd., *S. caprea* L., *S. cinerea* L., *S. viminalis* L.), acacia yellow (*Caragana arborescens* Lam.) and white (*Robinia pseudoacacia* L.), maple (*Acer negundo* L.).

3 – bulk earth dams (length over 30 m; width up to 3 m; height – up to 3 m) with thickets of shrubs;

Naturally, hydrotechnical landscapes are artificial entities and require human monitoring and intervention to maintain such landscapes in a stable state. Now artificial reservoirs are subject to cover with silt, overgrowing.

#### **Class of road landscapes.**

Forest-steppe (natural landscapes) and forest-field and forest-pasture (anthropogenic landscapes) types of road landscapes are presented.

The tracts dominate:

1 – field road 2.5-3 m wide on slopes of gullies with different steepness

2 – forest road 2.5-3 m wide on slopes of gullies different steepness

3 – highways with hard coating

4 – meadow-steppe and forest paths 0.5-1.0 m wide.

**Environmental protection landscape** is represented by an ornithological reserve of the local value of the «Ponds» (6.9 ha). The most common in their composition is the undrained type of terrain of wetted (wetland) parts of the bottom of the gully. The slightly drained terrain type of low periodically flooded floodplains is slightly less represented and only a small proportion (about 5%) is the drained

terrain type of high floodplains and dams. In the structure of vegetation of meadow floodplains, floodplain meadows dominate: cereals, grasses and sedges; forest subtypes of the landscape are characterized by willows (*Salix cinerea* L., *S. caprea* L., *S. viminalis* L., *S. acutifolia* Willd.), acacia yellow (*Caragana arborescens* Lam.) and white (*Robinia pseudoacacia* L.), maple (*Acer negundo* L.). In the moistened reductions in the relief of development, grass, sedge, hypno-sedge and reed-sedge swamps acquired. The list of dominant tracts is given when characterizing water management landscapes.

**Conclusions.** Karmelyukove Podillya NNP is located in the southeastern part of Vinnytsia region. Within its economic zone and adjacent lands there are a number of valuable sites that are of particular conservation value.

The research confirmed the need to organize rational use of nature and protection of landscape and biodiversity of the territory, which, according to the project of creation of the Park, was included in the NNP "Karmelyukovo Podillya" without removal from the user, in order to preserve it and balanced development as a complete landscape system. Landscape-cartographic approach, carried out by the application of the expedition method, allowed to fix the replacement of latitudinal-typical forest-steppe landscapes with different genesis anthropogenic variants – agricultural, forestry, water management nature and road landscapes of anthropogenic landscapes.

Application of the regional-typological principle of research and the allocation of tracts in the objects mapping helps to visualise in the imagery-iconic shape, morphological features, structural and genetic homogeneity of the research area and is an important and effective tool for the implementation of landscape diagnosis. The results of determination and analysis of the territorial organization promising to expand the areas of NNP, given the characteristics of the investigated landscape-typological units, is the most compelling basis in the planning and development of effective conservation of functional-territorial structure.

Selected as a result of mapping, landscape complexes of tracts are the most typical for the study area, but the information does not exhaust all their landscape diversity and is both the basis and prerequisite for further detailed landscape studies, first of all the dynamics, development and evolution of landscapes. Given the limitations of the expeditionary method in collecting information from these areas of study, it would be logical to propose to consider planning, organizing, and conducting semi-stationary and stationary studies of the area to produce deeper and more detailed results.

## References

1. Diamond, J. Trump calls climate activists perennial prophets of doom during Davos economic forum [Electronic resource] / J. Diamond, N. Carvajal. – Available at : <https://edition.cnn.com/2020/01/21/politics/donald-trump-davos-speech-climate-change/index.html>
2. Roman-Palacios, C., Wiens, J. Recent responses to climate change reveal the drivers of species extinction and survival [Electronic resource] / C. Roman-Palacios, J. Wiens. – Available at : <https://doi.org/10.1073/pnas.1913007117>
3. Галущенко, С. Охраняемые природные территории Европы. Концепция невмешательства [Электронный ресурс] / С. Галущенко. – Режим доступа: <http://ecoethics.ru/ohranyaemyie-prirodnyie-territorii-evropyi-kontseptsiya-nevmeshatelstva/>
4. Гудзевич, А. Вінниччина: цифри та факти [Текст] : навчальний посібник / А. Гудзевич, В. Любченко, І. Война. – Вінниця: ПП Балюк І.Б., 2018. – 320 с.
5. Гудзевич, А. Особливості формування природно-заповідної мережі Вінниччини [Текст] / А. Гудзевич // Екологічний контроль і моніторинг стану дубових лісів Поділля та особливості їх природного відновлення: М-ли I-ої Міжнародної науково-практичної конференції (20-22 травня 2015 року). – Вінниця: ФОП Корзун Д. Ю., 2015. – С. 11-15.
6. Европейская конвенция о ландшафтах (20 октября 2000 г.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.coe.int/t/dg4/cultureheritage/heritage/landscape/versionsconvention/Russian.pdf>
7. Брагин, П. Морфодинамический анализ топологии ландшафта как базовая операция ландшафтного планирования: автореф. на соиск. научн. степени канд. геогр. наук. : спец. 25.00.23. «Физическая география и биогеография, география почв и геохимия» [Текст] / П. Брагин. – Ярославль, 2005. – Режим доступа: <http://earthpapers.net/morfodinamicheskij-analiztopologii-landshafta-kak-bazovaya-operatsiya-landshaftnogo-planirovaniya>
8. Боков, В. Учет структуры и организации ландшафтов в планировочных решениях [Текст] / В. Боков, С. Карпенко // Актуальные проблемы ландшафтного планирования: Материалы всеросс. научн.-практ. конференции. – М.: Изд-во МГУ, 2011. – С. 29-33.
9. Природа Украинской ССР. Ландшафты и физико-географическое районирование [Текст] / А. Маринич, В. Пащенко, П. Шищенко. – Киев: Наукова думка, 1985. – 224 с.
10. Батуев, А. Обоснование и картографирование территориальной структуры экологического каркаса региона [Текст] / А. Батуев, Д. Лопаткин // Изв. Иркут. ун-та. Сер. «Науки о Земле». – 2008. – Т. 1, № 1. – С. 56-75.
11. Asfaw, M. Quantification and mapping of the spatial landscape pattern and its planning and management implications a case study in Addis Ababa and the surrounding area, Ethiopia [Electronic resource] / M. Asfaw, W. Hailu, K. Mengistie. *Geology, Ecology, and Landscapes*. <https://doi.org/10.1080/24749508.2019.1701309>
12. Максименко, Н. Ландшафтно-екологічне планування в інвайронментальному менеджменті територій локального рівня організації довкілля: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра. геогр. наук : спец. 11.00.11 «Конструктивна географія і раціональне використання природних ресурсів» [Текст] / Н. Максименко. – Харків: ХНУ, 2018. – 44 с.
13. Удовиченко, В. Конструктивно-географічні засади регіонального ландшафтного планування: теорія, методологія, практика (на прикладі Лівобережної полісько-лісостепової частини території України: дис. ... доктора географ. наук : спец. 11.00.11 [Текст] / Удовиченко Вікторія Віталіївна. – Київ: КНУ, 2018. – 563 с.
14. Гавриленко, О. Дослідження антропогенної трансформації сучасних ландшафтів України для цілей геоекологічного обґрунтування системи природоохоронних заходів [Текст] / О. Гавриленко // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія Географія. – 2004. – Вип. 49. – С. 12-15.
15. Гудзевич, А. Ландшафтна і біотична різноманітність проектного Подільського національного природного парку [Текст] / А. Гудзевич // Екологічний вісник. – вересень–жовтень 2006. – №5 (39). – С. 2-4
16. Звіт з наукової теми: «Науково-пошукові роботи по забезпеченню підготовки матеріалів щодо створення Чечельницького національного природного парку» [Текст] / за заг. ред. А. Гудзевича. – № д/р 4/17. – Вінниця, 1998. – 54 с.
17. Гудзевич, А. Функціональне зонування проектного національного природного парку «Південне Поділля» [Текст] / А. Гудзевич // Наукові записки ТДПУ. – Серія Географія. – №2. – 2001. – С. 88-99.
18. Гудзевич, А. Особливості господарської зони проектного національного природного парку на Вінниччині [Текст] / А. Гудзевич // Наукові записки ТДПУ. – Серія Географія. – № 2. 2004. – С. 88-99.
19. Гудзевич, А. Просторово-часова організація сучасних ландшафтів: теорія і практика [Текст] : монографія / А. Гудзевич. – Вінниця: Віндрук, 2012. – 232 с. + 28 іл.
20. Проект організації території Національного природного парку «Кармелюкове Поділля», охорони, відтворення та рекреаційного використання його природних комплексів та об'єктів [Текст] / ПрАТ «Наукововиробничий комплекс «Курс»; ПП «Центр екологічного управління». – Київ, 2016. – 236 с.
21. Кочергина, З. Оценка ландшафтной структуры для целей землеустройства [Текст]: учеб. пособие / З. Кочергина, И. Хоречко. – Омск : Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2007. – 120 с.
22. *Landschaftsplanung. Inhalte und Verfahrensweisen.* – Bonn: Bundesministerium fuer Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. – 1997. – P. 18-23.
23. Ndubisi, F. Landscape ecological planning [Text] / F. Ndubisi // *Ecological design and planning* [eds. G.F. Thompson, F.R. Steiner]. – N. Y.: Wiley, 1997. – P. 9-44.
24. Petry, D. Landscape function assessment and regional planning: creating knowledge bases for sustainable landscape development [Text] / D. Petry // *Landscape balance and landscape assessment.* – Berlin: Springer, 2001. – P. 251-280.
25. Steiner, F. *The living landscape: an ecological approach to landscape planning* [Text] / F. Steiner. – 2nd ed. – N. Y.: McGraw-Hill, 2000. – 477 p.



26. *Методические указания по ландшафтным исследованиям для сельскохозяйственных целей [Текст] / [ред. Г. Швец, П. Шищенко]. – М.: ВАСХНИЛ, 1990. – 58 с.*
27. *Методы комплексных физико-географических исследований [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов / В. Жучкова, Э. Раковская. – М.: Академия, 2004. – 368 с.*
28. *Семенов, Ю. Картографирование геосистем для ландшафтного планирования районов Республики Алтай [Текст] / Ю. Семенов, Г. Лысанова // География и природ. ресурсы. – 2016. – № 4. – С. 66-75.*
29. *Пересадыко, В. Картографічне забезпечення екологічних досліджень і охорони природи [Текст]: монографія / В. Пересадыко. – Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна. 2009. – 242 с.*
30. *Ahern, J. Spatial concepts, planning strategies and future scenarios: a framework method for integrating landscape ecology and landscape planning [Text] / J. Ahern. – N. Y.: Springer, 1999. – P. 175-201.*
31. *Steinitz, C. A framework for planning practice and education [Text] / C. Steinitz // Ecological landscape planning [ed. M. Bunji]. – Tokyo: Process Architecture, 1995. – P. 42-54.*
32. *Wiens; J. Scaling of «landscapes» in landscape ecology, or, landscape ecology from a beetle's perspective [Text] / J. Wiens; B. Milne // Landscape Ecology. – USA New Mexico-Fort Collins: SPB Academic Publishing, 1989. – Vol. 3, No 2. – P. 87-96.*
33. *Удосконалена схема фізико-географічного районування України [Текст] / О. Маринич, Г. Пархоменко, О. Петренко, П. Шищенко // Український географічний журнал. – 2003. – №1. – С. 16-20.*
34. *National Atlas of Ukraine. Kyiv: DNVP Kartografiya, 2007.*

**Authors' Contribution:** All authors have made an equal contribution to this work

UDC 911.5:913 (477.44)

**Anatoliy Hudzevich,**

Doctor of Sciences (Geography), Professor, Department of Geography,  
Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskiy State Pedagogical University,  
32 Ostrozhskoho St., Vinnytsia, 21001, Ukraine,  
e-mail: [amarek@ua.fm](mailto:amarek@ua.fm), <https://orcid.org/0000-0001-8884-9436>;

**Vasyl Liubchenko,**

PhD (Geography), Head of the Research Department of the Karmelyukove Podillya National Nature Park,  
15 Sviato-Mikhailivskia St., Chechelnyk village, 24800, Vinnytsia region, Ukraine,  
e-mail: [vasalve@gmail.com](mailto:vasalve@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-1871-5341>;

**Lina Bronnikova,**

Senior Lecturer (Agriculture), Department of Agriculture, Soil Science and Agrochemistry  
Vinnytsia National Agrarian University, 3 Soniachna St., Vinnytsia, 21100, Ukraine,  
e-mail: [linabronnikova@gmail.com](mailto:linabronnikova@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-1790-161X>;

**Ludmila Hudzevich,**

PhD (Biology), Associate Professor, Department of Biology,  
Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskiy State Pedagogical University,  
e-mail: [gudzevichluda@gmail.com](mailto:gudzevichluda@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-7631-7704>

## **LANDSCAPE APPROACH TO REGIONAL FEATURES ORGANIZATION OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT OF THE PROTECTED AREA**

**Formulation of the problem.** The nature protection territories of Ukraine and Vinnytsia region in particular are experiencing the not best period of their development. This is reflected in the low indicators and the rate of development of the Nature Reserve Fund, which are lagging behind those declared in the programming documents and European norms.

Substantial expansion of already existent nature protection territories can help the decision of not simple problem and before everything level of national natural park.

**The purpose of the article.** The use of landscape analysis to form an idea of the territorial structure and physiognomic features of the landscape complexes of an economic area of a national nature park and adjacent areas to prevent the loss of their landscape and biodiversity. Research methods included field-based observations and mapping.

**Results.** The area under study for the extension of the Karmelyukove Podillya National Park belongs to the class of plain Eastern European landscapes. The general background of the forest-steppe complexes is formed by landscapes of elevated forest plains, strongly indented by ravines and gullies, with chernozems of podzolized. This type of landscapes is a consequence of the active development of erosion-denudation processes within the most hypsometrically elevated in the studied territory of the southeastern spurs of the Podolsk hills. The forest-steppe type includes three subtypes of landscapes: broad-leaved forest, rare-forested

forest steppe, and meadow-steppe. The peculiarity of the manifestation and distribution of types of landscapes is caused by the fact that the areas of their location are intersected by intrazonal anthropogenic landscape complexes, the formation of which is caused by such types of nature management as forestry and agriculture. The consequence of age-old human activity is the formation of different classes of anthropogenic landscapes of agricultural, forestry, water management nature and road. The results of the research were used to create a map of the landscapes of the prospective territory for inclusion in the Karmelyukove Podillya National Park. Apart from high-level typological units (classes and types of landscapes), it presents 33 types of tracts, which are currently the most typical landscapes of the study sites. The information presented on the map does not exhaust their entire landscape diversity and is the basis for further detailed landscape studies.

**The scientific novelty** of the research is determined by the originality and detail of the information about the landscape structure of the national nature park, and its practical importance is determined by the possibility of using the results of landscape-cartographic analysis for the needs of optimizing the functioning of high-level nature protection institutions. Landscape justification for the expediency of including the studied area (text and map of landscapes of the «Vyshenka» tract and adjacent territory) was submitted to the Park administration for permanent use.

**Keywords:** landscape analysis, national nature park, landscape map, anthropogenic landscapes, tracts of terrain types.

### References

1. Diamond, J., Carvajal, N. (2020). Trump calls climate activists perennial prophets of doom during Davos economic forum. Access mode: <https://edition.cnn.com/2020/01/21/politics/donald-trump-davos-speech-climate-change/index.html>
2. Roman-Palacios, C., Wiens, J. (2020). Recent responses to climate change reveal the drivers of species extinction and survival. Access mode: <https://doi.org/10.1073/pnas.1913007117>
3. Halushchenko, S. (2017). Okhroniaemie pryrodnie terytoryy Evropy. Kontseptsyia nevmeshatelstva [Protected natural areas of Europe. The concept of non-interference]. Access mode : <http://ecoethics.ru/ohranyaemye-prirodnyie-territorii-evropyi-kontseptsyia-nevmeshatelstva/> [in Ukrainian].
4. Hudzevich, A., Liubchenko, V., War, I. (2018). Vinnychchyna: tsyfry ta fakty [Vinnytsia region: figures and facts: a textbook]. Vinnytsia: PP Baliuk I.B. [in Ukrainian].
5. Hudzevych, A. (2015). Osoblyvosti formuvannya pryrodno-zapovidnoi merezhi Vinnychchyny [Features of formation of the nature reserve network of Vinnytsia region]. Ekolohichniy kontrol i monitorynh stanu dubovykh lisiv Podillia ta osoblyvosti yikh pryrodnoho vidnovlennia: M-ly I-oi Mizhnarodnoi naukovy-praktychnoi konferentsii (20-22 travnia 2015 roku). Vinnytsia: FOP Korzun D. Yu, 11-15 [in Ukrainian].
6. Evropeyskaya konventsiya o landshaftah (20 oktyabrya 2000) [European Landscape Convention (October 20, 2000)]. Access mode: <http://www.coe.int/t/dg4/cultureheritage/heritage/landscape/versionsconvention/Russian.pdf> [in Russian].
7. Bragin, P. (2005). Morfodinamicheskii analiz topologii landshafta kak bazovaya operatsiya landshaftnogo planirovaniya [Morphodynamic analysis of landscape topology as a basic operation of landscape planning]. Extended abstract of candidate's thesis. Yaroslavl. Access mode: <http://earthpapers.net/morfodinamicheskii-analiz-topologii-landshafta-kak-bazovaya-operatsiya-landshaftnogo-planirovaniya> [in Russian].
8. Bokov, V., Karpenko, S. (2011). Uchet struktury i organizatsii landshaftov v planirovochnykh resheniyah [Consideration of the structure and organization of landscapes in planning decisions]. Aktualnyie problemy landshaftnogo planirovaniya – Actual problems of landscape planning: Materialy vsereoss. nauchn.-prakt. konferentsii. (pp. 29-33). Moskva: Izd-vo MGU [in Russian].
9. Marinich, A., Paschenko, V., Shischenko, P. (1985). Priroda Ukrainy SSR. Landshafty i fiziko-geograficheskoe rayonirovanie [The nature of the Ukrainian SSR. Landscapes and physical-geographical zoning]. Kiev: Naukova dumka [in Ukrainian].
10. Batuev, A., Lopatkin, D. (2008). Obosnovanie i kartografirovaniye territorialnoy strukturyi ekologicheskogo karkasa regiona [Justification and mapping of the territorial structure of the ecological framework of the region]. Izv. Irkut. un-ta. Ser. «Nauki o Zemle» – Izv. Irkut un-that. Ser. Earth Sciences (Vols. 1), 1, 56-75 [in Russian].
11. Asfaw, M., Hailu, W., Mengistie, K. (2019). Quantification and mapping of the spatial landscape pattern and its planning and management implications a case study in Addis Ababa and the surrounding area, Ethiopia. Geology, Ecology, and Landscapes. <https://doi.org/10.1080/24749508.2019.1701309>
12. Maksymenko, N. (2018). Landshaftno-ekolohichne planuvannya v invarionmentalnomu menedzhmenti terytorii lokalnoho rivnia orhanizatsii dovkilla [Landscape-ecological planning in environmental management of territories of local level of environmental organization]. Extended abstract of Doctor's thesis. Kharkiv: KhNU [in Ukrainian].
13. Udovychenko, V. (2018). Konstruktyvno-heohrafichni zasady rehionalnoho landshaftnogo planuvannya: teoriia, metodolohiia, praktyka (na prykladi Livoberezhnoi polisko-lisostepovoi chastyny terytorii Ukrainy [Structural-geographical bases of regional landscape planning: theory, methodology, practice (on the example of the Left-bank Polissio-forest-steppe part of the territory of Ukraine)]. Doctor's thesis. Kyiv: KNU, 2018 [in Ukrainian].
14. Havrylenko, O. (2004). Doslidzhennia antropohennoi transformatsii suchasnykh landshaftiv Ukrainy dlia tsilei heoekolohichnoho obgruntuvannya systemy pryrodookhoronnykh zakhodiv [Investigation of anthropogenic transformation of modern landscapes of Ukraine for the purposes of geo-ecological substantiation of the system of nature conservation measures].

- Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka, Seriya Heohrafiia [Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geography Series], 49, 12-15 [in Ukrainian].*
15. Hudzevych, A. (2006). *Landshaftna i biotychna riznomanitnist proektovanoho Podilskoho natsionalnoho pryrodnoho parku [Landscape and biodiversity of the projected Podilsky National Nature Park]. Ekologichnyi visnyk, veresen–zhovten. Ecological Bulletin, 5 (39), 2-4 [in Ukrainian].*
  16. *Zvit z naukovoi temy: «Naukovo-poshukovi roboty po zabezpechenniu pidhotovky materialiv shchodo stvorennia Chechelnytskoho natsionalnoho pryrodnoho parku» (1998). [Report on the scientific topic: «Research and development work to ensure the preparation of materials for the creation of the Chechelnytsky National Nature Park»]. Za zah. red. A.V. Hudzevycha. № d/r 4/17. Vinnytsia [in Ukrainian].*
  17. Hudzevych, A. (2001). *Funktionalne zonuвання proektovanoho natsionalnoho pryrodnoho parku «Pivdenne Podillia» [Functional zoning of the projected South Podillya National Nature Park]. Naukovi zapysky TDPU – Scientific notes of TSPU, 2, 88-99 [in Ukrainian].*
  18. Hudzevych, A. (2004). *Osoblyvosti hospodarskoi zony proektovanoho natsionalnoho pryrodnoho parku na Vinnychchyni [Features of the economic zone of the projected national natural park in Vinnytsia region]. Naukovi zapysky TDPU – Scientific notes of TSPU, Seriya Heohrafiia, № 2, 88-99 [in Ukrainian].*
  19. Hudzevych, A. (2012). *Prostorovo-chasova orhanizatsiia suchasnykh landshaftiv: teoriia i praktyka [Spatio-temporal organization of modern landscapes: theory and practice]. Vinnytsia: Vindruk [in Ukrainian].*
  20. *Proekt orhanizatsii terytorii Natsionalnoho pryrodnoho parku «Karmeliukove Podillia», okhorony, vidtvorennia ta rekreatsionoho vykorystannia yoho pryrodnykh kompleksiv ta ob'ektiv (2016). [The project of the organization of the territory of the Karmelyukovo Podillya National Nature Park, protection, reproduction and recreational use of its natural complexes and objects]. Kyiv [in Ukrainian].*
  21. Kocherhyna, Z., Khorechko, Y. (2007). *Otsenka landshaftnoi strukturi dlia tselei zemleustroistva [Assessment of landscape structure for land use purposes]. Omsk : Yzd-vo FHOU VPO OmHAU [in Russian].*
  22. *Landschaftsplanung (1997). Inhalte und Verfahrensweisen. Bonn, Bundesministerium fuer Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 18-23.*
  23. Ndubisi, F., eds. Thompson, G.F., Steiner, F.R. (1997). *Landscape ecological planning. Ecological design and planning. N.Y.: Wiley, 9-44.*
  24. Petry, D. (2001). *Landscape function assessment and regional planning: creating knowledge bases for sustainable landscape development. Landscape balance and landscape assessment. Berlin, Springer, 251-280.*
  25. Steiner, F. (2000). *The living landscape: an ecological approach to landscape planning. 2nd ed. N. Y.: McGraw-Hill.*
  26. Shvebs, H., Shyshchenko, P. (1990). *Metodycheskye ukazanyia po landshaftnim yssledovanyiam dlia selskokhoziaistvennykh tselei [Guidelines for Landscape Research for Agricultural Purposes]. Moskva: VASKHNYL [in Russian].*
  27. Zhuchkova, V., Rakovskaia, Ye. (2004). *Metodi kompleksnykh fizyko-heohrafycheskykh yssledovanyi [Methods of complex physical-geographical studies]. Moskva: Akademyia [in Russian].*
  28. Semenov, Yu., Lyisanova, G. (2016). *Kartohrafyrovanye heosystem dlia landshaftnoho planyrovanyia raionov Respublyky Altai [Mapping of geosystems for landscape planning of regions of the Altai Republic]. Heohrafiya y pryrod. Resursi – Geography and natures. resources, 4, 66-75 [in Russian].*
  29. Peresadko, V. (2009). *Kartohrafichne zabezpechennia ekolohichnykh doslidzhen i okhorony pryrody [Cartographic support for environmental research and nature conservation]. Kharkiv: KhNU im. V. N. Karazina [in Ukrainian].*
  30. Ahern, J. (1999). *Spatial concepts, planning strategies and future scenarios: a framework method for integrating landscape ecology and landscape planning. N.Y.: Springer, 175-201.*
  31. Steinitz, C., ed. Bunji, M. (1995). *A framework for planning practice and education. Ecological landscape planning. Tokyo, Process Architecture, 42-54.*
  32. Wiens, J., Milne, B. (1989). *Scaling of «landscapes» in landscape ecology, or, landscape ecology from a beetle's perspective. Landscape Ecology. USA New Mexico - Fort Collins, SPB Academic Publishing, 3, 2, 87-96.*
  33. Marynych, O., Parkhomenko, H., Petrenko, O., Shyshchenko P. (2003). *Udoskonalena skhema fizyko-heohrafichnoho raionuvannia Ukrainy [The scheme of physical-geographical zoning of Ukraine has been improved]. Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal – Ukrainian Geographical Magazine, 1, 16-20 [in Ukrainian].*
  34. *National Atlas of Ukraine (2007). Kyiv: DNVP Kartografiya [in Ukrainian].*

УДК 911:304.3

**Григорій Іванович Денисик,**

д. геогр. н., професор, кафедра географії,  
Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського,  
вул. Острозького, 32, м. Вінниця, 21100, Україна,  
e-mail: [vdpugeo2014@gmail.com](mailto:vdpugeo2014@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0941-9217>;

**Костянтин Володимирович Мезенцев,**

д. геогр. н., професор, кафедра економічної та соціального географії,  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
вул. Володимирська, 64, м. Київ, 01601, Україна,  
e-mail: [mezentsev@knu.ua](mailto:mezentsev@knu.ua), <https://orcid.org/0000-0003-1974-7860>;

**Єкатерина Анатоліївна Антіпова,**

д. геогр. н., професор, кафедра економічної та соціального географії,  
Білоруський державний університет,  
просп. Незалежності, 4, м. Мінськ, 220030, Білорусь,  
e-mail: [antipovaekaterina@gmail.com](mailto:antipovaekaterina@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-7862-5500>;

**Алла Григорівна Кізюн,**

к. геогр. н., доцент, Вінницький торговельно-економічний інститут  
Київського національного торговельно-економічного університету,  
вул. Соборна, 87, м. Вінниця, 21000, Україна,  
e-mail: [akizyun@gmail.com](mailto:akizyun@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2838-9428>

## ГЕОГРАФІЯ ПОВСЯКДЕННЯ: ПРОСТОРОВЕ РІЗНОМАНІТТЯ ПОВСЯКДЕННОГО ЖИТТЯ

У статті показано, що розвиток нового напрямку географічних досліджень на пострадянському просторі зумовлений необхідністю пізнання просторового різноманіття повсякденної життєдіяльності людей та вирішення їх місцевих проблем. Відмічається, що у багатьох випадках різноманіття повсякдення впливає не лише на умови життя, але й формує поведінку, практики, звичаї місцевого населення. Якщо представники гуманітарних наук розпочали активно досліджувати повсякденне життя людей, то у пострадянській географії ця проблема поки що недооцінена. Попередні дослідження показують, що пізнання географічних особливостей повсякденної життєдіяльності людей є актуальним і призведе до виокремлення нового оригінального напрямку досліджень – географії повсякдення. Під повсякденним життям маються на увазі звичайні, буденні дії, переживання, поведінка людей, їх взаємодія з навколишнім середовищем. Повсякденність – це часовий (добовий, місячний, річний) зріз життєвого (людини, громади, суспільства) середовища у межах конкретної території. Зосередження уваги географів на повсякденному житті людей дає глибше розуміння протікання та наслідків різноманітних соціальних і культурних процесів, екологічного стану сучасного дестабілізованого середовища.

У статті здійснено аналіз світового дискурсу щодо просторового різноманіття повсякденного життя та концептуалізації емоційної, афективної, нерепрезентативної, анімативної, буденної та інших географій. Особливу увагу приділено ключовим поняттям географії повсякденного життя – повсякденним просторам, практикам та подіям. Розглянуто перспективні напрями подальших досліджень географії повсякдення (серед яких просторово-часовий, художньо-географічний, повсякденно-туристичний підходи), а також практичне значення досліджень просторового різноманіття повсякденного життя людей для територіального управління.

**Ключові слова:** географія повсякденного життя, географія повсякдення, розвиток, просторове різноманіття, повсякденні простори, повсякденні практики.

**Г. І. Денисик, К. В. Мезенцев, Е. А. Антіпова, А. Г. Кізюн. ГЕОГРАФИЯ ПОВСЕДНЕВНОСТИ: ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ПОВСЕДНЕВНОЙ ЖИЗНИ.** В статье показано, что развитие нового направления географических исследований на постсоветском пространстве обусловлено необходимостью изучения пространственного разнообразия повседневной жизнедеятельности людей и решением их местных проблем. Отмечается, что во многих случаях разнообразие повседневности влияет не только на условия жизни, но и формирует поведение, практики, обычаи местного населения. Если представители гуманитарных наук начали активно изучать повседневную жизнь, то в постсоветской географии эта проблема пока что недооценена. Предыдущие исследования показывают, что изучение географических особенностей повседневной жизнедеятельности людей является актуальным и приведет к выделению нового оригинального направления исследований – географии повседневности. Под повседневной жизнью подразумеваются обычные, будничные действия, переживания, поведение людей, их взаимодействие с окружающей средой. Повседневность – это временной (суточный, месячный, годичный) срез жизненной (отдельного человека, общины, общества) среды в пределах конкретной территории. Концентрация внимания географов на повседневной жизни людей дает возможность глубже понимать протекание и результаты разнообразных социальных и культурных процессов, экологического состояния современной дестабилизированной окружающей среды.

В статье проанализирован мировой дискурс касательно пространственного разнообразия повседневной жизни людей и концептуализации эмоциональной, аффективной, нерепрезентативной, анимационной, будничной и других географий. Особое внимание уделено ключевым понятиям географии повседневной жизни – повседневным пространствам, практикам и событиям. Рассмотрены перспективные направления дальнейших исследований географии повседневности (среди которых пространственно-временной, художественно-географической, повседневно-туристической), а также практическое значение исследований пространственного разнообразия повседневной жизни людей для территориального управления.

**Ключевые слова:** география повседневной жизни, география повседневности, развитие, пространственное разнообразие, повседневные пространства, повседневные практики.

**Постановка проблеми.** На початку XXI ст. географічні дослідження на пострадянському просторі почали чіткіше відображати наявні проблеми життєдіяльності людей. У першому десятиріччі такими були екологічні проблеми (хоча географія завжди брала участь у їх вирішенні), у другому – питання рекреації, туризму, проведення дозвілля. Є й інші цікаві напрями географічних досліджень, що потребують не менше уваги з боку науковців-географів. Серед них – своєрідний напрям, який лише зароджується, однак безперечно має гарні перспективи розвитку, напрям, основою якого є пізнання просторових особливостей різноманіття повсякденного життя людей. Повсякденність належить до сфер, які допомагають сформуванню цілісної картини реалій певного досліджуваного проміжку часу – дня, тижня, місяця, року, періоду життя людини, спільноти (громади), суспільства у межах визначеної території. У повсякденні відбувається індивідуальна просторово-часова адаптація людини до матеріального і духовного світу, результати якої, у свою чергу, часто залежать від природного середовища. Проте поки що географічні дослідження просторового різноманіття повсякдення (у подальшому «географія повсякдення») на пострадянському просторі не отримали належної уваги.

**Аналіз попередніх досліджень і публікацій.** Повсякдення зацікавило фахівців різних наук, особливо істориків, філософів, етнологів, культурологів, соціологів, політологів та, частково, географів-суспільників. Основним результатом досліджень останніх можна вважати твердження, що чим більша кількість знань з будь-якої науки, зокрема й соціальної географії, стає «оповсякденною», тим більшу роль ця галузь знань виконує у практиці життєдіяльності населення. У зарубіжній географії як один із проявів «культурного повороту» («cultural turn») розглядають «поворот до повсякденного» («a turn towards the everyday» [1], яке часто залишається поза увагою дослідників. Так, зазвичай у географічних дослідженнях культурних ландшафтів недостатньо уваги приділяється людям, які мешкають в них у конкретні моменти; при дослідженні транспортних мереж недостатньо уваги приділяється щоденним користувачам, а при дослідженні шопінгу зазвичай увага концентрується на молах, а не місцевих магазинах, до яких люди ходять за повсякденними речами; при дослідженні рекреації більше праць присвячено Диснейленду або подібним об'єктами, ніж місяцям, де люди щодня проводять вільний час [2].

Фактично перший заклик до суспільно-географів звернути увагу на повсякденне життя наприкінці 1980-х років зробив Джон Ейлс,

який підкреслював, що через рутинний характер небагато хто з нас взагалі достатньо багато думає про наше повсякдення життя [3]. Підкреслюється, що зосередження уваги на повсякденній географії може дати глибше розуміння протікання наслідків різноманітних соціальних та культурних процесів. Посилення уваги до повсякденних аспектів традиційних для суспільної географії об'єктів дослідження – виробництва, споживання, відпочинку, ідентичності – може виявити деякі їх основні, але досі приховані деталі. Безперечно, що до географів-суспільствознавців приєднуються і географи-природнички, однак досліджень стосовно пізнання географічних особливостей повсякденності у природничій географії поки що немає.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** У зв'язку з тим, що дослідження повсякдення географами на пострадянському просторі лише розпочинаються, виникає необхідність розгляду невирішених або лише частково розкритих питань, таких як конкретизація географічної сутності повсякдення, аналізу зарубіжного досвіду його концептуалізації, обґрунтування можливостей та необхідності розвитку досліджень просторового різноманіття повсякденного життя населення у минулому, нині та в майбутньому.

**Мета роботи** – розглянути можливі шляхи становлення й розвитку географічних досліджень повсякденного життя людей упродовж певного проміжку часу, розкрити перспективи виокремлення нового напрямку географічних досліджень на пострадянському просторі – географії повсякдення.

**Результати дослідження.** Під повсякденним життям розуміємо звичайні, буденні дії, переживання, взаємодії людини. У науковій літературі повсякденність практикується (з посиланням на А. Шюца) як увесь соціокультурний світ, де людина існує так само, як й інші люди, взаємодіючи з ними й об'єктами навколишнього світу, впливаючи на них, змінюючи їх, зазначаючи у свою чергу їхніх впливів і змін [4]. Зокрема, показано, що повсякденність – це часовий (добовий, місячний, річний) зріз життєвого (людини, громади, суспільства) середовища у межах конкретної території. Повсякденність формує буденне життя – постійні процеси «оповсякденювання» діяльності людей у вигляді спілкування з довіллям, навчання, засвоєння традицій та закріплення норм і правил поведінки, опанування того чи іншого способу життя, засобів досягнення цілей тощо. Однак повсякденність постійно порушується інноваціями, появою незвичного, відхиленням від стереотипів, традицій і формуванням нових правил. Незвичне впродовж пев-



ного проміжку часу долучається до процесу «повсякденювання» і, перетворюючись на повсякденне, розширює сферу буденного [4]. Яскравий приклад прояву цього процесу – сприйняття нашими предками екстремальних явищ природи: сонячного затемнення, буревіїв, злив, паводків, зафіксованих у літописах, що здебільшого відображають повсякдення життя відповідного періоду у межах конкретної території. Ці нові природничі знання виступають як елемент «подолання повсякденності», як щось нове і небуденне. Згодом вони перетворюються на повсякденне, розвиваючи при цьому не лише світогляд людини, а й виступають стимулюючим чинником творення нової дійсності.

Географія повсякденного життя досліджує конкретні реакції людей у конкретних та просторових умовах [3]. Повсякденне розглядають як «нормальне», «те, що само розуміється» («taken for granted»), «все-навколо-нас-ність» («all-around-us-ness») [1]. Повсякдення є скрізь, дослідники вивчають «повсякденні політичні практики», «повсякденний спротив», «повсякденні міські подорожі», «повсякденне харчування», «повсякденну політику» і, ширше – «повсякденне життя» та «повсякденну географію» [5]. При цьому повсякденне життя не сприймається як єдність, вона складається з множин типових, але не обов'язково пов'язаних між собою дій, кожна з яких приймається учасниками як належне (робота, сімейне життя, дозвілля тощо) [3]. Географія повсякденного життя передусім фокусується на дослідженні повсякденних просторів, повсякденних практик та повсякденних подій.

*Повсякденні простори* – звичайні, ординарні, банальні, непомітні простори, в яких відбувається повсякденне життя. Це місця, які не є «яскравими містами світу», регулярно не фігурують у роботах провідних теоретиків, не відзначаються «постмодерною архітектурою, авангардною культурою чи радикальними соціальними рухами» [1]. Однак саме в таких місцях проживає більшість населення, і вони часто залишаються поза увагою дослідників. Прикладом повсякденного простору є внутрішній двір будинку чи кав'ярня, де відбуваються зустрічі, комунікації, спілкування, спостереження та інші, на перший погляд, другорядні активності.

Окремо виділяють таку категорію повсякденних просторів, де не відбувається практично ніякої активності, «де ми не робимо нічого, окрім того, що чекаємо», але саме там «відбувається» значна частина повсякденного життя. Для них пропонується термін «не-місця» («non-places»), тобто місця, «які не можна визначити як реляційні, історичні або пов'язані з ідентичністю» [6]. Це місця, до яких немає якоїсь особливої

прив'язаності, які, не маючи власної значимої історії, не відіграють особливої ролі у формуванні культурного життя, ідентичності. Наприклад, зупинки автобусів, вестибюлі готелів, відділення банків, а також автомагістралі, аеропорти чи інші інфраструктурні об'єкти, так звані «простори очікування та нудьгування» [7].

Повсякденні простори можуть бути доступними та безпроблемними для більшості людей, але водночас ексклюзивними і проблемними для певних соціальних груп, наприклад, жінок чи осіб з окремими потребами [8, 9, 10]. Окремі повсякденні простори спеціально створені лише або переважно для чоловіків чи жінок. Сприйняття повсякденних просторів також доволі гендерно-орієнтоване. Окремі повсякденні простори (наприклад, окремі вулиці, парки, інші публічні простори) багато жінок часто сприймають як місця тривоги та страху, тоді як чоловіки можуть їх вважати непримітними або навіть приємними. Можна вести мову про повсякденну географію уникнення чи прихильності до певних місць, просторів.

*Повсякденні практики* – звичайні, ординарні щоденні практики, рутинні дії, «які ми всі робимо, у чому беремо участь», «рутинні активності ординарних людей, як вони проживають своє повсякденне життя» [11], «форми життя, які ми зазвичай вважаємо непримітними і тому приймаємо як належне» [12], практики, які ми робимо щодня, не думаючи про це [1]. Наприклад, повсякденні практики поїздки на роботу та з роботи, практики повсякденної купівлі продуктів харчування, виходу собаки чи проведення дозвілля. Важливо зазначити, що одні й ті ж повсякденні практики при їх детальному розгляді можуть суттєво відрізнятися в різних місцях, а це актуалізує доцільність їх географічного вивчення.

Важливою рисою повсякденних практик є їхня мінливість. Так, урбанізаційні процеси суттєво впливають на спосіб життя людей з погляду посилення різноманітності та надання більшої свободи у виборі форм та видів повсякденної поведінки у різних сферах життєдіяльності. Повсякденні практики можуть суттєво змінюватися або трансформуватися внаслідок певних причин, наприклад, зміни місця проживання, місця роботи, зниження чи збільшення доходів, зміни середовища проживання як у географічному, так і соціальному сенсі тощо [13, 14].

*Повсякденні події* – це численні, звичайні, непомітні, незначні, швидкоплинні події («commonplace», «low events»), що характеризують повсякденне життя. Це все те, що «не записано в історію, яка складається з важливих подій» [15]. Наприклад, купівля кави чи поїздка в трамваї. Повсякденні події формують середови-

ще, в якому «люди насправді живуть», ідучи на роботу, виконуючи свою роботу вдома, на фабриці або в офісі чи торговому центрі, ходячи в кіно, купуючи продукти, спілкуючись або не спілкуючись, складаючи перелік того, що потрібно зробити, тощо [16].

Безперечно, що для розвитку географії, зокрема й на пострадянському просторі, суттєве значення мають як природничий, так і соціальний аналіз повсякденного життя і, в першу чергу, формування термінологічного апарату в процесі подібних досліджень. Останнє зумовлено тим, що географи поки що не сформулювали назву наряду досліджень, який вивчає повсякденність. Зокрема географи-суспільствознавці розглядають подібні дослідження як можливість застосування теоретичних знань соціальної (культурної) географії у практиці життєдіяльності населення. При цьому «неоцінене значення має соціологічний аналіз повсякденного життя», який має бути зосереджений насамперед на соціальних значеннях, які конструюють і якими обмінюються члени суспільства у процесі їхніх буденних взаємодій, і на соціальних діях – об'єктивізації цих суб'єктивних значень» [17, 18]. Впровадження таких знань і досвіду у практику життєдіяльності кожної людини дасть змогу конкретній особі приймати усвідомлені рішення, що стосуються приватної життєдіяльності, полегшити просування на шляху кар'єри, усвідомити свою місію на Землі.

З географією повсякденного життя тісно пов'язана *емоційна географія*, яку також інколи розглядають як «емоційний поворот» («emotional turn») в суспільній географії в рамках більш широкого «культурного повороту» [19]. Емоції виступають як «альтернативні джерела знань», що дають можливість по-іншому поглянути на повсякденне життя [20]. Повсякденні практики деякою мірою завжди емоційні – «де б ми не були, що б ми не робили, ми завжди щось відчуваємо» [1]. Хоча низка авторів відзначають, що суспільно-географи часто схильні недооцінювати важливість «емоцій» у географії повсякденного життя, «заперечують, уникають, придушують або применшують» [19], «замовчують» [21] емоції.

З емоційною географією нерозривно пов'язана *афективна географія*. Якщо поняття «емоційний» стосується емоцій людини, відчуттів, які можуть бути виражені, відображені, повідомлені іншим (зокрема у вигляді соціальних конструкцій, культурних інтерпретацій), то поняття «афективний» стосується настроїв, почуттів, ставлення, самого процесу відчуття, що не може бути чітко виражено, відображено.

«Вся географія є емоційно-афективною» [1], практично всі питання, що досліджує географія,

певною мірою мають емоційні наслідки, навіть ті, які на перший погляд здаються «сірими», беземоційними. Наприклад, ведуть мову про повсякденні емоційно-афективні наслідки глобалізації, економічного розвитку, збройних конфліктів, стихійних лих, соціального відчуження, бідності чи поширення епідемій у різних контекстах [1, 21], наслідки, що проявляються у «рутинних практиках та подіях повсякденного життя» [22]. У рамках афективної географії досліджують, наприклад, «виробництво бажань» у супермаркетах, створення «просторів турботи» у медичних закладах чи «подій страху» через політичну риторіку [1]. Вивчаються різноманітні афективні переживання, такі як травма, страх, тривога, потрясіння, турбота, бажання тощо. Як окремі напрями досліджень розвивається *географія страхів* (fearful geographies), *географія травм* (geographies of trauma) тощо. Наприклад, дослідження «виробництв» різноманітних форм тривоги, невдоволення та гніву у засобах масової інформації стосовно окремих соціальних груп, зокрема, мігрантів, біженців, етнічних меншин, безхатченків та інших соціально вразливих груп (коли, наприклад, заголовки газет «лякають» етнічними мігрантами та біженцями).

Активний розвиток на початку XXI ст. *туристичної сфери* й відповідних досліджень призвели до виокремлення так званої «*анімаційної географії*» [23, 24]. Поняття «анімація» латинського походження (anima – вітер, повітря, душа; animatus – одухотворення) і означає натхнення, стимулювання життєвих сил, заохочення до активних дій [4, 23]. Анімація в туризмі являє собою цілісний процес взаємодії аніматорів з туристами у сфері дозвілля. По суті, це різновид туристичної діяльності у межах окремої туристичної установи, що дозволяє задовольнити різноманітні потреби та інтереси туристів і створює умови для формування соціально активної особистості, здатної до перебудови навколишнього середовища і себе у ньому. Обмеженість «анімаційної географії» очевидна; вона сприяє пізнанню повсякденності лише у процесі туристичної діяльності.

Близькою до «анімаційної географії» є так звана «критична буденна географія», в основі якої пошуки цікавих явищ, що видно «неозброєним оком» [23]. У зв'язку з тим, що у критичній буденній географії увага зосереджується переважно на оптичних і акустичних сприйняттях повсякденності, об'єкти людської діяльності стимулюють «дослідження», які не обов'язково можна називати «географічними». Головне, щоб у них були зацікавлені туристи.

Щодо суміжних з географією, особливо суспільною, наук, суттєвих успіхів у просторово-

часовому пізнанні повсякденності досягли історики, філософи й соціологи. Зокрема, історики тривалий час розглядають історію повсякденності як об'єкт історичного дослідження, порівняно чітко визначились із поняттям «повсякденність» та обґрунтували межі «історії повсякденності» [25, с.65-80]. Поступово цей напрям історичних досліджень переростає в оригінальну науку – історію повсякдення [24, 25].

Найскладнішим є питання про те, як на практиці ефективно досліджувати, концептуалізувати та представляти повсякденне життя. У західній суспільній географії ведуть мову про кризу репрезентації, коли, частину повсякденного життя ми пропускаємо з виду внаслідок того, що не можемо його відобразити звичайними засобами репрезентації. «Повсякденне життя втікає; воно більше, ніж ми відображаємо звичайними засобами» [26]; «письмова репрезентація може бути порожньою, неадекватною, певною мірою безжиттєвою версією повсякденного життя» [27]. Для подолання цієї проблеми пропонується використовувати «*нерепрезентативну теорію*» («non-representational theories»). Нерепрезентативна теорія – це швидше не теорія, а спосіб мислення, що надає значення практикам, намагається брати участь «у течії» повсякденного життя, пов'язане не власне із суб'єктами, а «практиками суб'єктифікації», сконцентрована на «повсякденних практиках, які формують поведінку людини щодо інших та самих себе у певних місцях» [27], стосується перформативної «презентації», «показів» та «проявів» повсякденного життя [28]. Один із методів дослідження повсякденного життя є «прогулянка містом». Так, у проекті «Мої прогулянки» учасників просили подивитися на своє повсякденне середовище проживання (як таке, що саме по собі розуміється), прогулюючись вулицями та роблячи аудіо і відеозаписи того, що викликає приємні відчуття, дратує чи розчаровує [29].

Попередні дослідження повсякдення показують, що географи, як суспільники, так і природничники, успішно можуть його пізнавати у рамках кількох підходів:

- *просторово-часового*. Географічне пізнання повсякдення неможливе без сумісних досліджень з науковцями гуманітарних наук, зокрема істориками. Однак, усталений ритм повсякдення, як ніщо інше, забезпечував загострення уваги людей, особливо мандрівників, хроністів, літописців, а у подальшому й науковців, до виключного, екстраординарного, унікального. Це були не лише екстремальні явища природи, але і якісь господарські дії або традиції. Вони добре схарактеризовані у численних працях, зокрема, літописах (наприклад, у «Слові о полку Ігоревім», XII ст.). Згадані в ньому упорядковані однією полювання численні річки, звірі і птахи дають можливість географам чітко охарактеризувати багату лісами, різнотравними степами й тваринним світом лісостепову природу тодішньої Правобережної України [30, 31]. За минулі три десятиріччя суттєво активізувались аматорські дослідження місцевим населенням своїх сіл, містечок і міст та їх найближчих околиць. Це не регіональні, а місцеві дослідження, які поступово формують так звану «*буденну географію*»;
- *художньо-географічного*. Без повсякденного тла, зокрема й описів природи та викликаних нею переживань, художні твори не є завершеними. Письменників і географів поєднує краса й оригінальність природного та культурного середовища. Відображаючи дійсність різними видами людської творчості, вони, врешті-решт, разом створюють географічні образи. Наприклад, антропогенний ландшафт літнього повсякдення Середнього Придніпров'я так зображено у романі М. Стельмаха «Чотири броди»: «І знову пшениці та жита, білопінні гречки та губаті соняшники, і погойдування місячних неводів, і загадковість долини. А ось і дрімливі верби позначають шлях дрімотної річечки, і кладка, що попискує, як в'юн і дикі півники, які так гарно підвели жовті свічада цвіту, і ошатні в напатланих спідничках копиці, і прив'ялений смуток татарського зілля». Поєднання досліджень з географії повсякдення з його описами методами художньої географії, дасть можливість не лише схарактеризувати специфічні ознаки повсякдення, але й відобразити його своєрідну красу. Не менш цікаві географічні відомості сучасного повсякдення можна отримати з білбордів, особливо придорожніх, різноманітних реклам, стендів, муралів і, навіть, написів на стінах будинків, огорожах та парканах. Їх легше і скоріше запам'ятовують. Ці відомості формують буденні географічні знання значної частини населення. Їх необхідно аналізувати, корегувати й суттєво поліпшувати;
- *повсякденно-туристичного*. Сукупність умов життя у місті або сільській місцевості – вихідний постулат дослідницької діяльності (інколи без спроб пояснення комплексності такої сукупності). Наприклад, туристи, що відвідують Вінницю, дізнаються про те, що це найкомфортніше для життєдіяльності місто в Україні не лише з туристичних довідників та засобів масової інформації (яким

вони не завжди довіряють), а й із захоплюючих розповідей «всезнаючих» містян, які можуть викласти географічні «дрібниці», не завжди відомі й науковцям, ознайомити з особливостями повсякденного життя місцевих мешканців. Повсякденне життя відбувається не тільки у повсякденних просторах. Наприклад, у важливих туристичних центрах чи ділових районах міста також здійснюються різноманітні повсякденні практики. У рамках «екстраординарної географії» як географії екстраординарних місць [32] вивчається феномен екстраординарності просторів, що виробляються в процесі взаємонакладання та взаємоперетинання повсякденних практик місцевих мешканців та туристів, «вибіркове поєднання повсякденних та «видовищних» практик» [32].

Практична значимість зазначених підходів до пізнання географії повсякдення не викликає сумнівів. Це стосується не лише минулого (такі дослідження переважають в істориків), але й сьогодення, не менш наповненого географічними несподіванками. Мабуть, немає нині людини, яка б не знала, що таке північ, південь, схід і захід. Проте важче визначити ці сторони горизонту у практиці повсякденної активності. Наприклад, цікаво спостерігати за поведінкою пасажирів на Центральному і Південному залізничних вокзалах Києва, коли їм необхідно перейти з одного потягу до іншого через другий поверх вокзалу за обмежений термін часу, орієнтуючись на оголошення, що потрапити на необхідний потяг можна через «західний перехід», а нумерація вагонів починається зі «східної сторони» вокзалу.

Дослідження географії повсякдення мають суттєву практичну спрямованість. Вивчення змін повсякденних практик у просторі і часі, художньо-географічних проявів повсякденної активності та врахування взаємонакладання повсякденності та неординарності, можуть виступати важливим підґрунтям для оптимізації процесів територіального управління.

**Висновки.** Активне пізнання різноманіття повсякдення представниками гуманітарних наук та явна практична значимість результатів цих досліджень дають можливість зробити висновок, що й в інших науках, особливо дотичних до гуманітарних наук, вишукування у напрямі пізнання повсякдення є і будуть актуальними. Серед таких наук і географія. Більше того, просторове різноманіття повсякдення необхідно досліджувати на рівні історичного різноманіття повсякдення, а в окремих випадках і випереджати процес пізнання повсякдення представниками гуманітарних наук. Це не самоціль географії повсякдення, а чітке розуміння того, що природа будь-якого регіону, при будь-якому суспільному устрої була, є і буде основою розвитку господарства, умов життя людей, вона часто формує їх настрої, звичаї, відношення один до одного та багато іншого. Розвиток досліджень просторового різноманіття повсякдення неминуче призведе у майбутньому до сумісних досліджень повсякдення географами та істориками. Якщо такі дослідження проводити окремо, вони будуть незавершеними. Просторово-часовий аналіз повсякдення – основа його реального пізнання та виокремлення у географії нового оригінального наукового напрямку – *географії повсякдення*.

#### Література

1. Horton J. *Cultural Geographies. An Introduction* / J. Horton, P. Kraftl. – New York: Routledge, 2014. – 325 p.
2. Holloway L. *People and Place: The extraordinary geographies of everyday life* / L. Holloway, P. Hubbard. – Harlow: Pearson, 2001.
3. Eyles J. *The geography of everyday life* / J. Eyles // *Horizons in Human Geography* [Ed. by Gregory D., Walford R.] – London: Macmillan, 1989. – P. 102–117.
4. *Соціологія: Короткий енциклопедичний словник* / Заг. ред. В.І. Волович. – К., Український Центр духовної культури, 1998. – 327 с.
5. Rigg J. *An Everyday Geography of the Global South* / J. Rigg. – New York: Routledge, 2007. – 231 p.
6. Augé M. *Non-Places: Introduction to an anthropology of super-modernity* / V. Augé. – London: Verso, 1995.
7. Anderson B. *Time-stilled, space-slowed: how boredom matters* / B. Anderson // *Geoforum*. – 2004. – Vol. 35. – Issue 6. – P. 739–754.
8. Rose G. *Feminism and Geography: The limits of geographical knowledge* / G. Rose. – Minneapolis: University of Minnesota Press, 1993.
9. Valentine G. *The geography of women's fear* / G. Valentine // *Area*. – 1989. – Vol. 21 (4). – P. 385–390.
10. Valentine G. *Social Geographies: Space and society* / G. Valentine. – Harlow: Pearson, 2001.
11. MacKay H. (1997). *Introduction* / H. MacKay // *Consumption and Everyday Life* [Ed. by MacKay H.]. – London: SAGE Publications, 1997. – P. 1–12.
12. Chaney D. *Cultural Change and Everyday Life* / D. Chaney. – Basingstoke: Palgrave, 2002.
13. Провотар Н. Мінливі повсякденні практики у приміських просторах: методика дослідження місцевих трендів / Н. Провотар, А. Мельничук, О. Гнатюк, О. Денисенко // *Економічна та соціальна географія*. – 2019. – Вип. 81. – С. 34–41.
14. Мезенцев К. Неоднозначні приміські простори: тенденції та особливості зміни повсякденних практик / К.

- Мезенцев, Н. Проватар, О. Гнатюк, А. Мельничук, О. Денисенко // *Економічна та соціальна географія*. – 2019. – Вип. 82. – С. 4–19.
15. Attfeld J. *Wild Things: The material culture of everyday life* / J. Attfeld. – Oxford: Berg, 2000.
16. Marcus G. *Lipstick Traces: A secret history of the twentieth century* / G. Marcus. – London: Secker & Warburg, 1989.
17. Шаблій О.І. *Суспільна географія: теорія, історія, українознавчі студії* / О.І. Шаблій. – Львів: ЛНУ імені І. Франка, 2001.
18. Лелеко В.Д. *Пространство повседневности в европейской культуре* / В.Д. Лелеко. – СПб: Искусство в СПб, 2002. – 168 с.
19. Bondi L. *Introduction: geography's 'emotional turn'* / L. Bondi, J. Davidson, M. Smith // *Emotional Geographies* [Ed. by Davidson J., Bondi L., Smith M.]. – Aldershot: Ashgate, 2005. – P. 1–16.
20. Parr H. *Emotional geographies* / H. Parr // *Introducing Human Geographies* [Ed. by Cloke P., Crang P., Goodwin M.]. – London: Arnold, 2005. – P. 472–485.
21. Anderson K. *Editorial: emotional geographies* / K. Anderson, S. Smith // *Transactions of the Institute of British Geographers*. – 2001. – Vol. 26. – Issue 1. – P. 7–10.
22. Pred A. *Intersections* / A. Pred // *City A–Z* [Ed. by Pile S., Thrift N.]. – London: Routledge, 2000. – P. 117–118.
23. Isenberg W. *Animative Geographie. Spontane Erforschung lokaler und regionaler Alltagswelten* / W. Isenberg // *Geographie heute*. – 1989. – N 67. – P. 47–48.
24. Кнабе Г.С. *Диалектика повседневности* / Г.С. Кнабе // *Вопросы философии*, 1989. – №5. – С. 26–46.
25. Коляструк О. *Історія повсякденності як об'єкт історичного дослідження: історіографічний і методологічний аспекти* / О.А. Коляструк. – Харків: Рапунтети України, 2016. – 164 с.
26. Seigworth G. *Banality for cultural studies* / G. Seigworth // *Cultural Studies*. – 2000. – Vol. 14. – Issue 2. – P. 227–268.
27. Thrift N. *Dead geographies – and how to make them live* / N. Thrift, J. Dewsbury // *Environment and Planning D: Society and Space*. – 2000. – Vol. 18. – Issue 4. – P. 411–432.
28. Thrift N. *Non-representational Theory: Space, Politics, Affect* / N. Thrift. – New York: Routledge, 2008. – 337 p.
29. Fuller D. *Mywalks: fieldwork and living geographies* / D. Fuller, K. Askins, G. Mowl, M. Jeffries, D. Lambert // *Teaching Geography*. – Vol. 33(2). – P. 80–84.
30. Денисик Г.І. *Лісополе України* / Г.І. Денисик – Вінниця: Тезис, 2001. – 284 с.
31. Денисик Г.І. *Антропогенне ландшафтознавство. Ч. I. Глобальне антропогенне ландшафтознавство* / Г.І. Денисик – Вінниця: Вінницька обласна друкарня, 2014. – 334 с.
32. Kraftl P. *Living in an artwork: the extraordinary geographies of the Hundertwasser-Haus, Vienna* / P. Kraftl // *Cultural geographies*. – 2002. – Vol. 16. – Issue 1. – P. 111–134.

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

UDC 911:304.3

**Grygorii Denysyk,**

Doctor of Science (Geography), Professor, Department of Geography,  
Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskiy State Pedagogical University,  
32 Ostrozkocho St., Vinnytsia, 21100, Ukraine,  
e-mail: [vdpugeo2014@gmail.com](mailto:vdpugeo2014@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0941-9217>;

**Kostyantyn Mezentsev,**

Doctor of Science (Geography), Professor, Department of Economic and Social Geography,  
Taras Shevchenko National University of Kyiv,  
64/13 Volodymyrska St., Kyiv, 01601, Ukraine,  
e-mail: [mezentsev@knu.ua](mailto:mezentsev@knu.ua), <https://orcid.org/0000-0003-1974-7860>;

**Ekaterina Antipova,**

Doctor of Science (Geography), Professor, Department of Economic and Social Geography,  
Belarusian State University,  
4 Nezavisimosti avenue, Minsk, 220030, Belarus,  
e-mail: [antipovaekaterina@gmail.com](mailto:antipovaekaterina@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-7862-5500>;

**Alla Kiziun,**

PhD (Geography), Vinnytsia Institute of Trade and Economics,  
Kyiv National University of Trade and Economics, 87 Soborna St., Vinnytsia, 21000, Ukraine,  
e-mail: [akizyun@gmail.com](mailto:akizyun@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2838-9428>

**AN EVERYDAY GEOGRAPHY: SPATIAL DIVERSITY OF THE EVERYDAY LIFE**

**Formulation of the problem.** Development of new geographical research direction in post-Soviet



space is caused by the necessity to understand spatial diversity of everyday life and to solve related issues at the local level. In many cases the diversity of everyday life affects not only the living conditions, but also shapes behavior, practices and habits of the local population. If in humanitarian sciences everyday life is actively studied, in geography this topic is still overlooked. Previous spatial studies of everyday life show that research results are actually relevant and lead to the emergence of a new research direction – an everyday geography.

**The purpose of the article:** based on the analysis of the world discourse and the results of own studies of the spatial diversity of everyday life, to reveal possible ways of formation and development of a new geographical research direction in post-Soviet space – everyday geography. There is no universally accepted methodology for the study of geography of everyday life, but experience shows that both traditional geographical and specific methods from social sciences, representational and non-representational methods can be successfully applied.

**Results.** The world geography gives much more attention to the studies of the spatial diversity of everyday life in comparison with post-Soviet countries, and as a result emotional, affective, animated geographies are developed, as well as geography of fear, geography of trauma, etc. Everyday life refers to ordinary, mundane activities, experiences, behavior, and interaction with the environment. Everydayness is considered as a temporal (daily, monthly, annual) cross-section of living (personal, communal, societal) environment within a particular territory. Everyday life is practiced as a socio-cultural world, where particular person exists just like other people, interacting with them and non-human objects, influencing them, changing them, and simultaneously is affected and changed by them. Everydayness shapes daily life – the constant processes of ‘everydaying’ human activities in the form of communication with the environment, learning the traditions and consolidation of behavior rules, ‘mastering’ a lifestyle, tools to achieve goals, etc. However, everyday life is constantly disturbed by innovations, appearance of the unusual, deviation from stereotypes, traditions and the formation of new rules. Unusual for a certain period participates in the process of ‘everydaying’ and then becoming everyday, mundane, taken-for-granted, extends the scope of everyday life.

The everyday geography explores particular reactions of people in particular spatial conditions. Everydayness is everywhere, and researchers study everyday spaces, everyday practices, everyday mobilities, everyday conflicts and resistance, even everyday geopolitics and, more broadly, everyday life and everyday geographies. However, everyday life is not perceived as a unity. It consists of many typical but not necessarily interrelated activities, each of them is taken for granted by participants (work, family life, leisure, etc.), but spatially diverse.

The studies of the spatial diversity of everyday life focuses mainly on the investigation of everyday spaces within which everyday life occurs, everyday practices – the routine activities we do every day without thinking about it, and a number of everyday events. Geographers can explore the diversity of everyday life in several ways: using spatial-temporal, art-geographical, everyday-tourist approaches. So far, individual studies of the spatial diversity of everyday life will inevitably transformed into the broad band of post-Soviet geography – the everyday geography.

**Scientific novelty and practical significance.** Focusing of geographers on the everyday life gives a deeper understanding of the tendencies and consequences of various social and cultural processes, the state of the contemporary destabilized environment. The paper deals with the discourse on spatial diversity of everyday life and conceptualization of emotional, affective, non-representational, animative, everyday and other geographies. Particular attention is paid to the key concepts of the everyday life geographies – everyday spaces, practices and events. Prospective directions of the further studies of the everydayness (including spatial-temporal, art-geographical, everyday-tourist approaches), as well as the practical importance of everyday life spatial diversity researches for territorial management are discussed.

**Keywords:** everyday geography, geography of everyday life, development, spatial diversity, everyday spaces, everyday practices.

#### **References**

1. Horton, J., & Kraftl, P. (2014). *Cultural Geographies. An Introduction*. New York: Routledge, 325.
2. Holloway, L., & Hubbard, P. (2001). *People and Place: The extraordinary geographies of everyday life*. Harlow: Pearson.
3. Eyles, J. (1989). *The geography of everyday life*. In D. Gregory & R. Walford (eds). *Horizons in Human Geography*. London: Macmillan, 102–117.
4. Volovych, V.I. (ed) (1998). *Sociology: Brief encyclopedic dictionary*. Kyiv, 327. [In Ukrainian].
5. Rigg, J. (2007). *An Everyday Geography of the Global South*. New York: Routledge, 231.
6. Augé, M. (1995). *Non-Places: Introduction to an anthropology of super-modernity*. London: Verso.
7. Anderson, B. (2004). *Time-stilled, space-slowed: how boredom matters*. *Geoforum*, 35 (6), 739–754.

<https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2004.02.005>

8. Rose, G. (1993). *Feminism and Geography: The limits of geographical knowledge*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
9. Valentine, G. (1989). *The geography of women's fear*. *Area*, 21 (4), 385–390.
10. Valentine, G. (2001). *Social Geographies: Space and society*. Harlow: Pearson.
11. MacKay, H. (1997). Introduction. In H. MacKay (ed), *Consumption and Everyday Life*. London: SAGE Publications, 1–12.
12. Chaney, D. (2002). *Cultural Change and Everyday Life*. Basingstoke: Palgrave.
13. Provotar, N., Melnychuk, A., Hnatiuk, O., & Denysenko, O. (2019). Changing everyday practices: research of local trends methodic. *Ekonomichna ta Sotsialna Geografija*, 81, 34–41. [In Ukrainian]. <https://doi.org/10.17721/2413-7154/2019.81.34-41>
14. Mezentsev, K., Provotar, N., Gnatiuk, O., Melnychuk, A., & Denysenko, O. (2019). Ambiguous suburban spaces: trends and peculiarities of everyday practices change. *Ekonomichna ta Sotsialna Geografiya*, 82, 4-19. [In Ukrainian]. <https://doi.org/10.17721/2413-7154/2019.82.4-19>
15. Attfield, J. (2000). *Wild Things: The material culture of everyday life*. Oxford: Berg.
16. Marcus, G. (1989). *Lipstick Traces: A secret history of the twentieth century*. London: Secker & Warburg.
17. Shablii, O.I. (2001). *Human Geography: theory, history, Ukrainian studies*. Lviv: Ivan Franko Lviv National University [In Ukrainian].
18. Leleko, V.D. (2002). *Space of everydayness in European culture*. St-Petersburg, 168. [In Russian]
19. Bondi, L., Davidson, J., & Smith, M. (2005). Introduction: geography's 'emotional turn'. In J. Davidson, L. Bondi, & M. Smith (eds), *Emotional Geographies*. Ashgate Publishing, 1–16.
20. Parr, H. (2005). Emotional geographies. In P. Cloke, P. Crang, & M. Goodwin. (eds), *Introducing Human Geographies*. London: Arnold, 472–485.
21. Anderson, K., & Smith, S. (2001). Editorial: emotional geographies. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 26 (1), 7–10. <https://doi.org/10.1111/1475-5661.00002>
22. Pred, A. (2000). Intersections. In S Pile, N. Thrift (eds), *City A–Z*. London: Routledge, 117–118.
23. Isenberg, W. (1989). Animative Geographie. *Spontane Erforschung lokaler und regionaler Alltagswelten*. *Geographie heute*, 67, 47–48.
24. Knabe, G.S. (1989). Everydayness dialectics. *Philosophy Issues*, 5, 26–46 [In Russian].
25. Koliastruk, O. (2016). History of the everydayness as an object of historical study: historiographical and methodological aspects. Kharkiv, 164 p. [In Ukrainian].
26. Seigworth, G. (2000). Banality for cultural studies. *Cultural Studies*, 14 (2), 227–268. <https://doi.org/10.1080/095023800334878>
27. Thrift, N., & Dewsbury, J. (2000). Dead geographies – and how to make them live. *Environment and Planning D: Society and Space*, 18 (4), 411–432. <https://doi.org/10.1068/d1804ed>
28. Thrift, N. (2008). *Non-representational Theory: Space, Politics, Affect*. New York: Routledge, 337 p.
29. Fuller, D., Askins, K., Mowl, G., Jeffries, M., & Lambert, D. (2008). Mywalks: fieldwork and living geographies. *Teaching Geography*, 33 (2): 80–84.
30. Denysyk, G.I. (2001). *Forest Field of Ukraine Vinnytsia: Thesis*, 284. [In Ukrainian].
31. Denysyk, G.I. (2014). *Anthropogenic Landscape Studies Part I. Global Anthropogenic Landscape Studies*. Vinnytsia: Vinnytsia state printing house, 334. [In Ukrainian].
32. Kraftl, P. (2009). Living in an artwork: the extraordinary geographies of the Hundertwasser-Haus, Vienna. *Cultural geographies*, 16 (1): 111–134. <https://doi.org/10.1177/1474474008097982>

UDC 911.3:314.15.045(479.22+477)

**Nodar Elizbarashvili,**

Doctor of Sciences (Geography), Professor, Head of Department of Regional Geography and Landscape Planning of I. Javakhishvili Tbilisi State University, Head of IGU Commission of Landscape Analysis and Landscape Planning, 3 I. Chavchavadze Av., TSU II building, Tbilisi, 0173, Georgia, e-mail: [nelizbarashvili@yahoo.com](mailto:nelizbarashvili@yahoo.com), <http://orcid.org/0000-0001-8537-7728>;

**Liudmyla Mykolaivna Niemets,**

Doctor of Sciences (Geography), Professor, Head of the Department of Human Geography and Regional Studies, Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine, e-mail: [soc-econom-region@karazin.ua](mailto:soc-econom-region@karazin.ua), <https://orcid.org/0000-0001-9943-384X>;

**Giorgi Meladze,**

PhD (Demography), Associate Professor, Department of Regional Geography and Landscape Planning of I. Javakhishvili Tbilisi State University, Vakhushti Bagrationi Institute of Geography, e-mail: [meladzeg@gmail.com](mailto:meladzeg@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-9116-5203>;

**Kateryna Yuriivna Sehida,**

Doctor of Sciences (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies, Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv University, e-mail: [kateryna.sehida@gmail.com](mailto:kateryna.sehida@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-1122-8460>;

**Maryna Oleksandrivna Lohvynova,**

PhD student of the Department of Human Geography and Regional Studies, Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv University, e-mail: [logvinova\\_mari94@ukr.net](mailto:logvinova_mari94@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-3190-710X>;

**Maia Meladze,**

PhD (Ecology), Professor, Institute of Hydrometeorology at the Georgian Technical University, 150 D. Agmashenebeli Av., Tbilisi, 0111, Georgia, e-mail: [m.meladze@gtu.ge](mailto:m.meladze@gtu.ge), <https://orcid.org/0000-0002-2451-1804>;

**David Sidamonidze,**

PhD student I. Javakhishvili Tbilisi State University, e-mail: [davit.sidamonidze@yahoo.com](mailto:davit.sidamonidze@yahoo.com), <https://orcid.org/0000-0002-0386-896X>

**FORCED MIGRATIONS OF GEORGIA AND UKRAINE: REASONS FOR THE EMERGENCE, PROCESS FEATURES, IMPLICATIONS FOR COUNTRIES**

**Н. Елізбарашвілі, Л. М. Немець, Г. Меладзе, К. Ю. Сегіда, М. О. Логвинова, М. Меладзе, Д. Сідамонідзе. ВИМУШЕНІ МІГРАЦІЇ ГРУЗІЇ ТА УКРАЇНИ: ПРИЧИНИ ВИНИКНЕННЯ, ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ, НАСЛІДКИ ДЛЯ КРАЇН.** У статті розглядаються вимушені міграції, пов'язані з військовими конфліктами на прикладі України та Грузії. Мета даної статті – аналіз причин, сучасних реалій і наслідків вимушених міграцій Грузії та України з метою визначення ключових стратегій вирішення соціально-економічних проблем внутрішньо переміщених осіб і перетворення їх з «проблемної вразливої групи» в індикатор соціально-економічного розвитку країни. На основі глибокого аналізу міжнародної та вітчизняної літератури виявлено, що вимушені міграції в обох країнах пов'язані зі збройними конфліктами на території з полінаціональним складом населення. В обох країнах цей конфлікт підтримувався сепаратистськими настроями населення за підтримки місцевих політичних еліт, громадських організацій в умовах масової інформаційної атаки.

У результаті збройного конфлікту в Грузії 1989-1992 рр. в Цхінвальському регіоні (Південна Осетія), у 1992-1993 рр. в Абхазії, у 2008 р. конфлікту між Грузією, Росією і сепаратистськими угрупованнями Південної Осетії, внутрішньо переміщеними особами (ВПО) стали сотні тисяч осіб. Майже 1,8 млн. внутрішньо переміщених осіб утворилося через конфлікт на Донбасі в Україні. Авторами зроблено порівняльний аналіз структурних особливостей ВПО, виокремлено просторові особливості їх розселення. І в Грузії, і в Україні ВПО розселяються вкрай нерівномірно, велика їх частина вибирають великі міста в районах, прилеглих до їх попереднього місця проживання. Таке розселення ВПО призводить до великого навантаження на соціальну та економічну сфери.

Для обох країн поява ВПО стала справжнім викликом. Незважаючи на давність проблеми ВПО в Грузії, їхні проблеми досі залишаються невирішеними. Як і в Грузії, так і в Україні основною проблемою ВПО є відсутність власного житла, наданого державою взаємін на пошкоджене або зруйноване. Крім того, для України актуальною проблемою щодо ВПО є визначення їх статусу, своєчасного отримання соціальних виплат, проблема працевлаштування переселенців. Наполягаємо на пошуку шляхів вирішення даних проблем та державній підтримці ВПО. Ігнорування проблем ВПО може призвести до їх повторного переміщення, а також до конфліктів на локальному, регіональному та державному рівнях.

**Ключові слова:** вимушена міграція, внутрішньо переміщені особи (ВПО), внутрішнє переміщення населення, військовий конфлікт, Грузія, Україна.

**Н. Елізбарашвіли, Л. Н. Немец, Г. Меладзе, Е. Ю. Сегіда, М. А. Логвинова, М. Меладзе, Д. Сідамонідзе. ВЫМУЖЕННЫЕ МИГРАЦИИ ГРУЗИИ И УКРАИНЫ: ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ, ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА.**

© Elizbarashvili N., Niemets L.M., Meladze G., Sehida K.Yu., Lohvynova M.O., Meladze M., Sidamonidze D.

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-52-11>

**ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ СТРАН.** В статье рассматриваются вынужденные миграции, связанные с военными конфликтами на примере Украины и Грузии. Цель данной статьи – анализ причин, современных реалий и последствий вынужденных миграций Грузии и Украины с целью определения ключевых стратегий решения социально-экономических проблем внутренне перемещённых лиц и превращение их из «проблемной уязвимой группы» в индикатор социально-экономического развития страны. На основе глубокого анализа международной и отечественной литературы выявлено, что вынужденные миграции в обеих странах связаны с вооружёнными конфликтами на территории с полинациональным составом населения. В обеих странах этот конфликт поддерживался сепаратистскими настроениями населения при поддержке местных политических элит, общественных организаций в условиях массовой информационной атаки.

В результате вооружённого конфликта в Грузии 1989-1992 гг. в Цхинвальском регионе (Южная Осетия), в 1992-1993 гг. в Абхазии, в 2008 г. конфликта между Грузией, Россией и сепаратистскими группировками Южной Осетии, внутренне перемещёнными лицами (ВПЛ) стали сотни тысяч человек. Почти 1,8 млн. внутренне перемещённых лиц образовалось из-за конфликта на Донбассе в Украине. Авторами сделан сравнительный анализ структурных особенностей ВПЛ, выделены пространственные особенности их расселения. И в Грузии, и в Украине ВПЛ расселяются крайне неравномерно, большая их часть выбирают крупные города в районах, прилегающих к их предыдущему месту жительства. Такое расселение ВПЛ приводит к большой нагрузке на социальную и экономическую сферы.

Для обеих стран появление ВПЛ стало настоящим вызовом. Несмотря на давность проблемы ВПЛ в Грузии, их проблемы до сих пор остаются нерешёнными. Как и в Грузии, так и в Украине основной проблемой ВПЛ является отсутствие собственного жилья, предоставленного государством взамен на повреждённое или разрушенное. Кроме того, для Украины актуальной проблемой в отношении ВПЛ является определение их статуса, своевременного получения социальных выплат, проблема трудоустройства переселенцев. Настаиваем на поиске путей решения данных проблем и государственной поддержке ВПЛ. Игнорирование проблем ВПЛ может привести к их повторному перемещению, а также к конфликтам на локальном, региональном и государственном уровнях.

**Ключевые слова:** вынужденная миграция, внутренне перемещённые лица (ВПЛ), внутреннее перемещение населения, военный конфликт, Грузия, Украина.

**Relevance of research.** The end of the XXth century and the beginning of the XXI century are characterized by massive population displacement both within countries and beyond. Such displacements are caused by the major geopolitical events, like the collapse of the Soviet Union (1991), which led to important social and economic restructuring processes [27], with severe impact on migration and demographic trends. For instance, the major economic transformation involved especially the industry, the process that generated large numbers of abandoned industrial areas [26] and high unemployment. The unemployment further influenced the migration trends, an important part of the population, especially the young active population, migrated either to Western Europe, or to the affluent cities from the region. These urban areas are emerging as magnets for migrants, as they overpassed their traditional role of generating potential economic opportunities. These cities tend to be attractive as they experienced a series of urban renewal processes, based on new and innovative concepts like smart transformation [29], geoinformatic approaches [20], or advances in technologies. In addition, education, culture and history [43] are part of a modern urban lifestyle, which considers sustainability and well-being.

Millions of people around the world are forced to leave their homes in order to protect their lives from violence, war, natural disasters and catastrophes, negative socio-economic factors and climate change, etc. According to the Office of the United Nations High Commissioner for Refugees (UNHCR), there are more than 25 million refugees [16] in the world, 40% of them live in organized, spontaneous or transit camps or collective centers, mainly

in African countries. Military conflicts have led to the emergence of 41.3 million internally displaced persons (IDPs), mainly in Africa and the Middle East. In 2008, hundreds of thousands people became internally displaced as a result of hostilities between Georgia, the self-proclaimed Republics of Ossetia, Abkhazia, and Russia. Internally displaced persons also appeared on the “calm” European continent. As a result of Russia's military aggression in the Donbass, annexation of the Autonomous Republic of Crimea in 2014, more than 1.8 million people became IDPs in Ukraine. Both Georgia and Ukraine are interested in resolving the socio-economic problems of IDPs, which will enable to use the immigrants' economic, intellectual, financial potential qualitatively. Therefore, the primary task for scientists is to search for the causes of the IDPs emergence, the features of the course of forced migrations in both countries, as well as the consequences for states. The solution of this problem should be accompanied with a comprehensive socio-geographical study of the realities of forced migrants in Georgia and Ukraine.

**Setting goals and objectives of the study.** The purpose of this paper is to analyze the causes, current realities and consequences of forced migrations of Georgia and Ukraine in order to identify key strategies for solving the socio-economic problems of internally displaced persons and transforming them from a “problem vulnerable group” into an indicator of the country's socio-economic development. The achievement of this goal is accompanied by the following tasks: identifying the causes of military conflicts in Georgia and Ukraine, entailed forced mass migrations; analysis of the dynamic, structural, regional characteristics of IDPs in both

countries; disclosure of the impact of forced migrations on the socio-economic situation in Georgia and Ukraine; proposal of measures to turn IDPs into an engine of socio-economic development of countries.

**Research Methods.** Since internally displaced persons are a socially vulnerable category of the population, their detailed study is possible only through the use of the complex of interdisciplinary approaches and methods. Philosophical (dialectic, induction and deduction), general scientific and concrete scientific research methods were used in the paper. Among them: analysis and synthesis methods (to identify demographic and structural features of IDPs); comparative geographic method (to identify regional characteristics of IDPs in Georgia and Ukraine); mathematical-statistical (for processing statistical information and the mathematical representation of the object of study), graphical method (for presenting data in the form of infographics: charts, graphs, maps), problematic method and some others.

The study is based on the high-quality original statistical materials from Ukraine and Georgia, which carries high reliability. The statistical base of the study was the data of the National Statistical Office of Georgia (Geostat), the data of the Ministry of Social Policy of Ukraine, the Ministry of Temporarily Occupied Territories and Internally Displaced Persons of Ukraine, annual statistical compilations and bulletins, as well as data from the 2001 All-Ukrainian Population Census of Ukraine, Georgia Censuses 1989, 2002 and 2014.

**Analysis of previous research.** As noted earlier, the study of forced migration is necessary in a comprehensive manner, confirmed by the fact that internally displaced persons, being a component of migration processes, are a complex phenomenon; therefore, they are a subject of research by specialists from many scientific areas: economists, lawyers, sociologists, political scientists, demographers, and social geographers. The latter traditionally investigate the spatio-temporal features of IDP placement, which is one of the goals of our paper.

Georgia has rich experience in the study of IDPs, associated with their earlier appearance than in Ukraine. However, J. Kharashvili in his work "20 years of internal displacement in Georgia: the international and the personal" notes that despite the long-standing problems of IDPs in Georgia, internally displaced persons continue to demand international assistance and attention, since their security is at risk in the border areas, and the IDPs still do not have access to decent education, employment opportunities and decent living conditions [18].

E. Mooney in his paper "From Solidarity to Solutions: The Government Response to Internal Displacement in Georgia" describes the characteristics

of migrants suffered as a result of the so-called "frozen conflicts" in Georgia (Abkhazia, South Ossetia), as well as Russian-Georgian war. The main message of the author is the need to fully consolidate the efforts of the government and international organizations to solve the socio-economic problems of IDPs [25].

D. Gogishvili calls IDPs as a vulnerable group because of violent ethno-political conflicts in the territories of the Autonomous Republic of Abkhazia and South Ossetia. Despite the resettlement of IDPs mainly in cities, they are highly isolated from the local population, which leads to spatial segregation [14]. The geographic approach to the study of IDPs in Georgia was used by P. Kabachnik, B. Mitchneck, O. Mayorova, J. Regulska. Analyzing spatial processes, scientists distinguish "displacement spaces" – urban areas where IDPs are mainly concentrated [17].

N. Kurshitashvili argues that the socio-economic policies regarding IDPs of the 1990s were ineffective and cannot be adapted to address the problems of the so-called "new migrants" of 2008. The resettlement of IDPs in the most remote rural areas of Georgia provided the IDPs with housing and land, but did not solve the problem of employment [21]. G. Tarkhan-Mouravi and N. Sumbadze doubt that the conflict in Abkhazia will be resolved in the near future, therefore, they advise the authorities to focus on issues of economic and humanitarian cooperation to solve the basic problems of IDPs [37-38].

Since 2014, the problem of IDPs has been sharply posed for Ukraine, which is reflected in the papers of scientists from various scientific fields. Representatives of the Institute of Industrial Economics of the National Academy of Sciences of Ukraine pay great attention to the study of IDPs in Ukraine. They have released several fundamental papers: "Internally Displaced Persons: From Overcoming Obstacles to the Success Strategy" [2], "Integration of Internally Displaced Persons in Territorial Communities: Diagnosing the Status and Support Mechanisms". A wide field of research is the problems of socio-economic development of the Donbass, the causes and consequences of the military conflict, issues of forced displacement of residents of Donetsk and Luhansk regions. They developed theoretical and methodological approaches to the formation of the concept of restoring the Eastern regions of Ukraine, substantiating the use of the labor potential of IDPs as a driving force for the development of territorial communities, and possibilities of solving their housing problems. V. Smal investigated the spatio-temporal features of the resettlement of internally displaced persons from the East of Ukraine, their numbers and structural fea-



tures, as well as their impact on the communities, local labor markets, and social infrastructure of the regions of the settlement [7].

Socio-geographical studies of internal population movements are carried out by representatives of the Kharkiv human-geographical scientific school: L. Niemets, N. Husieva, L. Kliuchko, M. Lohvynova, K. Sehida, the authors carried out a structural-dynamic and regional analysis of IDPs in Kharkov region, identified factors affecting to choose Kharkiv region as a region for IDPs' residence in the paper "Forced Internal Migrations in the Kharkiv Region: Structural-Dynamic and Regional Features". In the paper "Forced Internal Displacement In Ukraine: Realities, Socio-Economic Problems, Perspectives" based on the analysis of numerous studies of forced migrations of foreign and Ukrainian scientists, the main problems of IDPs in Ukraine were identified and possible solutions were proposed, taking into account the characteristics of individual regions and international lessons experience. The authors distinguish three groups of IDP problems in Ukraine: socio-economic, institutional-legal, socio-psychological [28]. The paper "Migration Challenges of the 21st Century: Experience of Ukraine" analyzes the structural-dynamic and spatial features of the internal displacement of the population in Ukraine, identifies the factors affecting the choice of the region of residence among IDPs [31].

Despite the existing publications, there are certain gaps in the study of certain aspects of IDPs in both Georgia and Ukraine, in particular, their study from the perspective of various approaches and scientific areas: legal, sociological, political, economic. We draw attention to the problem of a small number of scientific papers on IDPs from the perspective of human geographers and insist on further comprehensive, interdisciplinary studies of internally displaced persons, since processes, somehow related to this phenomenon today, have not only theoretical, but also practical dimensions. And experience in solving problems may be applicable in Ukraine.

**Statement of the main research material.** *Reasons for the emergence of internally displaced persons in Georgia and Ukraine.* The military conflict in Georgia started back in the 1980s at the same time as the national liberation struggle began, when the separatist movement was activated in Abkhazia and the South Ossetian Autonomous Region (the latter was created on April 20, 1922 at the initiative of the Bolshevik government). It was significantly strengthened by the reform launched in the USSR in 1985, which emphasized the unresolved territorial, ethnic, historical and socio-economic problems.

In response to the actions and armed conflict against the state of Georgia started in South Osse-

tian Autonomous Oblast in 1989, on December 10, 1990, the Supreme Council of Georgia abolished the status of the Autonomous Oblast and the territory of South Ossetia was distributed among Akhalkgori, Gori, Java and Kareli and Oni and Sachkhere Regions. According to the present-day administrative-territorial division of Georgia, the territory of the former Autonomous Oblast of South Ossetia is a part of Shida Kartli and Mtskheta-Mtianeti Regions. The name of the region is referred to as "The former South Ossetian Autonomous Oblast" in the Constitution of Georgia and as "Tskhinvali Region" (former South Ossetian Autonomous Oblast) in other official documents.

As a result of the military opposition, Tskhinvali Region was almost totally cleaned of the Georgian population in 1991. According to the 1998 data, the number of refugees from this region was 12 thousand. The military actions of 1992 initiated with the support of the Russian Federation, aiming at cleansing Abkhazia from the Georgians, resulted in more than 260 thousand refugees in the country [15].

As for the Russo-Georgian War of 2008, it resulted in 15.9 thousand local refugees [34]. The mass exile of the population deteriorated the demographic situation in the occupied regions, which remained with less than half of their original population [41].

According to the data of the Ministry of Internally Displaced Persons from the Occupied Territories, Labour, Health and Social Affairs of Georgia, nowadays the total number of refugees is 283.3 thousand making 7.6% of the country population [36].

It should be noted that the above-listed conflicts are referred to as "Ossetian-Georgian" and "Abkhaz-Georgian" conflicts. In accordance with the common view, ultimately these were the conflicts between Georgia and its former metropolitan country – Russia, masked with diplomatic rhetoric. The first wished to apply its total sovereignty to its internationally recognized territory, while the latter wanted to keep its former colony, the neighbor with recently recognized independence under its influence, and for this purpose, used the weakness of the new state – the ethnically mixed border provinces with conflict of interests of different ethnoses [13]. Similar prerequisites were in Ukraine.

Tragic occasions in the east of Ukraine 2014 – to this day is a consequence of internal contradictions and external aggression. On the one hand, they became a logical continuation of the Revolution of Dignity, its ideas, due to the specifics of sociocultural characteristics, were not positively accepted by the majority of the population of Donetsk and Luhansk regions; on the other hand, there is an external aggression of Russia associated with the de-

sire to restore political unity between the former Soviet republics as part of the unification of post-Soviet countries into the Customs Union [2].

The conflict in the Donbass arose with the support a certain part of the Russian-speaking population, as well as pro-Russian organizations in the Donbass, which shook civilian calm and propagandized the separatist mood of the region. The presence of unresolved socio-economic problems of the industrial Donbass's inhabitants, support of trade relations with the Russian Federation, the information war began long before the conflict, the prevailing opinion that Donbass feeds Ukraine, while it's deprived of political and electoral rights, "split" the inhabitants of Donbass into two vectors: pro-Ukrainian and pro-Russian. Despite the fact that Ukrainians accounted for 77.8% of the national composition of Ukraine, the largest share of Russians among other regions of Ukraine was observed in the Donbas (Luhansk region – 58.0% – Ukrainians, 39.0% – Russians; Donetsk region – 56.9 % – Ukrainians, 38.2% – Russians). In the Donbass, a significant part of the population speaks Russian. Territorially Russian-speaking prevail in urban agglomerations of Donetsk and Luhansk regions. Ukrainian-speaking areas are located primarily in the north and west of the region, more in agricultural areas [2,4].

The armed aggression of Russia against Ukraine began on February 20, 2014. This date is recognized as the start of the confrontation by both the Ukrainian and Russian sides. The annexation of Crimea in April 2014 was unfolded in Donetsk and Luhansk regions, where it is being continued nowadays. As a result of the armed confrontation and occupation of part of the Donbass, Donetsk and

Luhansk regions, as well as Ukraine on the whole, suffered significant economic and human losses. The economic potential of the eastern regions of Ukraine was lost due to hostilities and aggression, more than a million people became internally displaced persons [2].

*Spatio-temporal features of forced migrations in countries.* Prior to the armed conflicts, according to the data of 1989 Union population census, 239.9 thousand Georgians lived in Abkhazia [24] and 28.5 thousand Georgians lived in Tskhinvali Region [33]. As a result of the ethnic cleansing, according to the 2015 data, there were 43.5 thousand Georgians and 4.0 thousand Georgians living in Abkhazia and Tskhinvali Region, respectively (Fig. 1, 2) [15, 36].

In terms of regional distribution, the majority of IDPs from Abkhazia are concentrated in either Tbilisi or Samegrelo-Zemo Svaneti, the region adjacent to the Autonomous Republic of Abkhazia. In the case of internally displaced persons from Tskhinvali Region/South Ossetia, they are primarily resettled in the Mtskheta Mtianeti region, as well as the Shida [15].

In accordance with the data of the Ministry of IDPs from the Occupied Territories, Labour, Health and Social Affairs of Georgia, nowadays most refugees live in Tbilisi (110.5 thousand people) making almost 39% of the total number of refugees. The capital of the country is followed by its bordering Samegrelo-Zemo Svaneti Region with 89.5 thousand refugees. More than a half of the refugees living there (55%) live in the city of Zugdidi, the administrative center of the Region. Imereti, Shida Kartli, Kvemo Kartli and Mtskheta-Mtianeti Regions are also distinguished for high concentration of refugees (Fig. 3) [36].

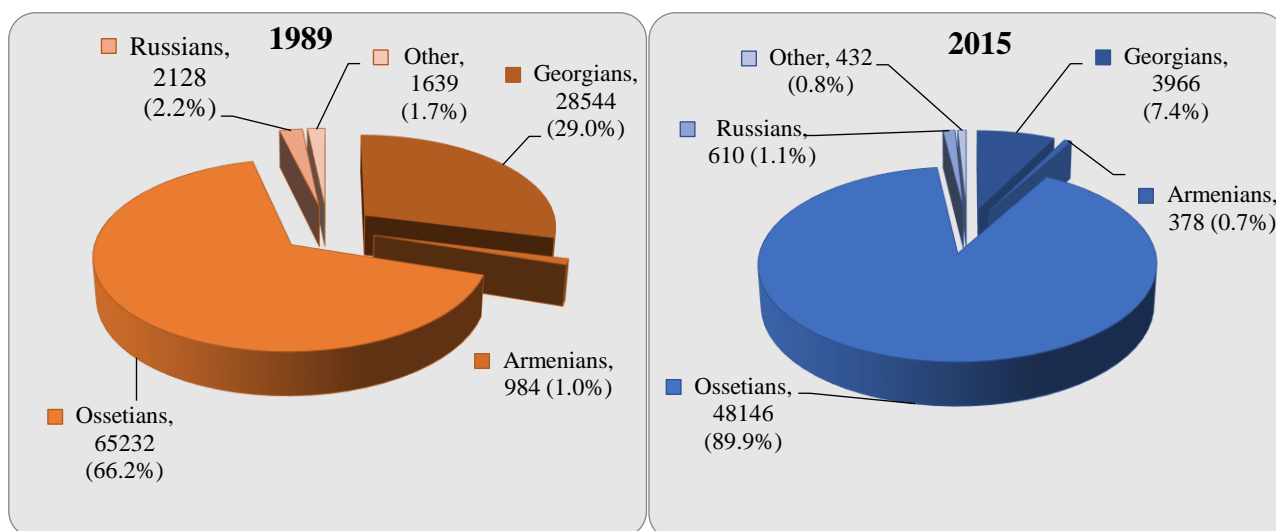


Fig. 1. Distribution of the population of the Tskhinvali region by ethnic groups (built by the authors according to the Ministry of Internally Displaced Persons from the Occupied Territories, Labour, Health and Social Affairs of Georgia) [36]

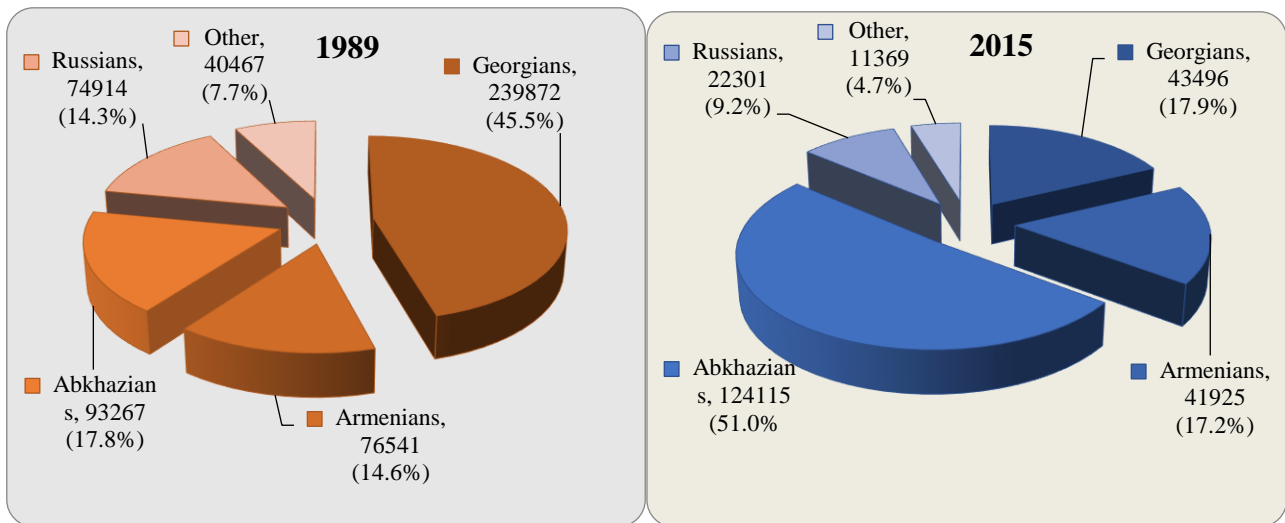


Fig. 2. Distribution of the Abkhazia population by ethnic groups (constructed by the authors according to the Ministry of Internally Displaced Persons from the Occupied Territories, Labour, Health and Social Affairs of Georgia) [36]

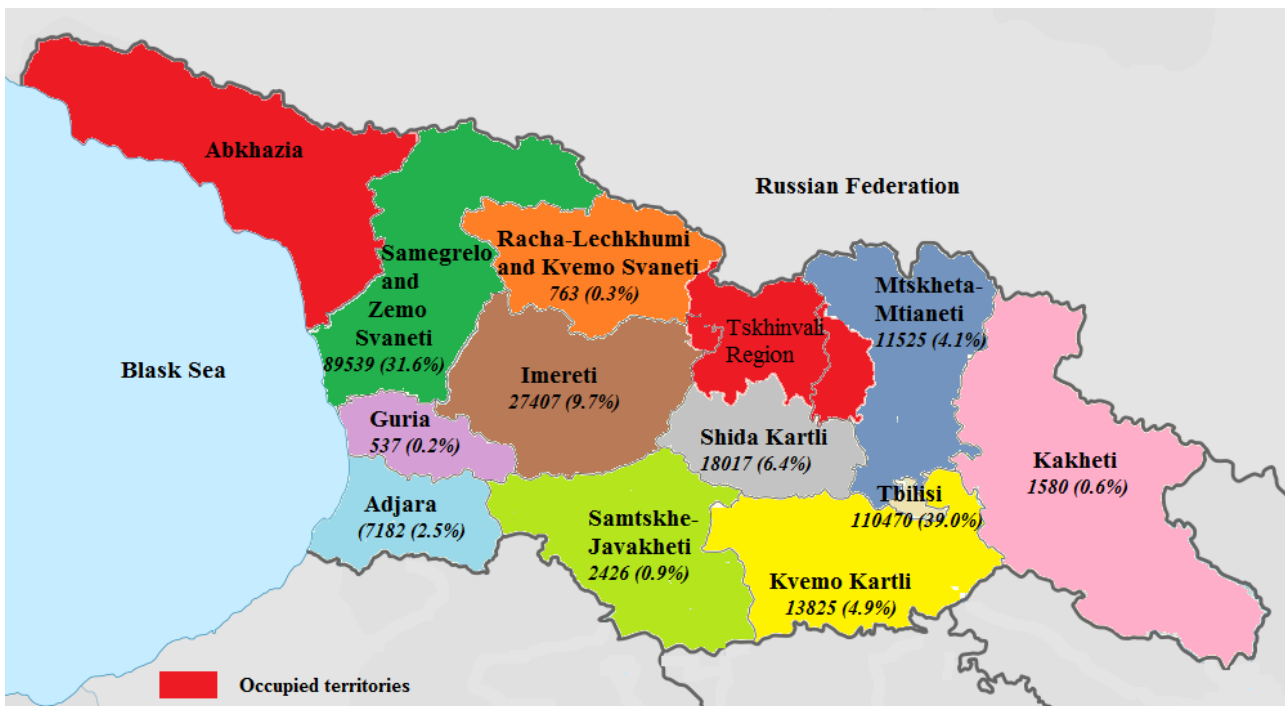


Fig. 3. Distribution of internally displaced persons by region of Georgia (constructed by the authors according to the Ministry of Internally Displaced Persons from the Occupied Territories, Labour, Health and Social Affairs of Georgia) [36]

Despite the fact that Tbilisi has the highest number of refugees, with the load index per thousand residents, the capital falls much back Samegrelo-Zemo Svaneti and Mtskheta-Mtianeti Regions. The load index is also high in Shida Kartli and Imereti Regions (Fig. 4) [12]. It should be noted that the social-economic situation is more or less grave in all regional units of Georgia. Particularly grave is the situation in the mountainous regions showing high migration rates of the local people. Such regions are Racha-Lechkhumi and Kvemo Svaneti [40], with 25 IDPs per 1000 residents what is quite a

high index. In such a situation, adaptation is even more difficult for forced displaced persons.

Regarding the resettlement system, there is great difference between different regions of Georgia [12]. As a result of negative social-economic state and a high number of forced displaced persons in the country, the urban population increased significantly. In 2019, almost 60% of the country population lived in the cities. It should be noted that 77,6% of the forced displaced persons live in eight cities of the country (Tbilisi, Zugdidi, Kutaisi, Poti, Gori, Mtskheta, Rustavi and Batumi). Such a situation contributes to

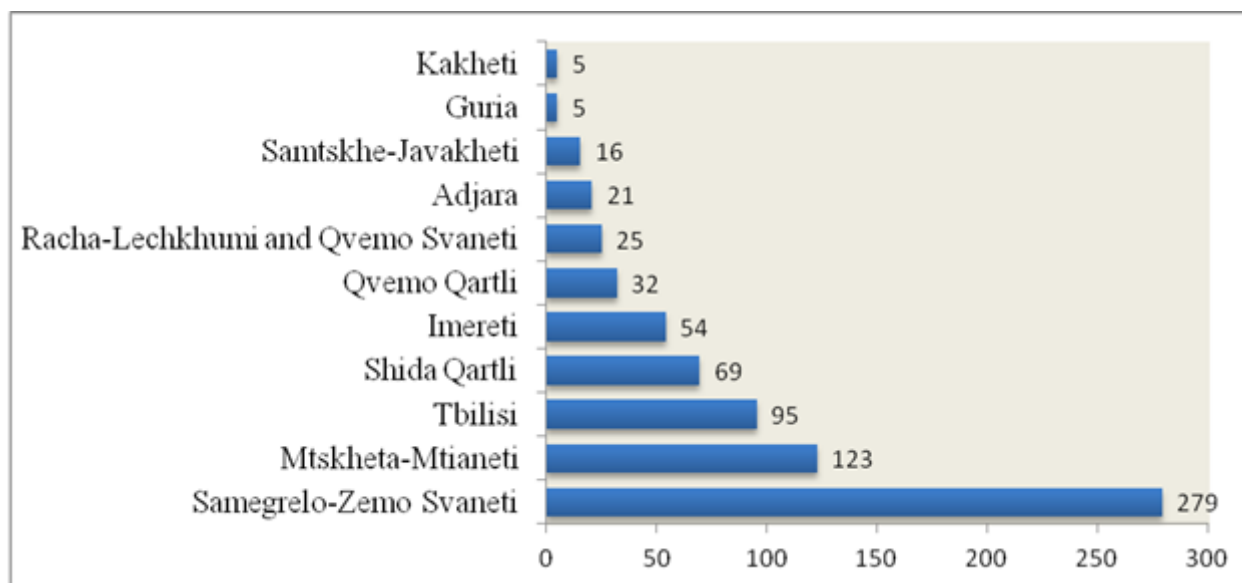


Fig. 4. Distribution of Georgian regions by the load of internally displaced persons on the population, % (constructed by the authors according to Ministry of Internally Displaced Persons from the Occupied Territories, Accommodation and Refugees of Georgia) [36]

the misbalance of the resettlement system [19].

As the data of the most recent population census (2014) suggest, 45.8% of the total number of refugees are men and 54.2% are women. 73.9% of them live in the cities and 26.1% live in rural areas. According to the same source, approximately one-fifth of the refugees are children aged 0-14. The share of the demographically aged population ( $\geq 65$  years) is 12%. It is noteworthy that the share of children in urban areas a bit exceeded (by 0.7 points) their share in rural areas. A similar fact was fixed with working-age refugees (15-64). As for the refugees aged 65 or older, their number was more in rural areas (Fig. 5) [32].

According to our calculations, a median of the refugees in 2014 was 35.3 years what is 4.4 years less the same indicator of the population.

In 2019, the number of IDPs in Ukraine amounted to 1 million 364 thousand people (3.55% of the total population) and their number decreases every month (Fig. 6) [5]. The reason for the change in the number of IDPs is subjective reasons, such as return of immigrants to their places of former residence due to the cessation of hostilities in the respective territories, as well as imperfection of the legal framework, which complicates the procedure for obtaining IDPs certificates and forces IDPs to abandon the identification procedure to obtain or confirm the IDPs status [4].

In 2018-2019 forced internal population movement resembles seasonal migration: the spring-summer period is characterized by the intensive return of IDPs to the temporarily occupied territories and the so-called Separate districts of Donetsk and

Luhansk regions for field work, caring for personal plots and own housing. Therefore, difficulties arise in calculating the actual number of internally displaced persons, because a large proportion of IDPs do not have the corresponding status [28].

The main age group of IDPs is people of retirement age, whose share in 2019 is more than 50%, but the number of persons of retirement age is decreasing, which is explained by the linking of pension payments to the IDP status. Compared to the end of 2014, as of September 2019, the share of pensioners among IDPs decreased from 59.8% to 50.0%. The largest share of pensioners prevails among the population of Luhansk, Donetsk, Kharkiv, Zaporizhia, Dnipropetrovsk, Poltava regions, as close as possible to the Separate districts of Donetsk and Luhansk regions, in order to receive pension payments in the territory controlled by Ukraine as quickly as possible [5,6].

In the sexual structure of IDPs, women predominate significantly – 58.8%, the male population is 41.2% (Fig. 7). Such predominance of women over men in the sexual structure of IDPs is observed in all regions of Ukraine, especially in Kiev, Odessa, Luhansk, Donetsk, Kiev regions [8].

Internally displaced persons are dispersed throughout Ukraine extremely unevenly, which leads to a certain burden on host communities, local labor markets, social sphere, etc. The closest regions where IDPs are located in Ukraine are the regions located in the territorial proximity to the so-called Separate districts of Donetsk and Luhansk regions. Most of the IDPs live in cities; some of them live in rural areas. Promising for the resettlement of IDPs

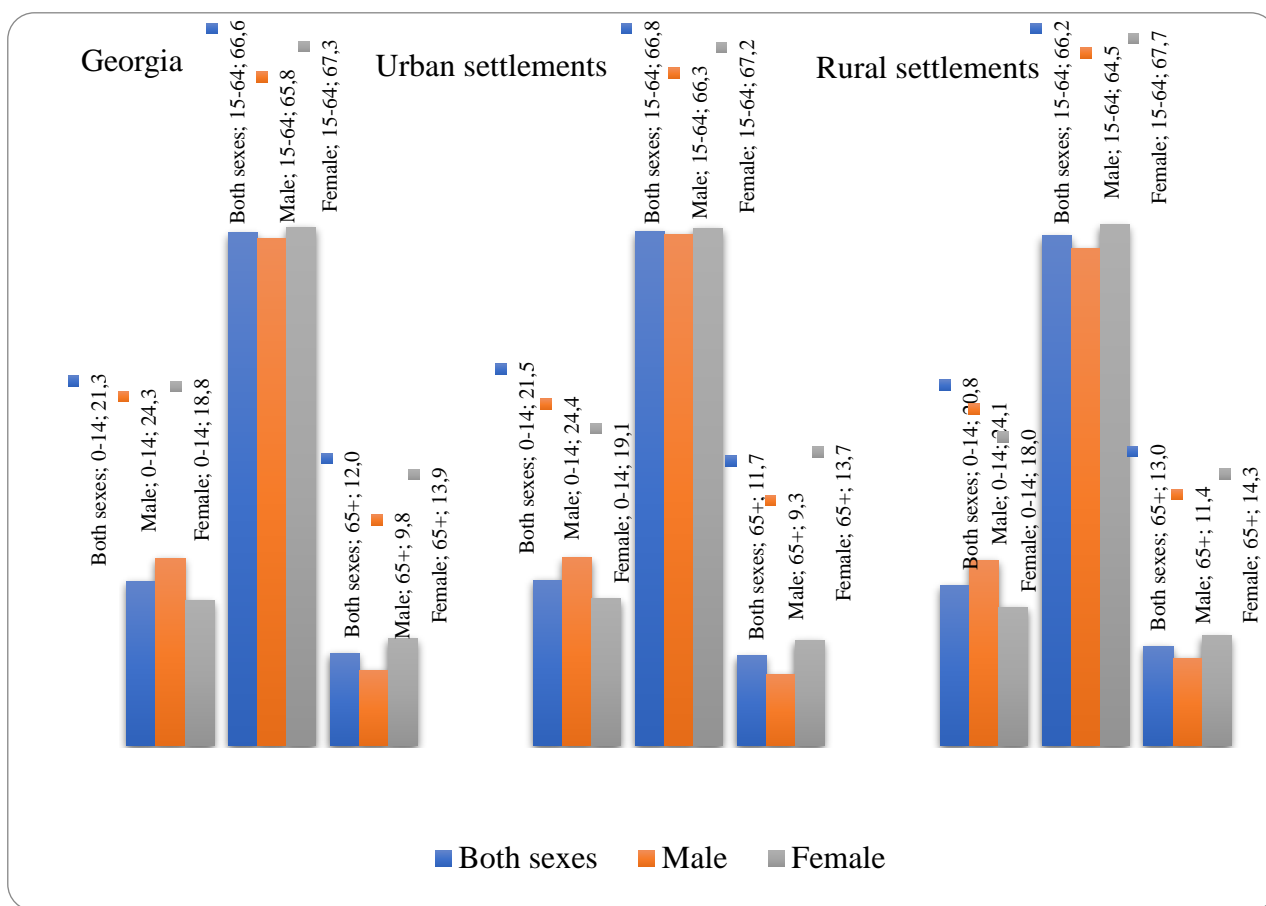


Fig. 5. Sex and age structure of IDPs according to the 2014 census (constructed by the authors according to the Ministry of Internally Displaced Persons from the Occupied Territories, Accommodation and Refugees of Georgia) [36]

are suburban areas with wide transport access to cities and all types of resources concentrated in them [28]. Internally displaced persons choose large industrialized regional centers – Kiev, Kharkiv, Dnipropetrovsk, Odessa, Zaporizhia, Lviv with developed labor markets, great opportunities for finding housing and employment, and developed infrastructure. In addition, due to IDPs, the population of the “new” administrative centers of Donetsk and Luhansk regions – the cities of Kramatorsk and Sievierodonetsk has significantly increased [9].

The leaders in the placement of IDPs in Ukraine are Donetsk (35.2% of the total number of IDPs in Ukraine) and Luhansk (19.5%) regions, the city of Kiev (10.85%), Kharkiv (9.33%), and Dnipropetrovsk (4.96%), Kiev (4.2%), Zaporizhia (3.93%) regions. In these regions, the largest burden of immigrants on the local population is observed: in Luhansk (128 people per 1000 inhabitants of the region), Donetsk (120 people), the city of Kiev (52 people), Kharkiv (49 people), Kiev (33 people) and Zaporizhia (33 people) regions [5].

The western Ukraine regions remained the least attractive for IDPs in September 2019: Ternopil (0.15% of the total number of IDPs in Ukraine),

Chernivtsi (0.17%, respectively), Rivne (0.22%), Volyn (0.22%), Zakarpattia (0.24%) and Ivano-Frankivsk (0.26%) regions [5] (Fig. 8).

Comparing Georgia and Ukraine, a tendency to decrease in the number of internally displaced persons and refugees should be noted, but such changes are associated not with the cessation of hostilities (in Ukraine), but with adaptation of IDPs to new living conditions in new places of residence, as well as with targeted state policy in regarding IDPs (Georgia) aimed at solving their socio-economic problems. Both in Georgia and Ukraine, the majority of IDPs live in cities, which puts a considerable burden on the local population, regional labor markets, institutions of pre-school, secondary and higher education, social welfare and protection departments, medical institutions, and banking institutions.

*Consequences of forced migrations for countries.* High proportion of the refugees in the first half of the 1990s caused grave social-economic problems in Georgia, as the newly formed independent state was not ready to act in such an unusual situation. The country had no legal base or mechanisms to protect the refugees. It is important that the country had a grave social-economic crisis in the same



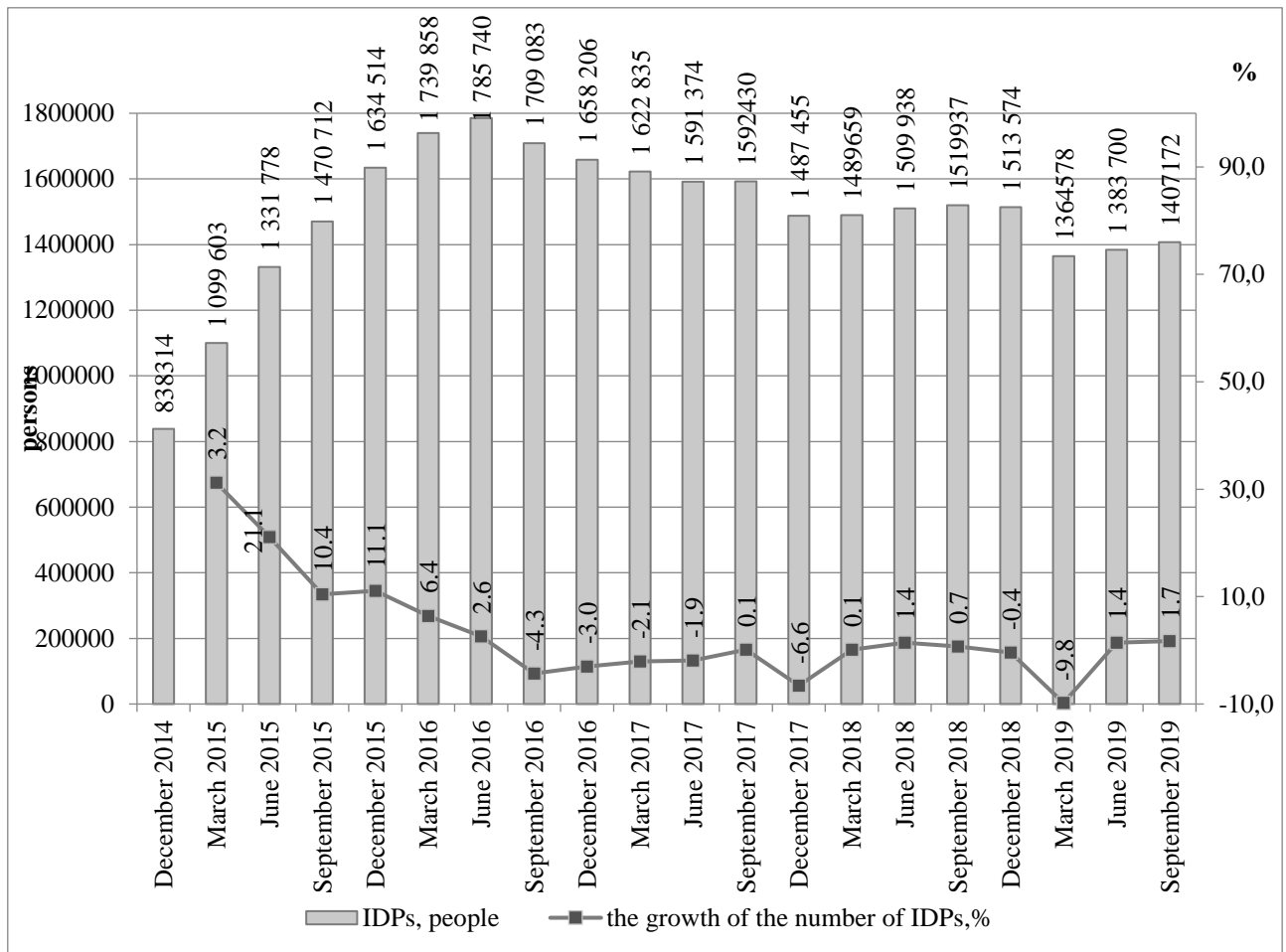


Fig. 6. The dynamics of the number of IDPs in Ukraine from December 2014 to September 2019 (calculated and constructed by the authors according to the Ministry of Social Policy of Ukraine [5])

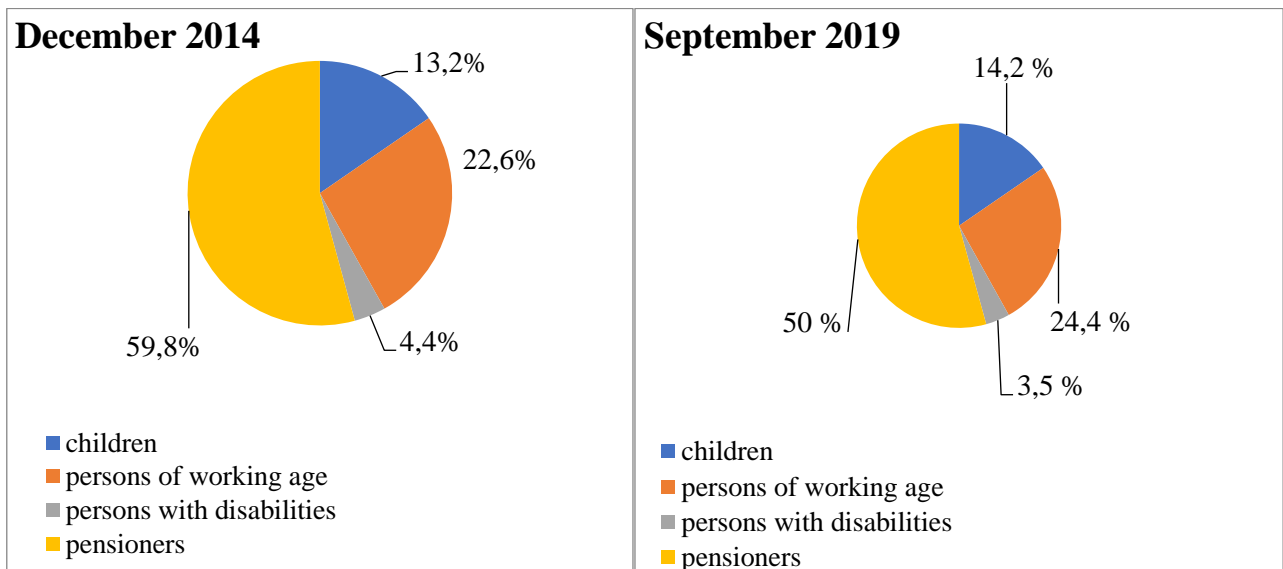


Fig. 7. Age structure of IDPs of Ukraine in 2014 and 2019 (calculated and constructed according to the Ministry of Social Policy of Ukraine [5])

period. Unfortunately, Georgia did not succeed in evolutionary transformation of its political and economic space [35].

At the beginning of the 1990s, the evolutionary course of the economic development in the country

and its adaptation of the economy to the laws of the market economy were expected in Georgia. The newly initiated modernization of the Post-Socialist country was hampered by gravest problems. As a result of the overwhelming crisis and dramatic polit-

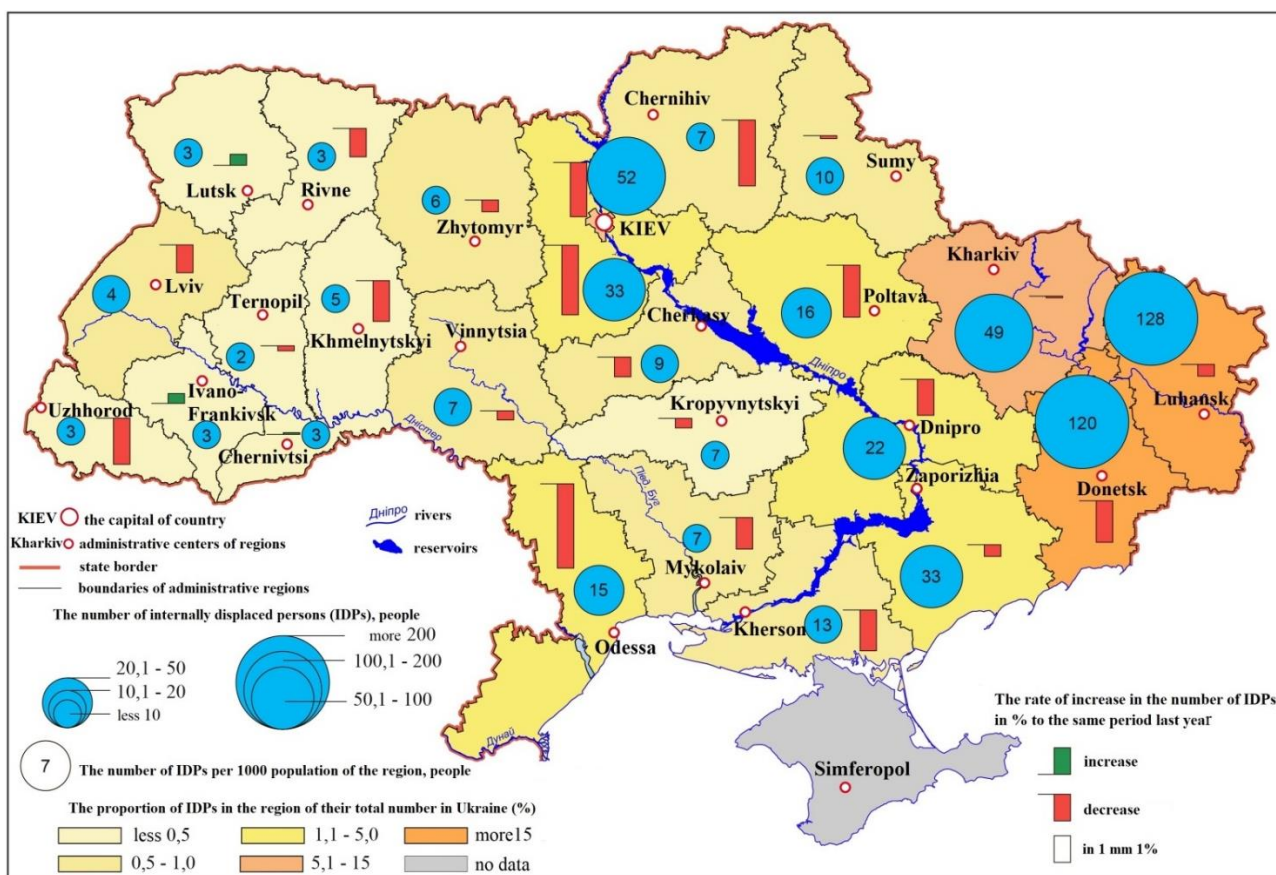


Fig. 8. Spatio-temporal features of IDPs of Ukraine as of September 2019 (constructed by the authors according to the Ministry of Social Policy of Ukraine [5])

ical events, the economy of the country necessitated radical changes [10].

Despite the difficult situation, the Ministry of Labour and Social Affairs of the Republic of Georgia was charged with registering the refugees and giving status to them by the decision of the country authority. On November 24, 1992, a Committee of Refugees and Resettlement of Georgia (the Ministry of Refugees and Resettlement of Georgia since 1995) was established, charged with solving the refugees' issue at the state level. Nowadays, these issues are solved by the Ministry of Internally Displaced Persons from the Occupied Territories, Labour, Health and Social Affairs of Georgia.

In 1996, the Law "On Internally Displaced Persons from the Occupied Territories of Georgia" was adopted [22]. On March 1, 2014, a new Law "On Internally Displaced Persons from the Occupied Territories of Georgia" was enforced [23]. The Law take effect due to various circumstances, in particular, the Law acted before March did not envisage the state policy in respect to refugees and did not meet the international standards any more. As soon as this Law was enforced, the Law "On Internally Displaced Persons from the Occupied Territories of Georgia" adopted of June 28, 1996 was abolished.

The society of refugees faces the same challen-

ges as the population of Georgia. At the same time, the refugees have specific problems needing special approaches. In solving the refugees' problems, it is important: 1. to return the internally displaced people to their original residential places and 2. to integrate them with their residential places.

A significant portion of the internally displaced people lives at collective centers (most of them are located in the abandoned buildings), temporary houses or informal settlements, without any relevant guarantees or access to relevant services Besides their inadequate housing conditions, sometimes the refugees have a limited access to healthcare services, education and employment. Many of them are traumatized or vulnerable [11].

On February 23, 2006, a governmental commission was established in Georgia, which was charged with working out the proposals to develop the state strategy and policy for internally displaced people, i.e. the refugees, and organizing and coordinating the developed strategy.

The state strategy approved on February 2, 2007, which is the approach of the government of Georgia to the internally displaced persons, refugees, defines two main goals of the state: creating conditions for dignified and safe returning of refugees and supporting the refugees having returned to

the places of their permanent residence spontaneously; supporting the dignified living conditions of the refugees and their integration into public life.

Poverty is the biggest problem of the IDPs, as well as for the significant portion of Georgia's population in general. The main cause of poverty both among internally displaced persons and the general population is unemployment, or in some cases what can be called underemployment [39]. According to the sociological research, 36 per cent of the unemployed has been without jobs for more than 3 year [40]. One of the most pressing problems according to IDP respondents is the inability to visit family members, relatives, friends and acquaintances who live in the area of origin. Half of interviewed families (50.9%) do not own a house, apartment or plot of land on the territory controlled by Georgia. 73.4% of internally displaced persons wish to return to their places of residence where they lived before becoming refugees and only one-fifth (20.7%) wish to remain on their present places of residence [16].

The problem of determining the number of Ukrainian IDPs is that it is impossible to name their exact number, since some of the forced migrants were not registered as IDPs, which is associated with the need to constantly confirm this status, and the certainty that the state still can't solve their problems. Of course, internally displaced persons have become a real challenge for Ukraine, since Ukraine has not been associated with massive forced migrations during the period of independence. However, do not forget that almost all internal migrants (with rare exceptions) are citizens of Ukraine, respectively, they have the same rights as other citizens of Ukraine, including the right to freedom, protection from violence, freedom of speech, protection against discrimination. Therefore, forced displacement requires the Ukrainian government to address these and other complex problems, to seek additional sources of financing, provide vulnerable groups with social services, solve housing problems and employment problems.

The main problem of the "early" displacement of IDPs (2014-2016) was their non-acceptance by local communities, however, forced displacement as a result of occupation or war is a traumatic and even tragic situation for migrants. IDPs are people who were not going to leave their homes, but were forced to do it, saving themselves and their loved ones. Of course, forced migration in the east of Ukraine led to the concentration of IDPs in the regions adjacent to the temporarily occupied territories. Local communities that have adopted IDPs are faced with problems of job cuts in key sectors of the economy due to the conflict, and higher rental prices due to the influx of IDPs. Host communities believe that IDPs receiving social assistance from the state nega-

tively impacted their own situation and created competition for them. Very often, both IDPs and members of the host communities face similar challenges and problems that need to be addressed. However, given the specific protection problems, IDPs are more vulnerable, which largely determines their relationship with host communities. An increase in the cost of living, as well as a lack of access to adequate housing, work and social benefits, exacerbates the situation, which in some cases can lead to secondary displacement within the country, and in other cases, increase tension [2,8].

In conditions of prolonged internal displacement, centers of compact residence for IDPs are gradually losing the status of "temporary" housing and they are increasingly depleting their resources. Quite often, IDPs are allocated buildings and institutions intended for other purposes (for example, institutions for homeless people, nursing homes, summer camps, etc.). Lack of medical care, unsatisfactory living conditions and isolation are the main problems faced by IDPs living in common areas (premises of general use). In many centers of compact residence, people are threatened with eviction, and some of them have already had to evict. Many of these centers are located far from cities and, accordingly, far from healthcare and educational institutions, as well as places of potential employment [8,9].

Subject to a well-considered state and regional policy aimed at solving the socio-economic problems of IDPs, migrants will be able to become a stimulator of the socio-economic development of the regions, since many of them have a high educational and qualification level. This indicates a significant accumulated human capital, which can be an important factor in the development of high-tech industries and services with intensive use of knowledge in regions where IDPs are concentrated [1].

In the socio-economic sphere, the emergence of IDPs leads to an increase in the number of enterprises due to the transfer of enterprises and organizations from the temporarily occupied territory to the territory controlled by the Ukrainian government. Opening their own business by IDPs leads to an increase in the number of jobs for the population of the host communities. In addition, thanks to IDPs, vacancies in the labor market that are least popular for the population of the host communities are filled, which leads to reduction in the cost of goods, and increased requirements are introduced to the assortment and quality of goods and services.

**Conclusions.** The internal displacement of the population in Georgia and Ukraine was associated with armed conflicts in their territory with a "motley" ethno-linguistic composition of the population,

separatist intentions of the region's inhabitants with the support of local political elites, public organizations in the context of the mass information attack. The center of the military confrontation in Georgia was the Tskhinvali region (South Ossetia) in 1989-1992, and Abkhazia in 1992-1993. In 2008, the armed conflict arose between Georgia, Russia and the separatist groups of South Ossetia, referred to as the Russian-Georgian war. In 2014, the center of hostilities was the East of Ukraine, referred to as the Donbass. The concept of "uncontrolled territories" (parts of Donetsk and Luhansk regions) appeared. As a result of the conflict, millions of people became internally displaced persons – a socially vulnerable category of the population requiring state support.

Analyzing the structural features of internally displaced persons in Ukraine and Georgia, it should be noted that their resettlement is extremely uneven: IDPs choose large cities and ignore the countryside more. In Ukraine internally displaced persons who intend to return to their previous places of residence are resettled in large cities and suburban areas near the military zone in order to have territorial access to the temporarily occupied Ukrainian territories. So, as a result of the IDPs displacement, a large load on the social and economic spheres is observed in parts of Donetsk and Luhansk, as well as Kharkiv regions, the city of Kiev. A similar picture is observed in Georgia: IDPs are settled closer to the occupied regions of Abkhazia and the Tskhinvali region, in large cities and districts of Tbilisi, Samegrelo-Zemo, Svaneti and Imereti.

It should be noted that, IDPs have become a real challenge for Georgia and Ukraine that the government of both countries still has not been able to fully cope with. Despite the fact that the first IDPs in Georgia appeared almost 30 years ago, most of

them still remain with unresolved problems, especially with regard to the lack of their own housing provided by the state in exchange for the destroyed one as a result of the conflict. In Ukraine, in addition to the housing problem, IDPs face acute problems with determining their status, social benefits, and employment. Since ignoring these problems leads to increased tension in society, conflicts at the local level between forced migrants and the local population, and, as a consequence, to repeated internal displacement. Therefore, local governments need to implement a regional migration policy aimed at considering IDPs as a potential for the development of territories, taking into account the labor and intellectual potential of forced migrants. The priority directions of the regional policy in relation to IDPs should be long-term solutions aimed at providing housing, employment, social integration of forced migrants, realizing the positive potential of forced internal migration of the population, taking into account the characteristics of individual regions and international experience.

A comprehensive analysis of the forced internal displacement of the population of Georgia and Ukraine indicates the general prerequisites, developmental features and consequences of such displacement for host communities and the state on the whole. Studying the joint experience of countries in solving the socio-economic problems of IDPs, the features of their integration and adaptation will contribute to a deeper analysis of these processes, ensuring the erasing of borders between such a category as "migrants" and "ordinary population". This paper is only a part of the comprehensive study of the problems of IDPs, so the next step will be a study of the features of IDP integration in the host communities of Georgia and the implementation of this experience for Ukraine.

### References

1. Антонюк В. П. Вплив внутрішньо переміщених осіб на розвиток територіальних громад: проблеми та перспективи / В. П. Антонюк // Вісник економічної науки України. – 2016. – № 2. – С. 8–13.
2. Внутрішньо переміщені особи: від подолання перешкод до стратегії успіху: монографія / О. Ф. Новікова, О. І. Амоша, В. П. Антонюк та ін.; НАН України, Ін-т економіки пром-сті. – Київ, 2016. – 448 с.
3. Закон України «Про забезпечення прав і свобод громадян та правовий режим на тимчасово окупованій території України» від 15. 04. 2014 р. № 1207-VII (редакція от 29. 04. 2018 г.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1207-18>.
4. Логвинова М. О. До питання про чинники розміщення внутрішньо переміщених осіб зі Сходу України / М. О. Логвинова // Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Географічні науки». – 2019. – № 10. – С. 27–33. DOI: <https://doi.org/10.32999/ksu2413-7391/2019-10-4>.
5. Міністерство соціальної політики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.msp.gov.ua>
6. Немець Л. М. Вимушені внутрішні міграції в Харківській області: структурно-динамічні та регіональні особливості / Л. М. Немець, Н. В. Гусева, М. О. Логвинова, Ю. І. Кандиба, Л. В. Ключко // Часопис соціально-економічної географії. – 2018. – № 25. – С. 81–97. DOI: <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2018-25-08>.
7. Смаль В. Велике переселення: скільки в Україні переміщених осіб і як склалась їх доля / В. Смаль // Економічна правда. – 2016. – № 6. – С. 24–25.
8. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ Внутреннее перемещение вследствие конфликта в Украине: повышенная незащищенность пострадавшего населения и факторы напряженности в общинах / ОБСЕ, июль 2016. – 27 с.



9. Українське суспільство: міграційний вимір: нац. доповідь / Інститут демографії та соціальних досліджень ім. М. В. Птухи НАН України. – К., 2018. – 396 с.
10. Archvadze J. Some of Socio-Economic Aspects of Income and Property Differentiation in Contemporary Georgia / J. Archvadze // *Ekonomika*. – 1997. – № 1–3. – 89 p.
11. Chikava L. Worsening of demographic situation in Georgia and it's Social-Economic Aspects / L. Chikava // *Strategy of Socio-Economic Transformation and Tactics in Transitional Period. Proceedings of the International Scientific Symposium*. Tbilisi, 13-14 November 1997. – 25 p.
12. Elizbarashvili N. Geography of Georgia / N. Elizbarashvili, L. Matchavariani, N. Nikolaishvili, G. Sopadze, G. Meladze, N. Jamaspashvili, M. Ratiani, M. Khavtasi, N. Pataridze. – Tbilisi, 2000. – P. 136-140.
13. Gachechiladze R. My Twentieth Century / R. Gachechiladze. – Tbilisi, 2011. – № 1. – 356 p.
14. Gogishvili D. Urban Dimensions of Internal Displacement in Georgia: The Phenomenon and the Emerging Housing Policy [Електронний ресурс] / D. Gogishvili // *GSSI Urban Studies Working Papers*, 2015. – № 18. – P. 1-25. – Режим доступу: <https://ssrn.com/abstract=2591291>; DOI: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2591291>
15. Handbook for Internally Displaced Persons. UNDP office in Georgia. – Tbilisi, 1998. – 11 p.
16. Intentions Survey on Durable Solutions: Voices of Internally Displaced Persons in Georgia [Електронний ресурс] // United Nations High Commissioner for Refugees (UNHCR). Georgia: ISSA (INSTITUTE OF SOCIAL STUDIES AND ANALYSIS), 2015. – P. 36-42. – Режим доступу: <https://www.refworld.org/pdfid/55e575924.pdf>
17. Kabachnik P. The Multiple Geographies of Internal Displacement: The Case of Georgia / P. Kabachnik, B. Mitchneck, O. Mayorova, J. Regulska // *Refugee Survey Quarterly*. – 2014. – № 33(4). – P. 1–30.
18. Kharashvili J. 20 years of internal displacement in Georgia: the international and the personal [Електронний ресурс] / J. Kharashvili // *FMR 25th Anniversary collection*, 2014. – Режим доступу: <http://www.fmreview.org/25th-anniversary/kharashvili>
19. Kohler T. The Demogeographic Crisis in Racha, Georgia: Depopulation in the Central Caucasus Mountains [Електронний ресурс] / T. Kohler, N. Elizbarashvili, G. Meladze, D. Svanadze, H. Meessen // *Mountain Research and Development*, 2017. – № 37(4). – P. 415–424. – Режим доступу: <http://www.bioone.org/doi/full/10.1659/MRD-JOURNAL-D-17-00064.1>
20. Kostrikov S. Geoinformation Approach to Urban Geographic System Research (Case Studies of Kharkiv region, Ukraine) / S. Kostrikov, L. Niemets, K. Sehida, K. Niemets, C. Morar // *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*. – 2018. – № 49. – P. 107–124. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-09>
21. Kurshitashvili N. The Impact of Socially Ir/responsible Resettlement on the Livelihoods of Internally Displaced Persons in Georgia / N. Kurshitashvili // *Refugee Survey Quarterly*. – 2012. – № 31(2). – P. 98–118. DOI: <https://doi.org/10.1093/rsq/hds001>
22. Law of Georgia on Internally Displaced Persons – Persecuted from the Occupied Territories of Georgia (No. 335-II S, 1996) [Електронний ресурс] / Ministry of Internally Displace Persons from the Occupied Territories, Accommodation and Refugees of Georgia, Georgia. – Режим доступу: <https://www.matsne.gov.ge/ka/document/view/31516?publication=10>
23. Law of Georgia on Internally Displaced Persons – Persecuted from the Occupied Territories of Georgia (№. 1982-II s of 6 February 2014) [Електронний ресурс] / Ministry of Internally Displace Persons from the Occupied Territories, Accommodation and Refugees of Georgia, Georgia. – Режим доступу: <http://mra.gov.ge/res/docs/201406171444442634.pdf>
24. Migration Profile of Georgia [Електронний ресурс] / State Commission on Migration Issues. – Tbilisi, 2015. – 57 p. – Режим доступу: [http://migration.commission.ge/files/migration\\_profile\\_2017\\_eng\\_final.pdf](http://migration.commission.ge/files/migration_profile_2017_eng_final.pdf)
25. Mooney E. From Solidarity to Solutions: The Government Response to Internal Displacement in Georgia, From Responsibility to Response: Assessing National Approaches to Internal Displacement / E. Mooney // *Brookings Institution – London School of Economics Project on Internal Displacement*, 2011. – 203 p.
26. Morar C. Aspects Regarding the Military Cultural-Historical Heritage in the City of Oradea, Romania / C. Morar, G. Nagy M. Dulca, L. Boros, K. Sehida // *ANNALES – Annals for Istrian and Mediterranean Studies. Series Historia et Sociologia*. – 2019. – № 2.
27. Morar C. Brownfields Regeneration, between Sustainable Urban Development and Cultural Heritage, the former military sites in Oradea, Romania / C. Morar, M. Dulca, G. Nagy // *Journal of Urban and Regional Analysis*. – 2016. – № 8 (1).
28. Niemets L. Forced Internal Displacement In Ukraine: Realities, Socio-Economic Problems, Perspectives / L. Niemets, N. Husieva, K. Sehida, O. Krayniukov, M. Lohvynova, O. Suptelo // *International Business Information Management Conference (33nd IBIMA) Granada, Spain 10-11 April 2019 / Editor Khalid S. Soliman*. Granada, 2019. – P. 3064–3081.
29. Niemets L. Innovation and Investment Potential of Region as a Factor of its "Smart Transformation": Kharkiv Region Case Study (Ukraine) / L. Niemets, K. Mezentsev, C. Morar, K. Sehida, N. Husieva, V. Peresadko // *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*. – 2018. – № 49. – 137–159. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-11>
30. Niemets L. Integration of internally displaced persons of Ukraine: realities, problems, perspectives / L. Niemets, N. Husieva, T. Pohrebskyi, O. Bartosh, M. Lohvynova // *Вісник Харківського національного університету імені*



- V. H. Karazina. Серія «Геологія. Географія. Екологія». – 2019. – № 51. – С. 140–157. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-10>
31. Niemets L. Migration Challenges of the 21st Century: The Experience of Ukraine / L. Niemets, N. Husieva, O. Suptelo, K. Sehida, P. Kobylin, L. Kliuchko // *The International Business Information Management Conference (32nd IBIMA) (Seville, Spain, 15-16 November, 2018)* / Editor Khalid S. Soliman. Seville, 2018. – P. 328–337.
  32. *Population and Demography* [Електронний ресурс] / National Statistics Office of Georgia. – Режим доступу: <https://www.geostat.ge/en/modules/categories/316/population-and-demography>
  33. *Population of South Ossetia* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ethno-kavkaz.narod.ru/rmsossetia.html>
  34. *Report of Public Defender of Georgia*. – Tbilisi, 2010. – 21 p.
  35. Salukvadze J. *Georgia: Migration a Main Risk Toward Sustainable Demographic Future* / J. Salukvadze, G. Meladze // *Discovering Migration Between Visegrad Countries and Eastern Partners*. – Budapest: Hungarian Academy of Sciences, 2014. – 150 p.
  36. *Statistics of Internally Displaced Persons* [Електронний ресурс] / Ministry of Internally Displaced Persons from the Occupied Territories, Labour, Health and Social Affairs of Georgia. – Режим доступу: <https://www.moh.gov.ge/uploads/files/2019/Failebi/27.03.2019-51.pdf>
  37. Tarkhan-Mouravi G. *Assessment of IDP Livelihoods in Georgia: Facts and Policies* / G. Tarkhan-Mouravi. – Tbilisi, 2009. – 26 p.
  38. Tarkhan-Mouravi G. *The Abkhazian-Georgian conflict and the issue of internally displaced persons* / G. Tarkhan-Mouravi, N. Sumbadze // *Innovation The European Journal of Social Science Research*. – 2006. – № 19(3–4). – P. 283–302. DOI: <https://doi.org/10.1080/13511610601029847>
  39. *Transition. The newsletter about reforming economies* [Електронний ресурс] / The World Bank. – 2002. – № 13(1). – 12 p. – Режим доступу: <http://www.worldbank.org/transitionnewsletter>
  40. Tukhashvili M. *Internally Displaced Persons in the Georgian Labour Market* / M. Tukhashvili, M. Tsartsidze, T. Antadze, M. Shelia, M. Toria. – Tbilisi, 2012. – 55 p.
  41. Tukhashvili M. *Refugees and Displaced Persons in Georgia* / M. Tukhashvili // *CARIM-East Explanatory Note 13/105. Demographic-Economic Module*, 2013.
  42. Uglješa S. *Shared Aerial Drone Videos – Prospects and Problems for Volunteered Geographic Information Research* / S. Uglješa, Đ. A., Vasiljević, V. Jovanović, M. Kranjac, M. D. Vujičić, C. Morar, L. Bucur // *Open Geosciences*. – 2019. – № 11. – P. 462–470.
  43. Vujičić D. M. *A multi-criteria decision analysis with special reference to loess and archaeological sites in Serbia (Could geosciences and archaeology cohabitate?)* / D. M. Vujičić, D. A. Vasiljević, T. A. Hose, N. Tasić, C. Morar, A. Đurić, S. B. Marković // *Open Geosciences*. – 2018. – 10(1).
  44. *World Bank national accounts data, and OECD National Accounts data files* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.unstats.un.org/unsd/snaama/resCountry.asp>

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

UDC 911.3:314.15.045(479.22+477)

**Nodar Elizbarashvili,**

Doctor of Sciences (Geography), Professor, Head of Department of Regional Geography and Landscape Planning of I. Javakhishvili Tbilisi State University,  
Head of IGU Commission of Landscape Analysis and Landscape Planning,  
3 I. Chavchavadze Av., TSU II building, Tbilisi, 0173, Georgia,  
e-mail: [nelizbarashvili@yahoo.com](mailto:nelizbarashvili@yahoo.com), <http://orcid.org/0000-0001-8537-7728>;

**Liudmyla Niemets,**

Doctor of Sciences (Geography), Professor,  
Head of the Department of Human Geography and Regional Studies,  
School of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv University,  
4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,  
e-mail: [soc-econom-region@karazin.ua](mailto:soc-econom-region@karazin.ua), <https://orcid.org/0000-0001-9943-384X>;

**Giorgi Meladze,**

PhD (Demography), Associate Professor, Department of Regional Geography and Landscape Planning of I. Javakhishvili Tbilisi State University, Vakhushti Bagrationi Institute of Geography,  
e-mail: [meladzeg@gmail.com](mailto:meladzeg@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-9116-5203>;

**Kateryna Sehida,**

Doctor of Sciences (Geography), Associate Professor,  
Department of Human Geography and Regional Studies, V. N. Karazin Kharkiv University,  
e-mail: [kateryna.sehida@gmail.com](mailto:kateryna.sehida@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-1122-8460>;

**Maryna Lohvynova,**

PhD student of the Department of Human Geography and Regional Studies,  
V. N. Karazin Kharkiv University,  
e-mail: [logvinova\\_mari94@ukr.net](mailto:logvinova_mari94@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-3190-710X>;

**Maia Meladze,**

PhD (Ecology), Professor, Institute of Hydrometeorology at the Georgian Technical University,  
150 D. Agmashenebeli Av., Tbilisi, 0111, Georgia,  
e-mail: [m.meladze@gtu.ge](mailto:m.meladze@gtu.ge), <https://orcid.org/0000-0002-2451-1804>;

**David Sidamonidze,**

PhD student I. Javakhishvili Tbilisi State University,  
e-mail: [davit.sidamonidze@yahoo.com](mailto:davit.sidamonidze@yahoo.com), <https://orcid.org/0000-0002-0386-896X>

## **FORCED MIGRATIONS OF GEORGIA AND UKRAINE: REASONS FOR THE EMERGENCE, PROCESS FEATURES, IMPLICATIONS FOR COUNTRIES**

**The purpose of this paper** is to analyze the causes, current realities and consequences of forced migrations of Georgia and Ukraine in order to identify key strategies for resolving the socio-economic problems of internally displaced persons and transforming them from a “problem vulnerable group” into an indicator of socio-economic development of the countries.

**Methodology.** The study was conducted using a set of multidisciplinary approaches and methods. The paper was used philosophical, general scientific and concrete scientific research methods. Among them: methods of analysis and synthesis, comparative geographical method, mathematical and statistical, graphical method, problem method and some others.

**Results.** Forced migration in Georgia and Ukraine is associated with armed conflicts, which were supported by the separatist sentiments of the part of the population. The center of the military confrontation in Georgia in 1989-1992 was the Tskhinvali region (South Ossetia), and in 1992-1993 – Abkhazia. In 2008, an armed conflict arose between Georgia, Russia and the separatist groups of South Ossetia, referred to as the Russian-Georgian war. In 2014, the Donbass (Donetsk and Luhansk regions) became a center of hostilities in Ukraine. Because of such military conflicts, millions of people have become internally displaced persons – a socially vulnerable category of the population.

Analysis of the structural features of the IDPs of Georgia and Ukraine shows the unevenness of their territorial distribution: IDPs are settled in large cities close to their previous homes and almost completely ignore the countryside. Such resettlement speaks about possible intentions to return to their previous places of residence. As a result of the displacement of IDPs, a large burden on the social and economic spheres is observed in parts of Donetsk and Luhansk, as well as Kharkiv regions, the city of Kiev. A similar picture is observed in Georgia: IDPs are settled closer to the occupied regions of Abkhazia and the Tskhinvali region, in large cities and districts of Tbilisi, Samegrelo-Zemo, Svaneti and Imereti.

IDPs have become a real challenge for both countries, with which the government could not finally cope. Unresolved in both countries are the housing problems of IDPs. In Ukraine, in addition to the housing problem, IDPs face acute problems with determining their status, social benefits, and employment. Ignoring the solution of these problems leads to increased tension in society, conflicts at the local level between the migrants and the local population, and, as a consequence, to repeated internal displacement. Resolving the problems of forced migrants should be the first line of policy with IDPs.

**Scientific novelty.** a comprehensive comparative analysis of forced migration of Georgia and Ukraine related to military conflicts in the paper was carried out for the first time. The methodology of human-geographical research of migration processes, in particular forced migration, has been improved. The application of the joint experience of Georgia and Ukraine in solving the problems of IDPs was further developed.

**Practical significance.** Studying the joint experience of countries in solving the socio-economic problems of IDPs, the features of their integration and adaptation will contribute to a deeper analysis of these processes at all levels of territorial organization, ensuring the erasing of borders between such a category as "migrants" and "ordinary population". This paper is only a part of the comprehensive study of the problems of IDPs, so the next step will be a study of the features of IDP integration in the host communities of Georgia and the implementation of this experience for Ukraine.

**Keywords:** forced migration, internally displaced persons (IDPs), internally population displacement, military conflict, Georgia, Ukraine.

## References

1. Antoniuk, V. P. (2016). *Vplyv vnutrishno peremishchenykh osib na rozvytok terytorialnykh hromad: problemy ta perspektyvy* [Influence of internally displaced persons on the development of territorial communities: problems and prospects]. *Visnyk ekonomichnoi nauky Ukrainy – Bulletin of economic science of Ukraine*, 2, 8-13 [in Ukrainian].
2. *Vnutrishno peremishcheni osoby (2016): vid podolannia pereshkod do stratehii uspikhu: monografiia* [Internally Displaced Persons: from overcoming obstacles to success strategies]. Kyiv: NAN Ukrainy, *In-t ekonomiky prom-sti*, 448 [in Ukrainian].
3. *Zakon Ukrainy «Pro zabezpechennia prav i svobod hromadian ta pravovyi rezhyim na tymchasovo okupovanii terytorii Ukrainy»* [Law of Ukraine "On ensuring the rights and freedoms of citizens and the legal regime in the temporarily occupied territory of Ukraine"]. № 1207-VII (April 15, 2014). Available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1207-18> [in Ukrainian].
4. Lohvynova, M. O. (2019). *Do pytannia pro chynnyky rozmishchennia vnutrishno peremishchenykh osib zi Skhodu Ukrainy* [On the issue of placement factors for internally displaced persons from the East of Ukraine]. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnogo universytetu. Serii «Heohrafichni nauky» – Scientific Bulletin of Kherson State University. Series «Geographical Sciences»*, 10, 27-33. DOI: <https://doi.org/10.32999/ksu2413-7391/2019-10-4> [in Ukrainian].
5. *Ministerstvo sotsialnoi polityky Ukrainy* [Ministry of Social Policy of Ukraine]. Available at: <https://www.msp.gov.ua> [in Ukrainian].
6. Niemets, L. M., Husieva, N. V., Lohvynova, M. O., Kandyba, Yu.I., Kliuchko, L. V. (2018). *Vymusheni vnutrishni mihratsii v Kharkivskii oblasti: strukturno-dynamichni ta rehionalni osoblyvosti* [Forced internal migration in the Kharkov region: structural-dynamic and regional features]. *Chasopys sotsialno-ekonomichnoi heohrafii – Human Geography Journal*, 25, 81-97. DOI: <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2018-25-08> [in Ukrainian].
7. Smal, V. (2016). *Velyke pereselennia: skilky v Ukraini peremishchenykh osib i yak sklalas yikh dolia* [Large resettlement: how many displaced persons are in Ukraine and how their fate has developed]. *Ekonomichna Pravda – Economic truth*, 6, 24-25 [in Ukrainian].
8. *TEMATIChESKIJ OTChET Vnutrennee peremeshenie vsledstvie konflikta v Ukraine: povyshennaya nezashishennost postradavshogo naseleniya i faktory napryazhennosti v obshinah (2016). [THEMATIC REPORT Internal displacement due to the conflict in Ukraine: increased vulnerability of the affected population and factors of tension in the communities]. OBSE*, 27 [in Russian].
9. *Ukrainske suspilstvo: mihratsiinyi vymir: nats. dopovid (2018). [Ukrainian society: the migration dimension]. Kiev: Instytut demohrafii ta sotsialnykh doslidzhen im. M. V. Ptukhy NAN Ukrainy*, 396 [in Ukrainian].
10. Archvadze, J. (1997). *Some of Socio-Economic Aspects of Income and Property Differentiation in Contemporary Georgia. Ekonomika*, 1-3, 89 [in Georgian].
11. Chikava, L. (1997). *Worsening of demographic situation in Georgia and it's Social-Economic Aspects. Strategy of Socio-Economic Transformation and Tactics in Transitional Period. Proceedings of the International Scientific Symposium. Tbilisi, 13-14 November 1997*, 25 [in Georgian].
12. Elizbarashvili, N., Matchavariani, L., Nikolaishvili, N., Sopadze, G., Meladze, G., Jamaspashvili, N., Ratiani, M., Khavtasi, M., Pataridze, N. (2000). *Geography of Georgia. Tbilisi*, 136-140 [in Georgian].
13. Gachechiladze, R. (2011). *My Twentieth Century. Tbilisi*, 1, 356 [in Georgian]
14. Gogishvili, D. (2015). *Urban Dimensions of Internal Displacement in Georgia: The Phenomenon and the Emerging Housing Policy. GSSI Urban Studies Working Papers*, 18, 1-25. Available at: <https://ssrn.com/abstract=2591291>; DOI: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2591291>
15. *Handbook for Internally Displaced Persons (1998). UNDP office in Georgia. Tbilisi*, 11 [in Georgian].
16. *Intentions Survey on Durable Solutions (2015): Voices of Internally Displaced Persons in Georgia. United Nations High Commissioner for Refugees (UNHCR). ISSA (INSTITUTE OF SOCIAL STUDIES AND ANALYSIS)*, 36-42. Available at: <https://www.refworld.org/pdfid/55e575924.pdf>
17. Kabachnik, P., Mitchneck, B., Mayorova, O., Regulska, J. (2014). *The Multiple Geographies of Internal Displacement: The Case of Georgia. Refugee Survey Quarterly*, 33(4), 1-30.
18. Kharashvili, J. (2014). *20 years of internal displacement in Georgia: the international and the personal. FMR 25th Anniversary collection. Available at: http://www.fmreview.org/25th-anniversary/kharashvili*
19. Kohler, T., Elizbarashvili, N., Meladze, G., Svanadze, D., Meessen, H. (2017). *The Demogeographic Crisis in Racha, Georgia: Depopulation in the Central Caucasus Mountains. Mountain Research and Development*, 37 (4), 415-424. Available at: <http://www.bioone.org/doi/full/10.1659/MRD-JOURNAL-D-17-00064.1>; DOI: <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-17-00064.1>
20. Kostrikov, S., Niemets, L., Sehida, K., Niemets, K., Morar, C., (2018). *Geoinformation Approach to Urban Geographic System Research (Case Studies of Kharkiv region, Ukraine). Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 49, 107–124. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-09>
21. Kurshitashvili, N. (2012). *The Impact of Socially Ir/responsible Resettlement on the Livelihoods of Internally Displaced Persons in Georgia. Refugee Survey Quarterly*, 31(2), 98-118. Available at: DOI: <https://doi.org/10.1093/rsq/hds001>
22. *Law of Georgia on Internally Displaced Persons – Persecuted from the Occupied Territories of Georgia (№ 335-IIS, 1996). Ministry of Internally Displace Persons from the Occupied Territories, Accommodation and Refugees of Georgia, Georgia. Available at: https://www.matsne.gov.ge/ka/document/view/31516?publication=10*

23. Law of Georgia on Internally Displaced Persons - Persecuted from the Occupied Territories of Georgia (№ 1982-II of 6 February 2014). Ministry of Internally Displaced Persons from the Occupied Territories, Accommodation and Refugees of Georgia, Georgia. Available at: <http://mra.gov.ge/res/docs/201406171444442634.pdf>
24. Migration Profile of Georgia (2015). State Commission on Migration Issues. Tbilisi, 57. Available at: [http://migration.commission.ge/files/migration\\_profile\\_2017\\_eng\\_final.pdf](http://migration.commission.ge/files/migration_profile_2017_eng_final.pdf)
25. Mooney, E. (2011). *From Solidarity to Solutions: The Government Response to Internal Displacement in Georgia, From Responsibility to Response: Assessing National Approaches to Internal Displacement*. Brookings Institution: London School of Economics Project on Internal Displacement, 203.
26. Morar, C., Nagy, G., Dulca, M., Boros, L., Sehida K. (2019). *Aspects Regarding the Military Cultural-Historical Heritage in the City of Oradea, Romania*. ANNALES – Annals for Istrian and Mediterranean Studies – Series Historia et Sociologia, 2.
27. Morar, C., Dulca, M., Nagy, G., (2016). *Brownfields Regeneration, between Sustainable Urban Development and Cultural Heritage, the former military sites in Oradea, Romania*. *Journal of Urban and Regional Analysis*, 8(1).
28. Niemets, L., Husieva, N., Sehida K., Kraynukov O., Lohvinova, M., Suptelo, O. (2019). *Forced internal displacement in Ukraine: realities, socio-economic problems, perspectives*. *The International Business Information Management Conference (33rd IBIMA) (Granada, Spain 10-11 April, 2019)*, 3062-3081.
29. Niemets, L., Mezentsev, K., Morar, C., Sehida, K., Husieva, N., Peresadko, V. (2018). *Innovation and Investment Potential of Region as a Factor of its "Smart Transformation": Kharkiv Region Case Study (Ukraine)*. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 49, 137–159. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-11>
30. Niemets, L., Husieva, N., Pohrebskyi, T., Bartosh, O., Lohvynova, M. (2020). *Integration of internally displaced persons of Ukraine: realities, problems, perspectives*. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (51), 140–157. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-10>
31. Niemets, L., Husieva, N., Suptelo, O., Sehida, K., Kobylin, P., Kliuchko, L. (2018). *Migration Challenges of the 21st Century: The Experience of Ukraine*. *The International Business Information Management Conference (32nd IBIMA) (Seville, Spain, 15-16 November, 2018)*. – P. 328-337.
32. *Population and Demography*. National Statistics Office of Georgia. Available at: <https://www.geostat.ge/en/modules/categories/316/population-and-demography>
33. *Population of South Ossetia*. Available at: <http://www.ethno-kavkaz.narod.ru/rnsossetia.html>
34. *Report of Public Defender of Georgia (2010)*. Tbilisi, 21 [in Georgian].
35. Salukvadze, J., Meladze, G. (2014). *Georgia: Migration a Main Risk Toward Sustainable Demographic Future*. *Discovering Migration Between Visegrad Countries and Eastern Partners*. Budapest: Hungarian Academy of Sciences, 150.
36. *Statistics of Internally Displaced Persons*. Ministry of Internally Displaced Persons from the Occupied Territories, Labour, Health and Social Affairs of Georgia. Available at: <https://www.moh.gov.ge/uploads/files/2019/Failebi/27.03.2019-51.pdf>
37. Tarkhan-Mouravi, G. (2009). *Assessment of IDP Livelihoods in Georgia: Facts and Policies*. Tbilisi, 26.
38. Tarkhan-Mouravi, G., Sumbadze, N. (2006). *The Abkhazian-Georgian conflict and the issue of internally displaced persons*. *Innovation The European Journal of Social Science Research*, 19(3-4), 283-302. DOI: <https://doi.org/10.1080/13511610601029847>
39. *Transition (2002)*. *The newsletter about reforming economies*. *The World Bank*, 13(1), January-February, 12. Available at: <http://www.worldbank.org/transitionnewsletter>
40. Tukhashvili, M., Tsartsidze, M., Antadze, T., Shelia, M., Toria, M. (2012). *Internally Displaced Persons in the Georgian Labour Market*. Tbilisi, 55.
41. Tukhashvili, M. (2013). *Refugees and Displaced Persons in Georgia*. *CARIM-East Explanatory. Demographic-Economic Module*. Note 13/105.
42. Uglješa, S., Vasiljević, Đ. A., Jovanović, V., Kranjac, M., Vujičić, M. D., Morar, C., Bucur, L., (2019). *Shared Aerial Drone Videos – Prospects and Problems for Volunteered Geographic Information Research*. *Open Geosciences*, 11, 462–470.
43. Vujičić, D. M., Vasiljević, D. A., Hose, T. A., Tasić, N., Morar, C., Đurić, A., Marković, S. B., (2018). *A multi-criteria decision analysis with special reference to loess and archaeological sites in Serbia (Could geosciences and archaeology cohabitate?)*. *Open Geosciences*, 10(1).
44. *World Bank national accounts data, and OECD National Accounts data files*. Available at: <http://www.unstats.un.org/unsd/snaama/resCountry.asp>



UDC 004.9+004.451+911.3

**Sergiy Vasylovych Kostrikov,**

Doctor of Sciences (Geography), Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,  
School of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University,  
4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine;

e-mail: [sergiy.kostrikov@gmail.com](mailto:sergiy.kostrikov@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-4236-8474>;

**Dmytro Yevgenovych Bubnov,**

Scientist and Senior Programmer, EOS Data Analytics Ukraine, LLC,  
31 Alchevskyyh St., Kharkiv, 61002, Ukraine,

e-mail: [dmitriy.bubnov@eosda.com](mailto:dmitriy.bubnov@eosda.com), <https://orcid.org/0000-0002-2851-8659>;

**Rostyslav Anatoliyovych Pudlo,**

R&D Team Leader, EOS Data Analytics Ukraine, LLC,  
e-mail: [rostyslav.pudlo@eosda.com](mailto:rostyslav.pudlo@eosda.com), <https://orcid.org/0000-0002-3018-2074>

## URBAN ENVIRONMENT 3D STUDIES BY AUTOMATED FEATURE EXTRACTION FROM LiDAR POINT CLOUDS

**С. В. Костріков, Д. Є. Бубнов, Р. А. Пудло. ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИВИМІРНОГО ПРОСТОРУ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА ЧЕРЕЗ АВТОМАТИЗОВАНЕ ВИОКРЕМЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ІЗ ХМАР ЛІДАРНИХ ТОЧОК.** Стаття розглядає багатофункціональну методологію і практичну методіку геообробки даних дистанційного лазерного (лідарного) зондування міського середовища у цілях його подальшого модельного відтворення та дослідження. Окремо підкреслюються як сучасні запити на залучення новітніх технологій до цих досліджень, так і виклики, що подібне залучення супроводжують. Докладний літературний огляд надає принципове розуміння головних положень автоматизованого виокремлення урбанізованих об'єктів (АВУО) як головної складової геообробки хмар лідарних точок. Описуються окремі кроки АВУО як-то «визначення», «класифікація», «сегментація» та «реконструкція».

Представлене авторське програмне забезпечення (ПЗ) у вигляді веб-ГІС-застосування, призначеного для інтеграції різноманітних лідарних даних із наступною візуалізацією проміжних та кінцевих результатів їх обробки. Коротко розглянуті архітектурна схема цього веб-застосування як розподіленої інформаційної системи та його головні функціональності: Виокремлення будівель; Виокремлення будівель у сільській місцевості; Визначення змін у архітектурній морфології міста; Генерація топографічної поверхні. Детально розглядаються дві авторські модифікації альтернативних підходів у рамках АВУО – високополігональне та низькополігональне моделювання зі створенням «великовагових» та «низьковагових» моделей, відповідно.

Зокрема, пропонується низька оригінальних рішень за допомогою побудови діаграми Вороного на етапі реконструкції моделей будівель. Представлено веб-портал – геопортал авторського ПЗ, який надає доступ як до проектів із відтвореним міським середовищем по різних країнах, так і до відповідних інструментів обробки первинних лідарних даних користувача. У якості практичних прикладів називається декілька можливих сценаріїв користувача (use-cases – англ.) щодо реалізації функціональності геопорталу.

**Ключові слова:** лідар, лідарні дані, міське середовище, АВУО, моделі будівель, веб-ГІС-застосування, геопортал.

**С. В. Костриков, Д. Е. Бубнов, Р. А. Пудло. ИССЛЕДОВАНИЯ ТРЕХМЕРНОГО ПРОСТРАНСТВА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ ПОСРЕДСТВОМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫДЕЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ИЗ ОБЛАКОВ ЛИДАРНЫХ ТОЧЕК.** Статья рассматривает многофункциональную методологию и практическую методику геообработки данных дистанционного лазерного (лидарного) зондирования городской среды в целях ее дальнейшего модельного представления и исследования. Отдельно подчеркиваются как современные запросы на использование новейших технологий в указанных исследованиях, так и вызовы, которые будут сопровождать это использование. Пространственный обзор обеспечивает принципиальное понимание основных положений автоматизированного выделения урбанизированных объектов (АВУО) как основной составной геообработки облаков лидарных точек. Описываются отдельные шаги АВУО как-то «определение», «классификация», «сегментация» и «реконструкция».

Представлено авторское программное обеспечение (ПО) в виде веб-ГИС-приложения, предназначенного для интеграции разнообразных лидарных данных с последующей визуализацией промежуточных и окончательных результатов их обработки. Вкратце рассмотрены архитектурная схема этого веб-приложения как распределенной информационной системы и его основные функциональности: Извлечение зданий; Извлечение зданий в сельской местности; Определение изменений в архитектурной морфологии города; Генерация топографической поверхности. Детально рассматриваются две авторские модификации альтернативных подходов в рамках АВУО – высокополигональное и низкополигональное моделирование с созданием «тяжеловесных» и «легковесных» моделей, соответственно. В частности, предлагается ряд оригинальных решений с помощью построения диаграммы Вороного на этапе реконструкции моделей зданий. Представлен веб-портал – геопортал авторского ПО, который обеспечивает доступ как к проектам со смоделированной городской средой по разным странам, так и к соответствующим инструментам обработки первичных лидарных данных пользователя. В качестве практических примеров возможных сценариев пользователя для реализации функциональности геопортала.

**Ключевые слова:** лидар, лидарные данные, городская среда, АВУО, модели зданий, веб-ГИС-приложение, геопортал.

**Research problem introduction.** The continuing significant growth of urban population all over the world and, first of all, in Africa, Asia and Latin America forces scientists to seek new advances in

Urban Studies, which primarily means to involve innovative approaches and techniques in the Information Technology and Remote Sensing domains. Thus, it seems evident that remote sensing data pro-



cessing and modeling tools, which may assist in urban studies, can hardly be overvalued. Contemporary global urban mapping, using Earth Observation systems is the only possible approach that guarantees getting rid of the shortage of reliable spatial information of urban areas throughout the Earth [1, 2].

We have already emphasized recently that the key issues of the contemporary urban development had caused a number of challengers that would require the innovative technological introductions in the Urban Studies domain. These challengers and the innovations can be summarized like follows [3, 4], and they are outlined in the first visual of this text, as those ones that can be resolved and provided with indispensable *Urban Remote Sensing (URS)* tools (Fig. 1): 1) with prompt development and drastic changes in urbanization processes, the explorations of city areas have to become the studies of urban systems, which are also becoming more and more sophisticated; 2) the number of cities increased and the urban areas are being enlarged extremely promptly, especially in developing countries; 3) the regions with extensive urban constructions not only become more and more numerous, but also they grow fast in different countries; 4) a necessity for terrain models of high accuracy for urban planning and other related sophisticated spatial data processing become quite understandable and can be applicable for different subject domains beyond straightforward urban planning and municipal management; 5) a necessity for effective automated buildings survey to determine quantitative and qualitative characteristics of architectural changes over time is accepted as a mandatory component of city alterations monitoring; 6) high accuracy environmental surveys over the key cities in the area-of-interest (AOI) with extensive remote sensing data analysis should be regularly provided. Therefore, a geographer-urbanist seeks for both a reliable research approach, and the mentioned above advanced tools to understand the nature and spatial phenomena of the urbanization processes in a given area. The relevant theory and its derivative applied solutions meet the necessity for more efficient urban mapping, city understanding, and municipal management. All three mentioned domains may be combined in one innovative development – 3D City Cadaster, that is intended to resolve those complex property and infrastructural situations, in which a traditional 2D digital cadaster is rather limited [5].

A Geographical Information System (GIS) is another key definition in our text. Nowadays a GIS is broadly employed every day by various specialists for both routine, and complicated procedures with spatial information formats: digital elevation models and digital surface models; raster datasets -

satellite / airborne images and derivative results of their processing; vector datasets – roads, other infrastructural networks rivers, contours; raster map data – aerial photos, satellite images; 3D objects – buildings, geobodies; CAD (Computer Aided Design) data – surfaces and subsurface, volumetric geometric figures, etc.; LiDAR (Light Detection and Ranging) and orthophoto point clouds [6-10]. By and large, a GIS is merely a part of a general tradition of digital data handling and spatial representation in different scales – global, national, regional, and local extents. What is more, there has been rapid growth of both remote sensing, and GIS tools involvement in monitoring urbanization and relevant environmental changes and in urban management over past few decades. These techniques and technologies have been developed with simultaneous elaboration of the city simulation capabilities provided by the methods / rules / interfaces created for various modeling-visualizing software products [1, 2, 11-15].

We may consider a *3D object / feature model* as a core entity of the GIS output made from the input outlined above. Such a statement becomes even more evident, while the discrete objects of urban environment are considered, when we are speaking about a *3D city model*. In general, three-dimensional modeling appeared to be a key approach within the common geoinformation concept, especially, taking into account the applied perspectives of this concept [5, 16-23]. We have already outlined our understanding of a 3D city models in some papers published before [3, 4, 24, 25]. We do understand *the three-dimensional city model of urbanized environment as an entity, which natural analog is located within 3D urban space characterized by usual urban features and structures with buildings as the dominant features among them*.

The *Automated Feature Extraction (AFE)* from satellite images of high resolution and from datasets resulted from LiDAR surveys, which are obtained by strips and finally combined as *3D Point Clouds*, is the key tool that generates 3D city models. Methods and techniques that extract building models in any alternative ways are an insignificant research field. The AFE from LiDAR point clouds is a research and development topic of great interest as it is very profitable for various applications of 3D city models such as urban planning, urban disaster management, energy sector, infrastructure network planning, different Smart City projects, and solutions with 3D city models in some other domains. This automated procedure is an extremely challenging task for surveyors and researchers, since it means 3D automatic mapping of the urban environment, which is of the high complexity. What is more, exactly LiDAR data have become for two recent deca-



## Variety of LiDAR applications with 3D city models

The view of this slide exposes the limitations of a traditional 2D city cadastre

- With prompt development and changes of urbanization process, the studies of urban systems are also becoming more and more complicated.
- The number of cities increased, and the urban territories have been enlarged rapidly, especially in developing countries.
- Fast growing regions with extensive urban constructions.
- A need for accurate terrain models for urban planning or related sophisticated spatial data processing.
- A need for effective automated buildings survey to determine quantity and quality characteristics of architectural changes that took place over time.
- Precise environmental surveys with extensive remote sensing data analysis.

Fig. 1. The list of challengers and innovations for the contemporary city studies that can be resolved and provided with the URS tools [3, 4]

des a reliable alternative (to satellite remote sensing) data source for *building detection, extraction and reconstruction* using different R&D approaches and algorithms [20, 26-30]. Therefore, the automated building and other anthropogenic feature extraction from LiDAR point clouds simultaneously with the relevant digital elevation model (DEM) generation is one of the most challenging research and development goals for urban studies as well as for support the urban environment by means of digital technologies and information networks.

The key **research goal** of this text is to outline our original contribution to the algorithmic content of the automated feature extraction upon the urban environment modeling, as well as to represent the original web-software for urban studies.

**AFE methods in the building detection, extraction and 3D reconstruction within the LiDAR pipeline: a thematic overview. The overall AFE algorithmic approach.** Almost all LIDAR devices are either *Airborne* lidars (*ALS, Aircraft Laser Scanning*), or *Terrestrial (vehicle based)* ones [24, 25, 31]. The latter is also named *Mobile Laser Scanning (MLS)* devices. Commonly LiDAR remote sensing is the set of techniques used to obtain initial information for further processing due to the topographic surface, vegetation, and various human fea-

tures at certain distance from scanning sensors (buildings, bridges, roads, powerlines, etc.). One of the key contributions of LiDAR data and its processing results is to increase human knowledge of the natural landscape and the mentioned human infrastructural features and hence to improve their usability and increase their profitability. The feature extraction from raw lidar data, LiDAR Point Cloud segmentation, and rooftop modeling, all have been one of the main topics of discussions in relevant thematic domain during a couple of last decades [31-39]. Now, AFE is still a vitally crucial part of what is being done and what professionals are trying to do better within the international LiDAR community. How have specialists further progressed with AFE in recent years?

It is widely accepted that a key issue for automated feature extraction is to provide a bridge between the mobile LiDAR and the airborne LiDAR, and vice-versa. Since we are not completing an extended overview paper by this text, but otherwise only looking through several works of the recent ten years, we have only to express a single quite trivial idea proceeding from our own R&D efforts, that *the composite models* of urban extracted features may be accepted as the most advanced ones (Fig. 2 from [25]):

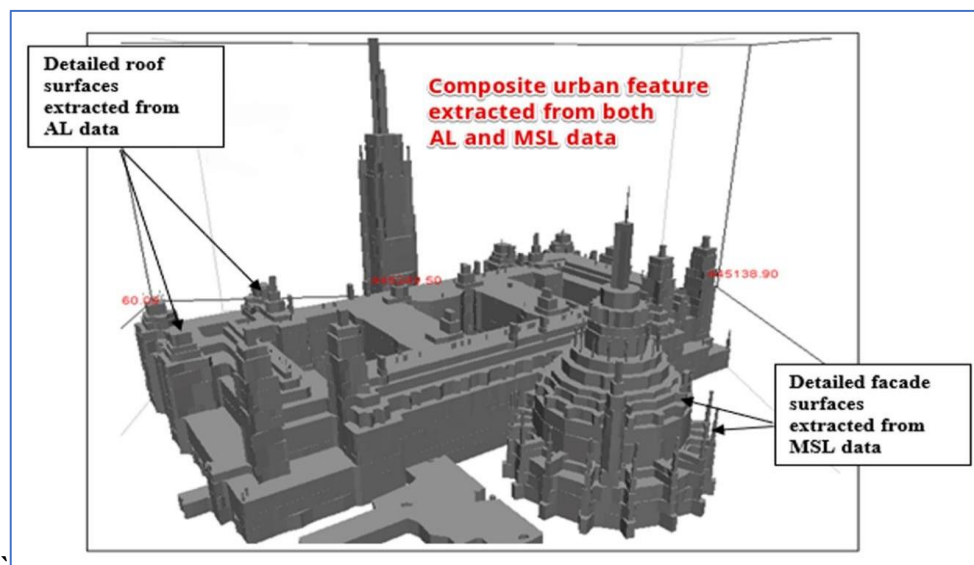


Fig. 2. A composite model (ALS+MLS) of urban features extracted from a LiDAR Point Cloud of the downtown of Ottawa [24, 25]

Just according to ALS / MLS joint surveying technique the automated derivative data extraction for 3D urban models has become a crucial research topic *beyond the Photogrammetry*. The case is, that additionally to aerial images Photogrammetry traditionally deals with 3D building model generation from airborne-mobile *photogrammetric point clouds*, just as LiDAR surveying technique does with similar datasets. After all, the innovative sensor

technology and its lower cost in comparison with its predecessors has expedited LiDAR involvement in research of urban environment. Probably, the key reason of this fact is that circumstance, according to which ALS / MLS scanners can deliver point clouds with density values of tremendous range (from 1 up to several hundred points per sq. meter). Even with such point density of this lower edge of the range, it may be possible to detect buildings, their approxi-

mate boundaries, and other urban man-made features. It is possible to generate those models that correctly resemble both facade, and roof structures. Corresponding methods of ALS / MSL surveyed data processing for building detection and reconstruction have been proposed [38, 40-47].

The complete algorithmic content of AFE issues with ground and vegetation detection, and man-made feature extraction has to employ either single-, or multi-return ALS / MSL range and intensity information. So called *hierarchical terrain recovery algorithm* can reliably be distinguished between ground and non-ground points by the “adaptive and robust filtering” approach [48]. It is necessary to consider the whole range of initial data to estimate high quality DEM for further AFE procedures using this so-called *hierarchical strategy*. Road lines can be identified by classifying signal intensity and elevation data. Not only buildings, but also network features can be extracted then. For example, such man-made features as the road networks can be derived using a special transformation technique, and then verified with road lines and DEMs obtained from a LiDAR point cloud. Further we can obtain the attributes of road links such as their width, length and slope by computing some derivative information. Other man-made features as building models normally should be created with the higher level of accuracy.

The general work-flow of the building model creation can be supposed as follows on the base of those literature sources we have already referred to. At its *first stage*, the building footprints (building base boundaries) should be detected by segmenting elevation data obtained from LiDAR for two general classes: *ground* class and *non-ground* ones. The bare ground as a grid is delineated upon this step. A well-known, so called “sequential linking technique” is often suggested to reconstruct building footprints into regular polygons. These polygons then should be improved to reach the cartographical quality [49-51].

At the *second stage*, the *prismatic models* should be generated for those buildings which roofs are flat, and *polyhedral models* should be generated for those buildings which roofs are non-flat.

At the *third stage*, the vertical wall rectification procedures should be applied if there are enough MSL or other correcting data in the relevant LiDAR geodatabases. These three stages would overlap almost any LiDAR data processing workflow. Most urban attributes of these building models are obtained from ALS-MSL data. All corresponding algorithms, that conclude the three stages workflow outlined above, should be tested using several geodatabases of varying earth surface type, vegetation coverage type, urban area type and LiDAR point density.

We completed below the general summary of these few overviewed algorithmic results. This summary demonstrates that in many urban areas the derivative digital elevation models accumulate most topographic details and remove non-ground features reliably. The road network features are depicted well enough even in densely built-up areas. The extracted building footprints are appeared to have enough positioning accuracy. This value may be equal to the accuracy obtained from data surveyed in field trips, and this surveying technique in some cases is a routine procedure of LiDAR data accuracy evaluation [31, 52, 53].

The overall algorithmic approach described above according to the literature review already made may be summarized like follows (Fig. 3).

One issue is quite evident for now from that part of the literature review, that has been already done: if the ALS automated procedures and techniques did ground their efficiency quite a few years ago, the MSL tools still have to pass a certain way in developing automated procedures to prove their AFE efficiency. Our own experience of MSL data processing outlines, that it is possible to obtain quite impressive results by the proper arrangement of the MSL algorithmic pipeline – two visuals of Fig. 4 represent both urban (**A**), and natural (**B**) environments with buildings and infrastructures.

Finalizing general AFE issues considered above, it is necessary to emphasize that despite LiDAR data are usually dense, quite accurate, and representative, because of their limited accuracy the segments of a relevant point cloud do not precisely lie on a geometric plane, but are scattered within some plain near the building facets (roof and walls). The point deviations from the mentioned mathematical plane conform to a Gaussian distribution, which is centered at zero. That is why, a separate building with a multi-facet roof and numerous wall planes can be represented by a *3D Gaussian mixture model* (3D GMM) [54]. There are references in the literature that 3D GMM can more successfully do with roof-plane intersections, than any other approach (e.g., RANSAC algorithm) can do [31].

All mentioned in this brief literature review approaches normally supply a 3D city model with relatively satisfying reconstruction at its roof and wall levels. These models can be generally divided for two significant classes: either *high-polyhedral models*, or *low polyhedral ones*. A model sample, which belongs to the first class has been already represented in our text above (see Fig. 2).

**Feature detection, classification, and segmentation.** From our point of view, most feature *detection*, *segmentation*, and *classification* algorithms use only a few basic procedures described below, some of these procedures have no definitive frameworks,



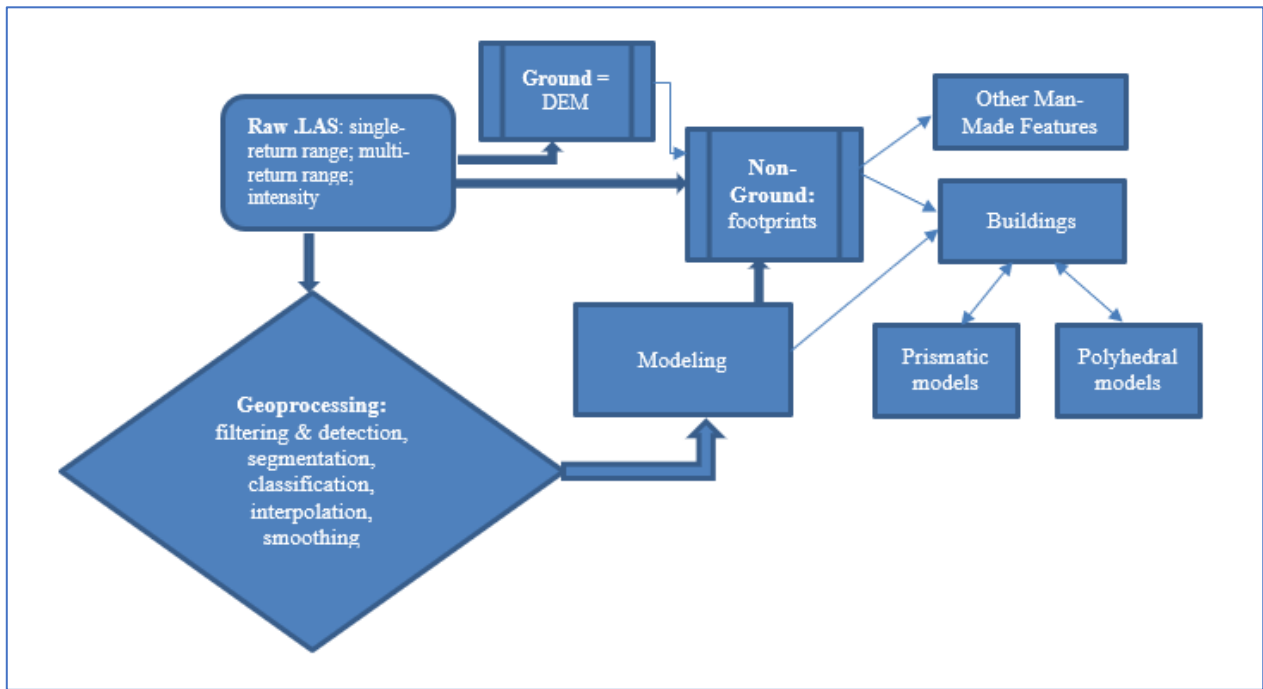


Fig. 3. The overall algorithmic approach for automated feature extraction (the visual originally completed by the authors of this paper)

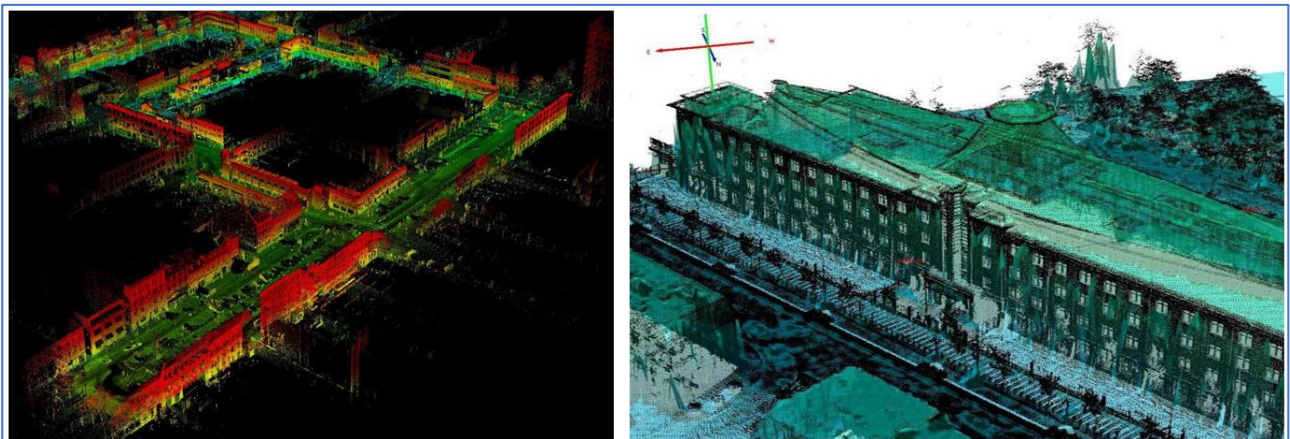


Fig. 4A. Urban survey with MSL: 1<sup>st</sup> visual – scanning reconstruction of the route of President Obama’s visit to Ottawa; 2<sup>nd</sup> visual – reconstructed MSL facades of the Canadian parliament building. Original illustration of this paper authors

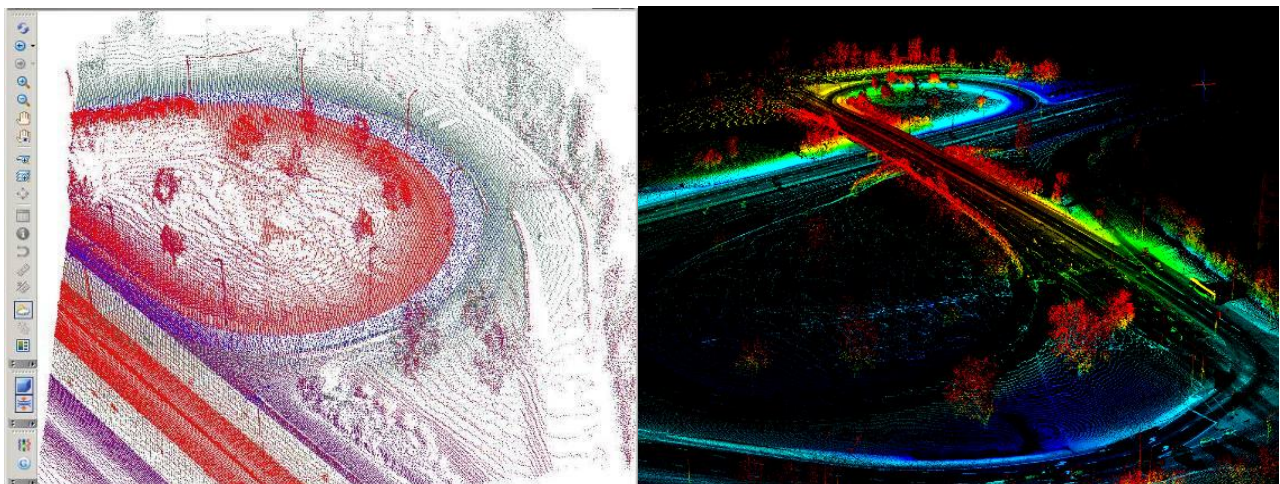


Fig. 4B. Environmental survey with MSL processed results: ground cover, low and high vegetation belt, surface human infrastructure – roads in the countryside. Original illustration of this paper authors



until there are some specific data processing procedures for them to be involved. All procedures, we refer here to, are outlined in our visual above (see Fig. 3), and these procedures are as follows:

- *Filtering / distinguishing technique* normally provides eliminating unwanted measurements, and detecting bare ground surfaces from a mixture of ground and upper-above-ground measurements. To distinguish points located on buildings, trees, and a lower vegetation belt from those that should be on the ground, normally applied order statistics, morphological filtering algorithms (we have already mentioned above), and statistical weighting functions [55]. Additionally, raw .LAS files may be processed to remove rough outliers, but nonetheless preserving the discontinuities between the generated surfaces [56, 57];
- *Detection and Classification.* The algorithmic procedures search to detect the best mathematical approximations of discrete features in 3D point clouds, for example, the best mathematical plane, which, what is significant, cannot be always a roof plane. We can only detect those building properties that can be detectable by LiDAR sensors. In this meaning the buildings should be considered as the constructed features located above the bare ground with vertical walls extending over some height and covering some area. Their external surfaces are complicated, but always distinctive from coverages of nonbuilding features. Usual difficulties of the above-ground point detection are normally caused by the topographic surface natural complexity. With LiDAR point data detecting 3D planes becomes crucially necessary. In this aspect, the Hough transformation detection has been extended to 3D data arrays [58, 59]. The main idea is that the procedures of the 2D Hough transformation is outlining a point set, defined initially in the Euclidian space, in another space. This transform allows detecting the points composing both basic specific geometric primitives.

*Classification* is normally used to distinguish among various types of ground features (e.g., buildings, other human features: roads, bridges; grasslands, shrubs and trees) to group them into different cluster classes of points by, for example, applying to them *pattern recognition algorithms*, such as k-means, ISODATA, Bayes classifier, and other [60-62]. Shape parameters measured can be applied to distinguish between buildings [63, 64]. Providing adequate separation of lower and higher vegetation belts from buildings may be the most challenging problem in LiDAR-based classifying research. Quite a few potential solutions have been suggested, in-

cluding applying NDVI thresholds [65], the first and the last returns differences identification [66], applying roughness metrics [67], and using the intrinsic dimension [68].

The procedures on the *detection step* can be summarized well enough by the following description [69]. Raw points are classified into two categories: *ground points* – where are ground itself, infrastructural networks (that ones, which are above the surface) and low vegetation belt (bushes) that are below an altitude threshold, and non-ground points, which represent upper-elevation features (such as buildings, trees, and some bridges) above this parametric threshold. The “ground mask”, that is actually a building mask – *a footprint* - is generated by the ground points. Separate buildings and trees are received as clusters of pixels black colored in the building footprint. Those trees, which are with low density canopies should be eliminated. The point coplanarity should be evaluated on this step. This value for each individual non-ground LIDAR point with its neighbors is estimated basing on its Delaunay neighborhood. The plane segments are extracted from the non-ground points on both separate buildings, and trees. The segments extracted are refined then with a conventionally proposed procedure. At the end, the false planes on trees are eliminated on the base of metric and topological information, such as area, and supplementary neighborhood characteristics, such as the out-of-plane points presence within the single planar boundary.

- It is possible to refer to the complicated *segmentation methods* based on neural networks [70], but, nonetheless, there are more traditional and straightforward ones against them. *Segmentation* usually means the separation of LiDAR data array into homographic patches by the way of outlining different topologic, geometric, or texture structures (e.g., roads, bridges, buildings, and vegetation) by applying threshold introduction, clustering technique, limit detection or so-called perceptual organization algorithms [26, 71, 72]. The segmentation procedures can be clearly demonstrated with the next example of their involvement into the building roof extraction [26, 65]. Basing on the topography altitude recorded in a DEM, the raw .LAS points are separated into two categories. The first category contains the ground points forming a “building mask”. The second category contains non-ground points that are grouped with this building mask. A point cluster should represent a single building or a tree. By segmentation procedure, the planar roof segments are derived from each cluster and refined proceeding from the coplanarity of points and their localization. Planar surfaces

that cut trees are removed using characteristics, such as a parcel area and point altitude difference.

**Feature extraction and reconstruction.** Building detection and extraction can be considered as two sub-procedures that go before finalizing sub-procedure of feature reconstruction.

*Building detection for consequent extraction:*

- *Direct building detection.* As we showed in the text building detection before its extraction defines the placement of building footprints, which are employed by subsequent reconstruction. This step should distinguish buildings from vegetated regions either of a high vegetation belt, or low one. For the time being, general building footprints can hardly be detected completely automatically with high precision. Building constructions can be detected by layering range data and examining the hierarchy of consecutive feature segments [73]. The range data can also be relatively easily employed to improve the analysis of image data for detecting buildings in urban territories and assist to detect the objects covered by shadows [74]. Nonetheless, this method is applicable in flat urban areas only;
- *Building footprint reconstruction* may be a key step for the final successful output, but most existing relevant algorithms work, as a rule, with vague assumptions only. These assumptions restrict footprints to simple geometric shapes, for instance, rectangles or the polygons of low quality [58, 74]. Another algorithmic class does not make such assumptions, instead it often gets distorted boundaries on the base of edges detected by DEMs generated from raw .LAS [75]. Nonetheless, these boundaries can be refined, normally - by applying so-called “set of geometric regularity constraints” [57, 76]. We have to mention the solid algorithms are not available for this processing stage – footprint reconstructions. It may be some possible solutions in developing robust and efficient methods based on Hough transformation mentioned in the text above;
- *Distinguishing building footprints from vegetated regions.* In such a case the classification deals shape measures taking into account the geometric regularity constraints [74] or the raw LiDAR data roughness. These measures also are not very reliable either for complicated 3D urban scenes, or for densely forested areas, because they limit the detectable buildings to a narrower spectrum. In general case, shape measures normally make use of simple geometric properties such as area and perimeter. Nonetheless. In a case of the complex building roofs

we may need to calculate the roughness measures. We have to take into account, that since the building roofs must be solid surface, the application of multi-return range information can benefit in distinguishing of buildings and vegetation. Moreover, it is a well-known fact that LiDAR cannot pass through solid surfaces, therefore it gets for them a single return only. What is more, the first and the last returns are equal in altitude at solid surfaces, but these returns are different at vegetated regions. Nonetheless, LiDAR obtains rather similar effect at building boundaries, and we can compare it with that one at vegetated areas.

- *Building reconstruction.* By default, the building reconstruction procedure recovers the geometrical characteristics of the roof and walls of a single building allocated precisely [26]. Quite often this term “building reconstruction” means recovering some building elements, first of all – roofs, which are reconstructed most often at first recovering attempts.

When *classified, extracted, and reconstructed* from raw data, a set of building footprints usually includes numerous buildings. For reconstruction 3D modeling outputs, individual buildings should be segmented, as we already outlined above. For these aims, the widely used segmentation techniques can be applied, which is based on clustering approach [77]. Quite a few cluster models (for example, connectivity, centroid, and distribution ones) as well as clustering algorithms (for example, hierarchical clustering, k-means and expectation maximization) are widely applied [78]. Thus, a region growing approach was proposed once to cluster similar points into the same building through iteratively collecting these points within a sliding window [79]. The convex hull algorithm applied in this case [79] was modified later in two following examples [62, 80]. It derived individual building hypotheses with traced boundaries using this modified algorithm. Nonetheless, all these methods outlined above are considered as sensitive to noise and quite expensive to implement [77].

The non-building features can be misclassified as buildings at the stage of detection. Many algorithms apply supplementary data, for instance, ground plans and maps of large scales to improve the reliability of building footprint boundaries [19, 20, 57].

**EOS LiDAR Tool (ELiT) and our key original algorithmic approaches to the AFE issues.** In general scope, dominant advantages of the AFE approach, which can be outlined from the thematic overview provided above, may be summarized as the following ones [4]:

1) High accuracy of the geospatial information gathered by a LiDAR survey. Collected Point Clouds illustrate a spatial location of real natural / technogenic features in minute details, while even an extremely small peculiarity may make difference, and it can drastically change the whole view of a 3D Scene in a GIS interface;

2) Within this approach geospatial data can be collected promptly within a certain AOI, and these data are expected to be highly attractive from the point of view of its cost; In this way, it is possible to provide a quite accurate geospatial monitoring of any large areas; consequently, this circumstance allows to identify various *urban change detection operations* from multitemporal LiDAR data sets;

3) LiDAR data processing technique may be the only one, that represents a composite view of the environmental modeled picture, because it deals with a collection of raw data concerning all the features on the earth ground, that generally can be divided for three feature sets: *inanimate static nature*, *vegetation cover*, and *man-made constructions*, mainly – *buildings*.

All authors of this paper lead the algorithmic elaboration and software development due to LiDAR data geoprocessing at the EOS Data Analytics company (<https://eos.com>) [81, 82]. While constructing and linking all necessary algorithmic steps for extracting features and reconstructing buildings, we do accept according to those key points of the thematic overview made above, that the LiDAR remote sensing mainly is the approach employed for geoprocessing the information about the topographic surface, vegetation, and mentioned technogenic features of the human infrastructure scanned at the certain distance from a surveying point. Normal data resolution of our geoprocessing lies between 5 and 140 LiDAR points per m<sup>2</sup>.

The software developed on the base of our already published multifunctional research approach [4, 24, 25, 81, 82] - *ELiT* (EOS LiDAR Tool) *Server*, as a web-based application (WBA) with a cloud platform support, implies implementation of the following basic *ELiT* functionalities within the *distributed information system* (Fig. 5):

- *Building Extraction* tool (*BE*- a sub-page *Building Extraction* of the *Tools* page) provides building detection and extraction as various sub-procedures that go towards finalizing sub-procedure of building reconstruction for high-rise buildings of urban areas; *BE*-functionality provides the *High Polyhedral Modeling (HPM)* approach, what implies the generation of building models consisting of numerous polyhedrons, and due to this fact, the relevant models can be considered as “heavy-weight ones”; this building model may be generated from up to one hundred and forty thousand of points;
- The *Building Extraction Rural Area* tool (*BERA* - a sub-page *Building Extraction Rural Area*, which is on the *Tools* page) provides the Point Cloud segmentation and clustering procedures of building detection and extraction of low-rise buildings through rural areas and suburbs; the *BERA* tool implements the *Low Polyhedral Modeling (LPM)* approach, which is based on procedures of planar segmentation and clustering of LiDAR point clouds rather, than on their classification (the case of *HPM*); building models produced are composed of not many facets, and the number of points intended for a single model generation is limited by a number of five thousand; such a number may be obtained by adaptive thinning at the cost of details;
- The *Change Detection* tool (*CD*) is normally implemented by a sub-page *Change Detection* of the *Tools* page. It is a software technique, which automatically detects block-, district-, and city- scope alterations. These changes normally happen through urban areas over some period of time. This technique detects locations of changes in positions and shapes of buildings as 3D models with additional spatial information. Normally two Point Clouds (the temporally primary, and the temporally secondary ones) are compared, and the difference between them is outlined as a *BE*-model – a result of the high polyhedral modeling;
- The *DEM Generation Tool (DEM-G)* as a sub-page of the *Tools* page) provides a regular matrix creation of topographic height, in this way it makes a grid. In other words, a series of irregularly spaced elevation points are acquired, from which uniformly spaced elevation markers are interpolated. Hence a *DEM* is created, which we understand as a synonym of a digital terrain model, which represents the bare earth terrain with uniformly spaced *z*-values;
- The relevant web-API has been created and a user-friendly web-interface has been designed for uploading, storing, processing, analyzing and downloading geodata;
- Modeled results can be directly exported to 3D visualization models in *.KML*, *.COLLADA*, and *.glTF* formats. These results are displayed through *ELiT Viewer*, if processed by *ELiT Server*, and are visualized at *ELiT Geoport*, if they are resulted from cloud computing with *Amazon Web Services*;
- A tiling visualizing strategy is employed with *Cesium 3DTiles* library, which allows to visualize almost any large 3D city all over the world

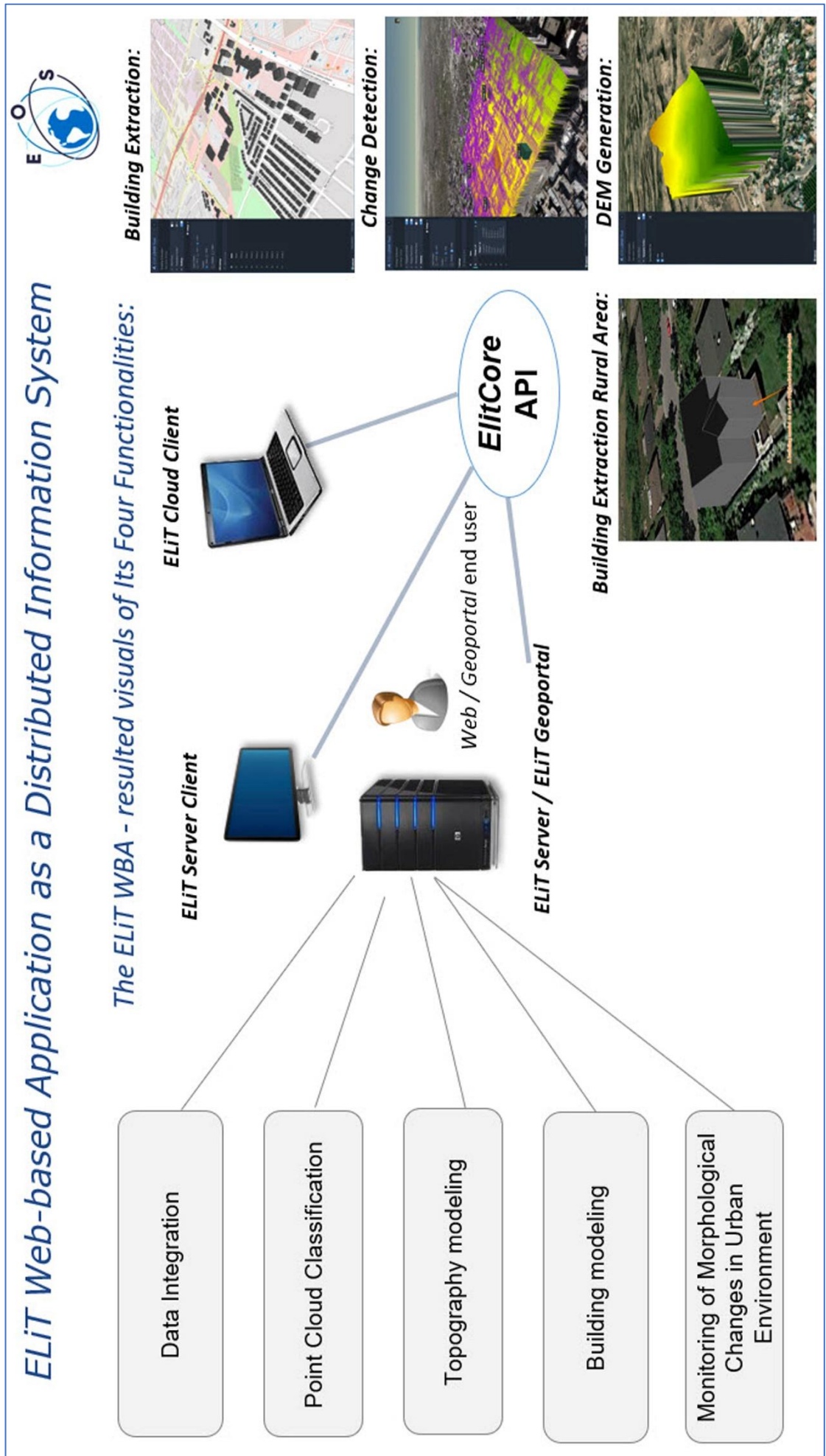


Fig. 5. *ELIT* WBA with its four functionalities as a distributed information system for LiDAR data geoprocessing



with backgrounds like, e.g., *Open Street Maps* of digital virtual globes like Google Earth or Cesium Virtual Globe.

**High Polyhedral Modeling provided by the ELiT Building Extraction (BE) tool.** Some basics of this technique have been already introduced by the authors of this paper in their earlier publications [4, 24, 25, 83]. Until now the most detailed introduction of our original HPM frameworks has been presented with an explanatory flowchart in [25]. In

this text below we have placed some other, more simplified representation of the HPM algorithmic pipeline in comparison with [25] – Fig. 6.

It is reasonable to add to those summarizing remarks made in the previous section of this paper (a thematic overview) a statement about earlier introduction of HPM methods in comparison of LPM ones into a variety of AFE solutions. With increasing availability of LiDAR data with various density and improved accuracy many methods of 3D build-

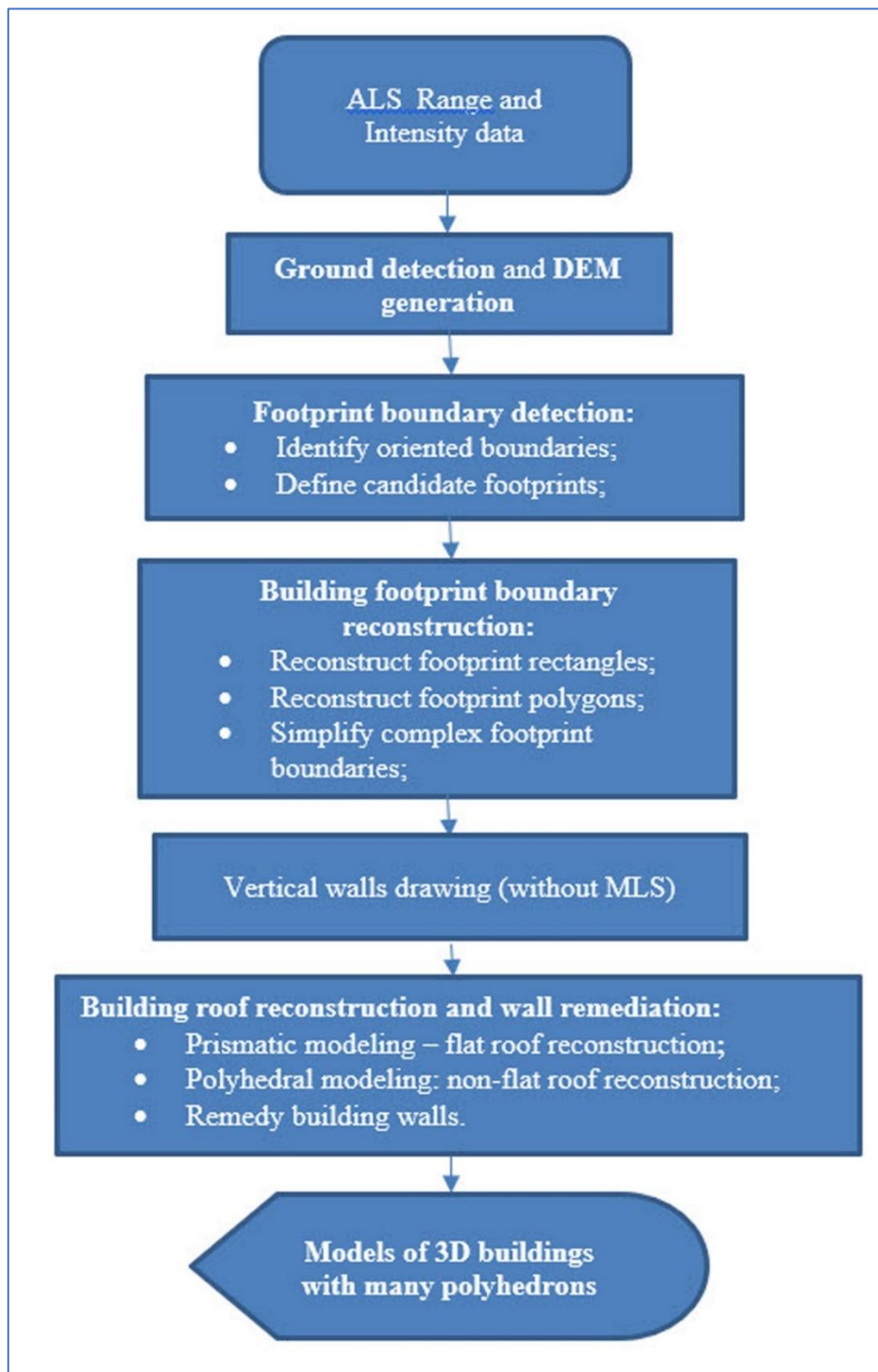


Fig. 6. *ELiT* algorithmic flowchart of building detection, extraction, and reconstruction within the HPM frameworks, while MLS data processing is not involved



ing reconstruction have been proposed as a technique that fits in the HPM outline [26-28, 43, 44, 64, 84]. These HPM-methods, and this follows from our thematic overview made above, can be fulfilled by *three sub-procedures*, i.e., *building detection*, *building extraction*, and *building reconstruction* [48, 55, 85]. All three sub-procedure may not be evidently distinguishable. Complete automated process of building extraction *only within HPM-frameworks* may not be reliable yet for practical applications in majority of cases, because of the great complexity of actual architecture in urban downtowns, which is resulted in simultaneously dense and scarce point clouds a LiDAR survey ended in a given AOI.

Both an operational sequence, in general, and our original algorithmic flow-chart outlined above are to a certain extent a summarization of those HPM-implementations, we have referred to above. We have to emphasize once again, that suggested flow-chart differs from one published before [25] by that, it does not involve MLS data processing. Several preliminary classifying steps should be implied (*Detection of basic classes* according to the standardized lidar Point Cloud classes, if they are in a given cloud, or not; *Classification based on point coplanarity*; *Delineation of preliminary footprints*, which differ from “candidate footprints” mentioned in the third block of a flow-chart).

Then, after necessary preprocessing (a block of *ALS Range and Intensity data*), all points are ultimately separated for ground and non-ground ones (a block of *Ground detection and DEM generation*), what is finalized by both a *digital surface model* (heights of a ground + features) (DSM), and a DEM (only ground heights) generated.

The whole building extraction with following reconstruction pipeline actually starts from detection of feature footprints on a generated DEM (a block of *Footprint boundary detection*). This procedure is normally completed in two steps: an identification of oriented footprint boundaries and a definition of *candidate footprints* (they are another entity in comparison with “preliminary footprints” drawn on the preprocessing steps). The candidate footprints are extracted as *No Data* holes in an obtained topographic grid.

Through further processing building footprints are reconstructed as quadrangles, rectangles, or regular polygons (a block of *Building footprint boundary reconstruction*).

“Artificial” walls are extrapolated from footprint boundaries (a block of *Vertical walls drawing (without MLS)*).

Building roofs may be raised from these footprints outlined and corrected supplementary by the same ALS point cloud data. If a building has a flat roof, it should be modeled as prismatic shapes,

while a building with some complicated shape should be modeled as a polyhedron (a block of *Building roof reconstruction and wall remediation*). As already emphasized above “High Polyhedral Modeling” means that primarily reconstructed building facets and components (roofs, walls, outhouses) consist of many polyhedrons in comparison with that, while building models can be combined from few polygons only [20, 41, 86]. According to understandable reasons, these models are normally extracted and visualized as the *heavyweight* entities (from up to 20 to 150 thousand of points processed per a model of buildings). Therefore, necessary smoothing and noise removing should be mandatory provided. For these purposes our update of a Delaunay refinement algorithm [87] has been used. The relevant “covering Delaunay TIN” is involved in algorithmic sub-blocks of *Polyhedral modeling: non-flat roof reconstruction* and *Remedy building walls*.

All algorithmic blocks and sub-blocks mentioned in this paper section are provided for processing ALS data only and reconstructing only key building components (roofs, walls, outhouses, etc.). A typical HPM-model has been visualized on Fig. 2 in the text above.

***Low Polyhedral Modeling provided by the ELiT Building Extraction Rural Area (BERA) tool.*** Main basics of this technique also have been already introduced by the authors of this paper in two previous publications [25, 82]. We are developing further and optimizing the approach with this text. Introducing an applied implementation of the LPM technique above as the *ELiT BERA* tool, we have emphasized, that this technique is grounded on procedures of the point cloud planar segmentation and clustering instead of the point cloud classification, which is basic preliminary procedure in the case of the HPM technique.

Both segmentation and clustering significantly decrease a number of polyhedrons, which pile of a LPM model extracted, in comparison with a HPM model. Therefore, this model is defined as a “low polyhedral” one. Such models are extracted and displayed as lightweight ones (a number of points in a relevant point cloud differs from 5 to 40 thousand of points per a model). Commonly, the low polyhedral modeling frameworks proceed from a number of seminal papers in segmentation and reconstruction of polyhedral building roofs from lidar data published by A. Sampath, J. Shan [32, 33, 79, 88, 89], that is why we named this approach as the *SaS-methodology*. Thus, both segmentation and reconstruction are two key procedures in obtaining the lightweight polyhedron surface models of buildings, what has been proved more than once not only by the authors of the SaS approach, but also in other

various publications [90-92].

The first step of the SaS implementing pipeline is related to the *point cloud segmentation*, and it is the eigenvalue analysis provided for each point cloud point within the boundaries of its Voronoi neighborhood. This step both produces the surface normal for every point, and divides all points for two sets – planar points, and non-planar ones. Upon the further algorithmic step, the surface normals related to all planar points should be clustered by using the selected efficient methods. This clustering procedure is being optimized by decreasing a number of clusters through usage of both topological, and geometrical methods for the cluster similarity definition. The building roof segmentation is concluded by a separation of the parallel and coplanar segments using firstly distances between segments, then – their connectivity. *Building roof reconstruction* within the SaS pipeline begins with composing an *adjacency matrix*, that outlines the connectivity of delineated planar segments. Building external and internal vertex are determined then by intersecting all roof planar segments and vertical walls that are both external and internal ones. The boundary regularization approach, which finalizes the reconstruction step, helps to obtain building models, which are coherent in their topology and correct in geometry.

The SaS-adjacency matrix is a key issue for delineation of adjacent planar segments within a building model. We have provided the extensive usage of the Voronoi neighborhood for cluster adjacency on the finalizing modeling stage, while the traditional SaS-method implies using the Voronoi diagram on the preliminary surface reconstruction step only. Our key updating contributions to the SaS-methodology are represented in few following subsections of this paper.

*Applying the Voronoi diagram for the roof cluster adjacency determination.* Exactly one of our most significant updating contributions to the traditional SaS approach lies in the obtainment of optimized adjacency of planar segments, which have been delineated. The original authors employ Voronoi neighborhood for providing eigenvalue analysis, while each point neighbors are being determined. Nonetheless upon computing the cluster adjacency these authors apply a routine distance between all pairs of points using the following formula [33, P. 1562]:

$$d(P, Q) = \min(d(p_i, q_j)) \forall p_i \in P; \forall q_j \in Q, \quad (1)$$

where:  $d(p_i, q_j)$  is a distance between any pair of points  $p_i$  and  $q_j$  from clusters  $P$  and  $Q$  correspondingly.

The problematic issues of the SaS approach like introduced with (1) arise in a case of nonhomogeneous point density of an initial point cloud, that

has to be clustered and segmented. For instance, a sparse point cloud, that also worsened by the faults of surveying technique, causes the situation, when clustered points may lie far from a cluster boundary, then a distance value (from (1)) fails to be taken into account, while it is checked with a *threshold parameter*. Consequently, this causes the errored adjacency determination and the wrong model reconstruction. Nonetheless, it may be not so difficult to conclude, that because there are no other lidar points between two delineated planar segments, which would belong to other clusters, these two segments are rather adjacent and their seeming “non-connectivity” has been reasoned by data gaps only. This challenge can be met by the *adjacency determination with Voronoi diagram*.

This solution content is like follows. Even if two points are far one from another, and there are no “other (the third one) clusters” lidar points between them, their Voronoi cells do possess common edges, then these two points can be determined by their neighbors. In an opposite case – when there are the third cluster points between this pair of points, the points of this pair are not accepted as adjacent ones even with applying a threshold parameter, which is large enough.

Proceeding from all stated above following to existing references [93, 94], we accept as adjacent ones only those clusters, which points are neighbors of Voronoi diagram, that is their Voronoi cells possess a common edge. By this way, on the one hand, we solve a problem of data scarcity, data gaps and meet a challenge of a sparse point cloud, on the other hand, we obviate a necessity of a necessary threshold value interpolation. By the way, this value has to be both big enough (so that not to remove the actual adjacent clusters), and small enough (so that not to mark non-adjacent clusters as adjacent ones). In this way we increase the applicability of our approach, and decrease its dependency, in particular – from the point density and from the equitability of their spatial distribution. What is more, the search of the Voronoi neighbors can be provided faster with our approach, because each point has a computed list of neighbors to be checked for their spatial suitability.

*Applying the Voronoi diagram for a separation of the coplanar clusters.* Another case of applying the Voronoi diagram is a separation of the coplanar clusters. Once again, the substitution of a search by a distance between a pair of lidar points for a search through the Voronoi diagram allows us determine two dispersed across a space point sets as a *single cluster*, only if there are no the third cluster points between these two sets of points.

In this way we can process various environmental situation, e.g., that one, when a tree with a

dense canopy is hanging on a building roof and splitting a roof point cluster for two segments by its shadow. Owing to our approach, we reconstruct one entire plane, what generally improves the finalized results of roof modeling. Moreover, we can efficiently separate adjacent clusters with our approach, even if there are the third cluster points between them. Once again, it saves us from the necessity to customize a threshold parameter manually for the mentioned separation.

*Applying the limited Voronoi diagram for avoiding side effects of the adjacency determination.* For determining if a pair of one cluster points belongs to one connectivity component, checking is provided, if there is the availability of a common edge for Voronoi cells of these two points. We have to take into account, that in some referred cases this mentioned checking can produce wrong results for those points, which lie on a building boundary [93, 94]. These errored results are caused by characteristics of the Voronoi diagram end cells. For example, the extreme light-colored point (the last point on the right) on the Fig. 7A can be determined as that one, which has the neighbors within the main light-colored cluster, and therefore it has to belong to the same connectivity component, but evidently it is a wrong solution. The case is, that limiting Voronoi diagram by a building footprint, we are cutting off some Voronoi cells, which lie out of this building boundary. For resolving a situation like this, we introduce so-called *limited Voronoi diagram*, where the solitary light-colored point, which does not correctly have light-colored neighbors, is determined as *an outlier* and removed as a noise (Fig. 7B).

In this way, this cluster boundaries are not expanded out of their true position, and false adjacency with other clusters is not generated.

*Applying the Voronoi diagram for the awning / overhand identification.* A traditional building architectural constituent is either awning, or overhang, as well as both of them. A distinguishing feature of this constituent is a presence of one, or more clusters not vertically adjacent with neighboring roof segments. Thus, there is a necessity to fill this existing rupture, while generating a mandatory closed model. A vertical wall can be added to the model in a similar way it has been done for footprint edges. First of all, before providing this procedure we have to identify the mentioned ruptures.

This identification can be completed through respective Voronoi cells, which lie on both sides of a boundary between two clusters – the light-colored and the dark-colored one (refer to Fig. 7A,B. If a significant difference exists between Z-coordinate values (the heights) of two points, which are the centers of these two clusters, then common edges of two respective Voronoi cells are added to a list of

ruptures. By tracing through boundaries of all clusters, we obtain a list of all Voronoi diagram edges, which separate points with significant height differences. A set of continuous lines – *nominees for internal walls* – can be generated from the mentioned cell edges. The obtained segments are delineated and smoothed, then they can be used for wall generation just as it is normally done with the footprint segments.

*Other LPM approaches intended to be implemented.* There are various other approaches than SaS approach within the frameworks of the low polyhedral modeling, and we are going to implement one the most promising of them – *the PolyFit approach* [95, 96]. This approach does make emphasis on intersecting the building planes already segmented, then seeking for a necessary combination of intersected planes, so that to get a manifold polygonal surface model, which is boundless and watertight. Therefore, constructing a whole pipeline for the PolyFit implementation in the software, we attempted to employ on a segmentation step the advances of the SaS approach. At that very time, we are taking into account, that the PolyFit authors prove the effective generation of the light-weighted polyhedron models within this technique. Since our practical PolyFit updates, if described in this text may make it become too lengthy, we are planning to present the description of our PolyFit updates in another paper.

**ELiT Geoportal.** In our previous publications we have already referred to such robust solution for web-software and on-line services as *a web-portal* or *a Geoportal* [82]. The *ELiT Geoportal (EGP)* is a type of web portal normally used to find, access, and process geographic information (or *geospatial information*, and LiDAR data referred to AFE is geospatial information too), as well as it is intended to provide the associated geographic services (display, editing, analysis, etc.) via the Internet. The ultimate goal for any geoportal with respect to software marketing is to convert occasional visitors of this internet resource to its *warm leads*, while in general the geoportals are considered the key application of a distributed geoinformation technology [97, 98]. We have completed the EGP for this recent year by accomplishing the following various tasks:

- ✓ As a Client's issues (a front-end – FE):
  - EGP FE design, including UI options for a processing request;
  - Friendly UI of Scenes (including the Global Scene) and Projects (as an example, urban environment of NYC is visualized on Fig. 8 in *CityGML LOD1* models);
  - Primary (point clouds) and secondary (features) data display on FE together with attributive information;
  - Advanced FE-visualization with *Cesium*

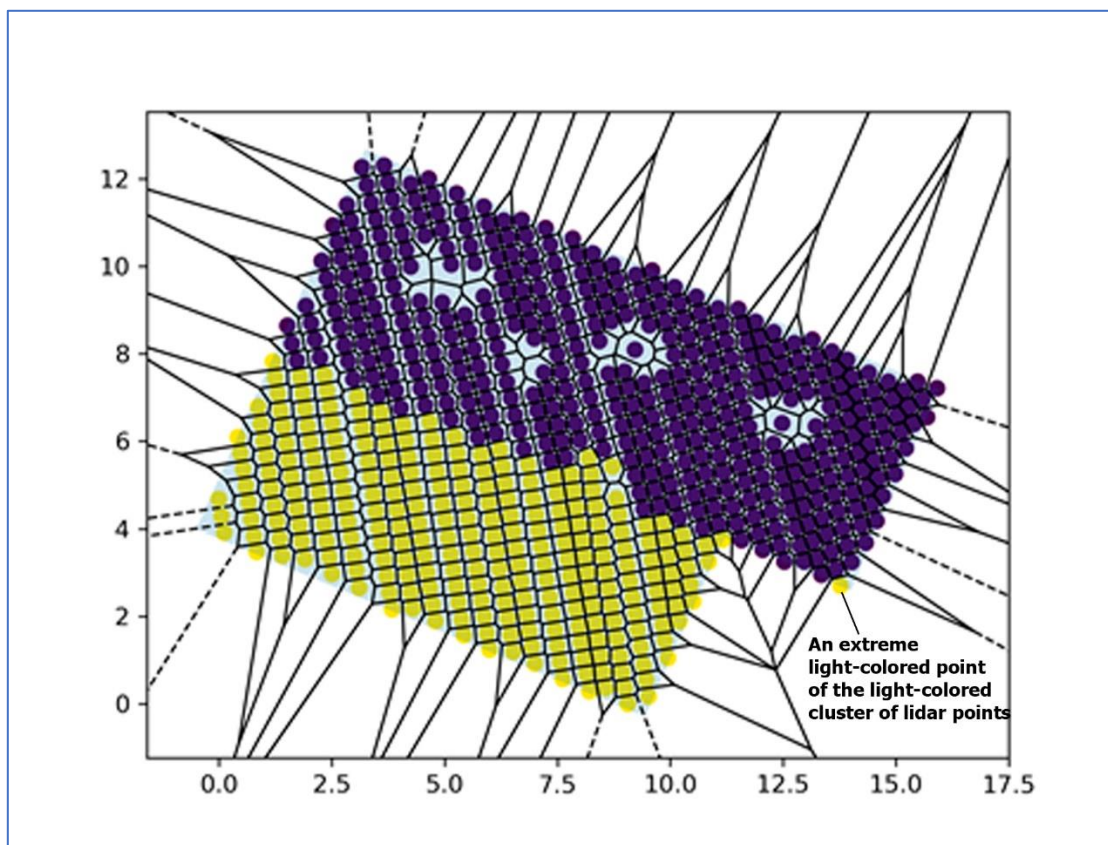


Fig. 7A. A mistaken definition of an extreme point as the one, which has neighbors in the main light-colored cluster. The illustration is made in the picture editor of the programming environment

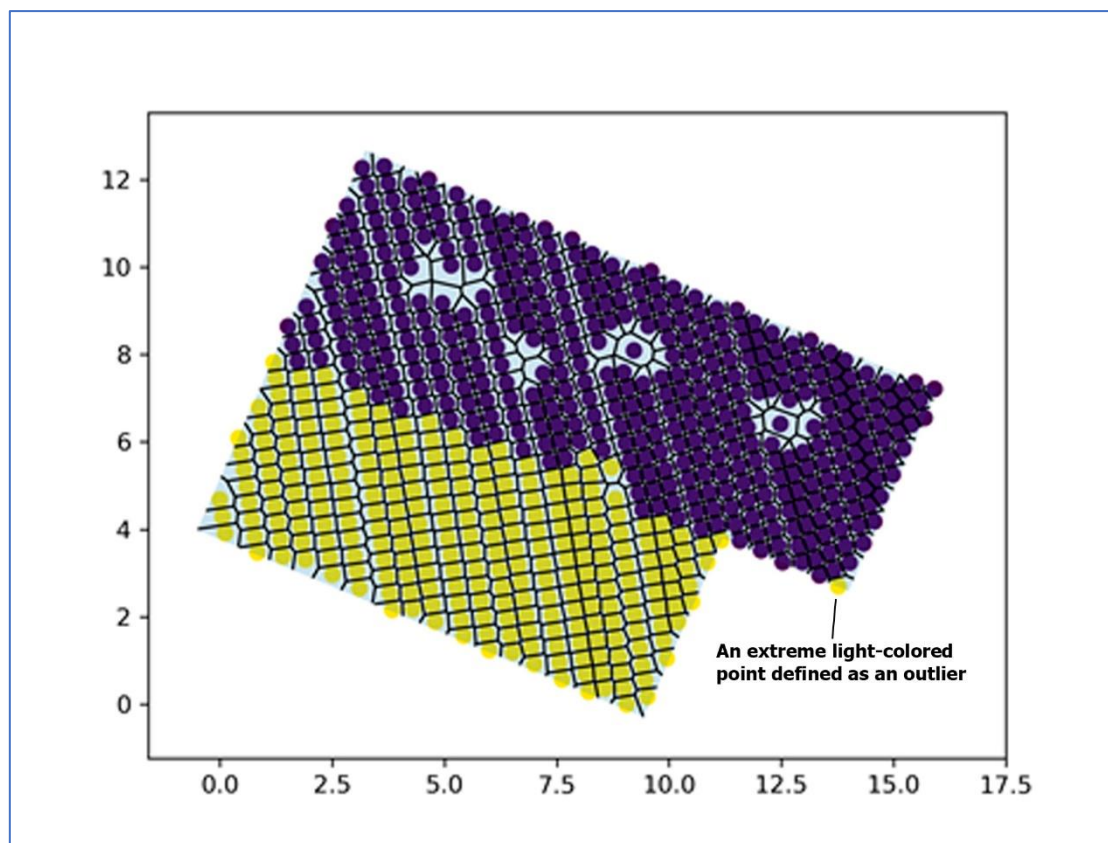


Fig. 7B. A solution of the problem illustrated on Fig. 7A by applying the limited Voronoi diagram





Fig. 8. The dense urban environment of New York City visualized on the *ELIT Geoporttal* in *CityGML LOD1* models (retrieved from <https://elit-portal.eos.com>)



3DTiles;

- ✓ As a Server's issues (a back-end – BE):
  - An architecture of a Geoportal:
    - PostGIS database for data storage on BE;
    - Web API (Django as a high-level Python web-framework) as an access interface for data usage due to the tasks set;
    - Python celery workers employed for lengthy processing operations and for the task parallel implementations for processing acceleration;
  - Hosting of LiDAR data;
  - Huge projects of urban environment throughout the world located on several

servers and consist of terabytes of geospatial information.

We have uploaded to the EGP (<https://elit-portal.eos.com>) both HPM, and LPM modeled results, in particular, a number of projects stored in the AWS Public Dataset of ALS .LAS files for numerous urban environments. In particular, Fig. 9 represents the results of the LPM feature extraction as light-weighted polyhedral models, which display urban environment of not a big city (Lubliniec, Poland) with the complicated rooftops efficiently simulated by the approach presented in the previous section of this paper:

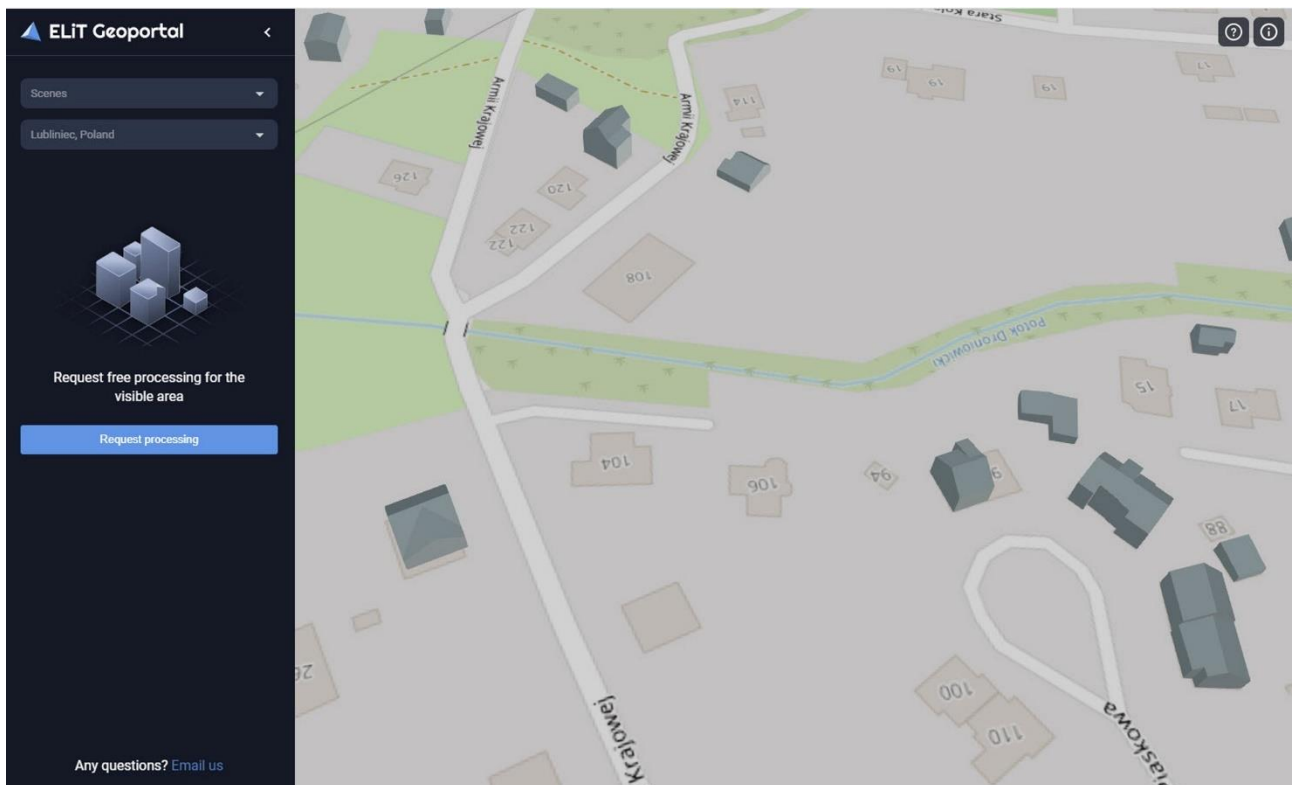


Fig. 9. The thinned urban environment of Lubliniec (Poland) visualized on the *ELIT Geoportal* in *CityGML LOD2* models (retrieved from <https://elit-portal.eos.com>)

**Conclusion and future works.** The authors summarized existing advances made within a couple of recent decades in the AFE domain and presented their own updates in two the most large-scale segments of this subject area – the high-polyhedral modeling and the low-polyhedral one on the base of lidar datasets. The overall automated feature extraction technique has been proved to be considered as a highly promising solution for the multicomponent simulation of urban environment, that can be used for various applications, taking into account a number of hot issues requiring the innovative research and technological introductions in urban studies. In this paper, systematic frameworks have been introduced for a number of the following issues:

- ✓ In general, a thematic overview of AFE methods concerning building detection, extraction and 3D reconstruction within a LiDAR pipeline; in particular, a summarized flow-chart of the overall AFE algorithmic approach;
  - ✓ Feature detection, classification, segmentation and reconstruction as the key AFE procedures;
  - ✓ Web-based multifunctional software, *EOS LiDAR Tool* elaborated by the paper authors as *ELiT Server* and *ELiT Geoportal*;
  - ✓ Comparison of high- and low polyhedral modeling as somewhat alternative techniques with some details of our contribution to the SaS approach of the LPM through using the Voronoi diagram;
  - ✓ *EGP* as an applied service-oriented web-technology for the *ELiT* software promotion.

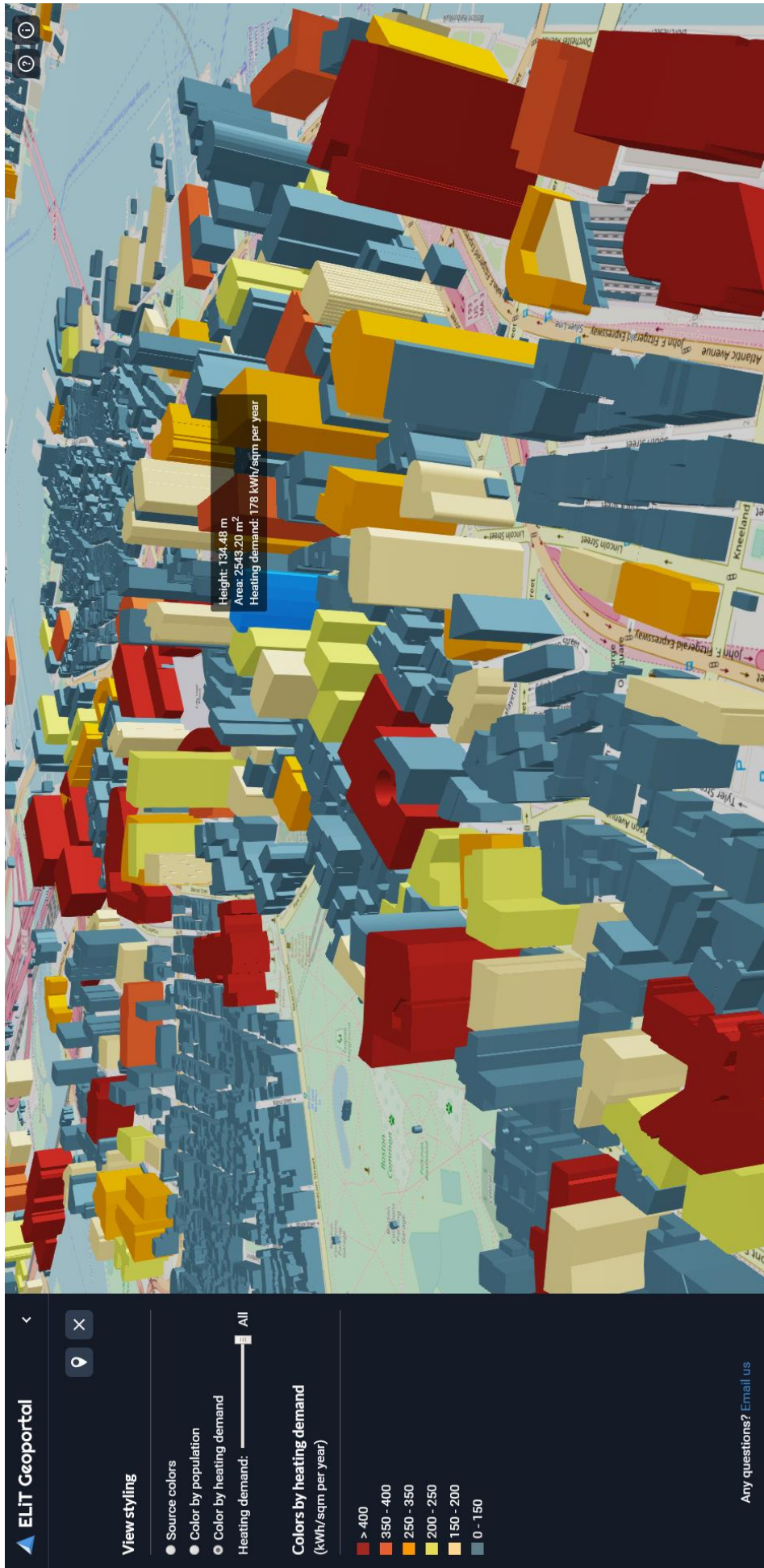


Fig. 10. 3D spatial estimation of the heating demand for the city of Boston (retrieved from <https://elit-portal.leos.com>).

A pop-up hint in the Scene displays attributive data of a building selected

A number of use-cases are being planned to be implemented on the *EGP* as the nearest future works, and there are only few of them as follows. *Population estimation with building geometries*: A simplified *EGP*-building model with bounded attributive information according to a number of flows is a key factor of a resident number in a building. A set of these models within an outlined neighborhood produces a population estimation for an AOI. *Energy demand for heating and cooling* can be estimated on the similar to the previous use-case approach. Building geometries serve as an interface for processing building energy demand (Fig. 10). *Visibility analysis* may allow a Geoportal visitor determine, which areas in urban environment are

visually connected. With the *EGP* it will be possible to provide simple computation that shows those urban environment parcels, that are visible from an observer's point, and those ones, which are invisible. What is more, this viewshed analysis results show by how much the feature height must be changed for the feature to become just visible.

Both these *EGP* use-cases and other possible ones can hardly be overvalued after moving most of *ELiT Server* functionalities to the Geoportal, while we get a chance to complete urban modelling procedures not only in a block, and district scales, but in a whole city are as well up to a huge megapolis territory (refer to Fig. 8 as to an example).

### References

1. Esch T. *Delineation of urban footprints from TerraSAR-X data by analyzing speckle characteristics and intensity information* [Text] / T. Esch T., M. Thiel, A. Schenk [and other] // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. – 2010. – Vol. 48. – No. 2. – P. 905–916.
2. Esch T. *The Global Urban Footprint* [Text] / Esch T., Heldens W., Hirner A. // *Urban Remote Sensing* / Q. Weng, D. Quattrochi, P.E. Gamba – CRC Press, 2018 – P. 34-43.
3. Kostrikov S. *Geoinformation approach to the urban geographic system research (case studies of Kharkiv region)* [Text] / S. Kostrikov, L. Niemets, K. Sehida [and other] // *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія "Геологія. Географія. Екологія"*. – Вип. 49. – X.: ХНУ, 2018. – С. 107-121. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-09>
4. 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>
5. Biljecki F. *Applications of 3D City Models: State of the Art Review* [Text] / F. Biljecki, J. Stoter, H. Ledoux [and other] // *ISPRS International Journal of Geo-Information*. – 2015. – Vol. 4. – P. 2842-2889.
6. Day A. *From map to model: the development of an urban information SYSTEM* / A. Day // *Design Studies*. – 1994. – Vol. 15. – P. 366-384.
7. Batty M. *The new geography of the third dimension* [Text] / M. Batty // *Environment and Planning B: Planning and Design*. – 2000. – Vol. 27. – P.483-487.
8. Kostrikov S. *Attributive data for GIS and definition of the fluvial topography morphological-morphometric characteristics* [Text] / S. Kostrikov // *GEOINFORMATIKA – Journal of EGIS Ukrainian division*. – 2004. – No 4. – P. 70-77.
9. *ITC Educational Textbook Series. Principles of Geographic Information Systems* / O. Huisman, R. A. de By (editors.). – Enschede, The Netherlands, 2009. – 540 p.
10. Brewer C.A. *Designing Better Maps: A Guide for GIS Users* [Text] / C.A. Brewer. – ESRI Press, 2015. – 400 p.
11. Weng Q. *Remote sensing for urbanization in tropical and subtropical regions – Why and what matters?* [Text] / Q. Weng // *Remote Sensing of Impervious Surfaces in Tropical and Subtropical Areas*. Boca Raton / Zhang, H., Lin, H. Zhang, Y., Q. Weng (Editors). – FL: CRC Press/Taylor & Francis, 2015. – P. 17-22.
12. Ban Y., Gong P., Giri C. *Global land cover mapping using Earth observation satellite data: Recent progresses and challenges* [Text] / Y. Ban, P. Gong, C. Giri // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2015. – Vol. 103. – P. 1–6.
13. Esch T. *Breaking new ground in mapping human settlements from space. The Global Urban Footprint* [Text] / Esch T., Heldens W., Hirner A. [and other] // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2017. – Vol. 134, 30–42.
14. Potere D. *Mapping urban areas on a global scale: Which of the eight maps now available is more accurate?* [Text] / D. Potere, A. Schneider, S. Angel [and other] // *International Journal of Remote Sensing*. – 2009. – Vol. 30. – No 24. – P. 6531–6558.
15. Schneider A. *Mapping global urban areas using MODIS 500-m data: New methods and datasets based on 'urban ecoregions'* [Text] / A. Schneider, M. Friedl, D. Potere // *Remote Sensing of Environment*. – 2010. – Vol. 114. – No 8. – P. 1733–1746.
16. Zhou Q. *A preliminary review on three-dimensional city model* [Text] / Q. Zhou, W. Zhang // *Geo-Spatial Information Science*. – 2004. – Vol. 7. – 79–88.
17. Ellul C. *Deriving a Generic Topological Data Structure for 3D Data* [Text] / C. Ellul, M. Haklay, T. Bevan // *Proceedings of GISRUUK. 13<sup>th</sup> Annual Conference*. – 2005. – P. 137-142.
18. Ellul C. *Requirements for Topology in 3D GIS* [Text] / C. Ellul, M. Haklay // *Transactions in GIS*. – Wiley Online Library. – 2006. – Vol. 10. – No. 2. – P. 157-175.



19. Brenner C. Towards fully automatic generation of city models [Text] / C. Brenner // ISPRS Archives. Amsterdam. – 2000. – Vol. XXXIII. – P. 1-8.
20. Brenner C. Building reconstruction from images and laser scanning [Text] / C. Brenner // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2005. – Vol. 6. – No 3. – P. 187-198.
21. Zhang L. Modeling and analyzing 3D complex building interiors for effective evacuation simulations [Text] / L. Zhang, Y. Wang, H. Shi // Fire Safety Journal. – 2012. – Vol. 53. – P. 1-12.
22. Katsianis M. A 3D digital workflow for archaeological intra-site research using GIS [Text] / M. Katsianis, S. Tshipidis, K. Kotsakis [and other] // Journal of Archaeological Science. – 2008. – Vol. 35. – P. 655-667.
23. Groger G. How to achieve consistency for 3D city models [Text] / G. Groger, L. Plumer // Geoinformatica. – 2011. – Vol. 15. – P. 137-165.
24. Kostrikov S. Three key EOS LiDAR Tool functionalities for Urban Studies [Text] / S. Kostrikov, R. Pudlo, A. Kostrikova // The Full Paper Proceeding of ACRS'2018, Kuala Lumpur, Malaysia, technical session: LiDAR Data Processing. – 2018. – Vol. 3. – P. 1676-1685.
25. Kostrikov S. Studying of urban features by the multifunctional approach to LiDAR data processing /S. Kostrikov, R. Pudlo, A. Kostrikova, D. Bubnov // IEEE Xplore Digital Library, 2019. – Electronic ISSN: 2642-9535. – Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8809063>
26. Weidner U. Towards automatic building extraction from high-resolution digital elevation models [Text] / U. Weidner, W. Förstner // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 1995. – Vol. 50. – P. 38-49.
27. Baltsavias E.P. Use of DTMs [Text] / E.P. Baltsavias, S. Mason, D. Stallmann // DSMs and orthoimages to support building extraction, Workshop on AEMOASI, Basel. – 1995. – P. 199-210.
28. Pesaresi M. A new approach for the morphological segmentation of high-resolution satellite imagery [Text] / M. Pesaresi, J. Benediktsson // IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing. – 2001. – Vol. 39. – P. 309-320.
29. Awrangjeb M. Automatic segmentation of raw LIDAR data for extraction of building roofs [Text] / M. Awrangjeb, C. Fraser // Remote Sensing. – 2014. – Vol. 6. – P. 3716-3751.
30. Liu C. Automatic buildings extraction from LiDAR data in urban area by neural oscillator network of visual cortex [Text] / C. Liu, B. Shi, X. Yang [and other] // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. – 2013. – Vol. 6. – P. 2008-2019.
31. Dong P. LiDAR Remote Sensing and Applications [Text] / P. Dong, Q. Chen (Editors). – Boca Raton: CRC Press, 2018. – 246 p.
32. Shan J. Urban dem generation from raw LiDAR data: a labeling algorithm and its performance [Text] / J. Shan, A. Sampath // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 2009. – Vol. 75. – P 427-442.
33. Sampath A., Shan J. Segmentation and reconstruction of polyhedral building roofs from aerial LIDAR point clouds [Text] / A. Sampath, J. Shan // IEEE Transactions of Geoscience & Remote Sensing – 2010. – Vol. 3. – P. 1554-1567.
34. Sun S. Complex Building Roof Detection and Strict Description From LIDAR Data and Orthorectified Aerial Imagery [Text] / S. Sun., C. Salvaggio // IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. – 2012. – P. 5466-5469.
35. Belkhouche M.Y. Iterative TIN-based automatic filtering of sparse LiDAR data [Text] / M.Y. Belkhouche, B. Buckles // Remote Sensing Letters. – 2012. – Vol. 2. – No 3. – P. 231-240.
36. Chen D. Urban building roof segmentation from airborne LiDAR point clouds [Text] / D. Chen, L. Zhang, R. Liu // International Journal of Remote Sensing. – 2012. – Vol. 33. – P. 6497-6515.
37. Wang R. 3D building modeling using images and LiDAR: a review [Text] /R. Wang // International Journal of Image and Data Fusion. – 2013. – Vol. 4. – No 4. – P. 273-292.
38. Perera G.S.N. Cycle graph analysis for 3D roof structure modelling: Concepts and performance [Text] / G.S.N. Perera, H.G. Maas // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2014. – Vol. 93. – P. 213-226.
39. Shan J., Toth Ch. Topographic Laser Ranging and Scanning Principle and Processing. 2<sup>nd</sup> Edition / J. Shan, Ch. Toth (Editors). – London–New York: CRC Press, 2018. – 826 p.
40. Gruen A. TOBAGO–A semi-automated approach for the generation of 3-D building models [Text] / A. Gruen // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 1998. – Vol. 53. – P. 108-118.
41. Haala N. Extraction of buildings and trees in urban environments [Text] / N. Haala, C. Brenner // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 1999. – Vol. 54. – P. 130-137.
42. Maas H.-G. Two algorithms for extracting building models from raw laser altimetry data [Text] / H.-G. Maas, G. Vosselman // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 1999. – Vol. 54. – P. 153-163.
43. Stilla U. Potential and limits of InSAR data for building reconstruction in built-up areas [Text] / U. Stilla, U. Soerge, U. Thoennessen // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2003. – Vol. 58. – P. 113-123.
44. Suveg, I., and Vosselman, G., 2004. Reconstruction of Vol.3D building models from aerial images and maps [Text] / I. Suveg, G. Vosselman // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2004. – Vol. 58. – P. 202-224.
45. Alexander C. Integrating building footprints and LiDAR elevation data to classify roof structures and visualise buildings [Text] / C. Alexander, S. Smith-Voysey, C. Jarvis [and other] // Computers, Environment and Urban Systems. – 2009. – Vol. 33. – P. 285-292.
46. Pu S. Knowledge based reconstruction of building models from terrestrial laser scanning data [Text] / S. Pu, G. Vosselman // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2009. – Vol. 64. – P. 575-584.

47. Orthuber E. 3D building reconstruction from Lidar point clouds by adaptive dual contouring [Text] / E. Orthuber, J. Avbelj // *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. – 2015. – Volume II-3/W4. – PIA15+HRIG115–Joint ISPRS conference 2015, 25–27 March, 2015, Munich, Germany.
48. Hu Y. Automated Extraction of DTM, roads, and buildings using Airborne lidar [Text] / Y. Hu. – *UCGE Reports*. – Number 20187. – University of Calgary, 2007. – 227 p.
49. Aijazi A.K. Automatic detection and feature estimation of windows in 3D urban point clouds exploiting façade symmetry and temporal correspondences [text] / A.K. Aijazi, P. Checchin, L. Trassoudaine // *International Journal of Remote Sensing* // 2014. – Vol. 35. – P. 7726–7748.
50. Arachchige N.H., Perera S.N., Maas H.G. Automatic processing of mobile laser scanner point clouds for building facade detection [Text] / A.N. Arachchige, S.N. Perera, H.G. Maas // *ISPRS International Archive of Photogrammetry and Remote Sensing in Spatial Information Science*. – 2012. – Vol. XXXIX-B5. – P. 187–192.
51. Yang B. Hierarchical extraction of urban objects from mobile laser scanning data [Text] / B. Yang, Z. Dong, G. Zhao [and other] // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2015. – Vol. 99. – P. 45–57.
52. Brinkman R. LiDAR and photogrammetric mapping [Text] / R. Brinkman, C. O'Neill // *The Military Engineer*. – 2000. – No. 5. – P. 56–57.
53. Hodgson M. Accuracy of airborne lidar-derived elevation: Empirical assessment and error budget [Text] / M. Hodgson, P. Bresnahan // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. – 2004. – Vol. 70. – P. 331–339.
54. 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.
55. Zhang K., Whitman D. Comparison of three algorithms for filtering airborne LiDAR data [Text] / K. Zhang, D. Whitman // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. – 2005. – Vol. 71. – P. 313–324.
56. Umasuthan U. Outlier removal and discontinuity preserving smoothing of range data [Text] / U. Umasuthan, A.M. Wallace // *IEEE Proceedings on Visual Imaging & Signal Processing*. – 1996. – Vol. 143. – No 3. – P. 191–200.
57. Haala N. An update on automatic 3D building reconstruction [Text] / N. Haala, M. Kada // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2010. – Vol. 65. – No 6. – P. 570–580.
58. Vosselman G. 3D building model reconstruction from point clouds and ground plans [Text] / G. Vosselman, S. Dijkman // *International Archive of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2001. – Vol. XXXIV-3/W4. – P. 37–43.
59. Oda K. Automatic building extraction and 3-D city modeling from lidar data based on Hough transformation [Text] / K. Oda, T. Takano, T. Doihara // *International Archive of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2004. – Vol. XXXV, part B3.
60. Evans J.S. A multiscale curvature algorithm for classifying discrete return LiDAR in forested environments [Text] / J.S. Evans, A.T. Hudak // *IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sensing*. – 2008. – Vol. 46. – P. 987–997.
61. Song J.H. Assessing the possibility of land-cover classification using lidar intensity data [Text] / J.H. Song, S.H. Han., K. Yu [and other] // *IAPRS*. – 2002. – Vol. 34. – P. 41–47.
62. Kwak E. Automatic representation and reconstruction of DBM from LiDAR data using recursive minimum bounding rectangle [Text] / E. Kwak, A. Habib // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2014. – Vol. 93. – No 7. – P. 171–191.
63. Lee H.S. DTM extraction of LiDAR returns via adaptive processing [Text] / H.S. Lee, N.H. Younan // *IEEE Transactions of Geoscience Remote Sensing*. – 2003. – Vol. 41. – P. 2063–2069.
64. Sithole G. Experimental comparison of filter algorithms for bare-earth extraction from airborne laser scanning point clouds [Text] / G. Sithole, G. Vosselman // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. – 2004. – Vol. 59. – P. 85–101.
65. Awrangjeb M. Automatic detection of residential building using LiDAR data and multispectral imagery [Text] / M. Awrangjeb, M. Ravanbakhsh, C.S. Fraser // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2011. – Vol. 66. – No 6. – P. 668–679.
66. Alharthy A. Heuristic filtering and 3D feature extraction from LiDAR data [Text] / A. Alharthy, J. Bethel // *International Archives on Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2002. – Vol. 34 (3A). – P. 29–34.
67. Rottensteiner F. Using the Dempster-Shafer method for the fusion of LiDAR data and multispectral images for building detection [Text] / F. Rottensteiner // *Information Fusion*. – 2005. – Vol. 6 (4). – P. 283–300.
68. Wang J. Segmentation of LiDAR point clouds for building extraction [Text] / J. Wang, J. Shan // *Proceedings of American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Annual Conference, Baltimore, MD*. – 2009. – P. 9–13.
69. Sohn G. Using binary space partitioning tree for reconstructing polyhedral building models from airborne LIDAR data [Text] / G. Sohn, X. Huang, V. Tao // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. – 2008. – Vol. 74. – P. 1425–1438.
70. Charles R.Q. PointNet: Deep Learning on Point Sets for 3D Classification and Segmentation / R.Q. Charles. – 2017. – Available at: <http://stanford.edu/~rqi/pointnet/>
71. Schiewe J. Integration of multi-sensor data for landscape modeling using a region-based approach [Text] / J. Schiewe // *ISPRS JPRS*. – 2003. – Vol. 57. – P. 371–379.
72. 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. – No 11. – P. 7323–7343.
73. Zhang C. Knowledge-based image analysis for 3D road reconstruction [Text] / C. Zhang, E. Baltsavias, A. Gruen // *Asian Journal of Geoinformatics*. – 2001. – Vol. 1. – No. 4. – P. 3–14.



74. Wang Z. *Building extraction and reconstruction from lidar data* [Text] / Z. Wang, T. Schenk // IAPRS. – 2000. – 17-22 July, Amsterdam. – Vol. 33. – Part B3. – P. 958-964.
75. Rottensteiner D.F., Briese C. *A new method for building extraction in urban areas from high-resolution lidar data* [Text] / D.F. Rottensteiner, C. Briese // IAPRS, 9-13 September, Graz, Austria. – 2002. – Vol. 34. – Part 3A/B. – P. 295-301.
76. Vestri C. *Using robust methods for automatic extraction of buildings* [Text] / C. Vestri, F. Devernay // CVPR. – 2001. – Vol. 1. – P. 133-138.
77. Xu L. *On-the-fly extraction of polyhedral buildings from airborne LiDAR data* [Text] / L. Xu, D. Kong, X. Li // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. – 2014. – Vol. 11. – No. 11. – P. 1946–1950.
78. Estivill-Castro V. *Why so many clustering algorithms: a position paper* [Text] / V. Estivill-Castro // ACM SIGKDD Explorations Newsletter. – 2002. – Vol. 4. – No. 1. – P. 65–75.
79. Sampath A. *Building boundary tracing and regularization from airborne LiDAR point clouds* / A. Sampath, J. Shan // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2007. – Vol. 73. – No. 7. – P. 805–812.
80. Lari Z. *An adaptive approach for the segmentation and extraction of planar and linear/cylindrical features from laser scanning data* [Text] / Z. Lari, A. Habib // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2014. – Vol. 93. – No. 7. – P. 192–212.
81. Костріков С. *Веб-застосування ELiT – програмне забезпечення для моделювання і аналізу міського середовища* [Текст] / С. Костріков, Д. Бубнов, А. Кострікова, Р. Пудло // Збірник матеріалів конференції «ГІС-Форум»-2018». – Харків, 2018 – С. 56-59.
82. Костріков С.В. *Дослідження міського середовища через його відтворення за допомогою обробки лідар-даних* [Текст] / С.В. Костріков, В.В. Васильєв, Р.А. Пудло, Д.С. Бубнов // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «РЕГІОН-2019: Стратегія оптимального розвитку» – Харків, 2019. – С. 34-37.
83. 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 – ГІС-форум'14. Збірник наукових праць – 2014. – Вип. 19. – С. 45-52.
84. Teo T.-A. *Lidar-based change detection and change type determination in urban areas* [Text] / T.A. Teo, T.Y. Shi // International Journal of Remote Sensing. – 2012. – Vol. 34. – P. 968–981.
85. Zhang K. *Automatic construction of building footprints from airborne LiDAR data* // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing [Text] / K. Zhang, J. Yan, S.C. Chen. – 2006. – Vol. 44. – No. 9. – P. 2523–2533.
86. Stilla U. *Reconstruction of building models from maps and laser altimeter data* [Text] / U. Stilla, K. Jurkiewicz // P. Agouris, A. Stefanidis (Editors). *Integrated Spatial Databases: Digital Images and GIS*. – Springer, Berlin, 1999. – P. 34–46.
87. Shewchuk J. *Delaunay refinement algorithms for triangular mesh generation* [Text] / J. Shewchuk // Computing Geometry. – 2014. – Vol. 47. – P. 741-778.
88. Shan J., Sampath A. *Building extraction from LiDAR point clouds based on clustering techniques* [Text] / J. Shan, A. Sampath // Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing / J. Shan, C. Toth (Editors). – Boca Raton, FL: CRC Press. – Ch. 15. – 2008. – P. 423–446.
89. Sampath A. *Building roof segmentation and reconstruction from lidar point clouds using clustering techniques* [Text] / A. Sampath, J. Shan // International Archive of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2008. – Vol. XXXVII, Part B3a. – P. 279-284.
90. Tarsha-Kurdi F. *Extended RANSAC algorithm for automatic detection of building roof planes from LIDAR data* [Text] / F. Tarsha-Kurdi, T. Landes, P., Grussenmeyer // Photogrammetric Journal of Finland. – 2008. – Vol. 21. – No 1. – P. 97-109.
91. Sun S. *Aerial 3D building detection and modeling from airborne LiDAR point clouds* [Text] / S. Sun., C. Salvaggio // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. – 2013. – Vol. 6. – No. 3. – P. 1440-1449.
92. Fan H. *Segmentation of Sloped Roofs from Airborne LiDAR Point Clouds Using Ridge-Based Hierarchical Decomposition* [Text] / H. Fan, W. Yao, Q. Fu // Remote Sensing. – 2014. – Vol. 6. – P. 3284-3301.
93. Tse R. *Using the Delaunay Triangulation/Voronoi Diagram to extract Building Information from Raw LIDAR Data* [Text] / R. Tse, Ch. Gold, D. Kidner // 4th International Symposium on Voronoi Diagrams in Science and Engineering (ISVD 2007). – IEEE Xplore Digital Library, 2007. – Print ISBN: 0-7695-2869-4.
94. Tse, R. *Building reconstruction using LIDAR data* [Text] / R. Tse, M. Dakowicz, C.M. Gold [and other] // Proceedings 4th ISPRS workshop on dynamic and multi-dimensional GIS. – Pontypridd, Wales, UK. – 2005. – P. 156–161.
95. Nan L. *Template assembly for detailed urban reconstruction* [Text] / L. Nan, C. Jiang, B. Ghanem [and other] // Computer Graphics Forum. – 2015. – Vol. 34. – P. 217–228.
96. Nan L., Wonka P. *Polyfit: Polygonal surface reconstruction from point clouds* / L. Nan, P. Wonka // Proceedings International Conference on Computer Vision. – 2017. – Available at: [http://openaccess.thecvf.com/content\\_ICCV\\_2017/papers/Nan\\_PolyFit\\_Polygonal\\_Surface\\_ICCV\\_2017\\_paper.pdf](http://openaccess.thecvf.com/content_ICCV_2017/papers/Nan_PolyFit_Polygonal_Surface_ICCV_2017_paper.pdf)
97. Tait M.G. *Implementing geoportals: applications of distributed GIS* [Text] / M.G. Tait // Computers, Environment and Urban Systems. – 2005. – Vol. 29. – Issue 1. – P. 33-47.
98. Beaumont P. *Geographic information portals – a UK perspective* [Text] / P. Beaumont, P.A. Longley, D.J. Maguire // Computers, Environment and Urban Systems. – 2005. – Vol. 29. – Issue 1. – P. 49-69.

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

UDC 711.433: 004.9+004.451+911.3

**Sergiy Vasylovych Kostrikov,**

Doctor of Sciences (Geography), Professor, Department of Human Geography and Regional Studies, School of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine;

e-mail: [sergiy.kostrikov@gmail.com](mailto:sergiy.kostrikov@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-4236-8474>;

**Dmytro Yevgenovych Bubnov,**

Scientist and Senior Programmer, EOS Data Analytics Ukraine, LLC, 31 Alchevskyyh St., Kharkiv, 61002, Ukraine,

e-mail: [dmitriy.bubnov@eosda.com](mailto:dmitriy.bubnov@eosda.com), <https://orcid.org/0000-0002-2851-8659>;

**Rostyslav Anatoliyovych Pudlo,**

R&D Team Leader, EOS Data Analytics Ukraine, LLC,

e-mail: [rostyslav.pudlo@eosda.com](mailto:rostyslav.pudlo@eosda.com), <https://orcid.org/0000-0002-3018-2074>

## URBAN ENVIRONMENT 3D STUDIES BY AUTOMATED FEATURE EXTRACTION FROM LiDAR POINT CLOUDS

**Research problem introduction.** Both a number of necessities that require the novel technological introductions in urban studies and the challengers corresponding to these introductions have been outlined with the emphasis on the urban remote sensing tools. The **research goal** of this text is to outline the authors' original contribution to the algorithmic content of the automated feature extraction upon the urban environment modeling, as well as to represent the original web-software for urban studies.

**AFE methods in the building detection, extraction and 3D reconstruction within the LiDAR pipeline: a thematic overview.** The overall AFE algorithmic approach has been summarized proceeding from an extensional literature review due to the feature extraction from raw lidar data. A sample of the composite model of an urban feature extracted, the overall AFE algorithmic flowchart, and few MSL processed results have been visualized. Feature detection, classification, segmentation and reconstruction have been presented as constituents of the united LiDAR pipeline.

**EOS LiDAR Tool (ELiT) and our key original algorithmic approaches to the AFE issues.** The web-software has been developed on the base of the outlined multifunctional research approach. This software has several basic functionalities within the distributed information system: building extraction, building extraction in rural areas, change detection, and digital elevation model generation. Two basic algorithmic approaches implemented in the software have been explained in details: High Polyhedral Modeling provided by the Building Extraction tool, and Low Polyhedral Modeling provided by the Building Extraction Rural Area tool. The extensive usage of the Voronoi diagram for cluster adjacency on the finalizing modeling stage has been provided as our original update of the existing LPM methodology: its applying for the roof cluster adjacency determination and for separation of coplanar clusters, applying limited diagram for avoiding side effects of adjacency determination, its applying for the awning / overhand identification.

**ELiT Geoportal.** The *EGP* has been depicted as a type of web portal used to find, access, and process LiDAR geospatial both primary, and derivative information, as well as to provide the associated geographic services (display, editing, analysis, etc.) via the Internet. The key characteristics of our Geoportal have been listed as well as some illustrations provided for the uploaded projects.

**Conclusion and future works.** The automated feature extraction from lidar data technique has been presented with the authors' updates as a highly promising solution for the multicomponent simulation of urban environment, that can be used for different applications for cities. The use-cases for the *EGP* have been outlined as hot issues: Population estimation with building geometries; Energy demand for heating and cooling; Visibility analysis in urban environment.

**Keywords:** LiDAR, lidar data, urban environment, AFE, building model, web-GIS-application, geoportal.

### References

1. Esch T., Thiel, M., Schenk, A. [and other] (2010). Delineation of urban footprints from TerraSAR-X data by analyzing speckle characteristics and intensity information. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(2), 905–916.
2. Esch, T., Heldens, W., Hirner, A. (2018). *The Global Urban Footprint. Urban Remote Sensing*. CRC Press, 34-43.
3. 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>

4. 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>
5. Biljecki, F. Stoter, J., Ledoux, H. [and other]. (2015). Applications of 3D City Models: State of the Art Review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4, 2842-2889.
6. Day, A. (1994). From map to model. *Design Studies*, 15, 366-384.
7. Batty, M. (2000). The new geography of the third dimension. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 27, 483-487.
8. Kostrikov, S. (2004). Attributive data for GIS and definition of the fluvial topography morphological-morphometric characteristics. *GEOINFORMATIKA. Journal of EGIS Ukrainian division*, 4, 70-77.
9. Huisman, O., de By, R.A. (editors.). (2009). *ITC Educational Textbook Series. Principles of Geographic Information Systems*. Enschede, The Netherlands, 540.
10. Brewer, C.A. (2015). *Designing Better Maps: A Guide for GIS Users*. ESRI Press, 400.
11. Weng, Q. (2015). Remote sensing for urbanization in tropical and subtropical regions – Why and what matters? *Remote Sensing of Impervious Surfaces in Tropical and Subtropical Areas*. Boca Raton. Zhang, H., Lin, H. Zhang, Y., Q. Weng (Editors). FL: CRC Press/Taylor & Francis, 17-22.
12. Ban, Y., Gong, P., Giri, C. (2015). Global land cover mapping using Earth observation satellite data: Recent progresses and challenges. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 103, 1–6.
13. Esch, T. (2017). Breaking new ground in mapping human settlements from space. *The Global Urban Footprint*. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 134, 30–42.
14. Potere, D., Schneider, A., Angel, S. (2009). Mapping urban areas on a global scale: Which of the eight maps now available is more accurate? *International Journal of Remote Sensing*, 30, 6531–6558.
15. Schneider, A. (2010). Mapping global urban areas using MODIS 500-m data: New methods and datasets based on 'urban ecoregions'. *Remote Sensing of Environment*, 114 (8), 1733–1746.
16. Zhou, Q., Zhang, W. (2004). A preliminary review on three-dimensional city model. *Geo-Spatial Information Science*, 7, 79–88.
17. Ellul, C., Haklay, M., Bevan, T. [and other]. (2005). Deriving a Generic Topological Data Structure for 3D Data. *Proceedings of GISRUK. 13<sup>th</sup> Annual Conference*, 137-142.
18. Ellul, C., Haklay, M. (2006). Requirements for Topology in 3D GIS. *Transactions in GIS*. Wiley Online Library, 10 (2), 157-175.
19. Brenner, C. (2000). Towards fully automatic generation of city models. *ISPRS Archives*. Amsterdam, XXXIII, 1-8.
20. Brenner, C. (2005). Building reconstruction from images and laser scanning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 6 (3), 187–198.
21. L. Zhang, L., Wang, Y., Shi Zhang, H. (2012). Modeling and analyzing 3D complex building interiors for effective evacuation simulations. *Fire Safety Journal*, 53, 1-12.
22. Katsianis, M.; Tsipidis, S.; Kotsakis, K. [and other]. (2008). A 3D digital workflow for archaeological intra-site research using GIS. *Journal of Archaeological Science*, 35, 655–667.
23. Groger, G., Plumer, L. (2011). How to achieve consistency for 3D city models. *Geoinformatica*, 15, 137-165.
24. Kostrikov, S. Pudlo, R. Kostrikova, A. (2018). Three Key EOS LiDAR Tool Functionalities for Urban Studies. *Full Paper Proceeding of ACRO'2018, Kuala Lumpur, Malaysia. Technical Session: LiDAR Data Processing*, 3, 1676-1685.
25. Kostrikov, S., Pudlo, R., Kostrikova, A. [and other]. (2019). Studying of urban features by the multifunctional approach to LiDAR data processing. *IEEE Xplore Digital Library. Electronic ISSN: 2642-9535*. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8809063>
26. Weidner, U., Förstner, W. (1995). Towards automatic building extraction from high-resolution digital elevation models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 50, 38–49.
27. Baltsavias, E.P., Mason, S., Stallmann, D. (1995). Use of DTMs, DSMs and orthoimages to support building extraction. *Workshop on AEMOASI, Basel*, 199-210.
28. Pesaresi, M., Benediktsson, J. (2001). A new approach for the morphological segmentation of high-resolution satellite imagery. *IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing*, 39, 309–320.
29. Awrangjeb, M., Fraser, C. (2014). Automatic segmentation of raw LIDAR data for extraction of building roofs. *Remote Sensing*, 6, 3716–3751.
30. Liu, C. Shi, B., Yang, X. [and other]. (2013). Automatic buildings extraction from LiDAR data in urban area by neural oscillator network of visual cortex. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 6, 2008–2019.
31. Dong P., Chen, Q. (Editors). (2018). *LiDAR Remote Sensing and Applications*. Boca Raton: CRC Press, 246.
32. Shan, J., Sampath, A. (2009). Urban dem generation from raw LiDAR data: a labeling algorithm and its performance. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 75, 427-442.
33. Sampath, A., Shan, J. (2010). Segmentation and reconstruction of polyhedral building roofs from aerial LIDAR point clouds. *IEEE Transactions of Geoscience & Remote Sensing*, 3, 1554–1567.
34. Sun, S., Salvaggio, C. (2012). Complex Building Roof Detection and Strict Description From LIDAR Data and Orthorectified Aerial Imagery. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 5466 - 5469.
35. Belkhouche, M.Y., Buckles, B. (2012). Iterative TIN-based automatic filtering of sparse LiDAR data. *Remote Sensing Letters*, 2(3), 231-240.
36. Chen, D. Zhang, L., Liu, R. (2012). Urban building roof segmentation from airborne LiDAR point clouds. *International Journal of Remote Sensing*, 33, 6497–6515.

37. Wang, R. (2013). 3D building modeling using images and LiDAR: a review. *International Journal of Image and Data Fusion*, 4(4), 273–292.
38. Perera, G.S.N., Maas, H.-G. (2014). Cycle graph analysis for 3D roof structure modelling: Concepts and performance. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 93, 213–226.
39. Shan, J., Toth, Ch. (Editors). (2018). *Topographic Laser Ranging and Scanning Principle and Processing*. 2<sup>nd</sup> Edition / J. Shan, Ch. Toth (Editors). London – New York. CRC Press, 826.
40. Gruen, A. (1998). TOBAGO—A semi-automated approach for the generation of 3-D building models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 53, 108–118.
41. Haala, N., Brenner, C. (1999). Extraction of buildings and trees in urban environments. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54, 130–137.
42. Maas, H.-G. Vosselman, G. (1999). Two algorithms for extracting building models from raw laser altimetry data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54, 153–163.
43. Stilla, U., Soerge, U., Thoennessen, U. (2003). Potential and limits of InSAR data for building reconstruction in built-up areas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 58, 113–123.
44. Suveg, I., and Vosselman, G. (2004). Reconstruction of Vol.3D building models from aerial images and maps. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 58, 202–224.
45. Alexander, C. Smith-Voysey, S. Jarvis, C. [and other]. (2009). Integrating building footprints and LiDAR elevation data to classify roof structures and visualise buildings. *Computers, Environment and Urban Systems*, 33, 285–292.
46. Pu, S., Vosselman, G. (2009). Knowledge based reconstruction of building models from terrestrial laser scanning data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64, 575–584.
47. Orthuber, E., Avbelj, J. (2015). 3D building reconstruction from Lidar point clouds by adaptive dual contouring. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, II-3/W4, PIA15+HRIGI15. Joint ISPRS conference 2015, 25–27 March, Munich, Germany.
48. Hu, Y. (2007). Automated Extraction of DTM, roads, and buildings using Airborne lidar. *UCGE Reports*. Number 20187. University of Calgary, 227.
49. Aijazi, A.K., Checchin, P., Trassoudaine, L. (2014). Automatic detection and feature estimation of windows in 3D urban point clouds exploiting façade symmetry and temporal correspondences // *International Journal of Remote Sensing*, 35, 7726–7748.
50. Arachchige, N.H., Perera, S.N., Maas, H.G. (2012). Automatic processing of mobile laser scanner point clouds for building facade detection. *ISPRS International Archive of Photogrammetry and Remote Sensing in Spatial Information Science*, XXXIX-B5, 187–192.
51. Yang, B., Dong, Z., Zhao, G. [and other]. (2015). Hierarchical extraction of urban objects from mobile laser scanning data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 99, 45–57.
52. Brinkman, R., O'Neill, C. (2000). LiDAR and photogrammetric mapping. *The Military Engineer*, 5, 56–57.
53. Hodgson, M., Bresnahan, P. (2004). Accuracy of airborne lidar-derived elevation: Empirical assessment and error budget. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 70, 331–339.
54. Xiao, Y., Wang, C. Li, J. [and other]. (2014). Building segmentation and modeling from airborne. *International Journal of Digital Earth*, 8, 694–709.
55. Zhang, K., Whitman, D. (2005). Comparison of three algorithms for filtering airborne LiDAR data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 71, 313–324.
56. Umasuthan, U., Wallace, A.M. (1996). Outlier removal and discontinuity preserving smoothing of range data. *IEEE Proceedings on Visual Imaging & Signal Processing*, 143, 3, 191–200.
57. Haala, N., Kada, M. (2010). An update on automatic 3D building reconstruction. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65(6), 570–580.
58. Vosselman, G., Dijkman, S. (2001). 3D building model reconstruction from point clouds and ground plans. *International Archive of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXXIV-3/W4, 37–43.
59. Oda, K., Takano, T., Doihara, T. (2004). Automatic building extraction and 3-D city modeling from lidar data based on Hough transformation. *International Archive of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXXV, part B3.
60. Evans, J.S., Hudak, A.T. (2008). A multiscale curvature algorithm for classifying discrete return LiDAR in forested environments. *IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sensing*, 46, 987–997.
61. Song, J.H., Han, S.H., Yu, K. [and other]. (2002). Assessing the possibility of land-cover classification using lidar intensity data. *IAPRS*, 34, 41–47.
62. Kwak, E., Habib, A. (2014). Automatic representation and reconstruction of DBM from LiDAR data using recursive minimum bounding rectangle. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 93(7), 171–191.
63. Lee, H.S., Younan, N.H. (2003). DTM extraction of LiDAR returns via adaptive processing. *IEEE Transactions of Geoscience Remote Sensing*, 41, 2063–2069.
64. Sithole, G., Vosselman, G. (2004). Experimental comparison of filter algorithms for bare-earth extraction from airborne laser scanning point clouds. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 59, 85–101
65. Awrangjeb, M., Ravanbakhsh, M., Fraser, C.S. (2011). Automatic detection of residential building using LiDAR data and multispectral imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(6), 668–679.
66. Alharthy, A., Bethel, J. (2002). Heuristic filtering and 3D feature extraction from LiDAR data. *International Archives on Photogrammetry and Remote Sensing*, 34 (3A), 29–34.
67. Rottensteiner, F. (2005). Using the Dempster-Shafer method for the fusion of LiDAR data and multispectral images for building detection. *Information Fusion*, 6 (4), 283–300.
68. Wang, J., Shan, J. (2009). Segmentation of LiDAR point clouds for building extraction. *Proceedings of American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Annual Conference*, Baltimore, MD, 9–13.



69. Sohn, G., Huang, X., Tao, V. (2008). Using binary space partitioning tree for reconstructing polyhedral building models from airborne LIDAR data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 74, 1425–1438.
70. Charles, R.Q. (2017). PointNet: Deep Learning on Point Sets for 3D Classification and Segmentation. Available at: <http://stanford.edu/~rqi/pointnet/>
71. Schiewe, J. (2003). Integration of multi-sensor data for landscape modeling using a region-based approach. *ISPRS JPRS*, 57, 371-379.
72. Dorninger, P., Pfeifer, N. (2008). A comprehensive automated 3D approach for building extraction, reconstruction, and regularization from airborne laser scanning point clouds. *Sensors*, 8(11), 7323–7343.
73. Zhang, C., Baltasvias, E., Gruen, A. (2001). Knowledge-based image analysis for 3D road reconstruction. *Asian Journal of Geoinformatics*, 1(4), 3-14.
74. Wang, Z., Schenk, T. (2000). Building extraction and reconstruction from lidar data. *IAPRS*. 17-22 July, Amsterdam, 33, part B3, 958-964.
75. Rottensteiner, D.F., Briese, C. A new method for building extraction in urban areas from high-resolution lidar data. *IAPRS*, 9-13 September, Graz, Austria, 34, Part 3A/B, 295-301.
76. Vestri, C., Devernay, F. (2001). Using robust methods for automatic extraction of buildings. *CVPR*, 1, 133-138.
77. Xu, L. Kong, D., Li, X. (2014). On-the-fly extraction of polyhedral buildings from airborne LiDAR data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(11), 1946–1950.
78. Estivill-Castro, V. (2002). Why so many clustering algorithms: a position paper. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, 4(1), 65–75.
79. Sampath, A., Shan, J. (2007). Building boundary tracing and regularization from airborne LiDAR point clouds. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 73(7), 805–812.
80. Lari, Z., Habib, A. (2014). An adaptive approach for the segmentation and extraction of planar and linear/cylindrical features from laser scanning data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 93(7), 192–212.
81. Kostrikov, S., Bubnov, D., Kostrikova, A., Pudlo, R. (2018), ELiT web-application – the software for urban environment modeling and analysis. *GIS-Forum-2018*, 56-59.
82. Kostrikov, S., Vasiliev, V., Pudlo, R. [and other]. (2019). Urban environment research through its simulation by lidar data processing. *REGION-2019: The strategy for optimal development*. Kharkiv, 34-37.
83. Kostrikov S., Kulakov D., Sehida K. (2014). Programne zabezpechennya GIS dlya LiDAR-technologiei dustantsijnogo zonduvannya v tsilyah analizu urbogeosystem [GIS-software for the urban geosystem analysis with LiDAR-technique]. *Problemu bezpererвної geographichnoi osvitu i kartographii. Proceedings of GIS Forum '2014*, 19, 45-52.
84. Teo, T.-A., Shi, T.Y. (2012). Lidar-based change detection and change type determination in urban areas. *International Journal of Remote Sensing*, 34, 968–981.
85. Zhang, K., Yan, J., Chen, S.C. (2006). Automatic construction of building footprints from airborne LiDAR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(9), 2523–2533.
86. Stilla, U., Jurkiewicz, K. (1999). Reconstruction of building models from maps and laser altimeter data / P. Agouris, A. Stefanidis (Editors). *Integrated Spatial Databases: Digital Images and GIS*. Springer, Berlin, 34–46.
87. Shewchuk, J. (2014). Delaunay refinement algorithms for triangular mesh generation. *Computing Geometry*, 47, 741-778.
88. Shan, J., Sampath, A.. Building extraction from LiDAR point clouds based on clustering techniques. *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing / J. Shan, C. Toth (Editors)*. Boca Raton, FL: CRC Press, Ch. 15, 423–446.
89. Sampath, A., Sha, J. (2008). Building roof segmentation and reconstruction from lidar point clouds using clustering techniques. *International Archive of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXXVII, Part B3a, 279-284.
90. Tarsha-Kurdi, F., Landes, T., Grussenmeyer, P. (2008). Extended RANSAC algorithm for automatic detection of building roof planes from LIDAR data. *Photogrammetric Journal of Finland*, 21(1), 97-109.
91. Sun, S., Salvaggio, C. (2013). Aerial 3D building detection and modeling from airborne LiDAR point clouds. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 6(3), 1440-1449.
92. Fan, H., Yao, W., Fu, Q. (2014). Segmentation of Sloped Roofs from Airborne LiDAR Point Clouds Using Ridge-Based Hierarchical Decomposition. *Remote Sensing*, 6, 3284-3301.
93. Tse, R. Gold, Ch., Kidner, D. (2007). Using the Delaunay Triangulation/ Voronoi Diagram to extract Building Information from Raw LIDAR Data. *4th International Symposium on Voronoi Diagrams in Science and Engineering (ISVD 2007)*. IEEE Xplore Digital Library. Print ISBN: 0-7695-2869-4.
94. Tse, R., Dakowicz, M., Gold, C.M. (2005). Building reconstruction using LIDAR data. *Proceedings 4th ISPRS workshop on dynamic and multi-dimensional GIS*. Pontypridd, Wales, UK, 156–161.
95. Nan, L., Jiang, C., Ghanem, B. [and other]. (2015). Template assembly for detailed urban reconstruction. *Computer Graphics Forum*, 34, 217–228.
96. Nan, L., Wonka, P. (2017). Polyfit: Polygonal surface reconstruction from point clouds / L. Nan, P. Wonka // *Proceedings International Conference on Computer Vision*. Available at: [http://openaccess.thecvf.com/content\\_ICCV\\_2017/papers/Nan\\_PolyFit\\_Polygonal\\_Surface\\_ICCV\\_2017\\_paper.pdf](http://openaccess.thecvf.com/content_ICCV_2017/papers/Nan_PolyFit_Polygonal_Surface_ICCV_2017_paper.pdf)
97. Tait, M.G. (2005). Implementing geoportals: applications of distributed GIS. *Computers, Environment and Urban Systems*, 29(1), 33-47.
98. Beaumont, P., Longley, P.A., Maguire, D.J. (2005). Geographic information portals – a UK perspective. *Computers, Environment and Urban Systems*, 29(1), 49-69.



УДК 911.2:556.5

**Вардуи Гургеновна Маргарян,**

к. геогр. н., доцент кафедри фізическої географії і гідрометеорології,  
факультет географії і геології, Єреванський державний університет,  
ул. Алека Манукяна, 1, г. Єреван, 0025, Армєнія,  
e-mail: [vmargaryan@ysu.am](mailto:vmargaryan@ysu.am), <https://orcid.org/0000-0003-3498-0564>;

**Валентина Григорьевна Клименко,**

доцент кафедри фізическої географії і картографії,  
факультет геології, географії, рекреації і туризму,  
Харьківський національний університет імені В. Н. Каразіна,  
пл. Свободи, 4, г. Харьків, 61022, Україна,  
e-mail: [valent.klimenko@gmail.com](mailto:valent.klimenko@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-6777-1606>;

**Татьяна Григорьевна Ткаченко,**

к. геогр. н., доцент кафедри фізики і вищєй математики,  
Харьківський національний аграрний університет імені В. В. Докучаєва,  
п/о «Докучаєвське - 2», Харьківський р-н, Харьківська обл., 62483, Україна,  
e-mail: [ttg298240@gmail.com](mailto:ttg298240@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0811-6345>

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЗИМНЕГО МИНИМАЛЬНОГО МЕСЯЧНОГО СТОКА В РЕКАХ БАССЕЙНА ОЗЕРА СЕВАН (АРМЕНИЯ)

*В работе рассматривается пространственно-временная изменчивость зимних минимальных месячных расходов воды рек бассейна озера Севана. Минимальный сток является одной из основных характеристик, который нужно учитывать при проектировании гидротехнических сооружений. Исходя из физико-географических особенностей местности, зимние месячные минимальные расходы рек бассейна озера Севана отличаются неравномерным пространственным распределением и колеблются в широких пределах от 0,015 до 1,68 м<sup>3</sup>/с.*

*На реках исследуемой территории продолжительность зимней межени составляет примерно 3–5 месяцев – с ноября-декабря по февраль-март. Минимальные расходы преимущественно наблюдаются в январе-феврале, а в отдельные годы – в ноябре или марте.*

*Получены тесные корреляционные связи между зимними минимальными месячными расходами и среднемесячным стоком декабря, января и февраля. С помощью этих связей, имея данные о среднемесячном стоке, можно заранее спрогнозировать зимние минимальные месячные расходы воды рек бассейна озера на календарный год. Наличие довольно-таки тесной связи между ними свидетельствует о том, что насколько мал минимальный месячный сток, настолько же мал средний сток за зимний период и наоборот.*

*На исследуемой территории наблюдается закономерное повышение минимального стока с увеличением площадей водосборов и с увеличением средневзвешенной высоты водосборов.*

*На территории бассейна озера Севан коэффициент вариации зимних минимальных месячных расходов составляет 0,15–0,60, а коэффициент асимметрии – от -0,64 до 1,77. Получена корреляционная прямо пропорциональная связь между величинами коэффициентов вариации и асимметрии зимнего среднего минимального месячного стока.*

*Было также установлено, что у большинства рек, впадающих в озеро Севан (из 12 постов на 7) наблюдается тенденция роста зимних среднедекадных минимальных расходов воды. Исключение составляют реки Масрик, Мартуни, Бахтак, Личк и Гаварагет.*

**Ключевые слова:** *изменчивость, пространственно-временное распределение, минимальные месячные расходы, коэффициенты вариации и асимметрии, бассейн озера Севан, Армения.*

**В. Г. Маргарян, В. Г. Клименко, Т. Г. Ткаченко. ПРОСТОРОВО-ЧАСОВА МІНЛИВІСТЬ ЗИМОВОГО МІНІМАЛЬНОГО МІСЯЧНОГО СТОКУ У РІЧКАХ БАСЕЙНУ ОЗЕРА СЕВАН (ВІРМЕНІЯ).** *В роботі розглядається просторово-часова мінливість зимових мінімальних місячних витрат води річок басейну озера Севан. Мінімальний стік є однією з основних характеристик, який потрібно враховувати при проектуванні гідротехнічних споруд. Виходячи з фізико-географічних особливостей місцевості, зимові місячні мінімальні витрати річок басейну озера Севан відрізняються нерівномірним просторовим розподілом і коливаються в широких межах від 0,015 до 1,68 м<sup>3</sup>/с.*

*На річках досліджуваної території тривалість зимової межени становить приблизно 3-5 місяців - з листопада-грудня по лютий-березень. Мінімальні витрати переважно спостерігаються в січні-лютому, а в окремі роки - в листопаді або березні.*

*Отримано тісні кореляційні зв'язки між зимовими мінімальними місячними витратами і середньомісячним стоком грудня, січня і лютого. За допомогою цих зв'язків, маючи дані про середньомісячний стік, можна заздалегідь спрогнозувати зимові мінімальні місячні витрати води річок басейну озера на календарний рік. Наявність досить-таки тісного зв'язку між ними свідчить про те, що наскільки малий мінімальний місячний стік, настільки ж малий середній стік за зимовий період і навпаки.*

*На досліджуваній території спостерігається закономірне підвищення мінімального стоку зі збільшенням площ водозборів та зі збільшенням середньозваженої висоти водозборів.*

*На території басейну озера Севан коефіцієнт варіації зимових мінімальних місячних витрат становить 0,15-0,60, а коефіцієнт асиметрії - від -0,64 до 1,77. Отримано кореляційний прямо пропорційний зв'язок між величинами коефіцієнтів варіації та асиметрії зимового середнього мінімального місячного стоку.*

*Було також встановлено, що у більшості річок, що впадають в озеро Севан (з 12 постів на 7) спостерігається тенденція зростання зимових середньодекадних мінімальних витрат води. Виняток становлять річки Масрик, Мартуни, Бахтак, Личко і Гаварагет.*

**Ключові слова:** *мінливість, просторово-часовий розподіл, мінімальні місячні витрати, коефіцієнти варіації та асиметрії, басейн озера Севан, Вірменія.*

**Введение.** Минимальный сток является одной из основных характеристик, который нужно учитывать при проектировании гидротехнических сооружений. Немаловажно знать его значения в меженный период, рассматривать режим минимального стока в период перехода рек на подземное питание. Кроме того, это имеет важное значение при исследовании других источников питания рек, изучении внутригодового распределения стока. Минимальный сток представляет собой один из лимитирующих факторов, который имеет практическое применение. Так при проектировании гидроэлектростанций, водохранилищ, создании прудов для рыбозаведения важны минимальные средние месячные расходы воды 75 – 95 % обеспеченности, тогда как для водопотребления – средние (летние и зимние) суточные минимальные расходы воды 95 % обеспеченности. Данные о минимальном стоке нужны также для орошения, поскольку антропогенная нагрузка в последнее время значительно возросла.

Изучение формирования минимального стока рек требует проведения детальных исследований распределения модулей минимального стока разной обеспеченности в отдельные месяцы летне-осенней и зимней межени. Более того необходимо более глубоко изучать влияние физико-географических факторов на формирование минимального стока рек.

Будучи сложным природным процессом, который формируется в географической среде, важно определить степень влияния физико-географических факторов, а именно: климата, рельефа, разнообразия почв, растительности, озерности, заболоченности, карста, влияния хозяйственной деятельности человека и т. д. Разновидность подстилающей поверхности обеспечит формирование минимального стока за счет подземного питания, часть которого может быть разной.

Изучение минимального стока рек является актуальным, так как в мире продолжается проявляться тенденция глобального потепления. В этот период важен статистический анализ динамики распределения зимнего и летнего минимального стока рек.

**Методики исследований и исходные данные.** Для решения поставленных задач в работе были использованы данные многолетних наблюдений расходов воды на 12 гидрологических постах изучаемой территории, имеющих продолжительные ряды наблюдений (40 лет и более). Основанием для изучения зимнего минимально-

го расхода воды в данной статье послужило то, что во многих водохозяйственных организациях Армении они имеют широкое применение, ими оперируют при гидрологических расчетах и проектных разработках.

В статье использованы методы: математико-статистический, экстраполяции, интерполяции, анализа, аналогии, корреляционный.

**Целью** данной работы является анализ и оценка закономерностей временного и пространственного изменений зимних минимальных месячных расходов воды в ряде многолетних наблюдений для рек, которые впадают в озеро Севан.

**Результаты исследований.** На реках исследуемой территории наблюдается хорошо выражена устойчивость стока в зимний период. Зимнее маловодье устанавливается с конца ноября-декабря по февраль-март и продолжается примерно 3–4-5 месяцев (рис. 1). Зимние месячные минимальные расходы преимущественно наблюдаются в январе-феврале. Однако, в отдельные годы расходы наблюдались в ноябре или марте и поэтому зимние месячные минимальные расходы наблюдались за период XI–III месяцы. В этот период расходы воды на реках изучаемой территории резко понижаются (13–40% от величины среднего годового стока), что обусловлено питанием рек подземными водами. По проведенным расчетам сток зимней межени для рек с подземным питанием может составлять 35–40% от годового стока, а для рек, что имеют преимущественно поверхностное питание – 13–22%. В результате исследования установлено, что сток летне-осеннего маловодного периода (VII–IX) уступает (на нескольких реках – значительно) стоку зимнему маловодному периоду (XI–III). Обычно летний маловодный период должен превышать зимний, поэтому возможно нарушение этой закономерности, которое обусловлено водопотреблением.

Воды рек, впадающих в озеро, используются в питьевых, бытовых, оросительных, промышленных, гидроэнергетических целях, а также в рыбном хозяйстве, в целях обводнения. Значительная часть водопотребления (57,1 %), приходится на долю сельского, рыбного и лесного хозяйств. Причем, из подземных водных источников водозабор составляет значительную часть общего водозабора – 64,6–79,9%. Однако из-за отсутствия данных водозабора из рек, в работе использованы только результаты фактических наблюдений. С другой стороны, нужно отметить, что обсуждаемый за зимний период сток можно

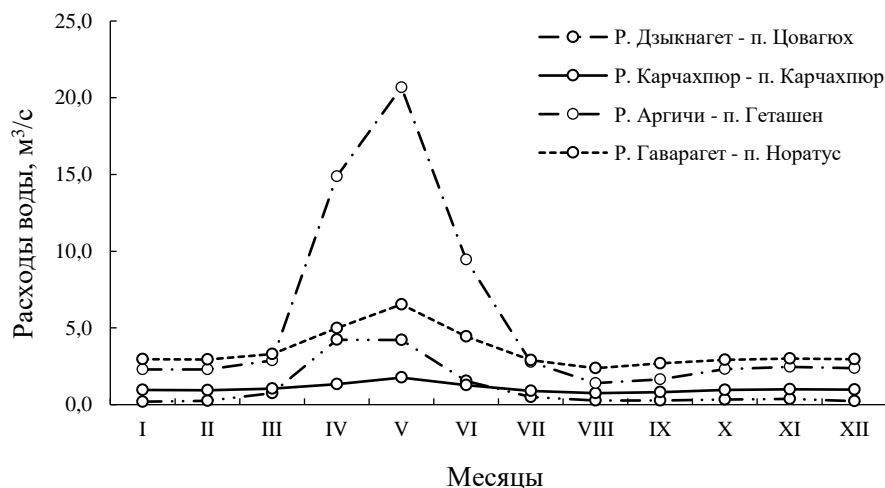


Рис. 1. Внутрірічні розподіли витрат води на основних реках басейна озера Севан

принять близьким к естественному, так как в это время нет орошения, а это, как было отмечено, является главным потребителем воды изучаемой территории.

Минимальный сток рек бассейна озера формируется в сложных природных условиях, благодаря сложности горного рельефа и геологического строения, разнообразия климатических условий и ряда других природных факторов. Их влияние нашло отражение в неравномерности пространственного распределения минимального декадного стока. Так, на изучаемой территории, диапазон зимних месячных минимальных расходов в среднем колеблется в широких пределах – от 0,066 (р. Драхтик – п. Драхтик) до 2,73 м³/с (р. Гаварагет – п. Норатус) (табл. 1). Максимальные значения месячных минимальных расходов находятся в диапазоне от 0,12 м³/с (р. Памбак – п. Памбак) до 4,61 (р. Аргичи – п. Геташен), а минимальные значения – от 0,015 (р. Драхтик – п. Драхтик) до 1,68 м³/с (р. Гаварагет – п. Норатус). Величины среднего расхода зимнего периода (XI–III) колеблются от 0,10 до 3,02 м³/с. Формирование устойчивого снежного покрова в бассейне озера в холодный период года и замерзание отдельных участков рек обуславливает меньшие значения зимних минимальных месячных расходов. Меньшие значения этих расходов характерны также и для рек с поверхностным питанием, а сравнительно большие значения – для рек бассейна с подземным питанием.

В ходе исследований были проведены, а также получены тесные корреляционные связи между зимними минимальными месячными расходами и среднемесячным стоком декабря (рис. 2. а), января (рис. 2. б) и февраля (рис. 2. в).

С помощью этих связей, имея данные о среднемесячном стоке, можно заранее спрогно-

зировать зимние минимальные месячные расходы указанных рек бассейна озера на календарный год. Из этого следует, что на указанных реках зимние минимальные декадные расходы наблюдаются преимущественно в январе.

В результате исследования получены также тесные корреляционные связи между зимним минимальным месячным стоком и средним стоком зимнего периода (рис. 3. а) и между зимним средним минимальным месячным стоком и средним годовым стоком (рис. 3. б) на реках бассейна озера Севан. Эти связи можно использовать для получения зимних минимальных месячных расходов неизученных и мало изученных рек исследуемой территории за календарный год. Наличие тесной связи между ними свидетельствует о том, насколько мал минимальный месячный сток, настолько же мал и средний сток за зимний период и наоборот. В качестве минимального месячного стока выбрано наименьшее значение месячных стоков зимнего периода, поэтому, минимальный месячный сток намного меньше, чем средний сток зимнего периода. Эта тесная связь обусловлена тем, что в зимний период в целом изменчивость стока небольшая, что связано в основном с подземным питанием рек в этот период года.

В работе рассмотрены закономерности изменения зимнего минимального месячного стока от факторов подстилающей поверхности – площадей водосборов и их средних высот. Анализируя полученные зависимости (рис. 4) можно отметить, что для рассматриваемой территории наблюдается закономерное повышение минимального стока с увеличением площадей водосборов, зависимости носят линейный характер и подтверждаются значимыми коэффициентами корреляции.

Основные гидрометрические характеристики водосборов и характеристики минимальных месячных расходов за XI–III период рек бассейна о. Севан

Река – пункт	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Средняя высота водосбора, м БС	Период наблюдений, годы	Зимние минимальные месячные расходы, м <sup>3</sup> /с			Средний расход зимнего периода, м <sup>3</sup> /с
				средний	максимальный	минимальный	
р. Дзыкнагет – п. Цовагюх	82,6	2220	1936–39, 1941–44, 1947–2017	0,17	0,52	0,017	0,35
р. Драхтик – п. Драхтик	39,2	2270	1958–63, 1972–92, 1999–2017	0,066	0,17	0,015	0,12
р. Памбак – п. Памбак	20,4	2540	1947–50, 1952–53, 1955–68, 1970–89, 1998–2017	0,076	0,12	0,031	0,10
р. Масрик – п. Цовак	673	2310	1953–2017	2,34	3,39	0,99	2,73
р. Карчахпюр – п. Карчахпюр	116	2650	1952–63, 1965–94, 1998–2017	0,89	1,31	0,27	0,99
р. Ваденис – п. Варденик	117	2760	1935–38, 1940–43, 1945–46, 1949–94, 1998–2017	0,54	0,92	0,098	0,69
р. Мартуни – п. Геховит	84,5	2760	1963–2017	0,66	1,31	0,19	0,77
р. Аргичи – п. Геташен	366	2470	1935–2017	2,10	4,61	0,90	2,46
р. Цахкашен – п. Вагашен	92,4	2570	1971–99, 2004–2017	0,48	0,72	0,16	0,66
р. Личк – п. Личк	33,0	2060	1960–62, 1976–94, 1998–2017	1,62	2,86	0,92	1,82
р. Бахтак – п. Цаккар	144	2570	1951–2017	0,13	0,43	0,023	0,21
р. Гаварагет – п. Норатус	467	2430	1936–44, 1947–48, 1950, 1952–92, 1998–2017	2,73	3,70	1,68	3,02

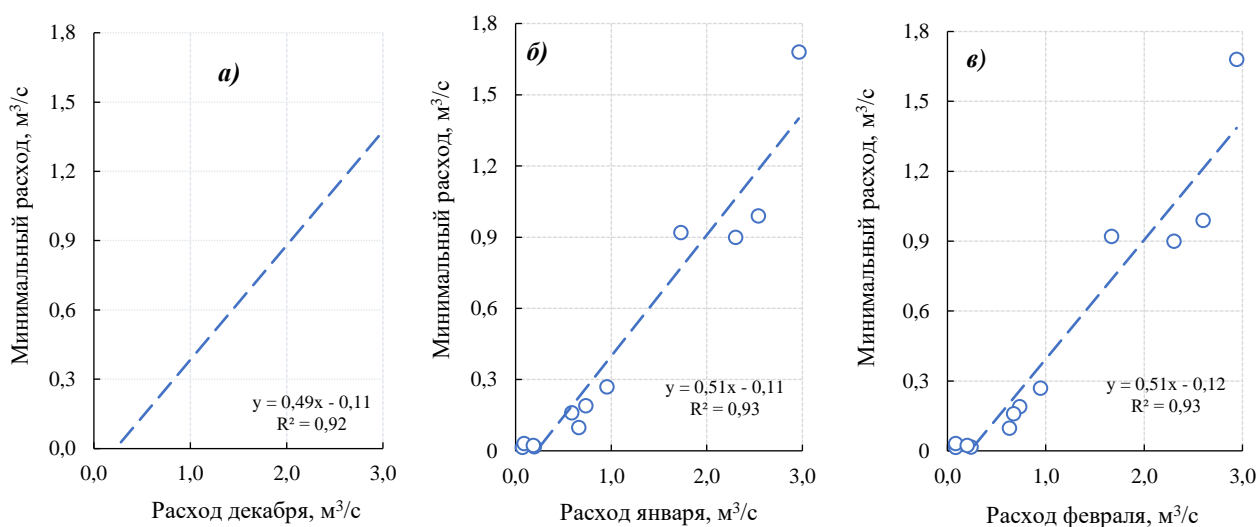


Рис. 2. Корреляционная связь между величинами зимнего минимального месячного стока и среднего месячного стока декабря (а), среднего месячного стока января (б), среднего месячного стока февраля (в)

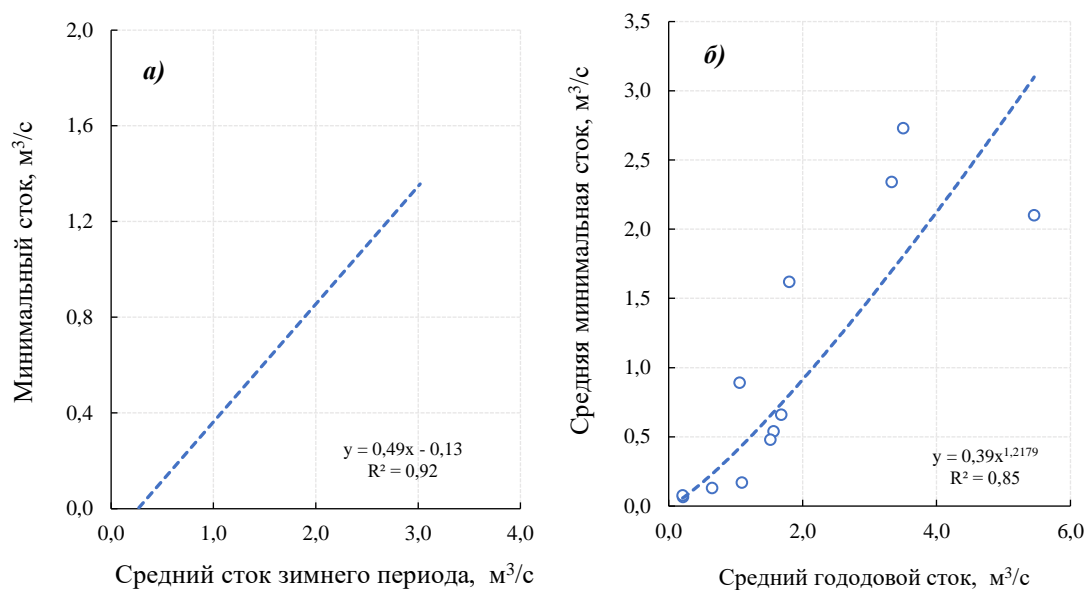


Рис. 3. Корреляційна зв'язь між величинами зимнього мінімального місячного стока і середнього стока зимнього періода (а), між величинами зимнього середнього мінімального місячного стока і середнього річного стока (б)

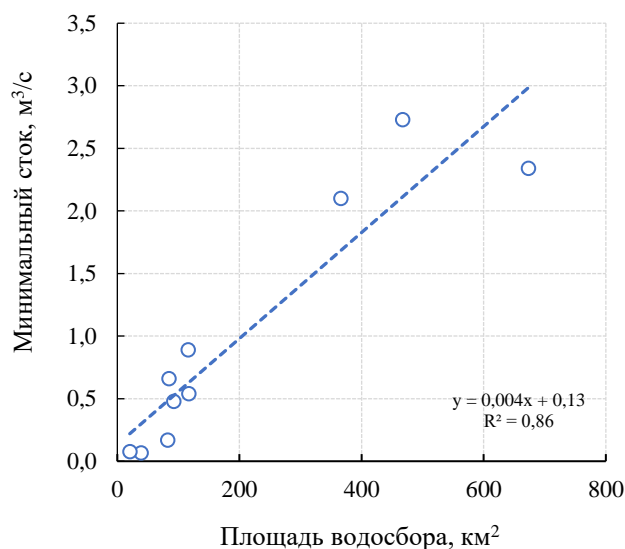


Рис. 4. Зависимость зимнего среднего минимального месячного стока ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) от площади водосбора ( $\text{км}^2$ ) в бассейне озера Севан

С другой стороны, учитывая, что рассматриваются горные регионы, были построены и графики зависимости исследуемой величины от средних высот водосборов. На рис. 5 представлена зависимость между модулем зимнего месячного минимального стока ( $\text{л}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ ) и средне-взвешенной высотой водосбора (м) для рек бассейна озера Севан. Обычно, как правило, с высотой растет модуль среднего минимального месячного зимнего стока. Однако, как в случае зависимости зимнего среднего минимального месячного стока от площади водосбора, так и в случае с высотой водосбора в бассейне озера Севан наблюдаются некоторые отклонения от

закономерностей на двух постах р. Бахтак – Цаккар ( $0,90 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ ) и р. Личк – Личк ( $49,1 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ ). По нашему мнению, эти отклонения обусловлены физико-географическими особенностями речных бассейнов, особенностями питания. Полученные зависимости (рис. 4, рис.5) можно использовать для предварительных расчетов зимнего среднего минимального месячного стока неизученных рек рассматриваемой территории.

На исследуемой территории коэффициент вариации зимних минимальных месячных расходов составляет  $0,15\text{--}0,60$ , а среднее его значение –  $0,34$ . Как правило, небольшие значения измен-



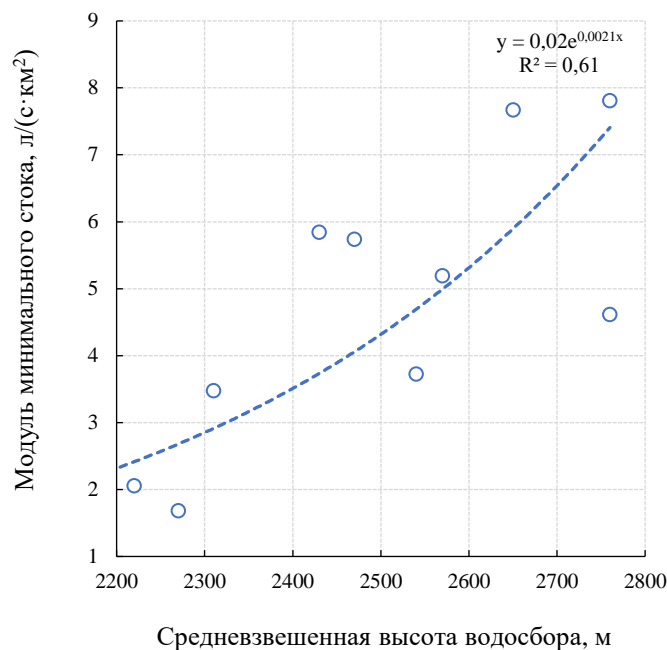


Рис. 5. Зависимость модуля зимнего среднего месячного минимального стока (л/(с·км²)) от средневзвешенной высоты водосбора (м) для рек бассейна озера Севан

чивости наблюдаются на реках, которым свойственна естественная зарегулированность стока и большая доля подземного питания. Так, с относительно большим подземным питанием (на 70% и более превышает поверхностное) на исследуемой территории выделяются такие реки как Масрик, Карчахпюр, Гаварагет. Сравнительно большие коэффициенты вариации наблюдаются и на реках с дождевым питанием и тальми водами, а также на малых реках. Расчетные зна-

чения коэффициента асимметрии зимних минимальных месячных расходов находятся в пределах от  $-0,64$  до  $1,77$ , а среднее его значение  $-0,34$ . Исследования свидетельствуют, что коэффициенты вариации и коэффициенты асимметрии зимних минимальных декадных расходов увеличиваются с высотой.

Статистические характеристики минимальных месячных расходов воды рек бассейна озера Севан за XI-III периоды приведены в табл. 2.

Таблица 2

Статистические характеристики минимальных месячных расходов воды рек бассейна озера Севан за XI-III период

Статистическая характеристика	Река – пункт											
	р. Дзыкнагет – п. Цовагтох	р. Драхтик – п. Драхтик	р. Памбак – п. Памбак	р. Масрик – п. Цовак	р. Карчахпюр – п. Карчахпюр	р. Ваденис – п. Варденик	р. Мартуни – п. Геховит	р. Аргичи – п. Геташен	р. Цахкашен – п. Вагашен	р. Личк – п. Личк	р. Бахтак – п. Цаккар	р. Гаварагет – п. Норатус
Коэффициент вариации	0,46	0,49	0,31	0,21	0,25	0,37	0,32	0,27	0,26	0,33	0,60	0,15
Коэффициент асимметрии	1,77	0,84	0,15	-0,20	-0,64	-0,31	0,49	1,02	-0,56	0,68	1,06	-0,24

В работе также исследованы закономерности изменения коэффициента вариации зимнего минимального стока от площадей водосборов (рис. 6, а) и от коэффициента асимметрии (рис. 6, б). Анализируя полученные зависимости, можно отметить, что для рассматриваемой территории наблюдается закономерное уменьшение минимального стока с увеличением площадей водосборов. Зависимости носят криволинейный характер, что подтверждается значительными коэффициентами корреляции. Полученная корреляционная связь между величинами коэффициентов вариации и асимметрии зимнего среднего минимального месячного стока оказалось прямо пропорциональной.

Были также изучены временные изменения зимних минимальных декадных расходов рек бассейна озера на отдельных гидрологических постах. Результаты исследований показали, что у большинства рек исследуемой территории наблюдается увеличение зимних средних декадных минимальных расходов (рис.7). Так, среди 12 исследуемых постов на 7 (58 %) наблюдается увеличение зимних средних декадных минимальных значений, а на 5 постах (реках Масрик, Мартуни, Бахтак, Личк и Гаварагет), что составляет 42 % происходит уменьшение. В результате исследований можно сделать вывод, что в речных бассейнах, на которых происходили исследования, наблюдается уменьшение запасов подземных вод.

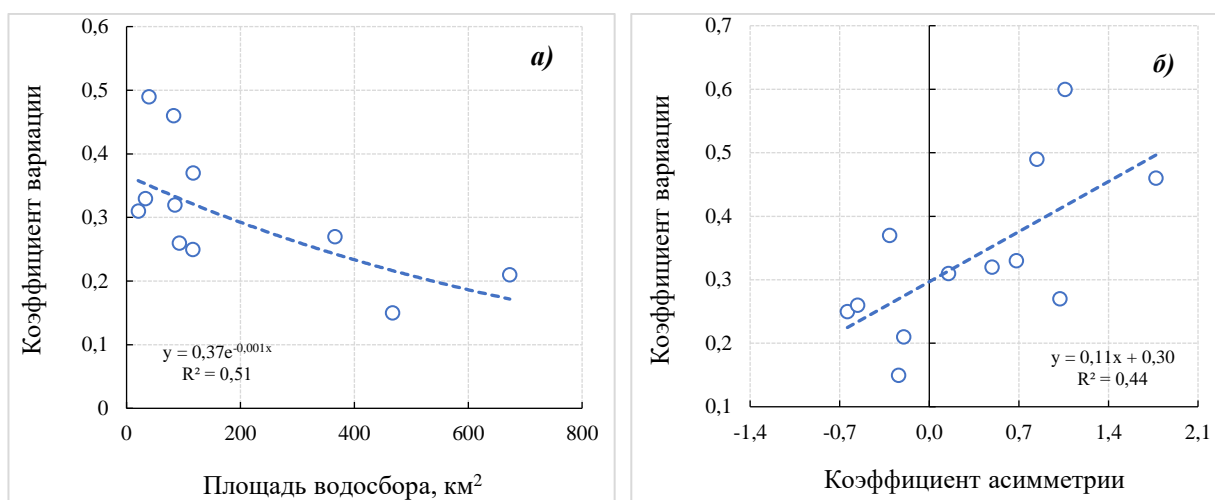


Рис. 6. Корреляционная связь между величинами коэффициента вариации зимнего минимального месячного стока от площадей водосборов (а), между величинами коэффициента вариации и коэффициента асимметрии зимнего среднего минимального месячного стока (б)

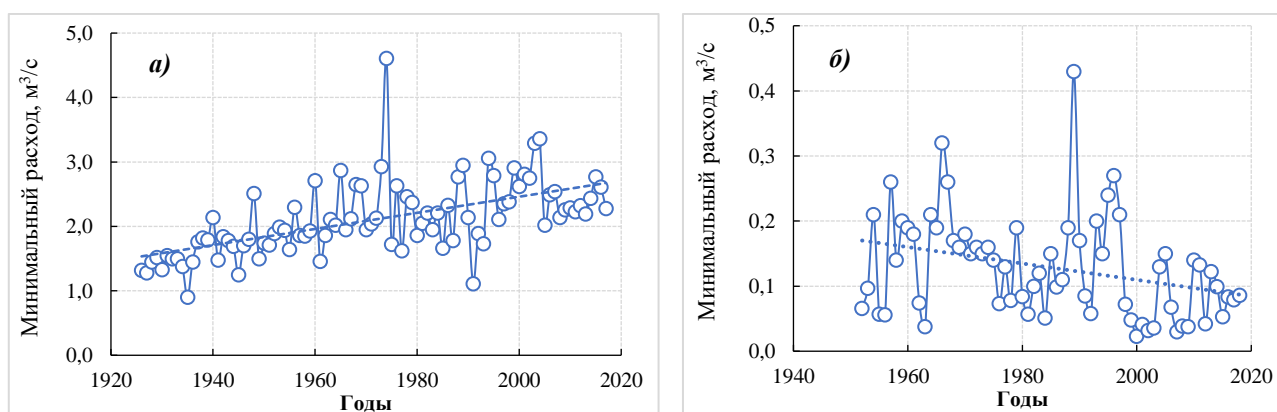


Рис. 7. Временные изменчивости зимних минимальных месячных расходов рек бассейна озера; а – р. Аргичи – п. Геташен, б – р. Бахтак – п. Цаккар

Такие же результаты были получены и в других странах нашей планеты [1, 12–15]. Так, для большинства рек Беларуси характерно увеличение летне-осенних (73% исследуемых рек) и зимних (80%) минимальных расходов воды, но на большей части рек градиент изменения стока

в зимний период достигает больших значений, чем в летне-осенний период [5]. Практически на всей территории ЕТР отмечается увеличение нормы минимального стока. Наибольший рост отмечается в южных частях бассейнов, в степной и лесостепной зонах [10]. Так, Болгов М.В. и др.

[2] определили, что для большей части рек бассейна р. Волга можно выделить две фазы — длительный период пониженной водности (минимальный расход за зимний период) сменяется периодом повышенной водности, который продолжается по настоящее время. Показано, что регулирование стока воды Верхне-Иртышским каскадом водохранилищ привело к существенному увеличению зимнего минимального расхода (на 78 %) [1].

Для рек с уменьшением зимних декадных минимальных расходов, речные экосистемы становятся более уязвимыми, что приводит к резкому возрастанию степени риска водопотребления. В речных бассейнах, на которых интенсивно развита гидроэнергетика, в настоящее время наблюдается неблагоприятное экологическое

состояние, которое характерно и для других речных бассейнов изучаемой территории. С другой стороны, сток малых рек часто почти полностью расходуется благодаря неэффективному водозбору из рек и в результате чего часть рек зимой полностью замерзают.

Была также изучена оценка влияния климатических факторов на сток рек, а именно временной ход средних температур и атмосферных осадков в зимний период для бассейна рек, впадающих в озеро Севан (рис. 8). Анализ линий трендов показывает, что на всех метеостанциях бассейна наблюдается рост температуры воздуха, атмосферных осадков, которые обуславливают положительную динамику изменений зимних минимальных декадных расходов бассейна озера Севан.

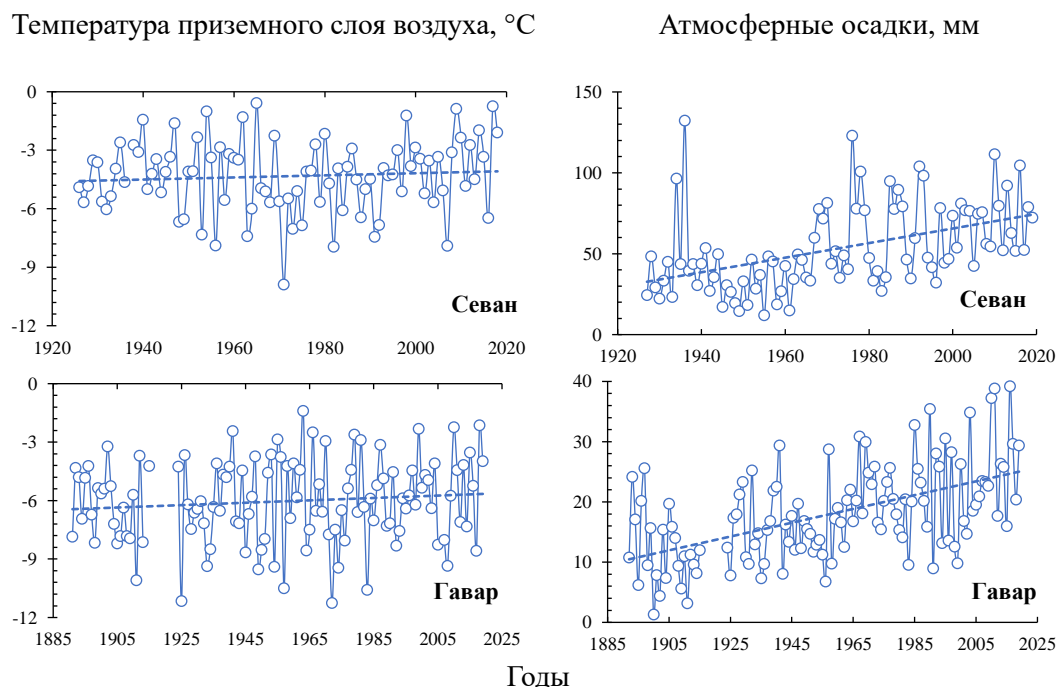


Рис. 8. Линии тренда межгодового хода средних температур приземного слоя воздуха и атмосферных осадков за зимний период в бассейне оз. Севан

**Выводы.** Таким образом исследования показали, что в минимальном стоке рек выявлены различные тренды, обусловленные случайными изменениями, отражающие климатические изменения. Так, тенденция повышения зимних минимальных месячных расходов рек обусловлена положительной изменчивостью распределения температур воздуха и атмосферных осадков за зимний период в виде устойчивого снежного покрова, замерзания отдельных участков рек. Зимний минимальный месячный расход колеблется от 0,015 (р. Драхтик) до 1,68 м<sup>3</sup>/с (р. Гаварагет). Больших значений зимних минимальных месячных расходов воды достигают преимущественно реки, имеющие подземное питание.

У большинства рек, впадающих в озеро Севан (из 12 постов на 7) наблюдается тенденция роста зимних среднедекадных минимальных расходов воды. Исключения составляют реки Масрик, Мартуни, Бахтак, Личк и Гаварагет.

Получены также тесные корреляционные связи между зимним минимальным месячным стоком и средним стоком зимнего периода, а также средним годовым стоком на реках бассейна озера Севан. Эти данные можно использовать при изучении зимних минимальных месячных расходов неизученных и мало изученных рек исследуемой территории за календарный год.

Исследования показали, что с высотой водосборов растет модуль минимального стока. Однако бывают отклонения от этих закономерностей.

стей. Примером могут быть реки Бахтак и Личк, формирование гидрологического режима которых, обусловлено местными физико-географическими факторами и особенностями питания

рек. Такие тенденции изменения зимних минимальных месячных расходов воды в бассейнах рек, впадающих в озеро Севан, нужно учитывать при решении водохозяйственных проблем.

#### Литература

1. Бейсембаева М.А. Минимальный сток Иртыша в равнинной части бассейна на территории Республики Казахстан в условиях антропогенной нагрузки / М.А. Бейсембаева, Л.И. Дубровская, В.А. Земцов // Известия Томского политехнического университета. – Инжиниринг георесурсов, 2016. – Т. 327. – № 4. – С. 35–43.
2. Болгов М.В. Современные изменения минимального стока на реках бассейна р. Волга / М.В. Болгов, Е.А. Коробкина, М.Д. Трубецкова, М.К. Филимонова, И.А. Филиппова // Метеорология и гидрология, 2014, № 3. – С. 75–84.
3. Варданян Т.Г. Зимний минимальный сток р. Аргичи и его расчет / Т.Г. Варданян // Ученые записки ЕГУ, N 2, 1991. – С. 150–156. [На армянском яз.]
4. Волчек А.А. Минимальный сток рек Беларуси: монография / А.А. Волчек, О.И. Грядунова // Брест. гос. ун–т имени А.С. Пушкина. Брест: БрГУ, 2010. – 169 с.
5. Гуревич Е.В. Влияние температуры воздуха на зимний сток рек (на примере бассейна р. Алдан) / Е.В. Гуревич // Метеорология и гидрология, 2009. – № 9. – С. 92–99.
6. Маргарян В.Г. Анализ и оценка изменения зимних наименьших среднедекадных расходов воды притоков озера Севан / В.Г. Маргарян, Т.М. Давтян, А.М. Амроян и др. // Современные задачи географии и геологии. (Материалы международного симпозиума, посвященного 100-летию основания Ереванского Государственного Университета, Факультет Географии и геологии, Ереван, 27–29 сентября, 2018). Издательство ЕГУ. – 2018. – С. 242–246. [На армянском яз.]
7. Мурадян З.З. Расчет и оценка риска экстремальных расходов рек бассейна Аракс РА / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук. – Ереван, 2014. – 32 с. [На армянском яз.]
8. Ресурсы поверхностных вод СССР / Под ред. А.П. Муранова. – М.: Гидрометеоиздат, 1973. – Том 9, бассейн р. Аракса, вып. 2. – 472 с.
9. Филиппова И.А. Минимальный сток рек Европейской части России и его оценка в условиях изменения климата. – Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук. – М.: ИВП РАН, 2014. – 210 с.
10. Шагинян М.В. О возможности прогнозирования меженного стока по уровням грунтовых вод / М.В. Шагинян, Б.П. Мнацаканян // Сборник работ Ереванского ГМО, Том 9, бассейн р. Аракса, вып. 2. – 1982. – Вып. 4. – С. 36–39.
11. Хільчевський В.К. та ін. Гідролого–гідрохімічна характеристика мінімального стоку річок басейну Дніпра / За ред. В.К. Хільчевського. – К.: Ніка-Центр, 2007. – 184 с.
12. Frolova N.L. Many-year variations of river runoff in the selenga basin / N.L. Frolova, P.A. Belyakova, V.Yu. Grigor'ev et al. // Water Resources and the Regime of Water Bodies, 2017. – Vol. 44. – No. 3. – Pp. 359–371. <https://doi.org/10.1134/S0097807817030101>
13. Rets E.P. Recent trends of river runoff in the North Caucasus / E.P. Rets, R.G. Dzhamalov, M.B. Kireeva et al. // Geography, environment, sustainability. 2018. – No. 11(3). – Pp. 61–70.
14. Telegina E.A. Spatial and temporal variations of winter discharge under climate change: Case study of rivers in European Russia // Remote Sensing and GIS for Hydrology and Water Resources (IAHS Publ. 368, 2015) (Proceedings RSHS14 and ICGRHWE14, Guangzhou, China, August 2014). – Pp. 245–250. <https://doi.org/10.5194/piahs-368-245-2015>

**Вклад авторов:** все авторы сделали равный вклад в эту работу.

UDC 911.2:556.5

***Varduhi Margaryan,***

PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Physical Geography and Hydrometeorology,  
Yerevan State University, 1 Alek Manoukian St., Yerevan, 0025, Armenia,  
e-mail: [vmargaryan@ysu.am](mailto:vmargaryan@ysu.am), <https://orcid.org/0000-0003-3498-0564>;

***Valentina Klymenko,***

Associate Professor, Department of Physical Geography and Cartography,  
Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University,  
4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,  
e-mail: [valent.klimenko@gmail.com](mailto:valent.klimenko@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-6777-1606>;

***Tetiana Tkachenko,***

PhD (Geography), Associate Professor,  
V. V. Dokuchaiev Kharkiv National Agrarian University,  
"Dokuchaevskoye-2", Kharkov district, Kharkov region, 62483, Ukraine,  
e-mail: [ttg298240@gmail.com](mailto:ttg298240@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0811-6345>

**SPATIAL-TEMPORARY VARIABILITY OF THE WINTER MINIMUM MONTHLY RUNOFF  
IN THE RIVERS OF LAKE SEVAN BASIN (ARMENIA)**

**Formulation of the problem.** The paper considers spatial-temporary variability of the winter minimum monthly flow rates of the rivers in the basin of Lake Sevan, as well as air temperature and atmospheric precipitation of the basin. The values of hydrological and statistical characteristics of the winter minimum monthly expenditure have been calculated.

**Purpose of the work is:** to analyze and evaluate the patterns of temporal and spatial changes in the winter minimum monthly water discharge in a number of long-term observations for rivers that flow into Lake Sevan.

**Methods.** The study is based on observation data from 12 hydrological posts of the “Service for Hydrometeorology and Active Impact on Atmospheric Phenomena” of the Ministry of Emergencies of the Republic of Armenia. The following methods were used for this purpose: mathematical-statistical, extrapolation, interpolation, analysis, analogy, correlation.

**Results.** Minimum runoff is one of the main characteristics to be considered when designing hydraulic structures. Duration of winter low-water period is approximately 3–4–5 months on the rivers of the studied territory. It is established from late November – December to February – March. Minimum consumption is mainly found in January-February. However, in some years it is possible in November or March.

Based on physical and geographical features of the area, the monthly winter minimum flow rates of the rivers of the Lake Sevan basin are characterized by uneven spatial distribution. Winter monthly minimum consumption ranges widely from 0.015 to 1.68 m<sup>3</sup>/s.

Close correlations between the winter minimum monthly and the average runoff of the winter period and between the winter average minimum monthly runoff and the average annual runoff were also obtained. These relations can be used to obtain the winter minimum monthly consumption of unexplored and little studied rivers of the territory under discussion for a calendar year. A close relationship between them indicates that depending on the low minimum monthly runoff, the average runoff during the winter period is just as low, and vice versa.

In the study area, there is a regular increase in the minimum runoff with an increase in catchment areas, as well as with an increase in the weighted average height of the catchment.

The variation coefficient of winter minimum monthly consumption is 0.15–0.60 on the territory of the Lake Sevan basin and the asymmetry coefficient is from -0.64 to 1.77. As a rule, there is a regular decrease in the minimum runoff with an increase in catchment areas. The correlation directly proportional relationship has been obtained between the coefficients values of variation and asymmetry of the winter average minimum monthly flow.

There is a tendency to an increase in winter average decade decimal consumption in most rivers flowing into Lake Sevan (7 out of 12 studied posts, that is, in 58% of cases) and an increase in air temperatures and precipitation at all currently operating meteorological stations in the basin.

**Keywords:** variability, spatial-temporary distribution, minimum monthly consumption, variation and asymmetry coefficients, Lake Sevan basin, Armenia.



### References

1. Beysembaeva M.A. et al. (2016). Minimum flow of the upper irtysk river in the basin flat part in the republic of kazakhstan under anthropogenic impact. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 327, 4, 35–43. [in Russian].
2. Bolgov M. V., Korobkina E. A., Trubeckova M. D., Filimonova M. K., Filippova I. A. (2014). Modern changes in the minimum runoff in the rivers of the basin of the river Volga. *Meteorology and hydrology*, 3, 75-84. [in Russian].
3. Vardanian T.G. (1991). The minimal flow of the river Argidji in winter and the methods of its calculation. *Proceedings of the YSU, Series Geology and Geography*, 2, 150-156. [in Armenian].
4. Volchek A.A., Gryadinova O.I. (2010). Minimum runoff of the rivers of Belarus: monography. A.S. Pushkin Brest. state University. Brest: BrSU, 169. [in Russian].
5. Gurevich E.V. (2009). Air Temperature Influence on the Winter River Runoff (Case Study of the Aldan River Basin). *Meteorology and hydrology*, 9, 92-99. [in Russian].
6. Margaryan V.G., Davtyan T.M., Amroyan A.M., Churshudyan S.A., Sargsyan K.G., Matevosyan V.A. (2018). Analysis and assessment of changes in the winter minimum mean decadal water flow in the tributaries of lake Sevan. *Contemporary issues of geography and geology. Dedicated to the 100th Anniversary of the Yerevan State University, International Conference Proceedings September 27-29, 2018, Yerevan. YSU*, 242-246. [in Armenian].
7. Muradyan Z.Z. (2014). Calculations and risk assessment of the extreme outcomes of the rivers of the Araks Basin of the RA. Thesis for the degree of candidate of geographical sciences. Yerevan, 32. [in Armenian].
8. Surface water resources of the USSR, Volume 9, the Araks River basin, Issue 2. L.: Gidrometeoizdat. [in Russian].
9. Filippova I.A. (2014). The minimum flow of rivers in the European part of Russia and its assessment in the context of climate change. Candidate's thesis. Moscow, 210. [in Russian].
10. Shaginyan M.V., Mnatsakanyan B.P. (1982). About the possibility of forecasting low-flow runoff through the groundwater levels. *Collected Works of the Yerevan GMO*, 4, 36-39. [in Russian].
11. Khilchevsky V.K., Romas I.M., Romas M.I., Grebin V.V., Shevchuk I.O., Chunarev O.V. (2007). Hydro-hydrochemical characteristic of the minimum runoff of rivers the Dnipro basin. K.: Nika-Center, 184. [in Ukrainian].
12. Frolova N.L., Belyakova P.A., Grigor'ev V.Yu., Sazonov A.A., and Zotov L.V. (2017). Many-year variations of river runoff in the selenga basin. *Water Resources and the Regime of Water Bodies*, 44, 3, 359–371. <https://doi.org/10.1134/S0097807817030101>
13. Rets E.P., Dzhamalov R.G., Kireeva M.B., Frolova N.L., Durmanov I.N., Telegina A.A., Telegina E.A., Grigoriev V.Y. (2018). Recent trends of river runoff in the North Caucasus. *Geography, environment, sustainability*, 11(3), 61-70.
14. Telegina E.A. (2015). Spatial and temporal variations of winter discharge under climate change: Case study of rivers in European Russia. *Remote Sensing and GIS for Hydrology and Water Resources (IAHS Publ. 368, 2015) (Proceedings RSHS14 and ICGRHWE14, Guangzhou, China, August 2014)*, 245-250. <https://doi.org/10.5194/piahs-368-245-2015>

УДК: 911.375.632:711.27(477.74)

**Валентина Дем'янівна Олійник,**

к. геог.н., доцент кафедри геодезії та землеустрою  
Одеської державної академії будівництва та архітектури,  
вул. Дідріхсона 4, м. Одеса, 65029, Україна,

e-mail: [v.oleynik7777@gmail.com](mailto:v.oleynik7777@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-6451-556X>;

**Наталія Володимирівна Стаднікова,**

асистент кафедри геодезії та землеустрою Одеської державної академії будівництва та архітектури,

e-mail: [stadnikova.nvs@gmail.com](mailto:stadnikova.nvs@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0001-6656-5766>

## МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖІ ПРИМІСЬКОЇ ЗОНИ МІСТА ОДЕСА

*В статті висвітлено актуальність дослідження щодо питання визначення меж приміських зон. Розглянуто варіанти делімітації меж за існуючими законодавчими актами. Крім того аналіз досліджень і публікацій учених дав можливість окреслити й інші підходи до визначення меж приміської зони й порівняти результати з зазначеною межею приміської зони в Генеральному плані м. Одеси. Таким чином, проведено розрахунки та візуалізовано, за допомогою програмного забезпечення ArcGIS Pro, кілька варіантів визначення межі приміської зони міста Одеса, а саме застосовано методичний підхід з розрахунку індексу концентрації населення, результати якого підтвердили наші припущення щодо концентрації населення в приміській зоні. Другий методичний підхід з розрахунку гравітаційної моделі на основі параметру відстані дав можливість зробити висновок про вирішальну роль доступності населених пунктів до міста-центру. В третьому підході, за допомогою гравітаційної моделі Г. Кареема, яка поєднує параметр відстані та демографічний потенціал центрів дослідження, визначили межі приміської зони міста Одеси, які максимально корелюють з зазначеною межею в Генеральному плані.*

*Отже проведені дослідження дають можливість стверджувати, що одним із важливих показників у визначенні межі приміської зони є часова ізохрона, тобто доступність до міста, яка, в більшості випадків, формує багатоаспектні зв'язки міста і приміської зони. Делімітація меж приміських зон міст дасть можливість цілеспрямованого планування територій, організації ефективної системи господарювання, встановлення географічних особливостей розвитку міста, використання для міської забудови територіальних ресурсів передмістя, взаємозв'язок розвитку міста та його приміської зони.*

**Ключові слова:** приміська зона, методичні підходи, параметр відстані, доступність, показник, планування.

**В. Д. Олійник, Н. В. Стаднікова. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦЫ ПРИГОРОДНОЙ ЗОНЫ ГОРОДА ОДЕССА.** В статье освещена актуальность исследования относительно вопроса определения границ пригородных зон. Рассмотрены варианты делимитации границ по существующим законодательными актами. Кроме того, анализ исследований и публикаций ученых дал возможность выделить и другие подходы к определению границ пригородной зоны и сравнить результаты с указанной границей пригородной зоны в Генеральном плане г. Одессы. Таким образом, проведены расчеты и визуализированы результаты, с помощью программного обеспечения ArcGIS Pro, несколько вариантов определения границ пригородной зоны города Одесса, а именно: применен методический подход по расчету индекса концентрации населения, результаты которого подтвердили наши предположения относительно концентрации населения в пригородной зоне. Второй методический подход представляет собой расчет гравитационной модели на основе параметра расстояния. Результаты позволили сделать вывод о решающей роли доступности населенных пунктов к городу-центру. В третьем подходе, с помощью гравитационной модели Г. Кареема, которая сочетает параметр расстояния и демографический потенциал центров исследования, определены границы пригородной зоны города Одессы, которые максимально коррелируют с указанными границами в Генеральном плане.

*Итак, проведенные исследования дают возможность утверждать, что одним из важных показателей в определении границы пригородной зоны является временная изохрона, то есть доступность к городу, что, в большинстве случаев, формирует многоаспектные связи города и пригородной зоны. Делимитация границ пригородных зон городов даст возможность целенаправленного планирования территории, организации эффективной системы хозяйствования, установление географических особенностей развития города, использования для городской застройки территориальных ресурсов пригорода, взаимосвязи развития города и его пригородной зоны.*

**Ключевые слова:** пригородная зона, методические подходы, параметр расстояния, доступность, показатель, планирование.

**Актуальність теми.** Значення міст в розвитку економіки країни в минулому, й наразі, має стержневе значення. При цьому важлива роль як в розвитку економічних, соціальних, інфраструктурних процесів самих міст, так і країни в цілому, відіграє потенціал, розвиток приміських зон. Єдиної точки зору на трактування поняття «приміська зона» наразі не має, як і не має чіткого розмежування понять «передмістя», «приміська територія», «приміська зона». Крім того важливе значення має визначення меж міста та приміської зони, так як міста мають тенденцію до «розростання» й «захоплення» прилеглих територій. Межі міст за останніх 20 років істотно

змінилися, що вимагає і відповідного дослідження меж приміської зони, тому тема роботи є актуальною.

**Постановка проблеми.** До визначення меж приміської зони є кілька підходів, які мають законодавче, економічне підґрунтя, проте в органах влади, наукових колах, і нині йдуть обговорення щодо делімітації меж приміської зони, яка б мала багатофункціональні можливості перспективного розвитку міст.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження процесів урбанізації та субурбанізації, які тісно пов'язані з розвитком приміської зони, висвітлені у працях українських та росій-

ських учених, таких як: І. Андрієвського [4], Ю. Білоконя [5, 6], Д. Богорада [7], О. Гладкого [9, 10], Н. Дністрянської, М. Дністрянського [12], Ш. Ібатуліна [13], С. Іщука [14], Г. Лаппо [15,16], Ю. Палехи [18, 19.], О. Топчієва [22] та ін.

Насамперед, розглянемо законодавчі акти щодо даного питання: Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності» визначає, що приміська зона – територія, що забезпечує просторовий та соціально-економічний розвиток міста [1, с. 2] дане визначення не дає можливості чітко делімітувати межі приміської зони. Інший законодавчий акт ДБН «Планування і забудова територій» зазначає, що «Приміські зони визначаються для міст із чисельністю населення понад 100 тис. осіб. Для інших населених пунктів приміські зони визначаються в залежності від конкретних містобудівних умов та вимог соціально-економічного розвитку. Місто-центр і його приміська зона є взаємопов'язаними об'єктами документації з просторового планування на стадіях розроблення генеральних планів населених пунктів. Зовнішньою межею приміської зони найкрупніших і крупних міст є ізохрона 45-60 хвилинної доступності транспортом загального користування до межі міста» [2, с. 13-14].

За умови, якщо місто з проектною кількістю населення 100 тис. чоловік і більше, а також міста-курорти, викликають необхідність створення єдиного проектного комплексу зі схемою землеустрою прилеглої території. Проекти розробляють, обов'язково узгоджуючи їх з генеральним планом міста та схемами землеустрою, основними транспортними артеріями, місцями масової рекреації, адміністративно-територіальним розподілом України тощо.

Якщо чисельність населення міста понад 1 млн. жителів – радіус приміської зони становить понад 50-60 км., при кількості населення від 500 тис. жителів до 1 млн. – 40 км., від 250 до 500 тис. чол. – 30 км., від 100 до 250 – 20 км. [24].

Екологічна оптимальна організація планування приміських територій, на думку Г. Потаєва має такі межі: для міст із населенням від 100 до 500 тис. осіб – 20-25 км., для міст із населенням від 500 тис. до 1 млн. осіб – 25-30 км., для міст із населенням понад 1 млн. осіб – 35-50 км. [20].

Також існують напрацювання учених щодо визначення меж приміської зони за економічними розрахунками, агломераційним ефектом, показником часу. Так, наприклад, В. О. Яценко виділяє підзони в приміській зоні з зазначенням їх меж: внутрішня – до 25 км., середня – до 50 км., зовнішня – до 100 км., тобто межа приміської зони проходить на відстані 100 км. від межі міста [23].

Серед зарубіжних учених, які розглядали

деякі теоретичні та практичні аспекти приміських зон, слід виділити роботи Дж. Вільямсона [28], М. Динича [26; 27], Дж. Журича [26], Дж. Банські [25], Л. Марфорда [30], П. Мітковича [27], З. Недович-Будича [33], К. Станілова [31; 32], Л. Сикору [32], С. Ценкову [33]. Їх праці містять практичне підґрунтя вивчення приміських зон, проте, методика визначення меж приміських зон практично відсутня.

У світовій науковій літературі більш актуальним є питання визначення меж агломерацій. В більшості європейських країн зовнішня межа агломерації визначається пунктом завершення безперервної міської забудови. У країнах Північної Америки, зокрема США та Канаді, агломерації мають формалізований статус. В країнах створюються уряди агломерацій (metro government), при цьому, окрема адміністративно-територіальна одиниця не формується. У Франції та Італії особливий статус агломерацій регламентується законодавством.

В цілому, слід виділити два підходи: перший ґрунтується на визначенні транспортної доступності центра міста до міст-супутників, при цьому відсутня прив'язка до адміністративних меж відповідних територіальних одиниць. Другий підхід ґрунтується на чисельності населення та потоках трудових міграцій між центральним містом та приміськими територіями.

**Метою** нашого дослідження є аналіз підходів до встановлення меж приміської зони, на прикладі міста Одеси, та співставлення результатів дослідження з існуючими межами за генеральним планом міста.

**Виклад основного матеріалу** дослідження розпочнемо з представлення існуючих матеріалів. В генеральному плані міста Одеси межі приміської зони визначені на основі рейтингового ранжування адміністративних районів області по планувальних показниках взаємного впливу міста і прилеглої території у співставленні з максимальними параметрами транспортної доступності до елементів приміської зони по трудових, рекреаційних та культурно-побутових поїздках, а також враховуюся інші структурні елементи, які впливають та визначають функції приміської зони.

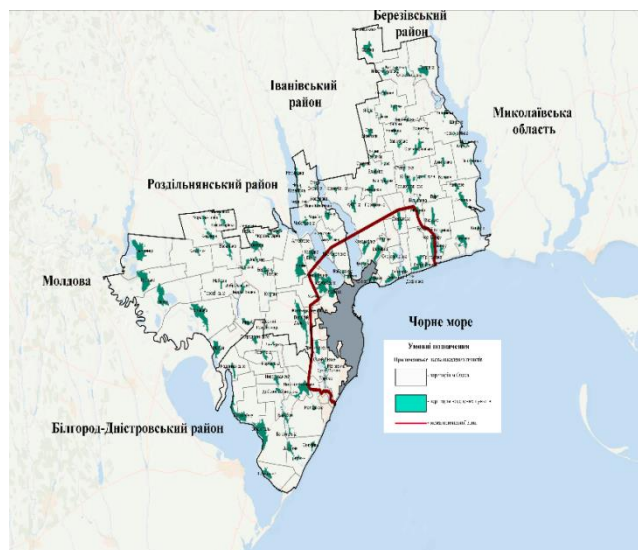
В якості планувальних показників були використані: щільність населення; щільність мережі автомобільного транспорту; щільність мережі залізничного транспорту; рівень урбанізації; щільність житлового фонду; рівень маятникової міграції.

Після розрахунку відносних значень кожного показника до середнього значення по області відбувалась їх бальна оцінка та ранжування по 5 категоріях: найвище та найнижче значення, се-



редне, вище та нижче за середнє [8].

Шляхом використання ГІС-технологій здійснена усереднена інтегральна оцінка всіх показників та типізація адміністративних районів шляхом побудови комплексної картограми. Результати проведеної типізації дозволили виявити



групу адміністративних районів, які мають найвищий рейтинг інтегрального показника – Білгород-Дністровський, Овідіопольський, Біляївський, Лиманський, Роздільнянський та міста обласного підпорядкування Білгород-Дністровський, Іллічівськ, Южне, Теплодар (рис. 1).

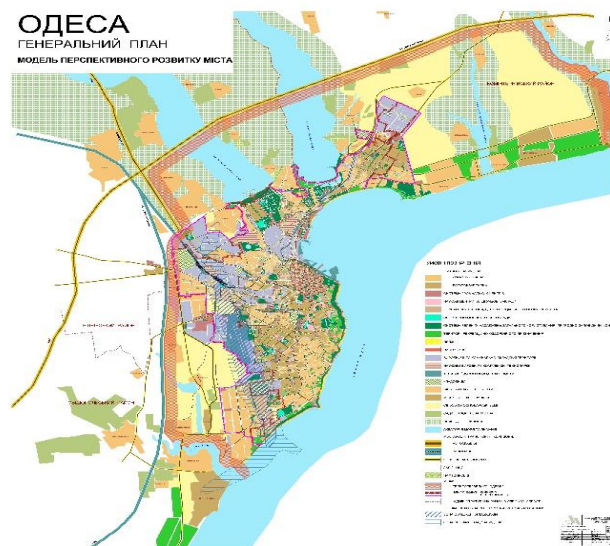


Рис. 1. Приміська зона м. Одеси згідно генерального плану

У таких межах приміська зона Одеси займає площу близько 3,0 тис. км<sup>2</sup> (що становить 9 % території Одеської області), з кількістю населення 347,3 тис. осіб (14,5% населення регіону), в т.ч. міське – 166,7 тис. чол., сільське – 180,7 тис. чоловік. В зону спільних інтересів увійшло 125 адміністративно-територіальних одиниць, в тому числі 4 міста: 3 з яких – міста обласного підпорядкування, 9 – селищ міського типу та 112 сіл. Показник урбанізації території досить високий – 48%, що майже на 6% більше ніж в цілому по області, щільність населення – 116 осіб/км<sup>2</sup> при середній 41,4 осіб/км<sup>2</sup>.

До приміської зони згідно генплану входять наступні населені пункти: Таїрове, Сухий Лиман, Мізікевича, Прилиманське, Усатове, Нерубайське, Велика Балка, Котовка, Набережне, Протопопівка, Красносілка, Корсунці, Світле, Іллічівка, Олександрівка, Ліски, Фонтанка, Вапнярка, Нова Дофинівка, Свердлове, Булдинка, Нові Біляри, Григорівка, Гвардійське.

Щоденна трудова міграція із приміської зони складає понад 30 тис. чоловік. Значну частку їх чисельності утворюють студенти, абітурієнти і відрядні. По культурно-побутових питаннях щодня приїжджає близько 100 тис. чоловік [8, с. 20].

Авторське дослідження має на меті визначення межі приміської зони за економічними підходами та її нівелювання з генеральним планом. Об'єктом дослідження стали населені пункти 3-х приміських районів м. Одеси: Овідіополь-

ського, Біляївського Та Лиманського. На території Овідіопольського району знаходяться 21 село і 5 селищ, на території Біляївського району – 2 міста, 7 селищ, 43 села, на території Лиманського району – 6 селищ, 60 сіл.

Населення приміських населених пунктів має низку переваг в порівнянні з жителями, які проживають на периферії адміністративних районів та у віддаленості від міста-центру, завдяки цьому в приміських населених пунктах спостерігається позитивна міграція населення, вища щільність населення у порівнянні з іншими населеними пунктами, тому пропонуємо провести дослідження з визначення межі приміської зони за індексом концентрації населення. Розрахунок індексу концентрації населення здійснюється за формулою:

$$I_{KN} = \frac{\sum |x_i - y_i|}{2}$$

де:

$I_{KN}$  – індекс концентрації населення;

$x_i$  - кількості населення села/селища/міста;

$y_i$  - % площі села/селища/міста [21].

Результати візуалізації отриманих результатів за допомогою програмного забезпечення ArcGIS pro представлено рис. 2, 3.

За даним методом в межі приміської зони м. Одеса увійшли наступні територіальні громади: Молодіжненська, Барабойська, Великодолинська, Сухолиманська, Прилиманська, Авангардівська, Таїровська, Усатівська, Хлібодарська, Холдобалківська Нерубайська, Дачненська, Ав-

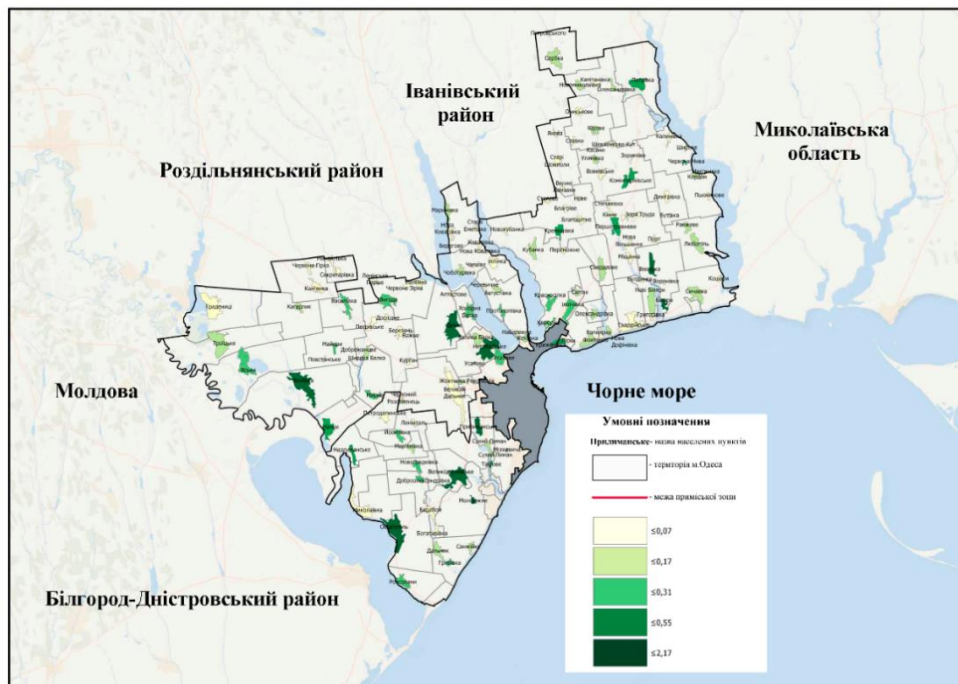


Рис. 2. Приміська зона м. Одеси за індексом концентрації населення в розрізі населених пунктів.  
Розроблено авторами

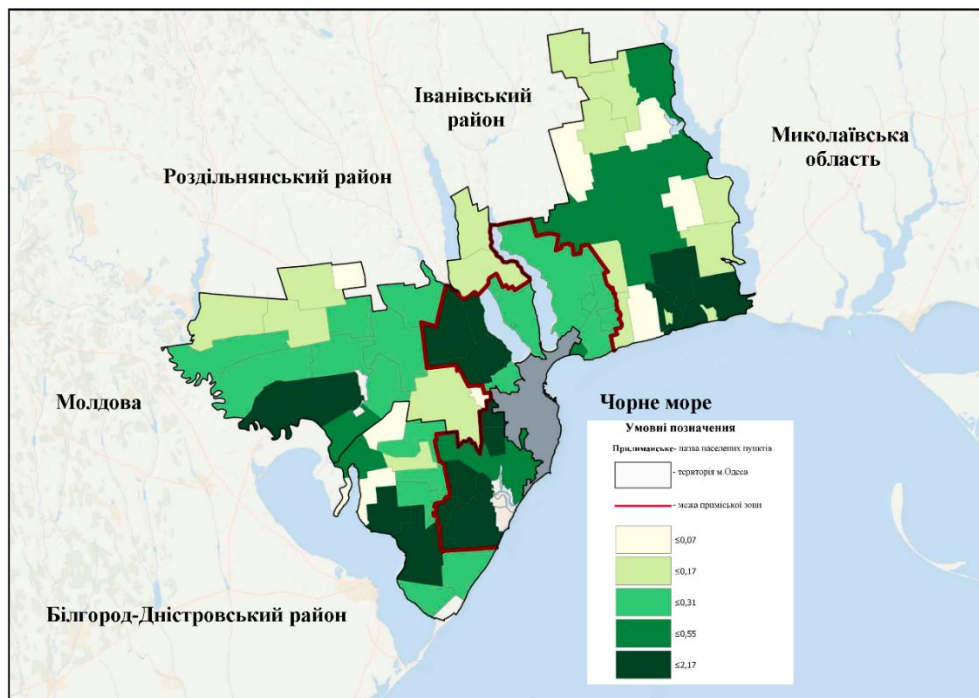


Рис. 3. Приміська зона м. Одеси за індексом концентрації населення в розрізі територіальних громад.  
Розроблено авторами

густівська, Красносільська, Крижанівська, Фонтанська, Олександрівська. Площа приміської зони за даним методом відповідає вимогам ДБН 360-92\*\*, але значно перевищує визначену за генеральним планом (спостерігається збільшення площі приміської зони за рахунок відповідного збільшення площі територіальних громад: Великодолинської, Прилиманської, Сухолиман-

ської, Августівської, Нерубайської, Красносільської та Крижанівської).

Даний метод підтвердив наші припущення щодо концентрації населення в приміській зоні, проте в даному дослідженні окреслились й інші населенні пункти з підвищеною концентрацією населення, що пояснюється їх статусом, це – центри адміністративних районів.



Основним показником у виділенні приміської зони є її безпосереднє розташування на межі з містом.

Розглянемо підхід щодо делімітації приміської зони на основі застосування гравітаційної моделі, яка базується на положенні, що міста є головними фокусами, джерелами впливу на оточуюче соціальне середовище, й головним чинником в даній моделі є параметр відстані, який визначає інтенсивність зв'язків. Розрахунок гравітаційної моделі на основі параметру відстані здійснюється за формулою:

$$V = \frac{1}{d^2}$$

де:

V – безрозмірний коефіцієнт, показник інтенсивності зв'язків між двома центрами;

D – відстань між центрами дослідження [11].

Результати візуалізації отриманих результатів за допомогою програмного забезпечення ArcGIS Pro представлено на рис. 4, 5.

За даним методом в межі приміської зони м. Одеси увійшли наступні територіальні громади: Молодіжненська, Барабойська, Великодолинська, Сухолиманська, Прилиманська, Авангардівська, Таїровська, Великодальницька, Усатівська, Хлібодарська, Холоднобалківська, Нерубайська, Дачненська, Августівська, Красносільська, Крижанівська, Фонтанська, Олександрівська. Площа приміської зони за даним методом відповідає вимогам ДБН 360-92\*\*, та частково корелює з приміською зоною визначеною за генеральним планом. (спостерігається збільшення площі приміської зони за рахунок відповідного збільшення площ територіальних громад Великодолинської, Прилиманської, Сухолиманської, Августівської, Нерубайської, Красносільської та Крижанівської Великодолинської, Прилиманської, Сухолиманської, Августівської, Нерубайської, Красносільської та Крижанівської).

Даний метод дозволяє досить чітко визначити межі приміської зони на основі показника віддаленості від м. Одеса.

Розглянувши підходи до визначення межі приміської зони міста Одеси, в основі яких лежать показники кількості населення та відстані, нами пропонується розглянути ще один варіант, який би поєднував ці два важливі показники. Результатом такого поєднання є запроваджена г. Кареем в суспільно-географічні дослідження гравітаційна модель, яка включає як параметр відстані, так і демографічний потенціал центрів дослідження.

Розрахунок гравітаційної моделі на основі зони впливу здійснюється за формулою:

$$I = \frac{P_i * P_j}{d_{ij}}$$

де:

I – коефіцієнт зони впливу;

P<sub>i</sub> – чисельність населення м. Одеса;

P<sub>j</sub> – чисельність населення в населеному пункті;

D<sub>ij</sub> – відстань між м. Одеса і населеним пунктом, км.

Результати візуалізації представлено на рис. 6, 7.

За даним методом в межі приміської зони м. Одеса увійшли наступні територіальні громади: Молодіжненська, Барабойська, Великодолинська, Сухолиманська, Прилиманська, Авангардівська, Таїровська, Великодальницька, Усатівська, Хлібодарська, Холоднобалківська, Нерубайська, Дачненська, Августівська, Красносільська, Крижанівська, Фонтанська, Олександрівська, Ново-дофинівська. Площа приміської зони за даним методом відповідає вимогам ДБН 360-92\*\*, та корелює з визначеною за генеральним планом. (спостерігається збільшення площі приміської зони за рахунок відповідного збільшення площ територіальних громад: Великодолинської, Великодальницької, Молодіжненської, Прилиманської, Сухолиманської, Августівської, Нерубайської, Красносільської та Крижанівської).

Даний метод, також, дозволяє досить точно визначити межі приміської зони й зону максимального впливу міста на прилеглу територію.

**Висновки.** Питання делімітації меж міста і приміської зони має важливе соціально-економічне, адміністративне, стратегічне значення. Проведені дослідження дають підстави стверджувати, що місто і приміська зона є цілісним конгломератом з інтенсивними взаємними багатофункціональними зв'язками. Міста, розвиваючись, відчувають потребу в нових ресурсах: територіях, джерелах водопостачання, інфраструктурі проте в межах міської території вони виявляються вичерпаними або близькими до вичерпання. Тому центр ваги розвитку, об'єктивно переміщується в приміську зону [17]. Місто, для приміської зони, є територією працевлаштування, навчання, ринком збуту продукції, соціально-культурним центром. В результаті формується цілісна система «місто – приміська зона», яка потребує подальшого дослідження з питання методики виділення меж приміських зон, особливо, на нашу думку, слід приділити увагу визначення межі приміських зон для міст з кількістю населення мільйон та більше, й не обмежувати радіус приміської зони 35-50 км, а застосовувати різносторонні підходи, в тому числі й індивідуальний.

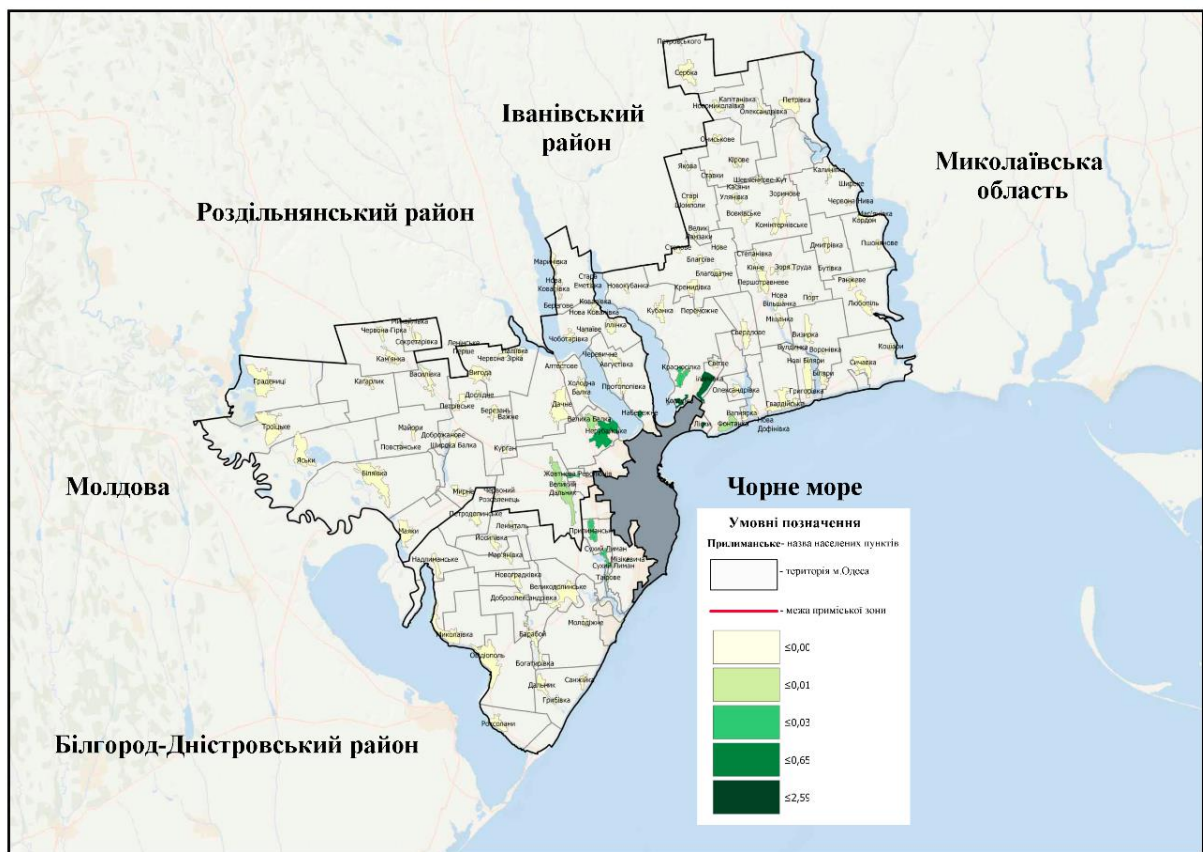


Рис. 4. Межі приміської зони м. Одеси на основі параметру відстані в розрізі населених пунктів. Розроблено авторами

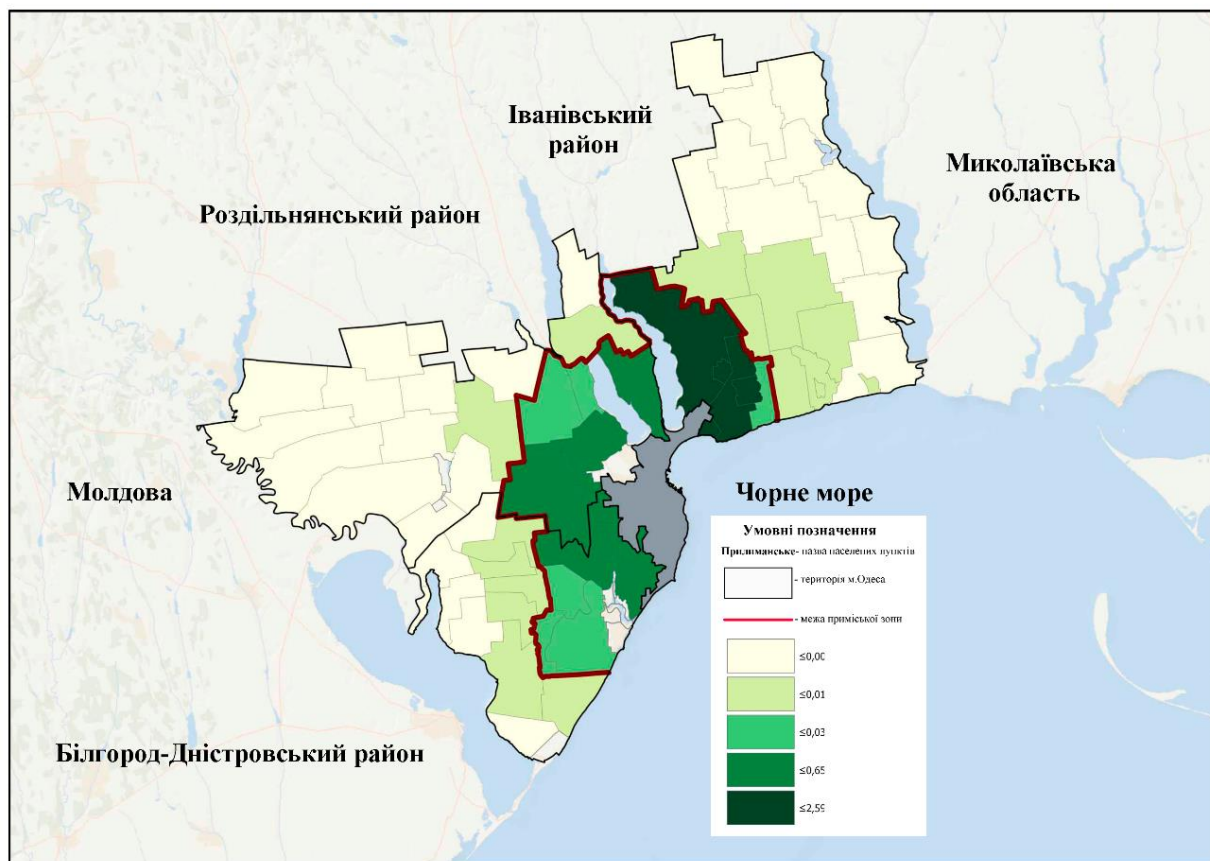


Рис. 5. Межі приміської зони м. Одеси на основі параметру відстані в розрізі територіальних громад. Розроблено авторами

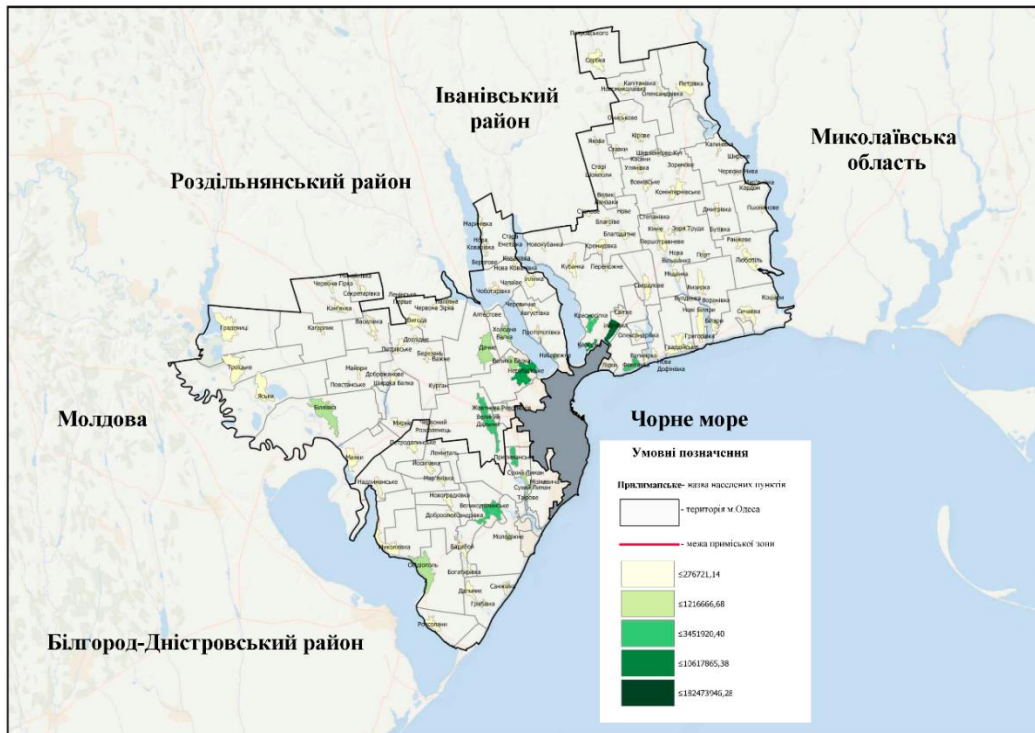


Рис. 6. Приміська зона м. Одеси з урахуванням зони впливу в розрізі населених пунктів. Розроблено авторами

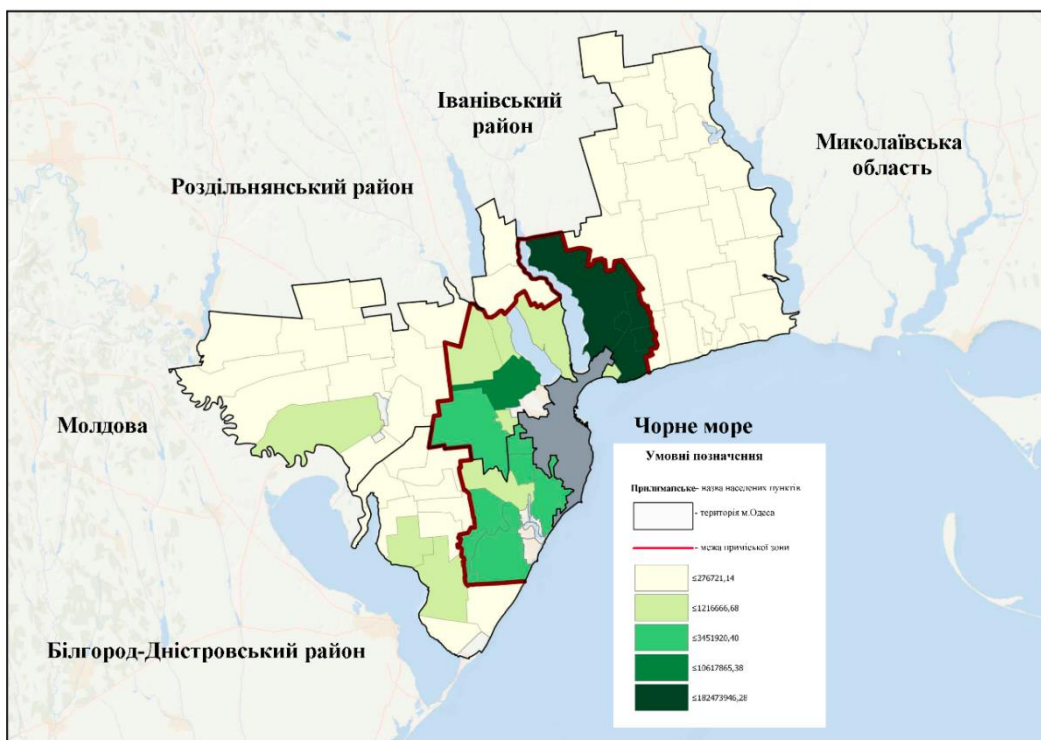


Рис. 7. Приміська зона м. Одеси з урахуванням зони впливу в розрізі територіальних громад. Розроблено авторами

Делімітація меж приміських зон міст дасть можливість цілеспрямованого планування територій, організації ефективної системи господарювання, встановлення географічних особливостей розвитку міста, використання для міської забудови територіальних ресурсів передмістя,

взаємозв'язку розвитку міста та його приміської зони.

Дослідження проведені в роботі дали можливість встановити, що Генеральний план міста Одеси з делімітацією меж приміської зони є науково обґрунтованим й в цілому співпадає з ав-



торськими дослідженнями. Основними показниками для визначення межі приміської зони ви-

ступає параметр відстань та часова доступність до міста.

### Література

1. Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності» [Електронний ресурс] // Відомості Верховної Ради України. – 2011. – №34. – 343 с. (Закон України № 3038-VI). – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17>
2. Планування і забудова територій: ДБН Б.2.2-12:2018. – К.: Мінрегіон, 2018. – 230 с.
3. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень: ДБН 360-92\*\*. – [Чинний від 2002–04–19]. – К.: Держбуд України, 2002. – 67 с.
4. Андриевский И. Проблемы городских агломераций [Электронный ресурс] / И. Андриевский. – Режим доступа: [http://vo-vremya.ru/stati/problemyi\\_gorodskih\\_aglomeratsiy1301/](http://vo-vremya.ru/stati/problemyi_gorodskih_aglomeratsiy1301/)
5. Білоконь Ю. М. Регіональне планування (теорія і практика). Монографія / Ю. М. Білоконь. – К.: Логос, 2003. – 246 с.
6. Білоконь Ю. М. Сучасні тенденції у розробці генеральних планів великих міст. Досвід та перспективи розвитку міст України / Ю. М. Білоконь. – К.: Діпромісто, 2005. – С. 5–14.
7. Богорад Д. И. Городские агломерации Украинской ССР. Основные положения и выводы / Д. И. Богорад. – К.: НИИСП Госстроя УССР, 1966. – 73 с.
8. Генеральний план м. Одеса. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://service.ombk.odessa.ua/portal/apps/webappviewer/index.html?id=b31cc5f267c740aca33f5893c3dc9c45>
9. Гладкий О. В. Особливості делімітації моноцентричних промислово-агломераційних утворень України (на прикладі Львівської та Одеської агломерації) [Текст] / О. В. Гладкий, С. І. Іщук // Економічна та соціальна географія: Наук. зб. – К., 2012. – Вип. 65. – С. 161–173.
10. Гладкий О. В. Географія міст. Геоурбаністика. Підручник / О. В. Гладкий, С. І. Іщук. Київський національний університет імені Тараса Шевченка. – М.: ПАЛИВОДА А. В., 2014. – 300 с.
11. Голиков А. П. Экономико-географическое моделирование мирохозяйственных процессов / А. П. Голиков: Учеб. пособие. – Харьков: ХНУ, 2003. – 104 с.
12. Дністрянська Н. І. Дуже малі міські поселення Львівської області: суспільно-географічний потенціал та перспективи розвитку: монографія / Н.І. Дністрянська, М.С. Дністрянський. – Львів: Вид-во ЛНУ імені Івана Франка. – 2013. – 198 с.
13. Ібатуллін Ш. І. Визначення меж і напрямів розвитку міської агломерації / Ш. І. Ібатуллін // Землеустрій і кадастр. – 2007. – №2. – С. 25-36.
14. Іщук С. І. Київська господарська агломерація: досвід регіонального менеджменту [Текст] / С. І. Іщук, О. В. Гладкий : монографія. – Київ : Обрії. – 2005. – 239 с.
15. Лаппо Г. М. География городов / Г. М. Лаппо. : учеб. пособ. – Москва: ВЛАДОС. – 1997. – 480 с.
16. Лаппо Г. М. Города на пути в будущее [Текст] / Г. М. Лаппо. – Москва: Мысль, 1987. – 236 с.
17. Олійник В. Роль та призначення приміської зони великого міста [Текст] / В. Олійник, С. Хропот // Регіональна політика: історія, історико-правові засади, архітектура, урбаністика (збірн.наук.праць в 3-х част.). – Київ-Тернопіль. – 2017. – Ч 2. – С. 202-205.
18. Палеха Ю. М. Досвід та перспективи розвитку міст України [Електронний ресурс] / Ю. М. Палеха. – 2015. – Вип. 28. – С. 78-88. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/dprmu\\_2015\\_28\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/dprmu_2015_28_11)
19. Палеха Ю. М. Исследование стоимости территорий населенных пунктов – новое направление в украинском социально-экономической географии / Палеха Ю. М. // География в информационном обществе: Сб. научных трудов. – К., 2008. – Т. 2. – С. 284-286.
20. Потаев Г. А. Экологическая реновация городов: монография / Г. А. Потаев. – Минск. – 2009. – 173 с.
21. Пилипенко І. О. Суспільно-географічна периферія: концепція, параметризація, делімітація: Монографія / І. О. Пилипенко. – Херсон: Гринь Д.С., 2015. – 264 с.
22. Одеський регіон: передумови формування, структура та територіальна організація господарства : навч. посібник / Авт. колектив: О. Г. Топчівс (керівник), І. І. Кондратюк, В. В. Яворська, В. Д. Олійник, Л. В. Хомич та ін. – Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова. – Одеса: Астропринт, 2012. – 336 с.
23. Яценко В. О. Приміська зона – ретроспектива, реальність, перспектива / В. О. Яценко // Сучасні проблеми архітектури та містобудування: Наук.-техн. збірник. – К., КНУБА, 2015. – Вип. 40. – С. 331–340.
24. Межі користування приміських зон [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://kadastrua.ru/teritorialnij-zemleustrij/66-mezhi-koristuvannya-primiskikh-zon.html>
25. Banski J. Suburban and peripheral rural areas in Poland: the balance of development in the transformation period. *Geografický časopis*. – 2005. – № 57 (2). – P. 117–130.
26. Dinić M., Đurić J., Mitković P. Rural settlements in suburban and scape of the post-socialist city. *Landscape Transformations: International interdisciplinary student conference (Prag, Oktobar 2014)*. Prag, 2010. – P. 136–144.
27. Dinić M., Mitković P. Suburban design: from “bedroom communities” to sustainable neighborhoods. *Geodetski iVestnik*. – 2016. – № 60 (1). – P. 98–113.
28. Dunham-Jones E., Williamson J. *Retrofitting Suburbia, Updated Edition: Urban Design Solutions for Redesigning Suburbs*. New York, 2011. – 288 p.

29. Fisher T. *Differentiation of growth processes in the peri-urban region: an Australian case study. Urban Studies.* – № 40 (3). – P. 551–565.
30. Mumford L. *Grad u istoriji: njegov postanak, njegovo menjanje, njegovi izgledi. Zagreb, 2006.* – 104 p.
31. Stanilov K., Scheer B. *Suburban Form: An International Perspective. London, 2007.* – P. 25–53.
32. Stanilov K., Sykora L. *Confronting Suburbanization: Urban Decentralization in Post socialist Central and Eastern Europe. Chichester, 2015.* – P. 256–295.
33. Tsenkova S., Nedović-Budić Z. *The urban mosaic of post-socialist Europe: space, institutions and policy. New York, 2018.* – P. 3–20.

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

UDC: 911.375.632:711.27(477.74)

**Valentyna Oliinyk,**

PhD (Geography), Assistant Professor, Department of Geodesy and Land Management,  
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture,  
4 Didrikhsona St., Odessa, 65029, Ukraine,  
e-mail: [v.oleynik7777@gmail.com](mailto:v.oleynik7777@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-6451-556X>;

**Nataliia Stadnikova,**

PhD Student, Assistant Department of Geodesy and Land Management,  
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture,  
e-mail: [stadnikova.nvs@gmail.com](mailto:stadnikova.nvs@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-6656-5766>

#### **METHODOLOGICAL APPROACHES TO DETERMINING THE BORDER OF THE SUBURBAN ZONE OF THE CITY OF ODESSA**

**The purpose of this paper** is aimed at defining the border of the suburban zone behind economic approaches and leveling (comparing) the results with certain borders in the General plan. The development of suburban areas is one of the elements of the transformation of the economy of the city and region, determines the pace of their development. Though even today there is no common point of view on the interpretation of the concept of "suburban zone", there is no clear distinction between the definitions of "suburb", "suburban territory", "suburban area". In addition, it is important to define the boundaries of the city and suburban area, since cities tend to "expand" and "capture" adjacent territories. The boundaries of cities change significantly, which requires a corresponding study of the boundaries of the suburban zone, thus, the topic of work is relevant.

**Methodology.** The article considers options for delineating borders according to existing legislative acts that define the outer border of the suburban zone of large cities with an isochronous 45-60-minute accessibility by public transport to the city. In addition, the analysis of research and publications of scientists made it possible to identify other approaches to determining the boundaries of the suburban zone and compare the results with the specified border of the suburban zone in the General plan of Odessa. Thus, calculations were made and the results were visualized, using the ArcGIS Pro software, several options for determining the boundaries of the suburban zone of the city of Odessa, namely: a methodological approach was applied to calculate the population concentration index, the results of which confirmed our assumptions about the concentration of the population in the suburban zone to the place of employment, study, cultural and social development. The second methodological approach is the calculation of the gravitational model based on the distance parameter. The results allowed us to conclude that accessibility of localities to the city center is crucial. In the third approach, using the gravity model of Kareem that combines distance and demographic potential centers of research, defines the borders of suburban zone of the city of Odessa, which are maximally correlated with the specified bounds in the General plan.

**Practical significance.** Therefore, the conducted research makes it possible to assert that one of the important indicators in determining the border of a suburban zone is the temporary isochrone, that is accessibility to the city, which, in most cases, forms a multidimensional relationship between the city and the suburban zone. The delimitation of the borders of suburban areas of cities will allow for targeted planning of the territory, organization of an effective management system, establishment of geographical features of the city development, use of the suburban territorial resources for urban development, and the relationship between the development of the city and its suburban zone. The city center and its suburban area are interconnected objects of spatial planning documentation at the stages of development of master plans for localities.

**Keywords:** suburban zone, methodological approaches, distance parameter, accessibility, indicator, planning.



## References

1. Law of Ukraine «Regulation of urban development activities» 3038-VI (2011). Information of The Verkhovna Rada Of Ukraine. 34, 343. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17>.
2. Ministry Of Regional Development (2018). *Planning and development of territories: DBN B. 2. 2-12: 2018*. Kyiv, 230.
3. State Building of Ukraine (2002) *City building. Planning and development of urban and rural settlements: DBN 360-92\*\** [Valid from 2002.04.19]. Kyiv, 67.
4. Andrievsky I. (2013) *Problems of urban agglomerations*. Available at: <http://vo-vremya.ru/stati/problemyi-gorodskih-aglomeratsiy1301>.
5. Bilokon Yu. M. (2003). *Regional planning (theory and practice)*. Monograph. Kyiv, Logos Publ., 246.
6. Bilokon Yu. M. (2005). *Modern trends in the development of master plans for large cities. Experience and prospects of development of cities of Ukraine*. Kyiv: Diplomisto, 5-14.
7. Bogorad D. I. (1966). *Urban agglomerations of the Ukrainian SSR. Main provisions and conclusions*. Kyiv, NIISP Gosstroya of the Ukrainian SSR, 73.
8. *General plan of the city of Odessa*. Available at: <https://service.ombk.odessa.ua/portal/apps/webappviewer/index.html?id=b31cc5f267c740aca33f5893c3dc9c45>
9. Gladkiy A.V. (2012). *Features of delimitation of monocentric industrial agglomerations of Ukraine (on the example of Lviv and Odessa agglomerations)*. *Economic and social geography: Collection of scientific papers*. Kyiv, 65, 161-173.
10. Gladkiy O. V., Ishchuk S. I. (2014). *Geography of cities. Geourbanistics*. Taras Shevchenko national University of Kyiv. Moscow, 300.
11. Golikov A. P. (2003). *Economic and geographical modeling of world economic processes*. Kharkiv, Kharkiv national University, 104.
12. Dnistrianska N. I., Dnistrianskiy M. S. (2013). *Very small settlements in Lviv region: social and geographical potential and prospects of development*: monograph. Lviv, House of Ivan Franko LNU, 198.
13. Ibatullin Sh. I. (2007). *Defining the boundaries and directions of urban agglomeration development*. *Land Management and cadaster*, 2, 25-36.
14. Ishchuk, S. I. (2005). *Kiyv economic agglomeration: experience of regional management: monograph*. Kiev: Horizons Publ., 239.
15. Lappo G. M. (1997). *Geography of cities*. Moscow, 480.
16. Lappo G. M. (1987). *Cities on the way to the future*. Moscow: Mysl, 236.
17. Olynyk V., Hropot S. (2017). *The Role and purpose of the suburban zone of a large city. Regional policy: history, historical and legal foundations, architecture, urbanism*. *Collection of scientific papers in 3 parts*. Kiev-Ternopil, 2, 202-205.
18. Palekha Yu. M. (2015). *Experience and prospects of development of cities of Ukraine*, 28, 78-88. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/dprmu\\_2015\\_28\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/dprmu_2015_28_11)
19. Paleha Yu. M. (2008). *Research of the cost of territories of localities – a new direction in the Ukrainian socio-economic geography*. *Geography in the information society: Collection of scientific papers*. Kiyv, 2, 284-286.
20. Potaev G. A. (2009). *Ecological renovation of cities: monography*. Minsk, 173, 30.
21. Pilipenko I. A. (2015). *Socio-geographical periphery: concept, parametrization, delimitation: monograph*. Kherson. 264.
22. O. G. Topchiev, I. I. Kondratyuk, V. V. Yavorskaya, V. D. Oleinik, L. V. Khomich et al. (2012). *Odessa region: prerequisites for the formation, structure and territorial organization of the economy*. *Odessa national University named after I. I. Mechnikov*. Odessa: Astroprint, 336.
23. Yatsenko V. O. (2015). *Suburban area – retrospective realist, perspective*. *Modern problems of architecture and urban planning: Collection of scientific papers*. Kyiv, KNUBA, 40, 331-340.
24. *Limits on the use of suburban areas*. Available at: <http://kadastrua.ru/teritorialnij-zemleustrij/66-mezhi-koristuvannya-primiskikh-zon.html>
25. Banski J. (2005). *Suburban and peripheral rural areas in Poland: the balance of development in the transformation period*. *Geografický časopis*, 57 (2), 117–130.
26. Dinić M., Đurić J., Mitković P. (2010). *Rural settlements in suburban and scape of the post-socialist city*. *Landscape Transformations: International interdisciplinary student conference*. Prag, 136–144.
27. Dinić M., Mitković P. (2016). *Suburban design: from “bedroom communities” to sustainable neighbor hoods*. *Geodetsk iVestnik*, 60 (1), 98–113.
28. Dunham-Jones E., Williamson J. (2011). *Retrofitting Suburbia, Updated Edition: Urban Design Solutions for Redesigning Suburbs*. New York, 288.
29. Fisher T. (2012). *Differentiation of growth processes in the peri-urban region: an Australian case study*. *Urban Studies*, 40 (3), 551–565.
30. Mumford L. (2006). *Grad u istoriji: njegov postanak, njegovo menjanje, njegovi izgledi*. Zagreb, 104.
31. Stanilov K., Scheer B. (2007). *Suburban Form: An International Perspective*. London, 25–53.
32. Stanilov K., Sykora L. (2015). *Confronting Suburbanization: Urban Decentralization in Post socialist Central and Eastern Europe*. Chichester, 256–295.
33. Tsenkova S., Nedović-Budić Z. (2018). *The urban mosaic of post-socialist Europe: space, institutions and policy*. New York, 3–20.

# ЕКОЛОГІЯ

УДК 631.4:546.47+546.56]:574.4

**Олег Владимирович Полевич,**

к. техн. н., доцент кафедри гідрогеології, факультет геології, географії, рекреації і туризму,  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,  
м. Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна,  
e-mail: [oleg.polevich@gmail.com](mailto:oleg.polevich@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2173-7135>;

**Ігор Валерійович Удалов,**

д. геол. н., доцент, зав. кафедри гідрогеології, факультет геології, географії, рекреації і туризму,  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,  
e-mail: [igorudalov8@gmail.com](mailto:igorudalov8@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-3844-6481>;

**Аліна Володимирівна Кононенко,**

к. геол. н., ст. викладач кафедри гідрогеології, факультет геології, географії, рекреації і туризму,  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,  
e-mail: [kononenko\\_alina01@ukr.net](mailto:kononenko_alina01@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-0382-3910>;

**Федір Васильович Чомко,**

доцент кафедри гідрогеології, факультет геології, географії, рекреації і туризму,  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,  
e-mail: [hydrogeology@karazin.ua](mailto:hydrogeology@karazin.ua), <https://orcid.org/0000-0001-7816-4978>

## ВІДНОВЛЕННЯ ЗАБРУДНЕНОГО ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ТА РАДІОНУКЛІДАМИ ГРУНТОВОГО ПОКРИТТЯ З ЗАСТОСУВАННЯМ СУЧАСНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Стаття присвячена удосконаленню існуючих технологій відновлення стану ґрунтів, забруднених важкими металами (ВМ) методом фітореMediaції з використанням штучно створених геохімічних бар'єрів (ГБ). Для досягнення поставленої мети проведено модельний експеримент на полігоні в Борівському лісництві Харківської області. Експеримент складався з двох етапів: підготовчого і фітореMediaції. На першому етапі здійснено геохімічну зйомку території полігону до внесення забруднювачів; створено штучний ГБ із матеріалів промислових відходів Хімпрому (м. Суми) – залізного купоросу ( $FeSO_4 \cdot nH_2O$ ); проведено ідентифікацію забруднених ділянок полігону, шляхом відбору зразків ґрунту для аналізу їх вмісту на ВМ. Аналіз результатів показав, що найбільш репрезентативними забруднювачами ділянок полігону є –  $Cu$  та  $Zn$ .

На другому етапі експерименту визначено характеристики створених на модельному полігоні штучних ГБ та виконано дослідження процесів фітореMediaції ґрунтів з використанням спеціальних агроценозів. Для експерименту вибрано рослини, які найбільш ефективно накопичують у зеленій масі репрезентативні елементи –  $Cu$  і  $Zn$ . За літературними даними, це календула лікарська, люпин однолітній та соняшник карликовий. Аналіз результатів спектрометричного дослідження вмісту  $Cu$  та  $Zn$  у повітряно-сухих пробах календули, люпину та соняшника показав, що найбільш максимальне накопичення  $Cu$  зафіксовано у тканинах соняшника, а  $Zn$  у тканинах календули та люпину. Проте, відмічено, що такий результат може бути обумовлений значно вищим значенням концентрації  $Zn$  у ґрунтового покриві.

Заключною частиною експерименту стала ліквідація агроценозу на кінцевій стадії вегетації, що накопичив у своєму складі високі концентрації  $Cu$  і  $Zn$ . Прогнозується, що за декілька циклів ліквідації таких агроценозів, вміст забруднювачів у ґрунті має досягти припустимого рівня.

**Ключові слова:** ґрунти, геохімічний бар'єр, токсичні речовини, важкі метали, фітореMediaція, агроценоз.

**О. В. Полевич, І. В. Удалов, А. В. Кононенко, Ф. В. Чомко. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗАГРЯЗНЁННОГО ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И РАДИОНУКЛИДАМИ ПОЧВЕННОГО ПОКРЫТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ.** Статья посвящена совершенствованию существующих технологий восстановления состояния почв, загрязненных тяжелыми металлами (ТМ) методом фитореMediaции с использованием искусственно созданных геохимических барьеров (ГБ). Для достижения поставленной цели проведен модельный эксперимент на полигоне в Боревском лесничестве Харьковской области. Эксперимент состоял из двух этапов: подготовительного и фитореMediaции. На первом этапе осуществлено геохимическую съемку территории полигона до внесения загрязнителей; создан искусственный ГБ с материалов промышленных отходов Химпрома (г. Сумы) - железного купороса ( $FeSO_4 \cdot nH_2O$ ); проведена идентификация загрязненных участков полигона, путем отбора проб ґрунта для анализа его содержимого на ТМ. Анализ результатов показал, что наиболее репрезентативными загрязнителями участков полигона являются  $Cu$  и  $Zn$ .

На втором этапе эксперимента определены характеристики созданных на модельном полигоне искусственных ГБ и выполнены исследования процессов фитореMediaции почв с использованием специальных агроценозов. Для эксперимента выбраны растения, которые наиболее эффективно накапливают в зеленой массе репрезентативные элементы –  $Cu$  и  $Zn$ . По литературным данным, это календула лекарственная, люпин однолетний и подсолнечник карликовый. Анализ результатов спектрометрического исследования содержания  $Cu$  и  $Zn$  в воздушно-сухих пробах календулы, люпина и подсолнечника показал, что наиболее максимальное накопление  $Cu$  зафиксировано в тканях подсолнечника, а  $Zn$  в тканях календулы и люпина. Однако, отмечено, что такой результат может быть обусловлен высокими концентрациями  $Zn$  в почвенном покрове.

*Заключительной частью эксперимента стала ликвидация агроценоза на конечной стадии вегетации, который накопил в своем составе высокие концентрации Си и Zn. Прогнозируется, что через несколько циклов ликвидации таких агроценозов, содержание загрязнителей в почве должно достичь допустимого уровня.*

**Ключевые слова:** почвы, геохимический барьер, токсичные вещества, тяжелые металлы, фиторемедиация, агроценоз.

**Постановка проблеми.** Швидкий розвиток сучасного суспільства супроводжується збільшенням масштабів техногенного впливу на компоненти навколишнього природного середовища (НПС). Як показують дослідження, одним із найбільш критичних значень такого впливу зафіксовано на ґрунти. В Україні за останні 25 років відмічена стійка деградація ґрунтового покриву: вміст гумусу в ґрунті зменшився з 3,5 до 3,2 %, площі кислих ґрунтів збільшилися на 1,8 млн га (25 %), а площі засолених – на 0,6 млн га (24 %) [4]. Крім того, в складі ґрунтів зафіксовано підвищені концентрації різних видів забруднювачів: важких металів (ВМ), стійких органічних речовин і нових забруднювачів, таких як, наприклад, фармацевтичні препарати. Із літературних джерел відомо, що серед забруднювачів ґрунтів та інших компонентів НПС найбільшу небезпеку представляють токсичні речовини. Найбільш пріоритетними серед яких є ВМ I класу небезпеки – Hg, Cd, Pb, Se та ін. Слід приділяти увагу також таким елементам як Cr, Co, Cu, Ni, V, Zn та ін., техногенне надходження яких у НПС, як правило, значно перевищує природні потоки. При цьому, ґрунти здатні концентрувати у своєму складі ВМ протягом багатьох років. Як результат, ВМ можуть входити до харчових ланцюгів зумовлюючи, таким чином, тривалу дію токсикантів [1]. Нами виділено дві негативні сторони цього процесу. По-перше, при забрудненні ґрунту ВМ потрібно враховувати не тільки небезпеку, яку він представляє при безпосередній взаємодії, але й, головним чином, наслідки вторинного забруднення контактуючих з ним середовищ: водного, повітряного та рослинного. Надходячи по харчовим ланцюгам в організм людини ВМ викликають серйозні фізіологічні порушення, алергію, онкологічні захворювання, негативно впливають на зародок, генетичну спадковість та ін. Крім того, знижується загальна кількість та якість врожаїв сільськогосподарської продукції. При перевищенні токсичних концентрацій вмісту ВМ у рослинах відбуваються фізіологічні порушення: затримка їх росту, пригнічення пагонів, коренів, зниження інтенсивності фотосинтезу та ін. [2, 3]. Стосовно другої негативної сторони накопичення ВМ зазначимо, що їх високі концентрації здатні змінювати властивості ґрунту. Зокрема, вони можуть призвести до утворення кислої або лужної реакції ґрунтового покриву, зміни щільності, пористості, зниження обмінної ємності катіонів, втрати поживних ре-

човин та ін. Водночас важливою характеристикою ґрунтів та їх відмінністю від інших компонентів НПС є відсутність процесу швидкого самоочищення. Як наслідок часткова, а в ряді випадків і повна втрата родючості ґрунтів [2]. Як позитивний момент, відмітимо здатність деяких рослин до акумуляції ВМ, що дозволяє використовувати цю особливість при розробці фітотехнологій по ремедіації ґрунтів від ВМ.

Підкреслимо, що особливу небезпеку неконтрольованого накопичення ВМ у ґрунтах представляють промислові відходи (ПВ). Загальний об'єм накопичених в Україні ПВ складає близько 35 млрд т, а площа території ПВ – 180 тис. га. ПВ розміщені у відвалах, шламонакопичувачах, териконах, полігонах і т.п. Як приклад, аналіз концентрацій ВМ в ґрунтах Донецько-Майківської промислової агломерації показав значні перевищення значень ГДК, зокрема по Zn (до 135 ГДК), As (до 100 ГДК), Pb (56 ГДК), Cd (до 125 ГДК) та ін. [4]. Резюмуючи вище наведене зазначимо, що охорона ґрунтів та їх раціональне використання мають стати одним із найбільш пріоритетних напрямів забезпечення сталого економічного і соціального розвитку будь-якої держави.

**Аналіз попередніх досліджень.** Багато країн світу таких, як США, Німеччина, Франція, Канада, Китай та ін. давно прийшли до розуміння того, що охорону ґрунтів, боротьбу з їх деградацією і забрудненням можна ефективно здійснювати тільки на державному рівні. Ключовим принципом закордонного законодавства є неприпустимість такого впливу на ґрунти, який призводить до погіршення їх якості, до деградації, забруднення і руйнування. Навіть у рішенні все-світньої конференції з НПС (1992 р., Ріо-де-Жанейро) визначено, що охорона і раціональне використання ґрунтів повинні стати головним завданням державної політики. Оскільки стан ґрунтів визначає характер життєдіяльності людини і вирішальним чином впливає на інші компоненти НПС. У багатьох країнах світу створена ціла індустрія по ремедіації територій, існують фірми з очищення ґрунтів, переробці забруднених матеріалів, розробці технологій та ін. [5, 8, 25].

Із літературних джерел відомо [21, 24], що технології ремедіації ґрунтів можна розділити на декілька видів в залежності від способу застосування: 1. обробка ґрунтів за межами забрудненої ділянки, яка пов'язана з вилученням, як правило, великих обсягів забрудненого ґрунту і перероб-

кою його на стаціонарних установках; 2. обробка in situ (на місці) інжектуванням, що включає внесення на забруднену ділянку відповідних хімічних агентів і подальшу утилізацію фракцій забруднювачів, що виділяються; 3. обробка вилученого ґрунту (як правило, невеликих обсягів) поблизу забрудненої ділянки з подальшим поверненням очищеного матеріалу на місце первинного залягання; 4. локалізація забруднювачів в межах ділянки за допомогою проведення фізико-хімічної стабілізації. До теперішнього часу розроблені і впроваджені в практику фізичні, фізико-хімічні, хімічні та біологічні методи ремедіації. З точки зору авторів цього дослідження, найбільш екологічно і економічно доцільною технологією ремедіації є фіторемедіація. Американські вчені підрахували, що відновлення звичайним способом одного акру (0,4 га) ґрунту, забрудненого Hg у середньому коштує від 400 тис. до 1 млн 700 тис. доларів США, тоді як застосування фіторемедіаційної технології – від 60 до 100 тис. доларів [6].

Фіторемедіація базується на використанні рослин і асоційованих з ними мікроорганізмів для очищення складових компонентів НПС. Ця технологія опирається на природні процеси, за допомогою яких рослини і ризосферні мікроорганізми акумулюють різні види забруднювачів, в тому числі і токсичні. Відповідно, при використанні технології фіторемедіації ґрунтів від ВМ, основна увага приділяється вибору рослин, що здатні трансформувати ВМ, переводячи їх в менш рухливу і активну форму [10, 20, 22, 23]. Відмітимо, що дотепер загальноприйнятого механізму по вибору рослин не існує. Ці міркування спонукають до пошуку таких природних механізмів, що здатні якщо і не замінювати технічні заходи із відновлення ґрунтів, то хоча б доповнювати їх. Вважаємо, що пошук таких механізмів повинен базуватися на теорії ГБ [9]. Авторами статті здійснено ряд публікацій та розроблено «Спосіб локалізації ВМ, які мігрують у техногенних потоках забруднення», що ґрунтуються саме на цій теорії [12, 17, 18, 19].

Перші наукові дослідження у напрямі розвитку технологій фіторемедіації були проведені у 50-х рр. ХХ ст. в Ізраїлі. Однак активний розвиток почався тільки з 80-х рр. і не перестає втрачати своєї популярності і сьогодні. Зокрема, Агенцією по охороні навколишнього середовища у США з 2000 р. затверджено програму використання рослин для очищення середовища від ВМ [1]. У Китаї виконуються дослідження фіторемедіації забруднених ВМ ґрунтів за допомогою рослин-гіперакумуляторів [8]. Крім того, здійснюються дослідження по фітоекстракції, що є одним з основних підходів до проблем фітовилу-

чення та фітоочищення ґрунтів з подальшим визначенням рослин-накопичувачів ВМ та їх генетичного відбору [7]. В Росії ведуться роботи по використанню в якості фітомеліорантів для біологічного очищення ґрунтів гречихи та кормових бобів [3]. В Україні дослідженнями процесів фіторемедіації та розробкою екобезпечних технологій, зокрема, фітостабілізації, займаються в Інституті агроєкології УААН, Інституті ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського, Інституті фізіології рослин і генетики НАН України, Національному університеті біоресурсів і природокористування України та ін. Аналіз запатентованих способів фіторемедіації забруднених ґрунтів свідчить про використання широкого спектру рослинного арсеналу України, зокрема амброзії, яку збирають до набуття повної фази цвітіння [14], хоча її використання має обмеження внаслідок алергічної дії на людей; технічних олійних культур – ріпаку або суріпиці, тифону як рослин-акумуляторів ВМ [13], висів і вирощування кукурудзи або пшениці, скошування їх фітомаси та її утилізацію [16]; вирощування амаранту та солодки голої, з подальшою їх утилізацією та ін. [15]. Отже, можна зробити висновок, що відновлення техногенно-забруднених ВМ ґрунтів при використанні технологій фіторемедіації є перспективним напрямом, що активно розвивається. Цьому сприяють численні переваги використання технології: екологічна чистота й безпека використання, мінімальне порушення фізичного й хімічного складу ґрунтів; економічна вигідність; висока ефективність за низьких концентрацій забруднювачів.

**Метою роботи є** удосконалення існуючих технологій відновлення стану ґрунтів забруднених ВМ методом фіторемедіації з використанням штучно створених ГБ. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- розробити та удосконалити існуючі фітотехнології очищення ґрунтів за рахунок використання ГБ;
- визначити культури агроценозів для оптимальних варіантів фіторемедіації ґрунтів від конкретних ВМ.

**Матеріали і методи досліджень.** Для досягнення мети досліджень, в якості основного робочого інструменту використовуються спеціальні агроценози, що забезпечують процес фіторемедіації ґрунтів. Інтенсифікація процесів фіторемедіації досягається шляхом створення на маршрутах техногенної міграції ВМ умов для їх концентрації – формування штучних (інженерних) ГБ. При обранні матеріалу для створення бар'єрів керувалися такими основними критеріями:

- бар'єр повинен ефективно перехоплювати забруднювачі і утримувати їх протя-

- гом розрахункового періоду експлуатації;
- обраний матеріал повинен мати відносно невисоку вартість;
- матеріал не повинен бути додатковим джерелом забруднення.

Технологія фіторемедіації забрудненого ВМ ґрунтового покриву включала два етапи: підготовчий і сам процес фіторемедіації. На першому етапі здійснювалася ідентифікація забрудненої ділянки, шляхом відбору зразків ґрунту для аналізу на вміст ВМ і зіставлення результатів аналізу з ГДК. Відбір зразків здійснювався за методом конверту. Кожна ділянка, а також траншея вважалася дослідним майданчиком. Об'єднані зразки ґрунту матеріалів штучних ГБ пакувалися, маркувалися та відправлялися на аналіз для визначення вмісту ВМ. При цьому особливу увагу приділяли аналізу вмісту рухомої форми ВМ. Це форма, яка доступна для рослин та вимірюється шляхом отримання зі зразків ґрунту відповідних витяжок. Кількісне визначення вмісту ВМ у відібраних зразках виконували на РФ-спектрометрі СРМ-25 відповідно до методичних вказівок [11, 17, 18, 19].

На другому етапі проведення експерименту визначалися характеристики створених на модельному полігоні штучних ГБ та виконувалися

дослідження процесів фіторемедіації з використанням рослин-фітовилучувачів ВМ. Відбір зразків рослинного матеріалу здійснювався на тих же ділянках, що і ґрунтів. Для отримання об'єднаного зразка рослин масою ~ 1 кг природної вологості здійснено відбір 8-10 точкових зразків на кожному дослідному майданчику.

Для аналізу вмісту ВМ у рослинних зразках РФ-спектрометром, рослинний матеріал висушувався до повітряно-сухого стану, подрібнювався до порошкоподібного стану та таблетувався під пресом. Визначення вмісту ВМ виконувалося за методикою [18]. В якості зразків для порівняння використовувалися стандартні зразки складу злакової травосуміші СБМТ-01 та СБМТ-02.

На кінцевій стадії вегетації рослин, агроценоз ліквідовувався. Як результат, за декілька циклів ліквідації таких агроценозів, вміст забруднювачів у ґрунті має досягти припустимого рівня.

**Результати досліджень.** Для удосконалення технологій фіторемедіації ґрунтів з використанням штучних ГБ проведено модельний експеримент. Він тривав 2 роки, з 2017 по 2018 рр. і проводився на земельній ділянці у Борівському лісництві Харківської області (полігон). Полігон включав три контрольні тестові ділянки, розміром 3×10 м кожна (рис. 1).

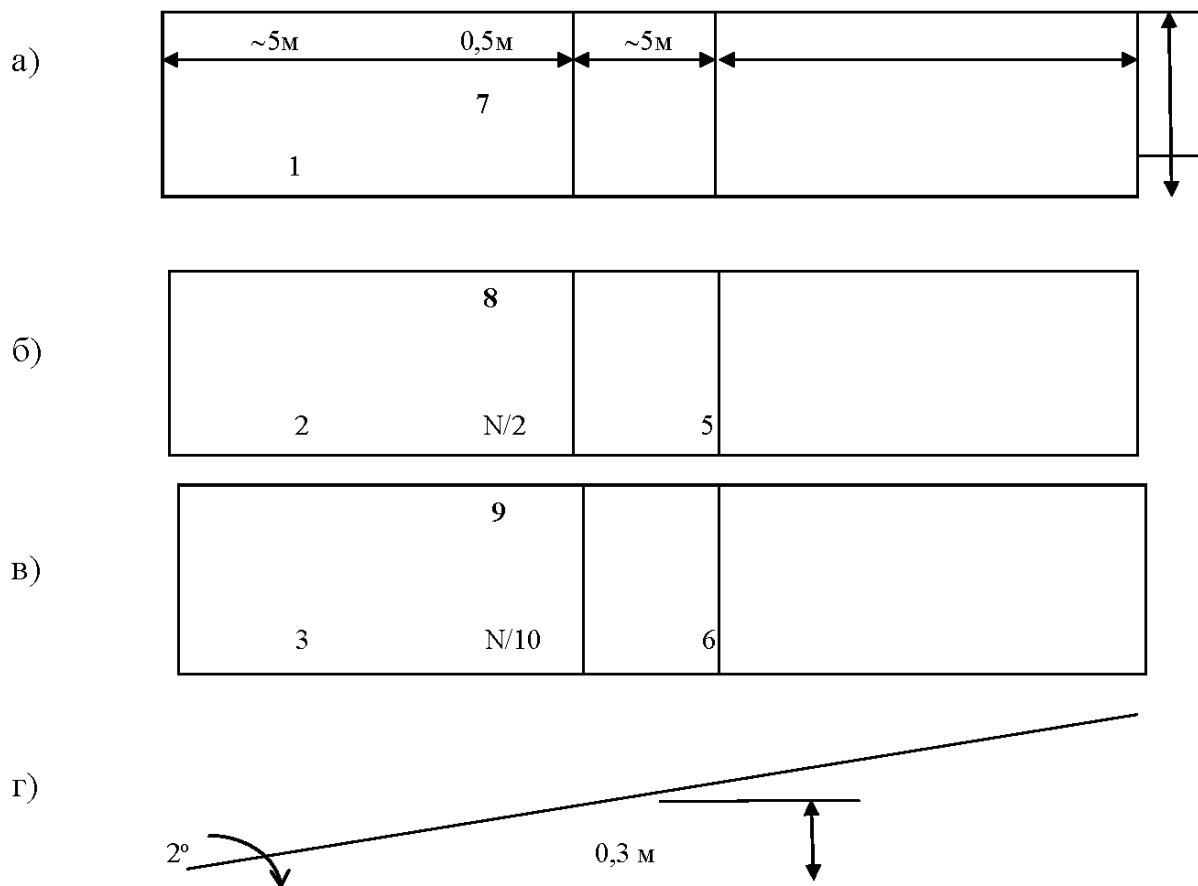


Рис. 1. Схема полігону для проведення модельного експерименту



Посеред кожної ділянки викопувалися траншеї шириною 0,5 м і глибиною 0,3 м. Траншеї заповнювалися матеріалами відвалів ПВ Хімпрому (м. Суми), які представляють собою залізні купороси  $\text{FeSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , де  $n$  – ступінь гідратації ( $n \leq 7$ ). Таким чином, штучно створювалися ГБ.

Траншея на першій ділянці а) (рис. 1) заповнювалася залізним купоросом повністю. Траншея на другій ділянці б) заповнювалася сумішшю матеріалу відвалів з ґрунтом, вилученим з траншей, у співвідношенні 1:1. Траншея на третій ділянці в) заповнювалася сумішшю матеріалу відвалів з ґрунтом, вилученим з траншей, у співвідношенні 1:10. Середній ухил майданчику полігону складав приблизно  $2^\circ$ . Зазначимо, що такі особливості розташування полігону зводять до мінімуму можливість змиву ливнево-дощовими потоками штучно внесених до ґрунту забруднювачів і ризик їх розповсюдження в НПС. Водночас близькість полігону до крупних потенційних забруднювачів, якими є промислові підприємства Харківської та Донецької областей, створювала умови для об'єктивної оцінки міграційних процесів забруднювачів, що характерні для селітебних територій.

Основними показниками якими керувалися при виборі ВМ-забруднювачів для оцінки їх впливу на ґрунти є: розповсюдженість даного елемента; його токсичність; доступність водорозчинної солі металу [11]. Цим показникам відповідають Cr, Mn, Co, Cu та Zn, водорозчинними солями яких є:  $\text{CrCl}_3$ ,  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CoCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CuCl}_2$ ,  $\text{ZnCl}_2$ . Оскільки передбачене перенесення даних забруднювачів механізмами

водної міграції, штучне забруднення ВМ здійснювалося тільки на ділянках №№ 4, 5, 6 (рис. 1). При проведенні експерименту, з міркувань обмеженості часу, на отримання репрезентативних результатів інтенсивності міграційних процесів ВМ та функціонування створених штучних ГБ, вирішено, до ґрунту цих ділянок (рис. 1) разом з початковим внесенням розчинів солей ВМ внести ще додаткові розраховані концентрації ВМ: Co – 100 мг/кг і Cu – 200 мг/кг (200 % ГДК); Cr – 150 мг/кг, Mn – 2000 мг/кг, Zn – 300 мг/кг (150 % ГДК).

На першому етапі експерименту (2017 рік) геохімічна зйомка полігону для визначення властивостей штучно створених ГБ проводилася за такою схемою:

1. «Нульовий цикл» – відбір зразків ґрунту з усіх ділянок до внесення забруднювачів ВМ (20.05.17 – 30.05.17).

2. Внесення забруднювачів (солей ВМ) до ґрунту ділянок №№ 4, 5, 6 (10.06.17 – 14.06.17).

3. Відбір зразків ґрунту з усіх ділянок (горизонт 0 – 10 см) (01.07.17 – 05.07.17).

4. Відбір зразків ґрунту з усіх ділянок (горизонт 0 – 10 см) та зразків матеріалу штучних ГБ з траншей (горизонт 0 – 10 см) протягом трьох місяців: (01.08.17 – 10.08.17), (01.09.17 – 10.09.17) та (01.10.17 – 10.10.17).

Результати вимірювання вмісту ВМ у зразках ґрунту досліджуваних ділянок полігону наведено у табл. 1–6.

На наступних етапах аналізу штучних ГБ відбір зразків здійснювався з використанням матеріалу траншей ГБ на ділянках №№ 7, 8, 9, що відображено у табл. 4–6.

Таблиця 1

Вміст ВМ у зразках ґрунту ділянок полігону до внесення забруднювачів, мг/кг (відбір проб 20.05.17 – 30.05.17)

Елемент	Номера ділянок					
	1	2	3	4	5	6
Cr	71	68	69	70	69	74
Mn	617	622	614	620	621	616
Co	20	16	18	27	24	28
Cu	19	24	20	17	16	22
Zn	60	56	59	66	64	63

Таблиця 2

Вміст ВМ у зразках ґрунту ділянок полігону, горизонт 0–10 см, мг/кг (відбір проб 01.07.17 – 05.07.17)

Елемент	Номера ділянок					
	1	2	3	4	5	6
Cr	72	70	71	218	226	216
Mn	618	620	618	2610	2616	2614
Co	21	17	18	124	119	121
Cu	21	22	21	224	218	221
Zn	61	58	58	349	361	356

Таблиця 3

Вміст ВМ у зразках ґрунту ділянок полігону, горизонт 0–10 см, мг/кг (відбір проб 01.08.17 – 05.08.17)

Елемент	Номера ділянок								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cr	73	72	73	216	222	214	46	42	43
Mn	622	624	621	2605	2611	2609	580	595	588
Co	22	19	19	115	117	114	21	20	17
Cu	22	24	21	218	214	216	42	46	38
Zn	64	62	61	342	346	346	80	84	79

Таблиця 4

Вміст ВМ у зразках ґрунту ділянок полігону, горизонт 0–10 см, мг/кг (відбір проб 01.09.17 – 10.09.17)

Елемент	Номера ділянок								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cr	86	96	128	206	203	176	50	52	61
Mn	735	832	1094	2486	2391	2150	635	673	836
Co	27	25	33	111	107	94	23	23	24
Cu	26	32	37	208	196	178	46	52	54
Zn	76	83	107	326	317	284	88	95	112

Таблиця 5

Вміст ВМ у зразках ґрунту ділянок полігону, горизонт 0–10 см, мг/кг (відбір проб 01.10.17 – 08.10.17)

Елемент	Номера ділянок								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cr	89	101	138	202	194	168	56	62	72
Mn	745	864	1212	2450	2334	1892	642	689	924
Co	29	32	44	106	102	86	24	28	30
Cu	28	36	45	196	184	172	49	57	72
Zn	79	87	115	312	290	268	97	103	126

За результатами кінцевих вимірювань вмісту ВМ на ділянках полігону розраховано значення градієнтів бар'єрів для досліджуваних елементів:

$$G_i^k = \frac{C_{i1} - C_{i2}}{l}$$

де  $i$  – індекс елементу (Cr, Mn, Co, Cu, Zn);  $l$  – потужність бар'єру ( $l = 0,5$  м); індекси 1 – перед бар'єром, 2 – після бар'єру;  $k$  ( $k = I, II, III$ ): I – бар'єр між майданчиками 1, 4; II – бар'єр між майданчиками 2, 5; III – бар'єр між майданчиками 3, 6.

Результати розрахунків значень бар'єрів на жовтень 2017 р. представлено у табл. 6.

На другому етапі (2018 р.) модельного експерименту була проведена геохімічна зйомка тих

же ділянок експериментального полігону, але без додаткового внесення забруднюючих ВМ. Ці заходи було здійснено для визначення динаміки міграції ВМ у зимовий період 2017–2018 рр. Результати геохімічної зйомки наведені у табл. 7–8.

З табл. 7, 8 видно, що після зимового періоду спостерігається певна стабілізація динаміки міграції ВМ між природними і забрудненими ділянками, та накопиченням ВМ на кожному окремому типі штучного ГБ. Тому розрахунок величини градієнту бар'єру для кожного елемента-забруднювача проведено за кінцевими вимірюваннями концентрацій ВМ, тобто за результатами, наведеними у табл. 8. Розраховані значення градієнтів бар'єрів наведено у табл. 9.

Таблиця 6

Значення градієнтів бар'єрів на майданчиках полігону (жовтень 2017 р.)

Елемент	Величина градієнту бар'єру		
	$G^I$	$G^{II}$	$G^{III}$
Cr	$2,26 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-1}$	$1,86 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-1}$	$6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$
Mn	$3,41 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}$	$2,94 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}$	$1,36 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}$
Co	$1,54 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-1}$	$1,40 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-1}$	$8,4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$
Cu	$3,36 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-1}$	$2,96 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-1}$	$2,54 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-1}$
Zn	$4,66 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-1}$	$4,06 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-1}$	$3,06 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-1}$

Таблиця 7

Вміст ВМ у зразках ґрунту ділянок полігону, горизонт 0–10 см, мг/кг  
(відбір проб 01.04.2018 – 08.04.2018)

Елемент	Номера ділянок								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cr	91	104	142	184	182	152	68	74	98
Mn	750	871	1221	2380	2291	1812	762	824	1220
Co	30	34	48	101	94	74	29	33	41
Cu	29	40	49	184	170	160	56	68	96
Zn	81	92	122	294	277	246	112	123	169

Таблиця 8

Вміст ВМ у зразках ґрунту ділянок полігону, горизонт 0–10 см, мг/кг  
(відбір проб 03.05.2018 – 07.05.2018)

Елемент	Номера ділянок								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cr	92	103	145	181	177	148	68	75	99
Mn	758	872	1224	2360	2280	1770	770	844	1280
Co	30	35	52	99	92	72	33	39	44
Cu	29	42	53	184	168	152	58	70	101
Zn	80	93	126	292	274	239	112	125	174

Таблиця 9

Значення градієнтів бар'єрів на майданчиках полігону (травень 2018 р.)

Елемент	Величина градієнту бар'єру		
	G <sup>I</sup>	G <sup>II</sup>	G <sup>III</sup>
Cr	$1,78 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-1}$	$1,48 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-1}$	$6,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}^{-1}$
Mn	$3,20 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}$	$2,82 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}$	$1,04 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}$
Co	$1,38 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-1}$	$1,14 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-1}$	$4,0 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$
Cu	$3,01 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-1}$	$2,52 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-1}$	$1,48 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-1}$
Zn	$4,24 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-1}$	$3,62 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-1}$	$2,26 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-1}$

Після обробки результатів геохімічної зйомки (травень 2018 р.) та визначення характеристик ГБ на ділянках експериментального модельного полігону, дослідження процесів фіторемедіації виконувалося у такому порядку:

1. Визначався оптимальний склад рослин, який дозволяв отримати репрезентативні результати щодо ефективності фітовилучення досліджуваних ВМ.

2. Проводилося виділення репрезентативних ВМ з числа штучних забруднювачів експериментального полігону.

3. Засівалися обраними культурами ділянки полігону (01.06.2018 р.).

4. Здійснювався відбір зразків ґрунту та рослинності протягом 3-х місяців з інтервалом відбору 10 днів: (01.07.2018 р. – 10.07.2018 р.), (10.08.2018 р. – 20.08.2018 р.), (20.09.2018 р. – 30.09.2018 р.).

5. Вилучення забрудненої рослинності (фіторемедіантів) та відбір зразків ґрунтового покриву (15.10.2018 р. – 30.10.2018 р.).

В рамках модельного експерименту засів полігону рослинністю здійснювався на ділянках №№ 1, 2, 3, 7, 8, 9. Аналіз результатів досліджень показав, що найбільш репрезентативними забруднювачами ділянок полігону є – Cu та Zn. В подальших дослідженнях розглядалися тільки їх концентрації.

Для модельних досліджень було обрано рослини, які, за літературними даними, найбільш ефективно накопичують у зеленій масі Cu і Zn: календула лікарська (*Calendula officinalis*), люпин однолітній (*Lupinus angustifolius*), соняшник карликовий (*Helianthus sp.*) [2]. Результати вимірювання вмісту Cu та Zn у повітряно-сухих зразках календули, люпину та соняшника за даними спектрометричного аналізу представлено на графіках 2–7.

Аналіз графіків показує, що максимальне накопичення Cu відмічається у тканинах соняшника. Достатньо ефективно тканинами календули та люпину вилучаються Zn у порівнянні з Cu, але це, можливо, обумовлено значно вищим значенням концентрації Zn у ґрунтовому покриві.

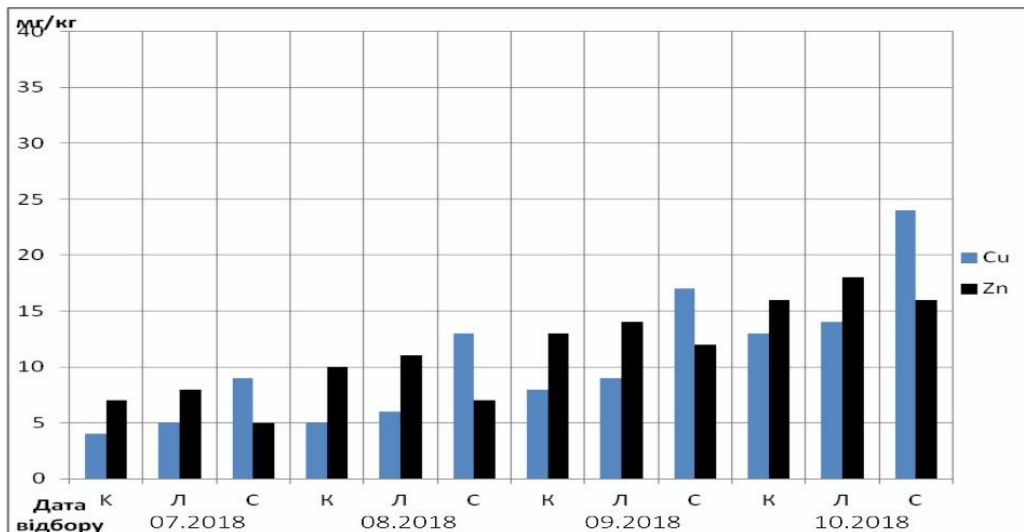


Рис. 2. Вміст Cu та Zn у досліджуваних рослинах на ділянці № 1.  
К – календула, Л – люпин, С – соняшник

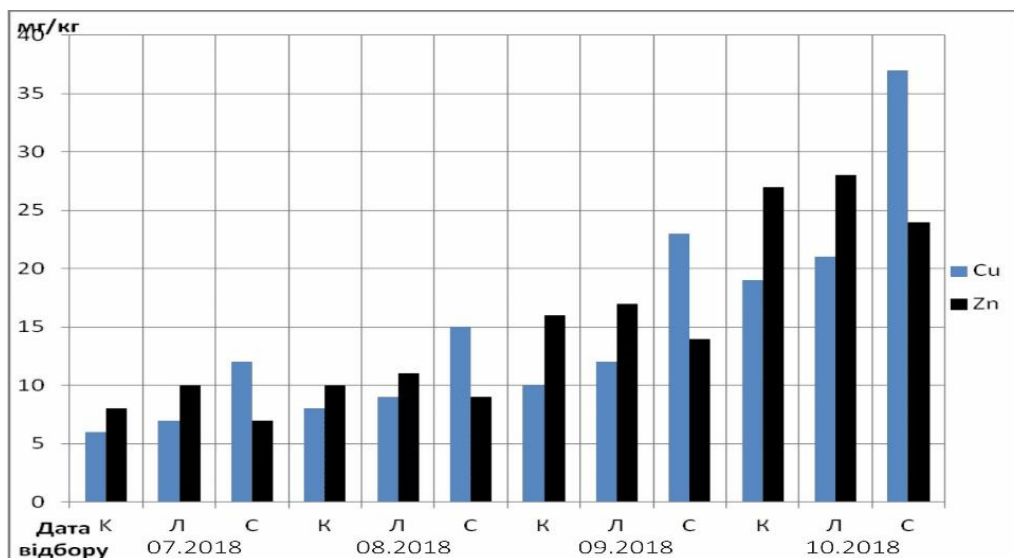


Рис. 3. Вміст Cu та Zn у досліджуваних рослинах на ділянці № 2.  
К – календула, Л – люпин, С – соняшник

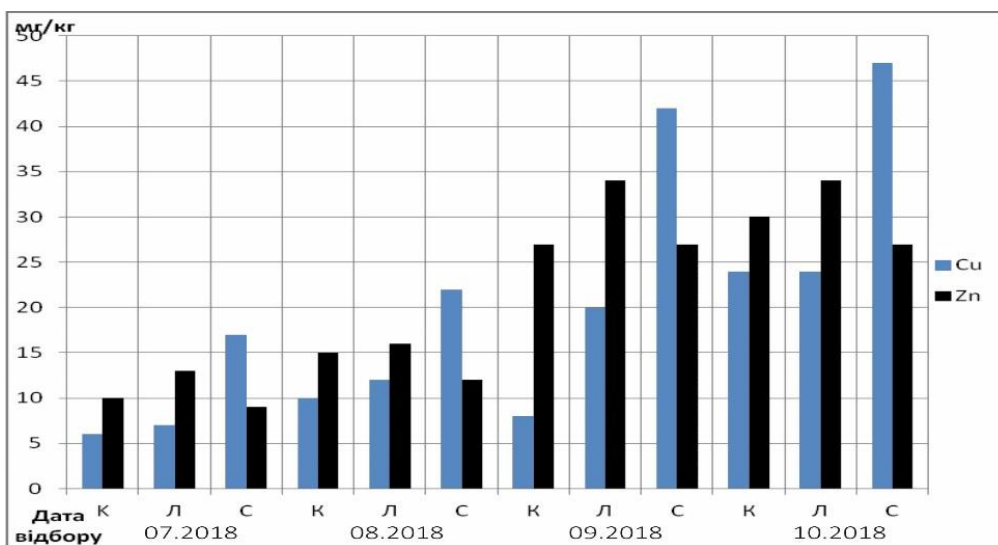


Рис. 4. Вміст Cu та Zn у досліджуваних рослинах на ділянці № 3.  
К – календула, Л – люпин, С – соняшник

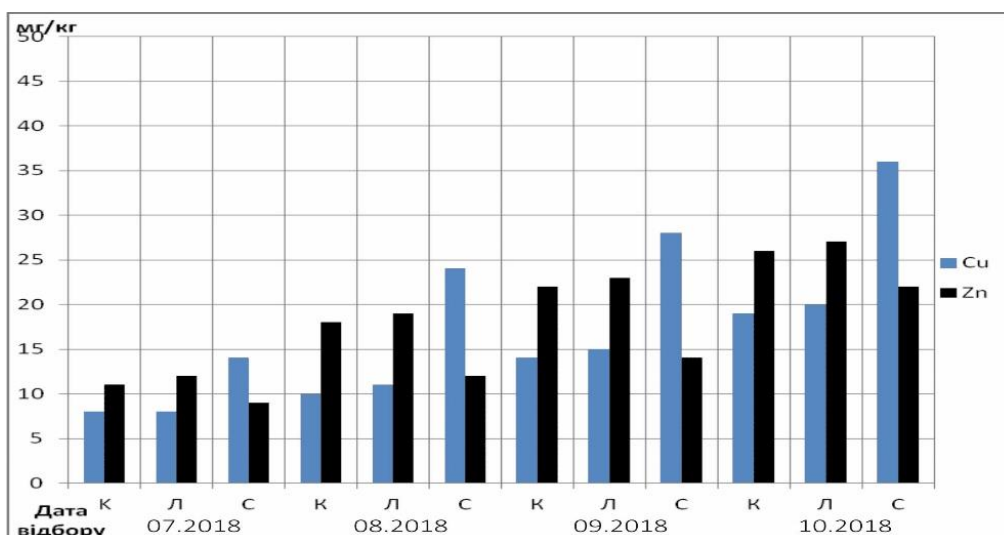


Рис. 5. Вміст Cu та Zn у досліджуваних рослинах на ділянці № 7.  
К – календула, Л – люпин, С – соняшник

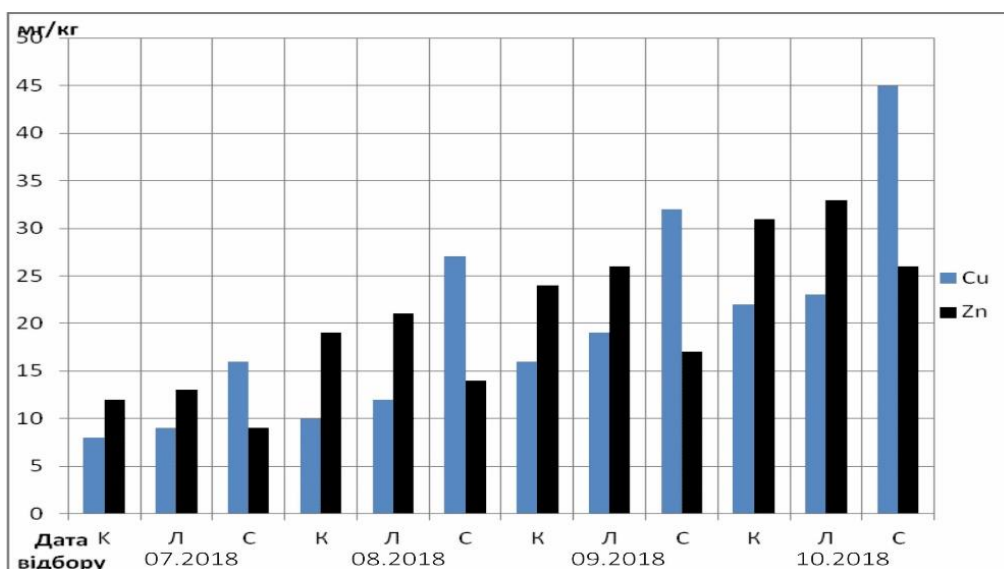


Рис. 6. Вміст Cu та Zn у досліджуваних рослинах на ділянці № 8.  
К – календула, Л – люпин, С – соняшник

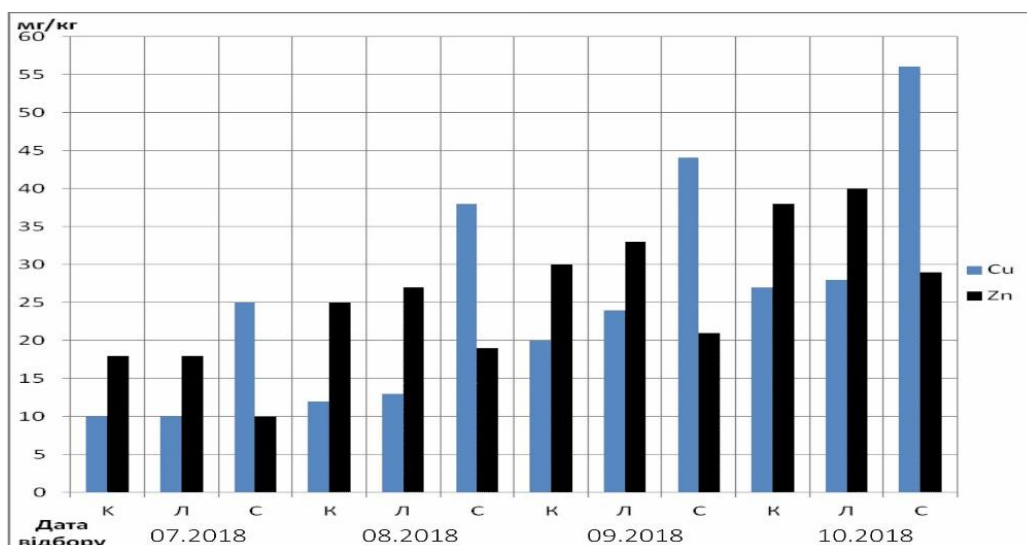


Рис. 7. Вміст Cu та Zn у досліджуваних рослинах на ділянці № 9.  
К – календула, Л – люпин, С – соняшник



**Висновки.** Аналіз сучасних тенденцій розвитку досліджень з використання технологій фітореMediaції дозволяє впевнено констатувати, що найбільш пріоритетним напрямом є поєднання технологій фітореMediaції з припиненням міграції та концентрації ВМ за допомогою ГБ. В результаті проведених досліджень отримано такі результати:

– удосконалено існуючі фітотехнології очищення ґрунтів за рахунок використання штучно створених ГБ;

– встановлено, що найбільш репрезентативними забруднювачами ґрунтів полігону є – Cu та Zn;

– визначено оптимальний склад агроценозів для проведення фітореMediaції ґрунтів: календула, люпин однолітній та соняшник карликовий, які дозволяють отримати репрезентативні результати щодо ефективності фітовилучення Cu і Zn. Максимальні концентрації Cu зафіксовано у тканинах соняшника; високі концентрації Zn, у порівнянні з Cu – у тканинах календули та люпину.

#### Література

1. Алексеенко, В. А. Экологическая геохимия [Текст] / В. А. Алексеенко. – М.: Логос, 2000. – 627 с.
2. Вальков, В. Ф. Плодородие почв и сельскохозяйственные растения: экологические аспекты: монография / В. Ф. Вальков, Т. В. Денисова. – Ростов-на-Дону, ЮФУ, 2008. – 416 с.
3. Ильин, В. Б. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области [Текст] / В. Б. Ильин, А. И. Сысо. – СО РАН, 2001. – 231с.
4. Кравець, О. П. Сучасний стан та перспективи фітоочищення ґрунту від радіонуклідів і важких металів [Текст] / О. П. Кравець // Физиол. и биохимия культ. раст. – 2002. – Вып. 34, № 5. – С. 377–386.
5. Kubica, Barbara. Concentrations of <sup>137</sup>Cs and <sup>40</sup>K radionuclides and some heavy metals in soil samples from the eastern part of the Main Ridge of the Flysch Carpathians [Текст] / Barbara Kubica, Katarzyna Szarlowicz, Marcin Stobinski, Stefan Skiba, Witold Reczynski, and Janusz Golas // Radioanal Nucl. Chem. 2014; 299(3). – P. 1313–1320.
6. Lema, W. Environmental Contamination By Radionuclides And Heavy Metals Through The Application Of Phosphate Rocks During Farming And Mathematical Modeling Of Their Impacts To The Ecosystem [Текст] / W. Lema, N. Jasper, Karoli N. Njai, A. Patrick // International Journal of Engineering Research and General Science. – 2014. – Volume 2 (4). – P. 122–140.
7. Liu, Xiao-bing. Phitoextraction: A cost-effective approach to metal contaminated soils [Текст] / Liu Xiao-bing, Xing Bao-shan // J. Northeast Agr. Univ. – 2003. – Vol. 10, № 2. – P. 182–187.
8. Liu, Xiao-mei. Nongye huanjing kexue xuebao [Текст] / Liu Xiao-mei, Wu Qi-tang, Li Pime-tao // J. Agro-Environ. Sci. – 2003. – Vol. 22, № 5. – P. 636–640.
9. Логінов, В. Б. Концепція біогеоценотичних геохімічних бар'єрів [Текст] / В. Б. Логінов. – Вісник ЖДТУ, 2009. – № 1(48). – С. 214–220.
10. Мартьянычев, А. В. Применение фитореMediaции почв для очистки земель сельскохозяйственного назначения [Текст] / А. В. Мартьянычев // Вестник НГИЭИ. – 2012. – № 10. – С. 56–63.
11. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий продукции растениеводства [Текст]. – М., 1992. – 63 с.
12. Патент на корисну модель 108686 UA. Спосіб локалізації важких металів, які мігрують у техногенних потоках забруднення [Текст] / О. В. Полевич, І. В. Удалов. – Бюл. № 14, 2016. – 4 с.
13. Патент на корисну модель 50789 UA. Спосіб очищення ґрунтів породного відвалу вугільних шахт від важких металів [Текст] / В. І. Баранов, М. Я. Гавриляк. – Бюл. № 12, 2010. – 8 с.
14. Патент на корисну модель 4726 UA. Спосіб очищення техногенно забруднених ґрунтів від важких металів [Текст] / М. М. Дронь, Ф. О. Чмиленко, Н. М. Смітюк. – Бюл. № 2, 2005. – 4 с.
15. Патент на корисну модель 96936 UA. Спосіб фітореMediaції техногенно забруднених важкими металами ґрунтів для ефективного їх використання [Текст] / В. О. Зуза, В. Л. Самохвалова, С. Г. Зуза, Є. В. Панасенко та ін. – Бюл. № 4., 2015. – 6 с.
16. Патент на корисну модель 76416 UA. ФітореMediaційний спосіб очищення ґрунтів від важких металів / О. П. Корж, І. Г. Савченко, Н. О. Гура. – Бюл. № 1, 2013. – 6 с.
17. Полевич, О. В. Визначення складу та товщини двошарових тонких плівок і метрологічних характеристик при їх рентгенофлуоресцентному аналізі [Текст] / О. В. Полевич, В. О. Цимбал, В. О. Бочаров // Український метрологічний журнал. – 2012. – № 1. – С. 44–46.
18. Полевич, О. В. Розвиток рентгенофлуоресцентного методу аналізу (РФА) для визначення елементного складу різних матеріалів [Текст] / О. В. Полевич, В. О. Цимбал, В. О. Бочаров // В кн. «Бъдещитe изследованиe – 2012». – София: «БълГРАД-БТ». – 2012. – Т. 34. – С. 67–71.
19. Полевич, О. В. Перспективи визначення елементного складу твердих донних відкладень з використанням методу рентгенофлуоресцентного аналізу [Текст] / О. В. Полевич, О. В. Чуєнко, С. Є. Калініченко // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: «Геологія-Географія-Екологія». – 2012. – № 997. – С. 59–62.
20. Прасад, М. Практическое использование растений для восстановления экосистем, загрязненных металлами [Текст] / М. Прасад // Физиол. раст. – 2003. – Вып. 50, № 5. – С. 764–780.

21. Самохвалова, В. Л. Біологічні методи ремедіації ґрунтів, забруднених важкими металами [Текст] / В. Л. Самохвалова // *Studia Biologica*, 2014. – Т. 8. – №1. – С. 217–236.
22. Самохвалова, В. Л. Фіторемердіація техногенно забруднених ґрунтів [Текст] / В. Л. Самохвалова, А. І. Фатєєв, С. Г. Зуза та ін. – *AGROECOLOGICAL JOURNAL*, 2015. – №1. – С. 92–100.
23. Сидоренко, С. В. Фіторемердіація ґрунтів, забруднених важкими металами [Текст] / С. В. Сидоренко, Ю. М. Шупик // *Сучасні технології у промисловому виробництві: матеріали та програма IV Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції, м. Суми, 19-22 квітня 2016 р.: у 2-х ч. / Редкол.: О. Г. Гусак, В. Г. Євтухов. – Суми: СумДУ, 2016. – Ч. 2. – С. 56.*
24. Simon, Franz-Georg. Sustainable Remediation Methods for Metals and Radionuclides [Текст] / Franz-Georg Simon, Tamás Meggyes // *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*. – 2012. – P. 123–127.
25. Stevanović, V. Environmental risk assessment of radioactivity and heavy metals in soil of Toplica region, South Serbia [Текст] / V. Stevanović, L. Gulan, B. Milenković, A. Valjarević // *Environ Geochem Health*. 2018. – 40(5). – P. 143–147.

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

UDC 631.4:546.47+546.56]:574.4

**Oleg Polevich,**

PhD (Technical), Associate Professor, Department of Hydrogeology,  
V. N. Karazin Kharkiv National University,  
4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,

e-mail: [oleg.polevich@gmail.com](mailto:oleg.polevich@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2173-7135>;

**Igor Udalov,**

Doctor of Sciences (Geology), Associate Professor, Head of the Department of Hydrogeology,  
V. N. Karazin Kharkiv National University,

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

**Alina Kononenko,**

PhD (Geology), Senior Lecturer, Department of Hydrogeology,  
V. N. Karazin Kharkiv National University,

e-mail: [kononenko\\_alina01@ukr.net](mailto:kononenko_alina01@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-0382-3910>;

**Fedir Chomko,**

Associate Professor, Department of Hydrogeology,  
V. N. Karazin Kharkiv National University,

e-mail: [hydrogeology@karazin.ua](mailto:hydrogeology@karazin.ua), <https://orcid.org/0000-0001-7816-4978>

## **REMEDICATION OF CONTAMINATED HEAVY METALS AND RADIONUCLIDES OF SOIL COVERING WITH THE APPLICATION OF MODERN ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES**

**Formulation of the problem.** The article is dedicated to the improvement of existing technologies for the restoration of soil contaminated with heavy metals (HM) by phytoremediation using artificially created geochemical barriers (GB).

**The purpose of the article** includes 2 aspects: to develop and improve existing phytotechnology of soil purification through the use of GB; determine agrocenosis cultures for optimal phytoremediation of soil contamination by specific HM.

**Materials and methods.** The ability of special agrocenoses to provide soil phytoremediation is used as the main working tool. Phytoremediation technology of contaminated VM soils involves two stages: preparatory and phytoremediation. In the first stage, geochemical survey of the territory of the landfill is carried out before the pollutants are introduced; an artificial GB is created from materials of industrial waste – iron sulfate ( $\text{FeSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ); the contaminated sites of the landfill are identified by sampling soil for analysis of the contents of HM.

In the second stage of the experiment, the characteristics of the artificial artificial GB are determined and the process of soil phytoremediation using special agrocenoses is investigated. Quantitative determination of the content of HM in the selected samples is performed on a SRM-25 RF spectrometer. To analyze the content of HM, the plant material is dried to air-dry state, ground to a powdered state and pelleted under a press.

**Results.** The analysis of the performed researches of phytoremediation technologies makes it possible to state with confidence that the most priority is the combination of phytoremediation technologies with the

cessation of migration and concentration of HM with artificial GB. As a result of the conducted research the following results are obtained:

- existing phytotechnologies of soil purification are being improved due to the combination of artificially created GBs with selected agrocenoses;
- it is established that the most representative pollutants of landfill soils are – Cu and Zn;
- the optimal composition of agrocenoses for soil phytoremediation is determined: calendula, annual lupine and dwarf sunflower, which allow to obtain representative results on the efficiency of Cu and Zn phytochemical extraction. Maximum concentrations of Cu are recorded in sunflower tissues; high concentrations of Zn compared to Cu – in the tissues of calendula and lupine. The final part of the experiment is the elimination of agrocenosis at the final stage of vegetation, which accumulates in its composition high concentrations of Cu and Zn. It is estimated that in several cycles of elimination of such agrocenoses, the content of soil contaminants should reach acceptable levels.

**Scientific novelty and practical significance.** Scientific novelty – the process of restoration of ecological properties of soils due to the improvement of phytoremediation technology is scientifically substantiated.

The practical application of the obtained results is the implementation of the proposed technology of soil restoration in territories contaminated mainly by Cu and Zn.

**Keywords:** soils, geochemical barrier, toxic substances, heavy metals, phytoremediation, agrocenosis.

### References

1. Alekseenko, V. A. (2000). *E`kologicheskaya geokhimiya [Ecological geochemistry]*. M.: Logos, 627 p. [in Russian]
2. Val`kov, V. F., Denisova, T. V. (2008). *Plodorodie pochv i sel`skokhozyajstvenny`e rasteniya: e`kologicheskie aspekty`: monografiya [Soil fertility and agricultural plants: environmental aspects: monograph]*. Rostov-na-Donu, YuFU, 416. [in Russian]
3. Il`in, V. B., Sy`so, A. I. (2001). *Mikroe`lementy` i tyazhely`e metally` v pochvakh i rasteniyakh Novosibirskoj oblasti [Trace elements and heavy metals in soils and plants of the Novosibirsk region]*. SO RAN, 231.
4. Kravets, O. P. (2002). *Suchasnyi stan ta perspektivy fitoochyschennia gruntu vid radionuklidiv i vazhkykh metaliv [Current state and prospects of phyto-purification of soil from radionuclides and heavy metals]*. *Physiol. and the biochemistry of the cult. growth*, 34 (5), 377–386. [in Ukrainian]
5. Kubica, Barbara, Szarlowicz, Katarzyna, Stobinski, Marcin (2014). *Concentrations of <sup>137</sup>Cs and <sup>40</sup>K radionuclides and some heavy metals in soil samples from the eastern part of the Main Ridge of the Flysch Carpathians*. *Radioanal Nucl. Chem.*, 299(3), 1313–1320.
6. Lema, W., Jasper, N., N. Njau, Karoli, Patrick, A. (2014). *Environmental Contamination By Radionuclides And Heavy Metals Through The Application Of Phosphate Rocks During Farming And Mathematical Modeling Of Their Impacts To The Ecosystem*. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 2 (4), 122–140.
7. Liu, Xiao-bing, Xing, Bao-shan (2003). *Phytoextraction: A cost-effective approach to metal contaminated soils*. *J. Northeast Agr. Univ.*, 10 (2), 182–187.
8. Liu, Xiao-mei, Wu, Qi-tang, Li, Pime-tao (2003). *Nongue huanjing kexue xuebao*. *J. Agro-Environ. Sci.* 22 (5), 636–640.
9. Lohhinov, V. B. (2009). *Kontseptsiia bioheotsenotychnykh heokhimichnykh barieriv [The concept of biogeocenotic geochemical barriers]*. *Visnyk ZhDTU – ZhSTU Bulletin*, 1(48), 214–220. [in Russian]
10. Mart`yany`chev, A. V. (2012). *Primenenie fitoremediaczii pochv dlya ochistki zemel` sel`skokhozyajstvennogo naznacheniya [Use of phytoremediation of soils for agricultural land clearing]*. *Vestnik NGIE I – NGIEI Bulletin*, 10, 56–63. [in Russian]
11. *Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu tyazhely`kh metal lov v pochvakh sel`khozugodij produkcii rastenievodstva [Guidelines for the determination of heavy metals in soils of farmland crop products]*. M., 1992. 63. [in Russian]
12. Polievych, O. V., Udalov, I. V. (2016). *Pat. na korysnu model 108686 UA. Sposib lokalizatsii vazhkykh metaliv, yaki mihruut u tekhnohennykh potokakh zabrudnennia [A method of localizing heavy metals that migrate in man-made pollution streams]*, 14, 4. [in Ukrainian]
13. Baranov, V. I., Havryliak, M. Ya (2010). *Pat. na korysnu model 50789 UA. Sposib ochyschennia gruntiv porodnoho vidvalu vuhilnykh shakht vid vazhkykh metaliv [A method of cleaning the soil of the waste heaps of coal mines from heavy metals]*. *Biul.*, 12, 8. [in Ukrainian]
14. Dron, M. M., Chmylenko, F. O., Smitiuk, N. M. (2005). *Pat. na korysnu model 4726 UA. Sposib ochyschennia tekhnohennykh zabrudnennykh gruntiv vid vazhkykh metaliv [Method of purification of technogenically contaminated soils from heavy metals]*. *Biul.*, 2, 4. [in Ukrainian]
15. Zuza, V. O., Samokhvalova, V. L., Zuza S. H., Panasenko, Ye. V. (2015). *Pat. na korysnu model 96936 UA. Sposib fitoremediatsii tekhnohennykh zabrudnennykh vazhkykh metalamy gruntiv dlia efektyvnoho yikh vykorystannia [Method of phytoremediation of technogenically contaminated soils with heavy metals for efficient use]*. *Biul.*, 4., 6. [in Ukrainian]

16. Korzh O. P., Savchenko I. H., Hura N. O. (2013). Pat. na korysnu model 76416 UA. Fitoremediatsiyni sposib ochyshchennia gruntiv vid vazhkykh metaliv [Phytoremediation method of purification of soils from heavy metals]. *Biul.*, 1, 6. [in Ukrainian]
17. Polevich, O. V., Tsymbal, V. O., Bocharov, V. O. (2012). Vyznachennia skladu ta tovshchyny dvosharovykh tonkykh plivok i metrolohichnykh kharakterystyk pry yikh renthenofluorestsentnomu analizi [Determination of composition and thickness of two-layer thin films and metrological characteristics in their X-ray fluorescence analysis] *Ukrainian metrological journal*, 1, 44–46. [in Ukrainian]
18. Polevich, O. V., Tsymbal, V. O., Bocharov, V. O. (2012). Rozvytok renthenofluorestsentnoho metodu analizu (RFA) dlia vyznachennia elementnoho skladu riznykh materialiv [Development of X-ray fluorescence method of analysis (RFA) for determining the elemental composition of different materials] In the book: *Future Research*. Sofia: BELGRAD-BT, 34, 67–71. [in Ukrainian]
19. Polievych, O. V., Chuienko, O. V., Kalinichenko, S. Ye. (2012). Perspektyvy vyznachennia elementnoho skladu tverdykh donnykh vidkladen z vykorystanniam metodu renthenofluorestsentnoho analizu [Prospects for determining the elemental composition of solid bottom sediments using the method of X-ray fluorescence analysis]. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology»* 997, 59–62. [in Ukrainian]
20. Prasad, M. (2003). Prakticheskoe ispol'zovanie rastenij dlya vosstanovleniya e'kosistem, zagryaznenny'kh metallami [Practical use of plants for the restoration of metal-contaminated ecosystems]. *Physiol. growth*, 50 (5), 764–780. [in Russian]
21. Samokhvalova, V. L. (2014). Biologichni metody remediatsii gruntiv, zabrudnennykh vazhkymy metalamy [Biological methods of remediation of soils contaminated with heavy metals]. *Studia Biologica*, 8(1), 217-236. [in Ukrainian]
22. Samokhvalova, V. L., Fatieiev, A. I., Zuza, S. H. (2015). Fitoremediatsiia tekhnogenno zabrudnennykh gruntiv [Phytoremediation of technogenically contaminated soils]. *Agroecological Journal*, 1, 92–100. [in Ukrainian]
23. Sydorenko, S. V., Shupyk, Yu. M. (2016). Fitoremediatsiia gruntiv, zabrudnennykh vazhkymy metalamy [Phytoremediation of soils contaminated with heavy metals]. *Suchasni tekhnologii u promyslovomu vyrobnytstvi: materialy ta prohrama IV Vseukrainskoi mizhvuzivskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii, m. Sumy, 19-22 kvitnia 2016 r.: u 2-kh ch.* [Modern Technologies in Industrial Production: Materials and Program of the IV All-Ukrainian Inter-University Scientific and Technical Conference, Sumy, April 19-22, 2016: at 2 p.m.]. Sumy: SumDU, 2, 56. [in Ukrainian]
24. Franz-Georg, Simon (2012). Sustainable Remediation Methods for Metals and Radionuclides. *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*, 123–127.
25. Stevanović, V., Gulan, L., Milenković, B., Valjarević, A. (2018). Environmental risk assessment of radioactivity and heavy metals in soil of Toplica region, South Serbia. *V. Environ Geochem Health*, 40(5), 143–147.

UDC: 504.064(262.5)(477.74)

**Yevhen Volodymyrovych Sokolov,**

PhD (Biology), Senior Researcher,

State Institution «Institute of Marine Biology of the NAS of Ukraine»,

37 Pushkinska St., Odessa, 65011, Ukraine,

e-mail: [sokolovev87@gmail.com](mailto:sokolovev87@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0587-2719>;

**Roman Ivanovych Shevchenko,**

PhD (Engineering Sciences), Associate Professor of the Department of Ecology and

Environmental Technologies, «Odesa National Academy of Food Technologies»,

112 Kanatna St., Odessa, Ukraine, 65039,

e-mail: [onaft.eko@gmail.com](mailto:onaft.eko@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-7924-1987>;

**Mariia Mykhailivna Madani,**

PhD (Engineering Sciences), Associate Professor of the Department of Ecology and

Environmental Technologies, «Odesa National Academy of Food Technologies»,

e-mail: [madanikader50@gmail.com](mailto:madanikader50@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0001-9386-7364>

## ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE TERRITORIAL COMPLEXES OF TATARBUNARS'KYI DISTRICT OF ODESSA REGION

**Є. В. Соколов, Р. І. Шевченко, М. М. Мадані. ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ТЕРИТОРІАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ ТАТАРБУНАРСЬКОГО РАЙОНУ ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ.** Проведена геоекологічна оцінка ландшафтно-господарської структури Татарбунарського району на основі просторового геоінформаційного аналізу даних дистанційного зондування Землі. Проаналізований розподіл прогріву різних типів угідь району та амплітуду їх коливань на основі термальних сканерів - TIRS (Thermal InfraRed Sensor) супутника Landsat8. Проведений сезонний аналіз динаміки рослинного покриву за значеннями вегетаційного індексу NDVI. Дана просторова характеристика зволоженості різних типів угідь території району на основі індексу NDMI. За цими показниками продемонстровано, що сільськогосподарські орні землі мають значно більшу гетерогенність та сезонну динаміку, ніж інші типи наземних угідь. На ділянці ріллі району з засіяними та розораними землями був проведений порівняльний регресійно-кореляційний аналіз функціональних показників: прогріву, розвитку рослинності та зволоженості, встановлений статистично-значущий зв'язок між ними. Проведена інвентаризація ландшафтно-господарської структури району за типом угідь, проаналізована екологічна збалансованість та рівень антропогенної трансформації природно-територіальних комплексів. Запропонована екологічно-збалансована територіальна структура організації угідь та заходи з підвищення екологічної стабільності агроландшафтів району. На основі аналізу геоморфологічних особливостей району з використанням цифрових моделей рельєфу SRTM виділені ділянки, які в першу чергу мають найбільший екологічний ризик екзогенних процесів та впливу антропогенних чинників. Був побудований розподіл населених пунктів та щільності населення на території Татарбунарського району, який продемонстрував, що більшість з них розміщена саме на цих ділянках. Проведене гідрографічне районування з виділенням водозбірних басейнів та суббасейнів району. Проведений детальний гідрологоморфологічний аналіз водозбірного басейну л. Карачаус який належить до Тузловського комплексу, на підставі якого були запропоновані рекультивацийні та природоохоронні заходи.

**Ключові слова:** Татарбунарський район, північно-західне Причорномор'я, ГІС аналіз, дистанційне зондування, антропогенне навантаження, природно-територіальні комплекси, еколого-господарський баланс, екологічний менеджмент.

**Е. В. Соколов, Р. И. Шевченко, М. М. Мадани. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС НА ПРИМЕРЕ ТАТАРБУНАРСКОГО РАЙОНА.** Проведена геоэкологическая оценка ландшафтно-хозяйственной структуры Татарбунарского района на основе пространственного геоинформационного анализа и данных дистанционного зондирования Земли. Проанализировано распределение прогрева различных типов угодий района и амплитуда их колебаний на основе термальных сканеров - TIRS (Thermal InfraRed Sensor) спутника Landsat8. Проведен сезонный анализ динамики растительного покрова по значениям вегетационного индекса NDVI. Дана пространственная характеристика увлажненности различных типов угодий территории района на основе индекса NDMI. По этим показателям продемонстрировано, что сельскохозяйственные пахотные земли имеют значительно большую гетерогенность и сезонную динамику чем другие типы наземных угодий. На участке пахотного поля с засеянными и распаханными землями был проведен сравнительный регрессионно-корреляционный анализ функциональных показателей: прогрева, развития растительности и увлажненности, установлено статистически значимая связь между ними. Проведена инвентаризация ландшафтно-хозяйственной структуры района по типу угодий, проанализирована экологическая сбалансированность и уровень антропогенной трансформации природно-территориальных комплексов. Предложена экологически сбалансированная территориальная структура организации угодий и мероприятия по повышению экологической стабильности агроландшафтов района. На основе анализа геоморфологических особенностей района с использованием цифровых моделей рельефа SRTM выделены участки, которые в первую очередь имеют наибольший экологический риск экзогенных процессов и влияния антропогенных факторов. Было построено распределение населенных пунктов и плотности населения на территории Татарбунарского района, которое показало, что большинство из них размещено именно на этих участках. Проведено гидрографическое районирования с выделением водосборных бассейнов и суббассейнов района. Проведен детальный гидроломорфологический анализ водосборного бассейна л. Карачаус который относится к Тузловскому комплексу, на основании которого были предложены рекультивационные и природоохранные мероприятия.

**Ключевые слова:** Татарбунарский район, северо-западное Причерноморье, ГИС анализ, дистанционное зондирование, антропогенная нагрузка, природно-территориальные комплексы, эколого-хозяйственный баланс, экологический менеджмент.



**Formulation of the problem.** Tatarbunars'kyi District is located in the southwestern part of Odessa region and reflects the main landscape and economic features of the region: aquatic, agricultural, resort resources, and nature conservation areas. On the other hand, it is a typical District with extensive land plowing, with a dominant anthropogenic influence in the form of agricultural activities which consist of 91% of the total area of agricultural territories that are presented by arable land, while 4.16% of the arable land is degraded [8]. That information alone is enough to come to a conclusion that such land structure and resource management has a complex negative impact on ecological and economic processes, and cannot ensure sustainable development of the region, it is particularly antagonistic to the unique transitional wetland ecosystems of international importance [20], located within the area (degradation of watercourses, siltation, xenobiotic contamination, eutrophication, reduction of biological diversity, etc.)

Earth remote sensing (ERS) data - spectrozonal satellite images, digital terrain models, and geoinformation systems (GIS) - can be involved in addressing the region's balanced environmental management problems, as it provides simultaneous coverage of the whole region under study, regular monitoring and significant reduction of the cost of expensive expedition work, allowing to obtain a large array of characteristics of the status of territorial complexes of the area. Remote methods are based on the ability of spatial objects to emit, scatter, and absorb electromagnetic waves of varying intensity. The value of environmental indicators based on ERS is found like a function of the amount of reflected or absorbed radiation, which contributes to its remote identification [29].

**Analysis of recent research and publications.** Quantitative methods, based on the ratio of natural and anthropogenic elements [27], for estimating anthropogenic changes of landscapes have become the most prevalent for assessing the level of transformability of natural-territorial complexes. Methods of landscape and ecological optimization, as well as estimation of economic and ecological balance of the region based on the inventory of the areas with their ranking according to the degree of anthropogenic changes are presented in the works of B.I. Kochurov (1999) [11] and L.P. Tsaryk (2009) [33]. An integrated approach to the sustainable management of the usage of administrative territorial units is discussed in the following works [39, 40, 41, 42, 45, 51, 55].

Several issues regarding Ukraine's planning of the land-usage structure were addressed with the consideration of international experience, natural and economic features [17, 47, 48, 50].

In the works of the Institute of Plant Physiology and Genetics of the NAS of Ukraine and the Space Research Institute of the NASU-SSAU (including joint ones) methods for assessing the characteristics of terrestrial plant biomass from spectra reflection (spectral signatures) were developed and proposed, issues of satellite data validation using spectrometric field measurements were considered [10, 7, 18, 35].

In the monograph of V.I. Lyalko and M.O. Popov the following issues of multispectral space information application for solving nature management problems were considered: establishment of forests' species composition; forecasting of grain yields; determination of the geo-ecological status of natural technogenic systems, etc.; materials, methods, and models of interpretation of Earth remote sensing data for environmental monitoring were outlined [12].

The use of spectroradiometer data, the Landsat and MODIS series of satellites in particular, in the assessment of thermal fields and the moisture content of artificial and natural terrestrial surfaces (territorial complexes) is reviewed in the works [9, 26, 32].

Adaptive-landscape principles of applying field-protecting forest cultivation, including the area of required field-protecting forest areas [5], were reviewed in Odesa region, including Tatarbunars'kyi District.

The environmental status of land resources of the mentioned District has been estimated based on plowing indicators, humic matter content, environmental sustainability, erosion, and others, including integral indices [28]. It is clearly demonstrated that the land resources of the area do not meet the requirements of rational natural use due to, first of all, the violation of the ratio of arable land.

Recommendations for the location of agricultural crops are proposed, and so is the use of ERS data for the quantitative assessment of vegetation of Tatarbunars'kyi District [2]. An assessment of the recreational potential of the administrative regions of Odesa region by the integral characteristics of the resource, ecological, infrastructural, and consumer factors is carried out in [6], where it is shown that Tatarbunars'kyi District is very promising for studies of ecological tourism, balneology, and recreation at the expense of a large number of objects of nature conservation fund, firth and estuary natural complexes. Structural features of the eco-network, including the objects of the nature conservation fund, their territories and prospects for expansion [20], are also taken into consideration. An analysis of nature-protecting regime of coastal protection lanes (CPL) of Tatarbunars'kyi District's hydro-ecosystems and their structures has been reviewed in [25] and it is

noted that the District is characterized by a very little amount of CPLs with corresponding project documentation. In the very same work, there is an analysis of the problems of efficient and integrated use of the Sasyk estuary that was desalinated as a result of river water transmission from the Danube-Sasyk channel. Collective works [1, 27], with a consideration of anthropogenic influence, have analyzed the peculiarities of hydrological, hydro-chemical and hydro-biological regimes of the ecosystems of estuary complexes located within the area, estuaries of the «Tuzlov group» (Shagany, Alibey, Burnas) in particular. The morphometry and toponymy of the water bodies of the «Tuzlovs'kyi estuaries» national park were also discussed in [19]. For these objects, a comparative classification according to morphometric and hydrological characteristics, as well as their natural resistance, has been conducted [14, 31].

**Highlighting previously unresolved parts of the general problem.** Certain possibilities of using the Earth remote sensing data for functional estimation of the lands that were changed by anthropogenic activities are carried out in this work. First of all, arable land, with an analysis of the ecological and economic balance of the area based on geo-ecological coefficients, and then emphasis on the areas that are primarily exposed to ecological risks of exogenous processes and the influence of anthropogenic factors based on geomorphological features using digital terrain models. Measures to improve the ecological stability of agro-landscapes and the landscape-anthropogenic structure of the area's lands are proposed. Hydrographic zoning and catchment areas of Tatarbunars'kyi District were conducted. For one of them - the catchment area of the Karachaus estuary, hydrologic-morphological features were analyzed, and an improved scheme for nature management was developed. The presented cartographic material of the aforementioned components, and despite the fact that the materials of the article are primarily demonstrative and methodological, can be used for further, deeper spatiotemporal assessment of the ecological status of territorial complexes of the region, aimed at developing new management plans for sustainable nature usage.

**Formulating the purpose of the article.** The purpose of the work is: functional assessment of the ecological status of the economic landscape structure, and development of recommendations for protecting natural territorial complexes of Tatarbunars'kyi District in Odesa region based on the use of GIS and ERS data.

The main tasks aimed at achieving the goal were:

- estimation of ecological parameters (temperature of warming of the territorial complexes, aridity, condition of plant-based biomass), and

their interrelation in spatial and temporal dynamics simultaneously in the whole District;

- assessment of the state of nature management and its balance;
- terrain analysis and emphasis on the areas that are primarily the most at environmental risk of exogenous processes and influence of anthropogenic factors;
- hydrographic zoning and measure development for sustainable use of nature, for natural conservation of the catchment area of the Karachaus estuary at the «Tuzlovs'kyi Complex».

**Materials and methods.** The Landsat8 satellite images with OLI and TIRS sensors [52], as well as 30m digital terrain relief models obtained from the international «Shuttle radar topographic mission» (SRTM30), radar image [43] were used as an output. Spatial distribution of the population was carried out on the basis of «OpenStreetMap» data [44], using automatic IDW (inversely-weighted distance) interpolation. Spatial analysis and data processing were performed in QGIS v 3.4.6 software package with integrated SAGAGIS and GRASSGIS tools, namely: vector and raster data processing, spectral index calculation, morphometric and topographic terrain analysis, hydrographic zoning, density calculation and construction of interpolation surfaces, visualization and design of cartographic materials. Radiometric calibration and atmospheric correction of the Landsat8 satellite images were carried out on the basis of the use of the additional «Semi-Automatic Classification Plugin» geo-information module also in QGIS v 3.4.6.

To calculate the spectral brightness of distant infrared radiation in a unit of temperature, the values of the calculated coefficients were used according to the calculation method from the metadata file attached to the satellite images [53].

The Normalized Difference Vegetation Index – NDVI [36, 38, 46], which is one of the most common indices for the quantification of vegetation, has been calculated for its main purpose.

The watershed distribution was estimated using the modified Normalized Differential Moisture Index (NDMI), which is derived from the near and short-wave infrared parts of the wavelength spectrum and characterizes the aridity level of landscape complexes [54].

The analysis of land use structure and determination of the anthropogenic load was conducted based on ranking and consolidation of territorial objects into homogeneous groups. The coefficients of anthropogenic transformation of the landscape structure of natural territorial complexes were calculated according to the methodology [11].

LS-factor (length and slope factor) was used to calculate areas with planar erosion potential, which

combines the influence of the slope and bevel length of the terrain, calculated according to a corresponding methodology based on the digital terrain model [42].

As a basis for the data of remote sensing of the development of recommendations for the catchment basin of the Karachaus estuary, in addition to the relief data, a Sentinel2B satellite image was used [49].

**Results and their analysis.** One of the most important physical characteristics in environmental studies is the surface temperature, which characterizes the intensity of processes in natural environments and the degree of their homogeneity. An analysis of the temperature distribution of Tatarbunars'kyi District's territorial complexes based on the Landsat8 satellite has revealed a high amplitude of the indicator. For example, according to the Landsat8 (2015.09.22) satellite imagery, the maximum temperature of territorial complexes was 28.50 °C, while the lowest figure was 16.41°C, the standard deviation of temperature was 3.88 °C, the coefficient of variation of 24% was fairly homogeneous, mainly due to plowed soils without any vegetation (Fig. 1), a share of which at this date has amounted to 78%

of the total land area of the District. These areas have the highest surface warming (Fig. 2).

In general, the area with the highest frequency distribution of temperature values is found on plowed land and water bodies (Fig. 3).

The amplitude of fluctuations in terrestrial temperature in the territory of the District was 9.81 °C for the same period of time, meaning that the warming of plowed soil is higher than the warming under plant cover by almost 10 °C even in autumn, which certainly affects the hydrological, geochemical and biological processes of the area, especially in summer.

The spatial distribution of NDVI over time in the area allowed to detect a significant change of the figure within just one month. For example, the calculation of NDVI on 24.05.2015 has showed that the maximum figures in the range of 0.5-0.81 – dense plant cover (Table 1) had a land area of 341.66 km<sup>2</sup> (Fig. 4), at the end of summer - on 26.08.2015 – lands with maximum index values in the range of 0.5-0.79 occupied an area of 55.45 km<sup>2</sup> (Fig. 5), and a month later plant cover with an index value in the range of more than 0.5 decreased to an area of 13.641 km<sup>2</sup> (Fig. 6), which is 25 times more

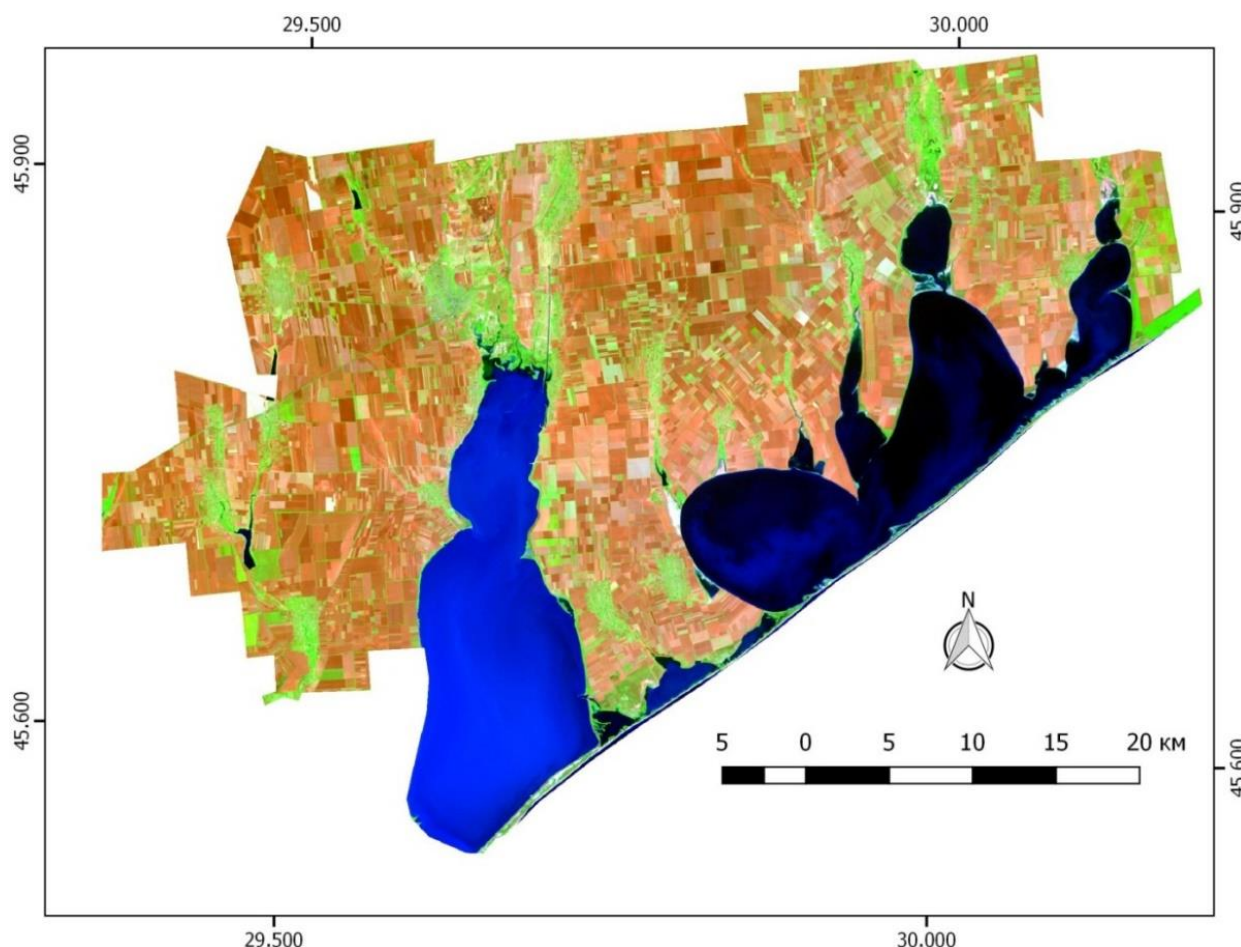


Fig. 1. Color-synthesized image of natural territorial complexes of Tatarbunars'kyi District based on the spectral channels of the Landsat 8 satellite: B7 - average (SWIR-2); B5 - near infrared (NIR); B3 - green; data for 2015.09.22

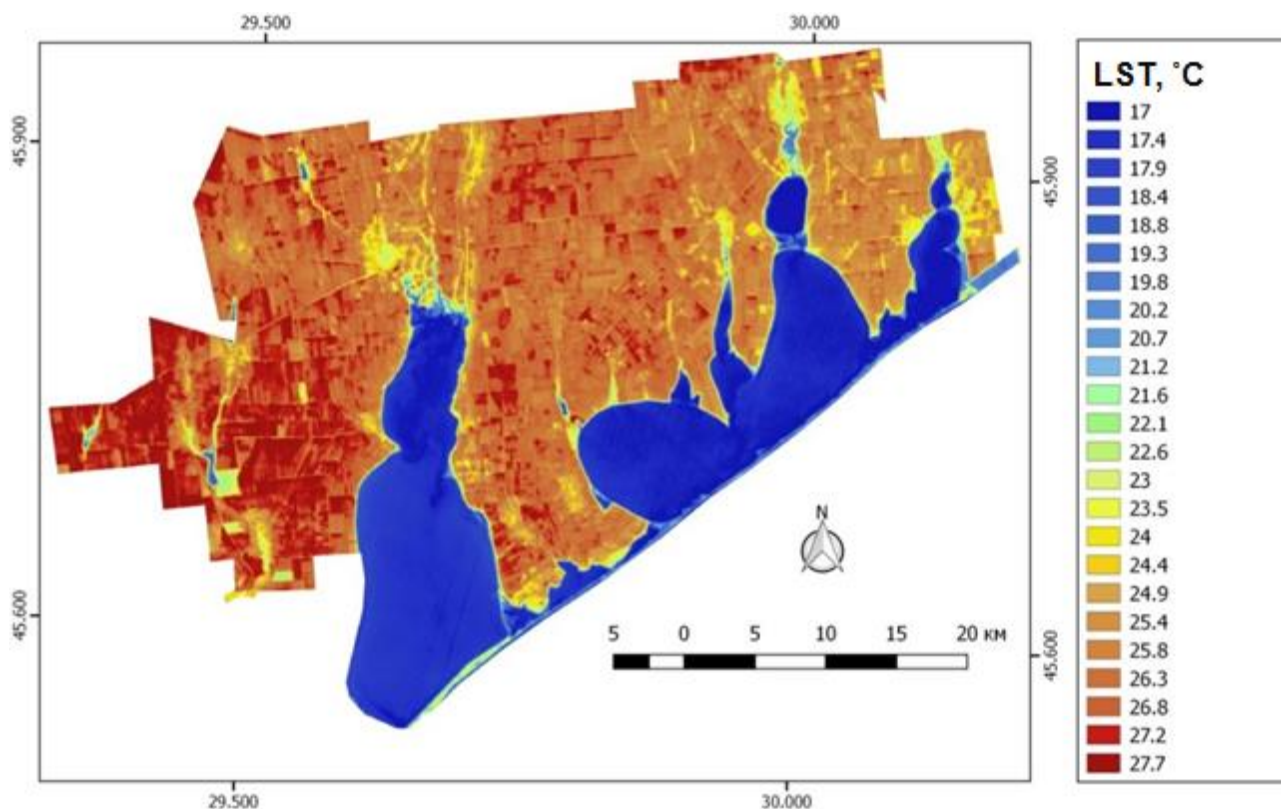


Fig. 2. Land surface temperature (LST) distribution of Tatarbunars'kyi District natural and territorial complexes from 2015.09.22 according to the thermal channel B10 of the Landsat8 satellite

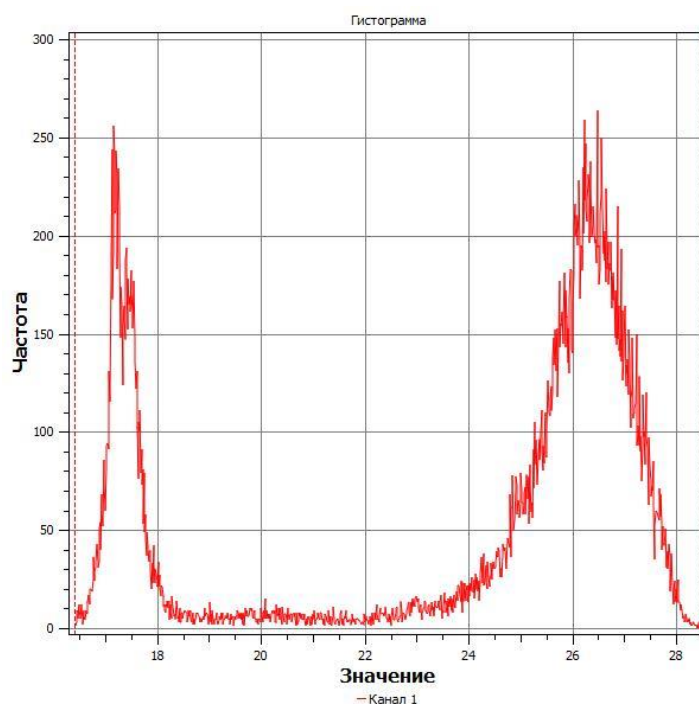


Fig. 3. Histogram of land surface temperature (LST) distribution values of Tatarbunars'kyi District's territorial complexes from 2015.09.22 according to Landsat8

compared to May, which is primarily related to harvesting and the formation of «bare» land in its place.

A characteristic feature of agricultural landscapes, namely arable land, in comparison with other natural territorial complexes (landscapes) is the

presence of significant seasonal dynamics of the amount and density of plant biomass, according to the values of the NDVI index, especially in the May-October period. This feature is associated with the process of treatment and cultivation of this type



of land. However, the corresponding values of plant biomass of other types of land during the same period do not change that significantly (Table 2).

Assessment of the water supply of the territory is an important feature in the field of water management and development of rational water resources usage principles of the region. Spectrozone satellite imaging data, along with field and meteorological studies, provide additional information on soil moisture content and soil cover with the help of, for example, the Normalized Differential Humidity Index (NDMI). High moisture content is inherent in healthy vegetation, which grows faster and is more resistant to fires.

As follows from the distribution of the index on 2015.09.22, its smallest figures are found in plowed soils, the highest figures are found in plant-covered and coastal areas (Fig. 7).

A comparative analysis of raster surfaces of Tatarbunars'kyi District's functional indicators – warming, vegetation development, and humidity of territorial complexes, calculated on the basis of the spectroscopic satellite images from 2015.09.22, even visually reveal the correlation between them.

The temperature gradient is at its biggest in areas between the vegetation cover and bare soil, which also indicates the relationship between the plant cover and temperature. For the quantitative characterization of these processes, a test area of arable land in a region with sown and plowed grounds was selected.

The calculation of the correlation relationship between LST surface temperature, the NDVI vegetation index, and the NDMI moisture index showed a statistically significant correlation (Fig. 8).

Table 1

NDVI index figures for different objects [36]

Type of land cover	NDVI (scale from -1 to 1)	NDVI (scale from: 0 to 255)
Dense vegetation	$0.500 \leq NDVI \leq 1$	$210 \leq NDVI \leq 255$
Sparse vegetation	$0.140 \leq NDVI < 0.500$	$118 \leq NDVI < 210$
Poor vegetation	$0.090 \leq NDVI < 0.140$	$105 \leq NDVI < 118$
Bare land	$0.025 \leq NDVI < 0.090$	$88 \leq NDVI < 105$
Clouds	$0.002 \leq NDVI < 0.025$	$83 \leq NDVI < 88$
Snow and ice	$-0.046 \leq NDVI < 0.002$	$70 \leq NDVI < 83$
Water	$-1 \leq NDVI < -0.046$	$0 \leq NDVI < 70$

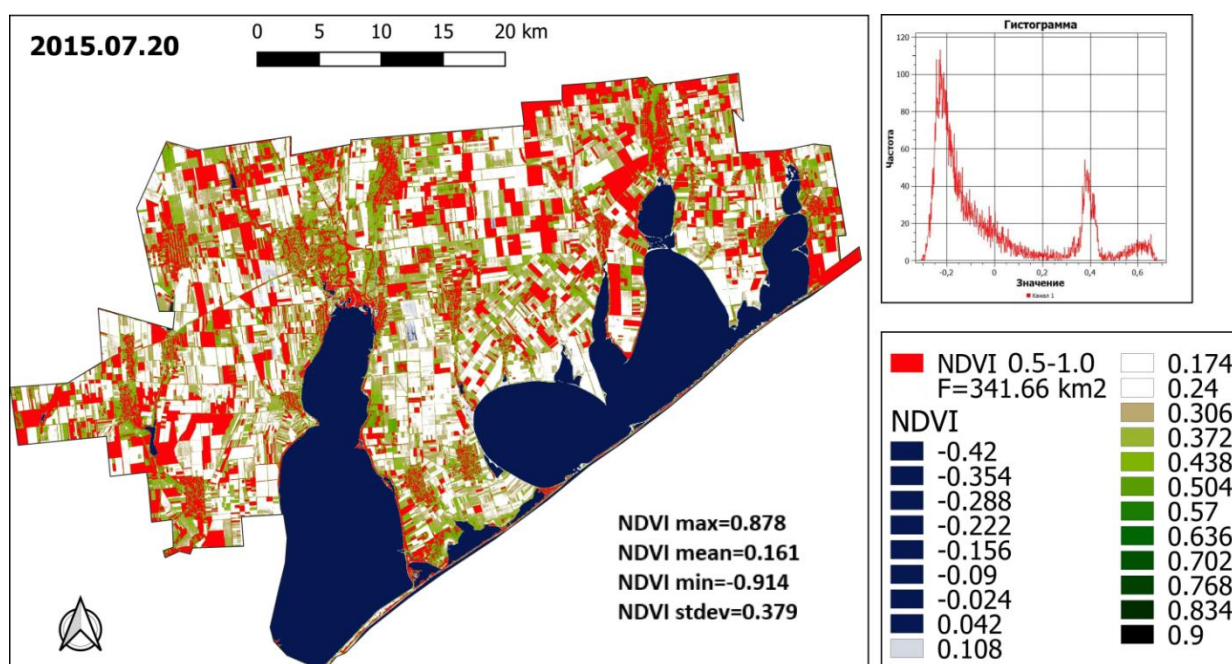


Fig. 4. Distribution of NDVI index on the territory of Tatarbunars'kyi District from 20.07.2015



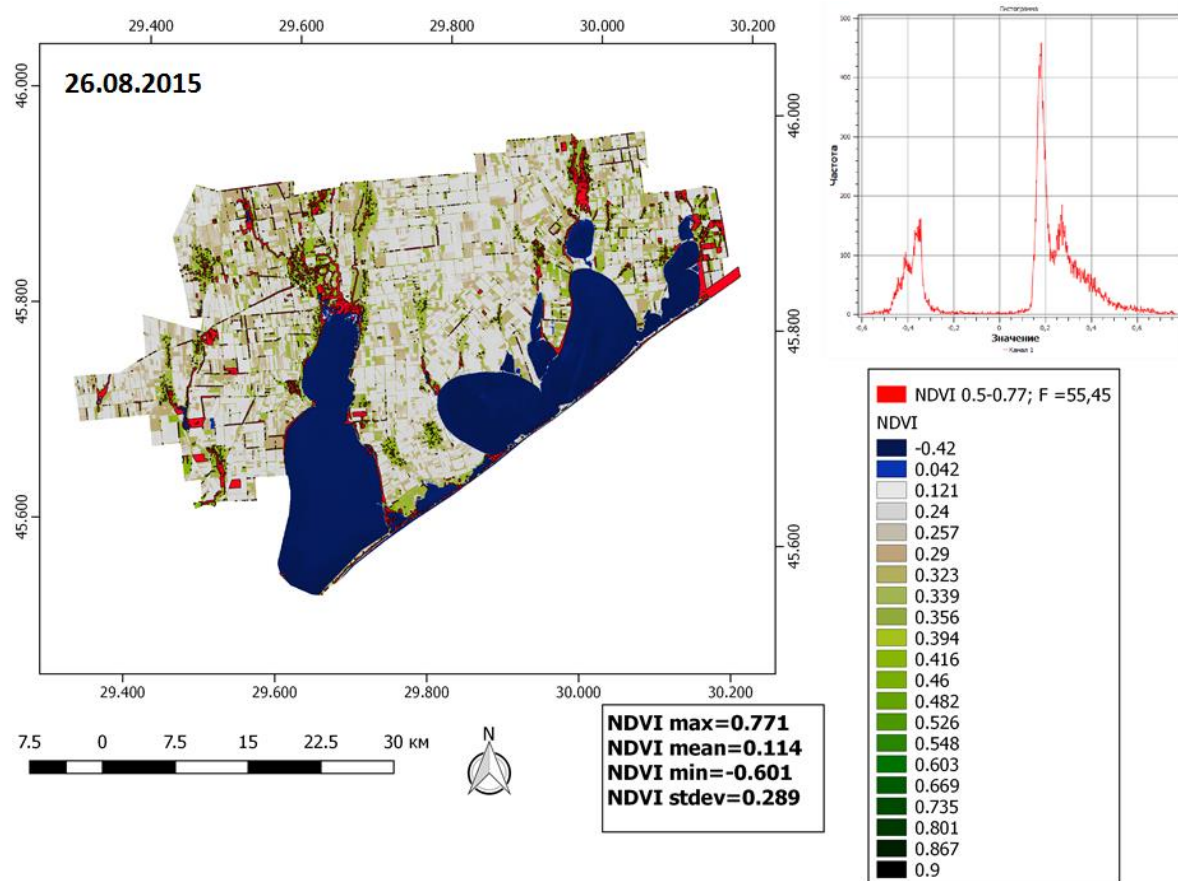


Fig. 5. Distribution of NDVI index on the territory of Tatarbunars'kyi District from 26.08.2015

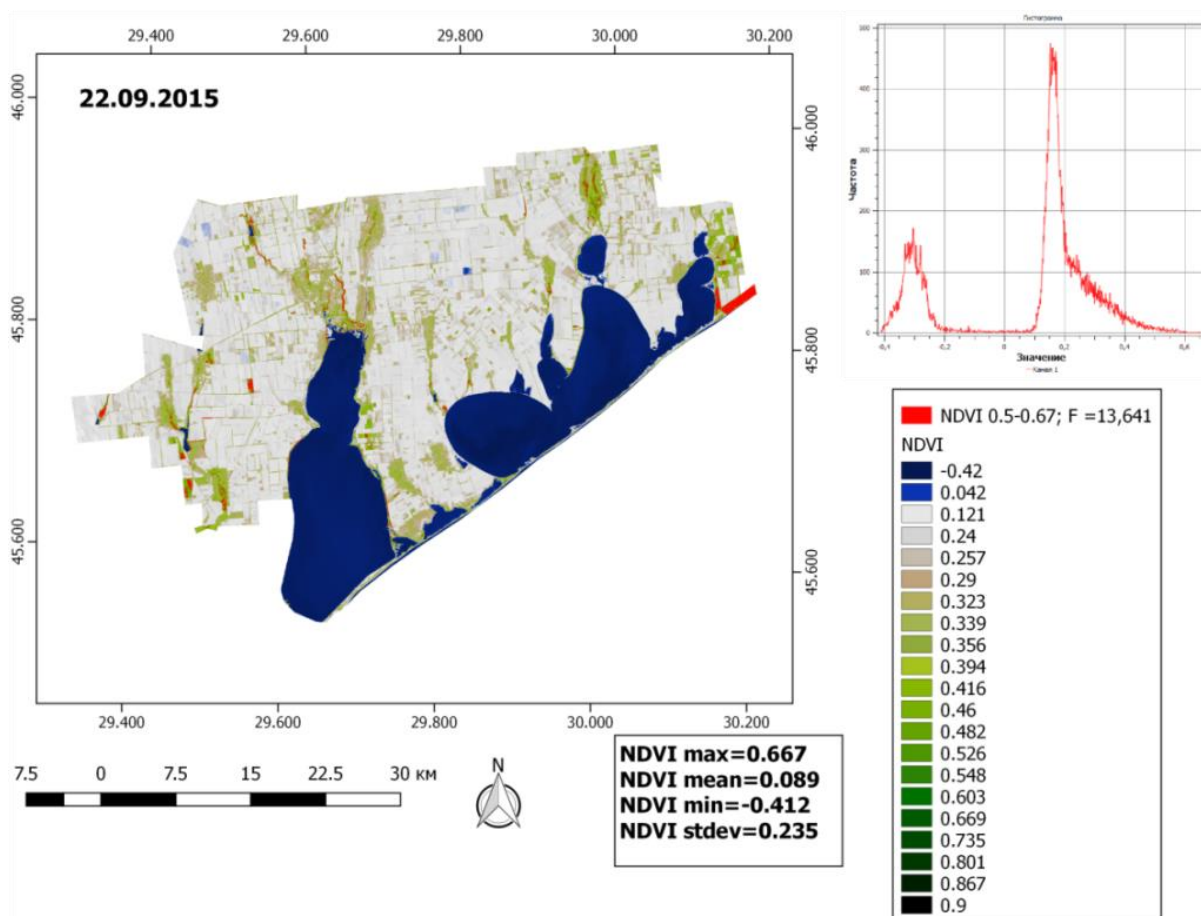


Fig. 6. Distribution of NDVI index on the territory of Tatarbunars'kyi District from 22.09.2015

NDVI index figures for Tatarbunars'kyi District

Type of land	2015.05.24			2015.07.20			2015.09.22		
	Mid.	Max.	Min.	Mid.	Max.	Min.	Mid.	Max.	Min.
Arable land	0.57	0.81	0.11	0.51	0.77	0.08	0.14	0.69	0.05
Meadows	0.53	0.79	0.40	0.46	0.70	0.31	0.33	0.56	0.22
Reed beds	0,57	0.81	0.43	0,58	0.79	0.50	0.42	0.62	0.31
Forests	0.75	0.81	0.53	0.74	0.81	0.49	0.55	0.64	0.34

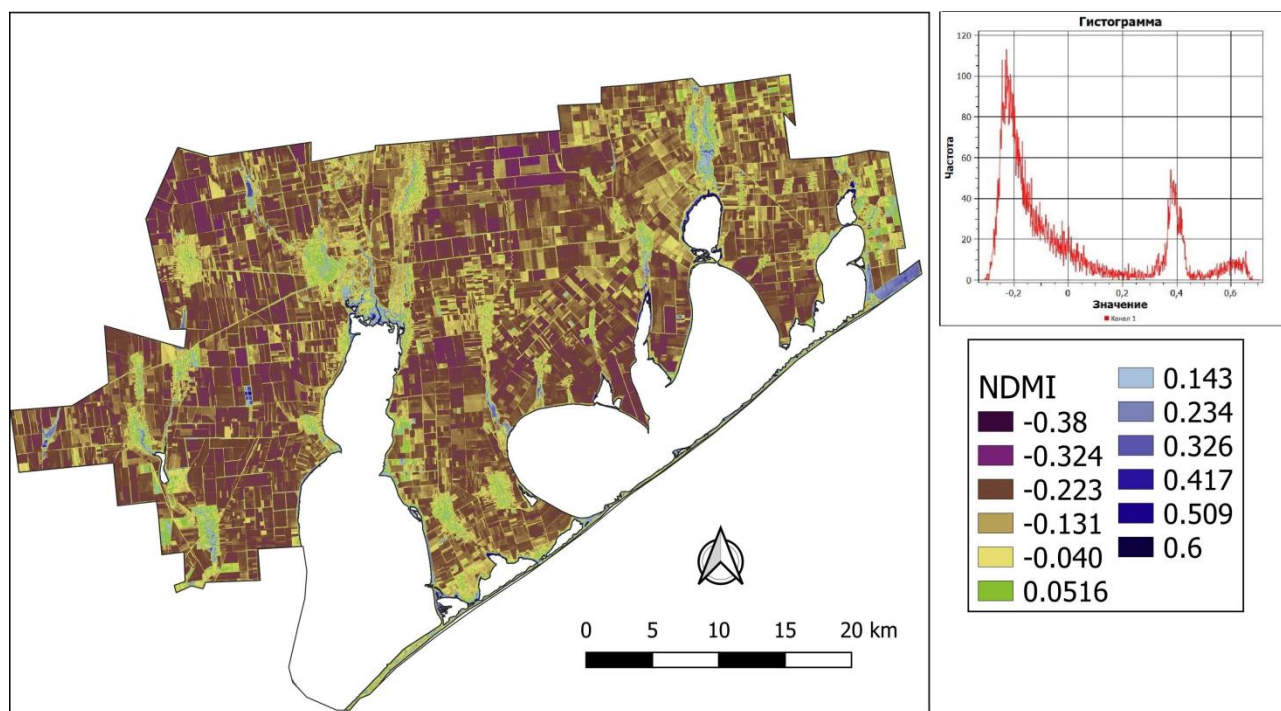


Fig. 7. NDMI Index Distribution for Tatarbunars'kyi District from 2015.09.22 according to Landsat8

In terms of the coefficient of determination ( $R^2$ ) between these characteristics, the distribution of values is the most dense for plowed soils. The distribution of isotherms indicates the largest gradient in the boundary zone between soils and the vegetation cover.

Analysis of the land use structure on the territory of Tatarbunars'kyi District, according to the ecological passport of the Odesa region [8], has showed that, in general, its territory is characterized by a large area of the nature reservation fund (Fig. 9), due to wetlands of the «Tuzlovs'kyi complex» – unique coastal estuarine and lagoon water bodies formed under the influence of transgression of the sea in the geological past.

The percentage of NRFs (nature reservation funds) in the region is at 16.5% (including both land areas and water bodies), while in the majority of administrative regions of the Black Sea NRF facili-

ties are either completely absent, or make up less than 2%.

Despite the significant percentage of the total area of NRF objects and the Ramsar wetlands of international importance, which form the eco-network of the Odesa region, the land use structure of the area is extremely unbalanced. A large part of the District's territories is occupied by arable land – 61.44%, or 81.61% solely of the land area (Table 3), however, more than 4% of them completely degraded. Such land use structure of the area is unbalanced, since «In case of a violation of sustainable environmental ties by more than 40% the system depreciates and degrades» [16].

In accordance with the methodology [11], and the classification of land by the degree of anthropogenic load (AL), coefficients of anthropogenic transformation of the territory (Table 4), which characterize the ecological economic balance (EEB) of the

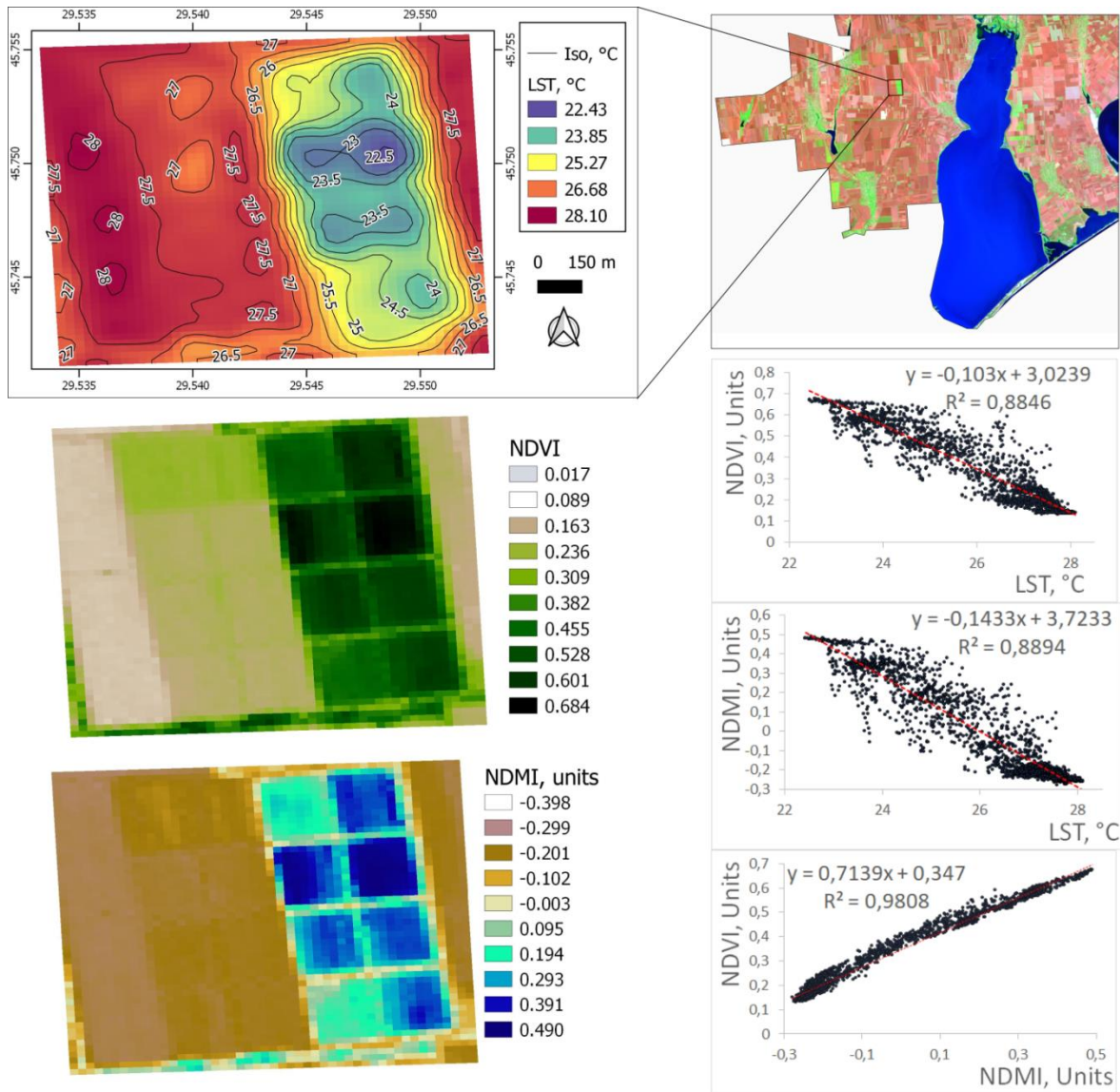


Fig. 8. Distribution of LST surface temperature, NDVI vegetation index and NDMI moisture index in the tested arable land in Tatarbunars'kyi District with sown and plowed land from 2015.09.20 according to Landsat8

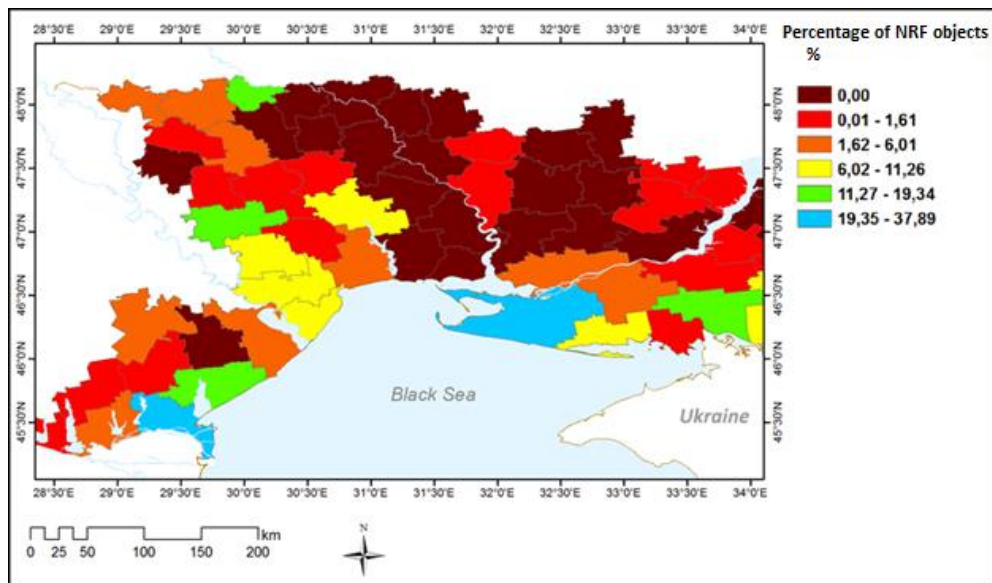


Fig. 9. Percentage of objects of the nature reservation fund in the northwestern administrative regions of the Black Sea (according to their ecological passports)



Table 3

Both land and water bodies structure of Tatarbunars'kyi District  
(according to ecological passports and satellite measurements)

The name of the objects	Area, thousand ha	Percentage, %	
		Including water bodies	Not including water bodies
General area	174.30	100.00	100.00
NRF objects (reserve lands)	5.45	3.13	4.16
Foresrs under the NRF	0.54	0.31	0.41
Ater bodies under the NRF	22.90	13.13	-
Other water bodies	20.21	11.59	-
Reed beds and wetlands	3.18	1.82	2.42
Forests	3.60	2.06	2.74
Pastures, hayfields	5.40	3.10	4.12
Recreational areas	0.10	0.06	0.08
Coastal protection lanes	0.27	0.15	0.21
Perennial plantings	0.62	0.36	0.47
Sandy open lands	0.74	0.43	0.56
Arable grounds with degraded land	4.28	2.46	3.26
Arable land	102.80	58.98	78.35
Area of domestic solid waste (DSW)	0.059	0.03	0.04
Urban settlements	2.85	1.64	2.17
Rural settlements	1.37	0.79	1.04

Table 4

Calculation of ecological and economic balance coefficients for Tatarbunars'kyi District

Geocological coefficients of the EEB	Territory of the District	
	Including water bodies	Land only
Absolute pressure coefficient (Ka)	0.30	1.35
Relative pressure coefficient (Kr)	1.77	5.59
Area of land with resource-stabilizing functions (RSF, thousand ha)	68.66	29.66
Natural protection ratio (Knp)	0.39	0.23

territory of Tatarbunars'kyi District, were calculated.

The calculation of ecological and economic balance coefficients of the territory of Tatarbunars'kyi District has also showed the lack of balance, and low environment-protective function of the ecological structure of the territorial complexes.

High values of the relative pressure coefficient  $K_r$  (more than 1), indicate the ecological and economic imbalance of the territory. From the absolute pressure coefficient  $K_a$  it can be concluded that the number of anthropogenically transformed lands in relation to nature conservation and unused land is much smaller. The natural protection ratio ( $K_{np}$ ) of the catchment area is low - less than 0.5, which, according to the methodology, indicates a critical level of the territory's protection [11].

The formation of sustainable ecological infrastructure requires improvement of the land management structure in accordance with the criteria of ecological and economic balance (Table 5).

On arable land, it is recommended to increase the protective forest cover of the territory by supplementing the existing network of nature-protective forest lanes. The optimum length between forest strips in the southern black earths should be no more than 400 m, with an area of up to 60 - 70 ha on a plateau and up to 30 - 40 ha on a slope. It is advisable to move away from the practice of creating fields with an area of 150 - 200 hectares or more, where the role of biological regulating mechanisms of field protective lanes is poorly noticeable [3, 15].

Table 5

Ecological parameters of a balanced territorial organization in the steppe zone

Exponent	Limit value,%	Optimal value,%
Natural landscapes	no less than 35 – 40 [23]	no less than 60 [30]
Arable land	no more than 60 [24]	40 – 45 [24, 30]
Perennial grasses from an arable area	no less than 30 [13]	30 – 50 [13]
Forest plantations	10 – 15 [21]	15 – 20 [21]
Field protection forest lanes from an arable area	4 – 5 [19]	7 – 10 [19]
Irrigated land from a farmland area	Up to 15 in an arid zone [22]	10 [22]
Residential areas	no more than 10 [23, 24]	1 – 3 [13]

Based on the analysis of the geomorphological features of Tatarbunars'kyi District, which stipulate geochemical flows of terrigenous matter transfer, soil erosion, and other processes, sections with a slope of more than 3° have been highlighted using SRTM30 digital terrain models, which, according to literary data [15], are at the greatest ecological risk of exogenous processes and influence of anthropogenic factors (Fig. 10).

The location of such sites is inherent in the ridge-girder structures, river valleys and slopes of the estuaries. These areas are recommended to be used in the «natural» state (hayfields, pastures, perennial plantations, recreation and tourism areas) with the removal of arable lands. By their location, almost all of them are part of coastal protection lanes and lands of the water fund in accordance with the Water Code of Ukraine [4], where a full project documentation hasn't been developed yet. From the point of view of ecological and economic balance of the territory, it is most expedient to carry out an in-

ventory of landscape and economic structure, especially in these areas, with their submission to cadastral schemes and land management plans, with the formation of an appropriate environmental regime.

The distribution of settlements and population density in Tatarbunars'kyi District indicates that a large number of them are located precisely on the grounds of river valleys and in places with a slope of more than 3° (Fig. 11), which also leads to intensification of exogenous processes and pollution of water bodies. The aggravating fact is that many of them do not have a centralized sewer system. In general, the territory is characterized by the absence of large cities and low population density.

Another approach to forming a balanced land use structure, ecological network, and sustainable development of the area is hydrographic zoning. According to the requirements of the EU Water Framework Directive [37], which are currently being implemented in national legislation, management of the ecological status of water bodies is



based on a basin approach with the development of appropriate management plans and the formation of basin management administration. Small rivers, catchment parts of the Tuzlovs'kyi complex, the Sasik estuary, etc. are located on the District's territories (Fig. 12).

For further hydrologic morphometric analysis and development of environmental measures, a Karachaus catchment area was selected (a subsidiary estuary with a developed gully-girder system) from

the Tuzlovs'kyi complex, within the boundaries of the District. Current capabilities of GIS analysis have made it possible to calculate a number of hydrologically-morphological indicators of the catchment area (Fig. 13), which allow to determine places of the greatest manifestation of exogenous and anthropogenic processes (slope sites, direction and intensity of surface runoff, displays of linear and planar erosion).

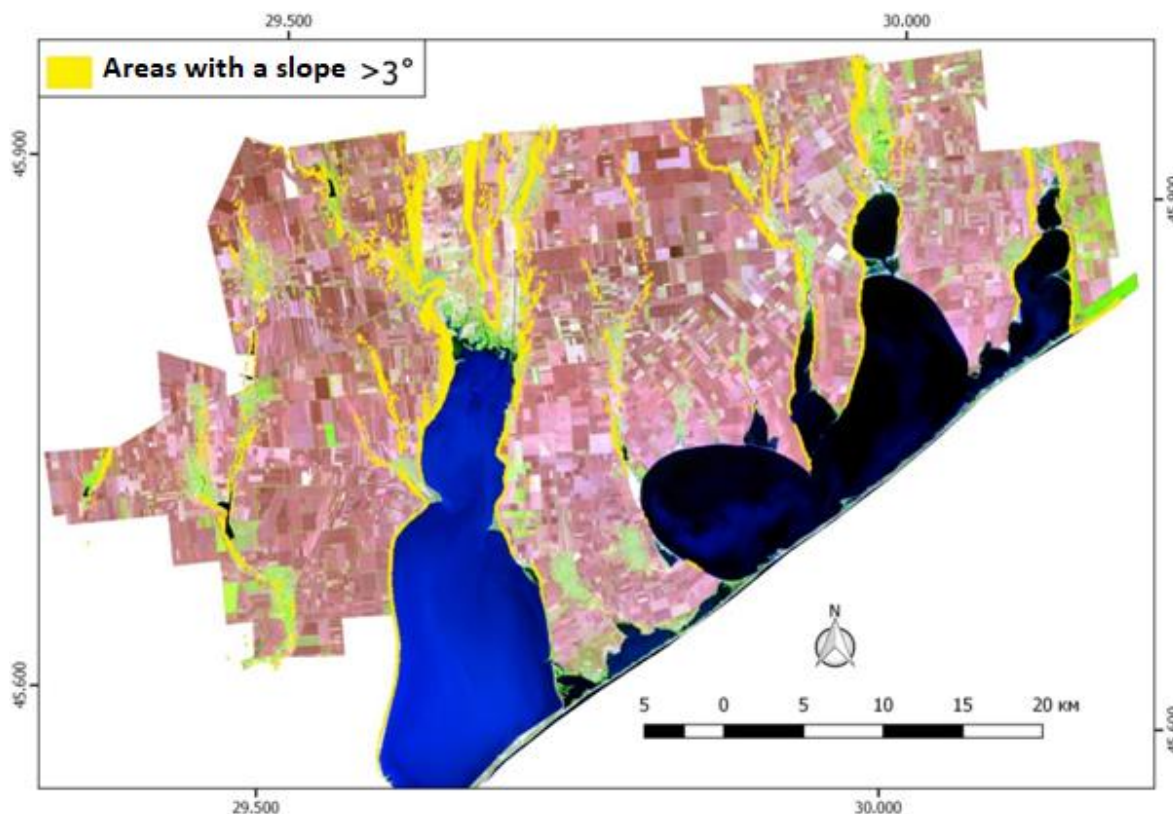


Fig. 10. The distribution of sites with a  $\geq 3^\circ$  slope on the territory of Tatarbunars'kyi District according to SRTM30 digital terrain models superimposed over a Landsat8 satellite image from 22.09.2015

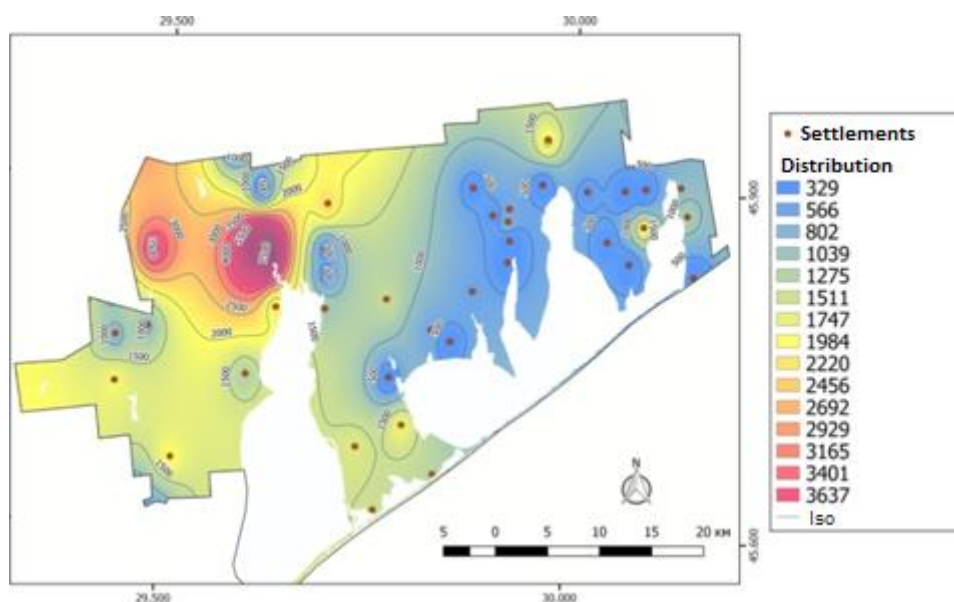


Fig. 11. Population density distribution in Tatarbunars'kyi District, built according to OpenStreetMaps data in the QGIS software package

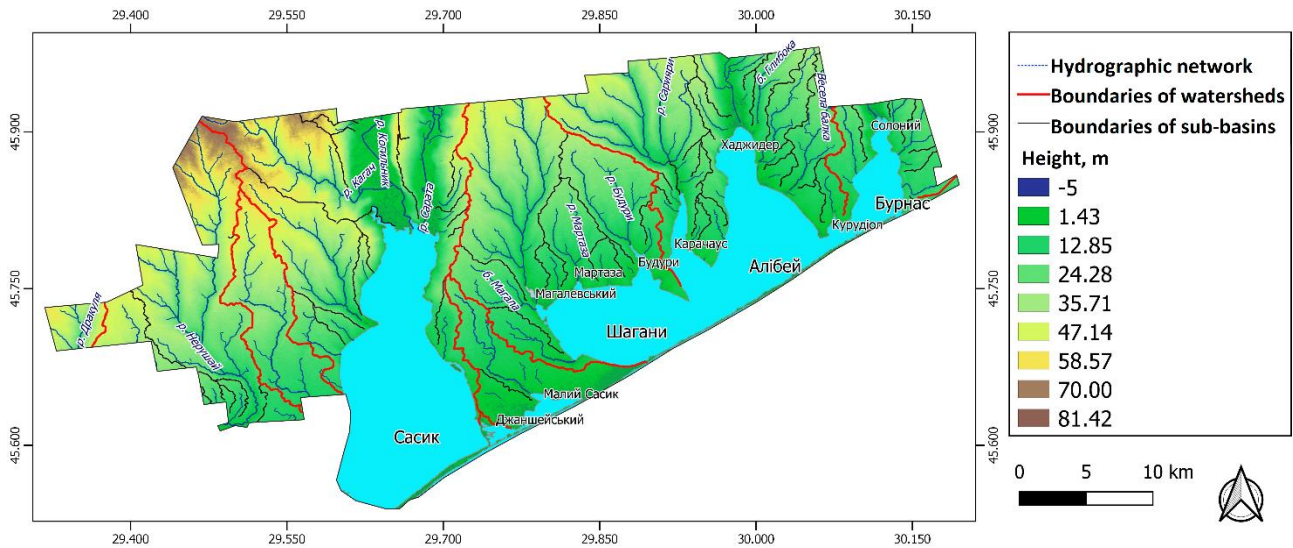


Fig. 12. Hydrographic network of Tatarbunars'kyi District and its watershed boundaries

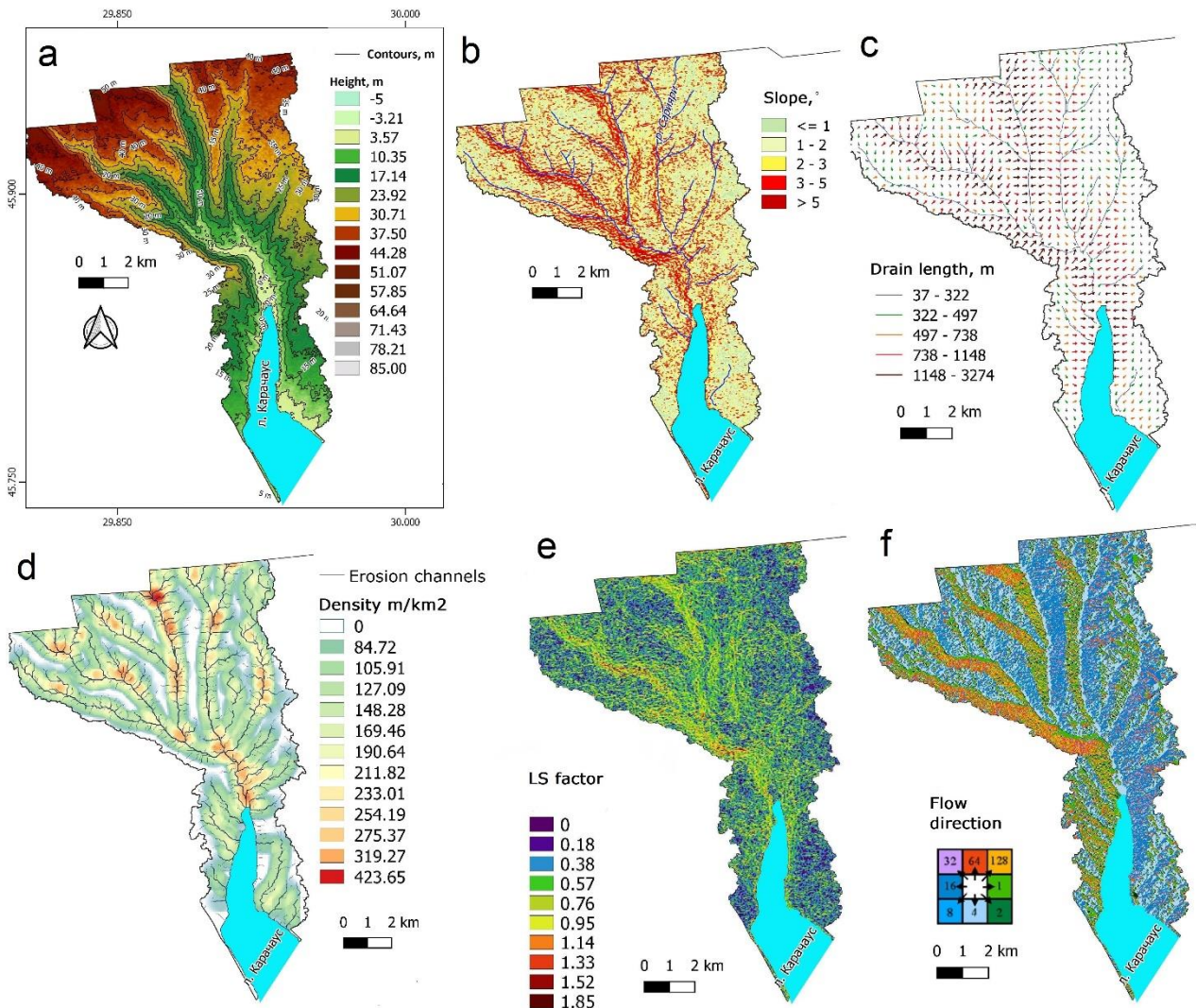


Fig. 13. Hydrologic and morphological features of part of the catchment area of the Tuzlovs'kyi estuary complex within the borders of Tatarbunars'kyi District: a – terrain heights; b – biases; c – flow vectors; d – linear erosion structures and density; e – the risk of plane erosion; f – the drain direction of each raster cell

As evidenced by careful hydrologic morphological analysis, this area does not imply widespread

intensive use of nature, as it has a developed gully-girder system and terrain fragmentation. It is clear



that environmental management in such conditions must be differentiated in spatial, intensity-based, landscape and settlement-balanced terms, taking the functions of the ecological network into account. Moving on to the proposed sustainable environmental management measures for the further development of an ecological management plan, one should also mention the legally stipulated environmental measures for the water fund lands, and their introduction into nature, especially the nature protection lanes (NPLs) along the watercourses. The principles of their establishment, structure and nature protection regime are determined in accordance with the law of direct action in this field - Water Code of Ukraine (Articles 88-90), which includes NPLs along watercourses, NPLs along seas and estuaries (with beach area allocations) [4].

At present, nature management in the form of ubiquitous plowing of land, unauthorized rural settlement development on the territory of the catchment area is conducted without taking terrain and gully-girder structure into account, without observing agro-technical land protection norms, resulting in both deep and planar erosion (Fig. 14 a), in addition to that, windbreaks are not enough to protect against wind (deflation), and water erosion of soils, as well as the associated reduction of the ecological status of water bodies. Given the hydrological and morphological conditions, state of the lands, regulation of watercourses and environmental legislation, it is proposed to reorient the structure of land use, to increase the number of environmental protection areas, to allocate sites with extensive form of land use, which is certainly going to be ecologically beneficial (Fig. 14 b).

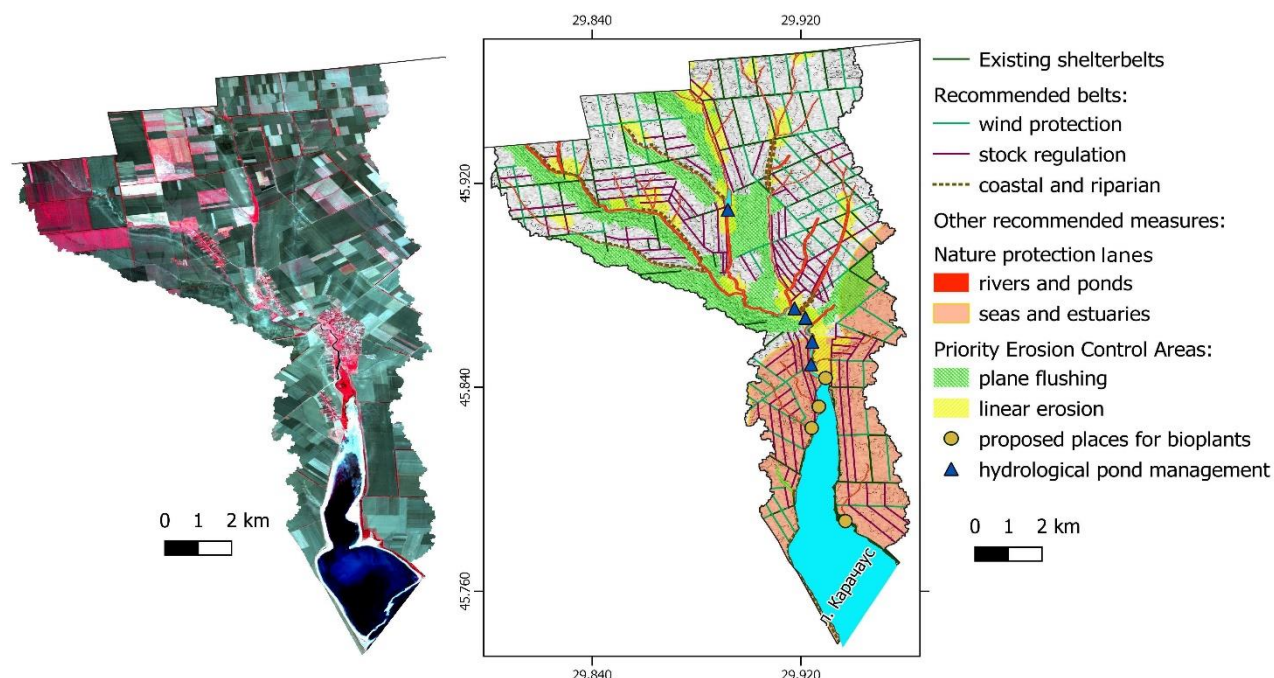


Fig. 14. The existing and recommended structure of land use of the Karachaus catchment area within the boundaries of Tatarbunars'kyi District: a – full-color satellite Sentinel2B image from 2019.09.15 from the combination of NIR-Green-Blue channels (vegetation is red); b – a scheme of reclamation and environmental measures (management plan at its first approximation) [49]

First of all, it is necessary to transfer the water fund lands to the «nature» of applying them to land management plans of settlements and land cadasters. Furthermore, proper agro-technical measures were not met throughout the whole District, among other things agricultural territories are insufficiently countered by protective windbreaks. The existing structure of windbreaks consists of 80.9 km, about one third of the fields do not have any windbreaks at all, the distance between the windbreaks is 1 km on average, the corresponding edging area - 200 ha. This windbreak structure does not fulfill its environmental function, so it is recommended to in-

crease it by 3 times. At the same time it should at least include additional wind protection (92.1 km), stock regulation (124.7 km), coastal and riparian (30.8 km). Additional windbreaks were plotted as follows: windproof, taking into account prevailing wind directions with a cell size of 500 per 1000 m; stock regulation windbreaks were placed on slope sections along the horizontal lines at a distance of 400 - 300 m, depending on the slope; coastal and riparian windbreaks along eroded girders 3 - 5 m from the shorelines. As a prevention of land erosion spread, it is also recommended that some of them (on the slopes of gully-girder systems) carry out

sedimentation, conservation, and exploitative reorientation (use in a quasi-natural state - perennial crops, pastures, hayfields, etc.). In order to control the quality and colmatage (mudding) of the organized runoff of ravines and girders, it is proposed to create biological filters in their mouths along the estuary - biological plateaus (artificial ecosystems with sinusoidal filtration biocenoses). Small local rivers from the basin were basically destroyed as a result of a rupture of the hydrographic network and pond overregulation. It is recommended to either completely eliminate unauthorized ponds, or to allow their operation solely in case of proper environmental documentation and operating modes depending on the water content of the year.

It is advisable to use arable land on planar grounds and based on the principles of adaptive agriculture, with the introduction of soil protective crop rotations and the use of unconventional agro-technical measures (minimization of soil cultivation, optimization of rotation, improved irrigation systems etc.).

### Conclusions

The results of GIS thermal channels analysis of Landsat8 satellite images revealed a significant amplitude of temperature fluctuations of Tatarbunars'kyi District's territorial complexes. The warming of plowed soil is higher by 10 °C than under plant cover in the summer period, which certainly influences the hydrological, geochemical and biological processes of the area at the current level of agricultural development of arable land.

The distribution of vegetation dynamics by NDVI across the area revealed a significant value change seasonally and even within one month. Territories with the maximum index values corresponding with the dense vegetation cover occupied an area of 341.66 km<sup>2</sup> on May 24, 2015, at the end of summer - August 26, 2015, - 55.45 km<sup>2</sup> respectively, and a month later the area of vegetation in this index range decreased to 13.64 km<sup>2</sup>, which is more by 25 times compared to May, primarily due to harvesting and tillage in the form of arable land.

The calculation results of the complex geo-ecological indicators also showed ecological imbalance of the lands' structure. Irrational farming has led to degradation of the hydrographic network of small rivers in the area, formation of soil erosion, trenching, reduction of the ecological status of water bodies, including nature protection areas with an international status of Ramsar lands.

The distribution of settlements and population in Tatarbunars'kyi District indicates that a large number of them are located on the grounds of river valleys and in places with a slope of more than 3°, which also leads to intensification of exogenous processes and pollution of water bodies.

Management plan of the Karachaus estuary (its first approximation), which is developed on the basis of a hydrologic morphological analysis of the catchment area and land use structure, includes the application of natural protection lanes to the settlements' land management plans and land cadasters, conducting appropriate agro-technical measures, particularly increasing the length of the windbreak system by 3 times with their respective functional purpose. As a prevention of land erosion spread, it is also recommended that some of them (ones on the slopes of gully-girder systems) carry out sedimentation, conservation and operational reorientation (use in a quasi-natural state - perennial crops, pastures, hayfields, etc.). For the possibility of quality control and mudding of the organized runoff, it is proposed to create biological filters (bio-plateaus) in the mouths along the estuary. It is recommended to either complete eliminate unauthorized ponds, or to operate them solely in case of proper environmental documentation and operating modes depending on the water content of the year. Placement and use of arable land is proposed to be based on the principles of adaptive agriculture.

The result of the GIS assessment is geo-information databases in the form of raster and vector layers that can be used by executives and other stakeholders for further development of the sustainable development strategy of Tatarbunars'kyi area.

### References

1. *Актуальные проблемы лиманов северо-западного Причерноморья: Коллективная монография [Текст] / под ред. Тучковенко Ю. С., Гонченко Е. Д. – Одесса: ТЭС, 2011. – 224 с.*
2. *Андреев С.М. Метод оценки плодородия почв по материалам космических съёмок (на примере Татарбунарского района Одесской области) [Текст] / С.М. Андреев, Г.Я. Красовский, В.В. Соловей // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия География 2011. – Том 24 (63). – №3. – С. 16–23.*
3. *Балакай Г.Т. Приёмы повышения биопродуктивности земель, сохранения почвенного плодородия и экологической устойчивости агроландшафтов [Текст] / Г.Т. Балакай, Н.И. Балакай, Е.В. Полуэктов, А.Н. Бабичев, Л.А. Воеводина, Л.И. Юрина. – Новочеркасск, 2011. – 71 с.*
4. *Водний Кодекс України із змінами і доповненнями, внесеними Верховною Радою України від 09.04.2014 за 1193-VII (1193-18) [Текст]. – К., 2014. – 38 с.*

5. Гладун Г. Б. Адаптивно-ландшафтні принципи застосування поєднаного лісорозведення в Одеській області [Електронний ресурс] / Г. Б. Гладун, Ю. Г. Гладун, Л. В. Стеревська // *Агрохімія і ґрунтознавство*. – 2014. – Вип. 81. – С. 59-65. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrohimigrn\\_2014\\_81\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrohimigrn_2014_81_10)
6. Горун В.В. Комплексная оценка рекреационного потенциала административных районов Одесской области [Текст] / В.В. Горун, Г.П. Пилипенко, О.И. Цуркан // *Krajobraz i turystyka w warunkach zrownowazonego rozwoju. Landscape and tourism in a sustainable developent*. Kielce-Sobkow, 5-7 lipca, 2012. – С. 55-57.
7. Донец, В.В. Создание полевого спектрального аппаратно-программного комплекса для подспутниковой валидации дистанционного исследования растительности [Текст] / В.В. Донец, С.М. Кочубей, В.А. Яценко, Т.А. Казанцев, В.В. Бровченко // *Системи обробки інформації*. – 2013. – Т. 8, № 115. – С. 36-42.
8. Екологічний паспорт регіону за 2018 рік. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://ecology.odessa.gov.ua/ekologchnij-pasport-regionu/>
9. Использование космической съемки при анализе теплового поля исторической части г.Киева [Текст] / В.Е. Филиппович, В.И. Лялько, С.А. Станкевич Г.Б. Крилова, А.Г. Мичак // *Проблеми та досвід інженерного захисту урбанізованих територій і збереження спадщини в умовах геоecологічного ризику* / Під ред. В.М. Шестопалова, М.Г. Демчишина, В.О. Кендзери, Ю.О. Маслова / *Наукове видання*. – К.: Фенікс, 2013. – VI. – С. 64-69.
10. Кочубей С.М. Аппаратура и методы дистанционного зондирования растительности в оптическом диапазоне [Текст] / С.М. Кочубей // *Космическая наука и технология*. – 2002. – Т. 8, № 2/3. – С. 271-275.
11. Кочуров Б.И. Геоэкология: экодиагностика и эколого-хозяйственный баланс территории [Текст] / Б.И. Кочуров. – Смоленск: СГУ, 1999. – 154 с.
12. Лялько В.І. Багатоспектральні методи дистанційного зондування землі в задачах природокористування [Текст] / В.І. Лялько, М.О. Попов. – Київ: Наукова думка, 2006. – 360 с.
13. Макевнин С.Г. Охрана природы [Текст] / С.Г. Макевнин, А.А. Вакулин. – Агрпроимиздат. – М., 1991. – 127 с.
14. Мінічева Г. Г. Оцінка природної стійкості лиманів Північно-західного Причорномор'я відповідно до принципів водної директиви ЄС [Електронний ресурс] / Г. Г. Мінічева, Є. В. Соколов // *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*. – 2014. – № 5. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Nd2014\\_5\\_7.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Nd2014_5_7.pdf)
15. Мухин Ю. П. Устойчивое развитие: экологическая оптимизация агро- и урболандшафтов: Учеб. пособие [Текст] / Ю. П. Мухин, Т. С. Кузьмина, В. А. Баранов. – Волгоград, 2002. – 127 с.
16. Одум Ю. Основы экологии [Текст] / Ю. Одум. – М.: Мир, 1975. – 740 с.
17. Попова О. Л. Екодіагностика природо-господарської організації території України: агроландшафтний аспект [Електронний ресурс] / О. Л. Попова // *Економіка і прогнозування*. – 2012. – № 3. – С. 92-101. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/econprog\\_2012\\_3\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/econprog_2012_3_9)
18. Попов, М.О. Оцінювання характеристик зелених насаджень з використанням засобів дистанційного зондування Землі [Текст] / М.О. Попов, І.Д. Семко // *Основи природокористування та безпека життєдіяльності*. – 2013. – Вип. 12. – С. 51-62.
19. Попова О.М. Морфометрія та топонімія гідрологічних об'єктів національного природного парку «Тузловські лимани» [Текст] / О.М. Попова // *Вісник ОНУ. Серія геогр. та геол. науки*. – 2016. – 21, – вип. 2 (29). – С. 64-84.
20. Попова О.М. Природно-заповідний фонд Одеської області в системі фізико-географічного районування України і шляхи його оптимізації [Електронний ресурс] / О.М. Попова // *Вісник Одеського національного університету. Серія : Географічні та геологічні науки*. – 2017. – Т. 22, Вип. 2. – С. 29-47. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vonu\\_geo\\_2017\\_22\\_2\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vonu_geo_2017_22_2_4)
21. Парамонов Е. Г. Кулундинская степь: проблемы опустынивания [Текст] / Е.Г. Парамонов, Я. Н. Ишутин, А. П. Симоненко. – Барнаул: Алт. ун-т, 2003. – 138 с.
22. Парфенова Н.И. Энергетические природно-зональные показатели и перспектива их применения в мелиорации [Текст] / Н.И. Парфенова, Н.М. Решеткина // *Мелиорация и водное хозяйство*. – 1993. – № 1. – С. 3-5.
23. Реймерс Н. Ф. Особо охраняемые природные территории [Текст] / Н. Ф. Реймерс, Ф.Р. Штильмарк. – М.: Мысль, 1978. – 224 с.
24. Реймерс Н. Ф. Природопользование: словарь-справочник [Текст] / Н. Ф. Реймерс. – М.: Мысль, 1990. – 637 с.
25. Рубель О.Е. Экология ветландов [Текст] / О.Е. Рубель. – Кишинев : Есо-TIRAS. – 2009. – 252 с.
26. Сахацький О.І., Станкевич С.А. До можливостей оцінювання зволоженості земного покриття за багатоспектральними космічними зображеннями оптичного діапазону на прикладі території України [Текст] // *Доповіді НАН України*, 2007. – № 11. – С.122-128.
27. Северо-западная часть Чёрного моря: (биология и экология) [Текст] / [ред. Ю.П. Зайцева, Б.Г. Александрова]. –К.: Наукова Думка, 2006. – С. 351-356.
28. Сербов Н.Г. Оценка экологических рисков загрязнения грунтов (на примере Придунайских районов Одесской области) [Текст] / Н.Г. Сербов, М.Н. Ткачук // *Sciences of Europe*. – 2019. – Т. 3, № 45. – С. 37-45.
29. Свідзінська Д.В. Методи геоecологічних досліджень: геоінформаційний практикум на основі відкритої ГІС SAGA: навчальний посібник [Текст] / Д.В. Свідзінська. – К.: Логос, 2014. – 402 с.
30. Синещиков В.Е. Условия стабильного функционирования агроландшафтов юга западной Сибири [Текст] / В.Е. Синещиков, А.И. Южаков // *География и природные ресурсы*, 2005. – № 1. – С. 85-90.



31. Соколов Е.В. Типизация лиманов северо-западного Причерноморья на основе гидролого-морфометрических характеристик [Текст] / Е.В. Соколов // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: біологія. – 2015. – №1(62). – С. 49-56.
32. Станкевич С.А. Оцінка точності визначення температури штучних та природних земних поверхонь за результатами інфрачервоного космічного знімання [Електронний ресурс] / С.А. Станкевич, В.В. Пилипчук, М.С. Лубський, Г.Б. Крилова // Космічна наука і технологія. – 2016. – Т. 22. – № 4. – С. 19-28. – Режим доступу: <ftp://ftp.mao.kiev.ua/pub/journals/knit/2016-22/knit-2016-22-4-02-Stankevich.pdf>
33. Царик Л.П. Геоекологічні підходи до оцінки ступеня збалансованості природокористування [Електронний ресурс] / Л.П. Царик, П.Л. Царик // Вісник Львівського університету. Серія: географія. – 2009. – Вип. 37. – С. 43-48. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VLNU\\_Geograf\\_2009\\_37\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VLNU_Geograf_2009_37_7)
34. Шищенко П.Г. Прикладная физическая география [Текст] / П.Г. Шищенко. – К.: Вища школа, 1988. – 192 с.
35. Яценко В.А. Новый метод дистанционного оценивания содержания хлорофилла в растительности и его программно-аппаратная реализация / В.А. Яценко, С.М. Кочубей, П.А. Хандрига, В.В. Донец // Космічна наука і технологія. – 2007. – Т. 13, № 3. – С. 35-44.
36. Dalezios, N.F. (2002). *Environmental Remote Sensing*, University Teaching, University of Thessaly, Volos. [in Greek].
37. DIRECTIVE 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy (2000). <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32000L0060>
38. Fuller, D.O. (1998). Trends in NDVI time series and their relation to rangeland and crop production in Senegal, 1987-1993. *International Journal of Remote Sensing* 19(10):2013-2018. <https://doi.org/10.1080/014311698215135>
39. Izakovičová, Z., Špulerová, J., Petrovič, F. (2018). Integrated approach to sustainable land use management. *Environ. Open Access J. Environ. Conserv. Technol.*, 5, 37. <https://doi.org/10.3390/environments5030037>
40. Izakovicova, Z., Miklos, L., Miklosova, V. (2018). Integrative Assessment of Land Use Conflicts. *Sustainability*, 10, 3270. <https://doi.org/10.3390/su10093270>
41. Marchi, M., Ferrara, C., Biasi, R., Salvia, R., Salvati, L. (2018). Agro-Forest Management and Soil Degradation in Mediterranean Environments: Towards a Strategy for Sustainable Land Use in Vineyard and Olive Cropland. *Sustainability*, 10, 2565. <https://doi.org/10.3390/su10072565>
42. Moore, LD., and Burch, G.J. (1985). Physical Basis of the Length-slope Factor in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 1294-1298.
43. NASA LP DAAC, 2013. NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Version 3.0 (SRTM Plus) Product Release. Land Process Distributed Active Archive Center, National Aeronautics and Space Administration. [https://lpdaac.usgs.gov/about/news\\_archive/nasa\\_shuttle\\_radar\\_topography\\_mission\\_srtm\\_version\\_30\\_srtm\\_plus\\_product\\_release](https://lpdaac.usgs.gov/about/news_archive/nasa_shuttle_radar_topography_mission_srtm_version_30_srtm_plus_product_release)
44. OpenStreetMap Data Extracts. Geofabrik downloads. URL: <http://download.geofabrik.de/europe/ukraine.html>
45. Pen, J.; Ma, J.; Du, Y.; Zhang, L.; Hu, X. (2016). Ecological suitability evaluation for mountainous area development based on conceptual model of landscape structure, function, and dynamics. *Ecol. Indic.*, 61, 500–511.
46. Rouse, J.; Haas, R.; Schell, J. Deering, D. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In *Proceedings of the Third ERTS-1 Symposium NASA SP-351*, Washington, DC, USA, 10–14 December 1973. – Pp. 309–317.
47. Rudenko L., Maruniak E., Lisovskiy S. (2014). Landscape Planning for Ukrainian Rural Communities: Challenges, Outputs, Prospects. *Geoadria*, 19(2), 191-204.
48. Rudenko L., Maruniak E., Lisovskiy S. (2014). Landscape Planning for Ukrainian Rural Communities: Challenges, Outputs, Prospects. *Geoadria*, 19(2), 191-204.
49. Sentinel-2B\_MSIL1C Products. Copernicus Open Access Hub. Available online: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> (accessed on 15 September 2019).
50. Stoiko, N., Parsova, V. (2017). Environmental dimensions of rural development in land use planning circumstances in Ukraine. *Engineering for rural development*, 964–969. <https://doi.org/10.22616/erdev2017.16.n197>
51. Turner, K.G.; Anderson, S.; Gonzales-Chang, M.; Costanza, R.; Courville, S.; Dalgaard, T.; Dominati, E.; Kubiszewski, I.; Ogilvy, S.; Porfirio, L.; et al. (2016). A review of methods, data, and models to assess changes in the value of ecosystem services from land degradation and restoration. *Ecol. Model.* 319, 190–207. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.07.017>
52. USGS GlobalVisualizationViewer. URL: <http://glovis.usgs.gov/>
53. Using the USGS Landsat 8 Product. URL: [http://landsat.usgs.gov/Landsat8\\_Using\\_Product.php](http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php).
54. Wilson, E. H. & Sader, S. A. (2002). Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. *Remote Sensing of Environment*, 80 (3), 385-396. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00318-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00318-2)
55. Yang, J.; Li, S.; Lu, H. (2019). Quantitative influence of land-use changes and urban expansion intensity on landscape pattern in Qingdao, China: Implications for urban sustainability. *Sustainability*, 11, 61-74 <https://doi.org/10.3390/su11216174>

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

UDC: 504.064 (262.5) (477.74)

***Yevhen Sokolov,***

PhD (Biology), Senior Researcher,  
State Institution «Institute of Marine Biology of the NAS of Ukraine»,  
37 Pushkinska St., Odessa, 65011, Ukraine,  
e-mail: [sokolovev87@gmail.com](mailto:sokolovev87@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0587-2719>;

***Roman Shevchenko,***

PhD (Engineering Sciences), Associate Professor of the Department of Ecology and  
Environmental Technologies, «Odesa National Academy of Food Technologies»,  
112 Kanatna St., Odessa, 65039, Ukraine,  
e-mail: [onaft.eko@gmail.com](mailto:onaft.eko@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-7924-1987>;

***Mariia Madani,***

PhD (Engineering Sciences), Associate Professor of the Department of Ecology and  
Environmental Technologies, «Odesa National Academy of Food Technologies»,  
e-mail: [madanikader50@gmail.com](mailto:madanikader50@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0001-9386-7364>

## **ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE TERRITORIAL COMPLEXES OF TATARBUNARS'KYI DISTRICT OF ODESSA REGION**

**Formulation of the problem.** The Tatarbunars'kyi District is located in the southwestern part of Odessa region and reflects the main features of the landscape-economic structure of the region: water, agricultural, resort and environmental areas. On the other hand, the form of land use is characterized by widespread plowing of land with degradation and erosion of soil cover.

Land structure and use patterns have a complex negative impact on ecological and economic processes and cannot ensure the sustainable development of the region, in particular it is antagonistic to the unique transitional wetland ecosystems of international importance located within the area.

To solve the issues of balanced environmental management and zoning of the landscape and economic structure of the region, Earth remote sensing (ERS) data can be used - spectrozonal satellite imagery and geographic information systems (GIS), which can simultaneously cover the research area as a whole, carry out regular monitoring and significantly reduce costs by expensive expeditionary work. Using space monitoring data allows you to get a large array of characteristics of the state of the territorial complexes of the region.

**Purpose** of the work is: assessment of the ecological state of the landscape economic structure and development of recommendations for the protection of natural and territorial complexes of the Tatarbunars'kyi District of Odessa region based on the use of GIS and remote sensing data.

**Methods.** Landsat8 satellite images with OLI and TIRS sensors, digital terrain models (SRTM) with a spatial resolution of 30 m were used as initial data. The spatial distribution of the population was carried out on the basis of OpenStreetMap data using automatic interpolation using the IDW method. Spatial analysis and data processing were carried out in the QGIS v3.4.6 software package. To quantify the vegetation cover, the Normalized Difference Vegetation Index - NDVI was calculated. Waterlog distribution was estimated using a modified normalized differential moisture index (NDMI). The analysis of the structure of land use and anthropogenic load was carried out on the basis of ranking of territorial objects into homogeneous groups to calculate geocological coefficients.

**Results.** The article discusses the possibilities of using Earth remote sensing data for a functional assessment of land changes as a result of anthropogenic activities, primarily arable land, analyzes the ecological and economic equilibrium of the region based on geocological coefficients, identifies areas that are primarily exposed to environmental risks, exogenous processes and the impact anthropogenic factors. Measures are proposed to increase the environmental sustainability of agrolandscapes and the landscape-anthropogenic structure of the region's lands. A detailed hydrological and morphometric analysis of the catchment basin was carried out. Karachaus within the boundaries of the District. For the catchment estuary, remediation and nature conservation measures based on GIS are proposed and designed

**Keywords:** Tatarbunars'kyi District, northwestern Black Sea region, GIS analysis, remote sensing, anthropogenic load, ecological and economic balance.

### ***References***

1. *Tuchkovenko Yu.S., Gopchenko E. D. (Ed). (2011). Actual problems of estuaries of the northwestern Black Sea region: Collective monograph. Odessa: TPP, 224.*

2. Andreev S.M., Krasovskiy G.Ya., Solovei V.V. (2011). Method for soil fertility estimation with the use of space surveys (on the base of Tatarbunary district in Odessa region). *Scientific Notes of Taurida National V. I. Vernadsky University. Series: Geography*, 24 (63), 3, 16-23.
3. Balakay G.T., Balakai N.I., Poluektov E.V., Babichev A.N., Voevodina L.A., Yurina L.I. Techniques for increasing land bio-productivity, preserving soil fertility and ecological sustainability of agrolandscapes. *Novocherkassk*, 71.
4. *Water Code of Ukraine as amended by the Verkhovna Rada of Ukraine dated 09.04.2014 for 1193-VII (1193-18)*. K., 38.
5. Gladun G.B., Gladun Yu.G., Yerevskaya L.V. (2014). Adaptive-landscape principles of application of field-protective forest cultivation in the Odessa region. *Agrochemistry and Soil Science*, 81, 59-65.
6. Gorun V.V., Pilipenko G.P., Turcan O.I. (2012). A comprehensive assessment of the recreational potential of administrative districts of Odessa region. *Krajobraz i turystyka w warunkach zrownowazonego rozwoju. Landscape and tourism in a sustainable development*. Kielce-Sobkow, 43 (1), 55-57.
7. Donets V.V., Kochubey S.M., Yatsenko V.A., Kazantsev T.A., Brovchenko V.V. (2013). Creation of the field spectral hardware-software complex for subsatellite validation of the controlled from distance research of vegetation. *Systems for processing information*, 8 (115), 36-42.
8. The region's environmental passport for 2018. [Electronic resource]. Available at: <http://ecology.odessa.gov.ua/ekologchnij-pasport-regonu/>
9. Filippovich V.E., Lyalko V.I., Stankevich S.A., Krilova G.B., Michak A.G. (2013). Use of satellite imagery in the analysis of the thermal field of the historical part of Kiev. *Problems and experience of engineering protection of urban areas and preservation of heritage under conditions of geo-ecological risk*. Kyiv: Phoenix, 6, 64-69.
10. Kochubey S.M. Equipment and methods for remote sensing of vegetation in the optical range (2002). *Space science and technology*, 8 (2/3), 271-275.
11. Kochurov B.I. (1999). *Geoecology: ecological diagnostics and ecological and economic balance of the territory*. Smolensk: SSU, 154.
12. Lyalko V.I., Popov M.A. (Ed.). (2006). *Multispectral methods for remote sensing of the Earth in the problems of nature management*. Kiev, Naukova Dumka, 358.
13. Makevnin S.G. (1991). *Nature Protection*. Moscow, 127.
14. Minicheva G.G., Sokolov E.V. (2014). Assessment of natural resistance of estuaries in the Northwest Black Sea region in accordance with the EU WFD principles. *Scientific reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*, (5). Available at: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Nd2014\\_5\\_7.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Nd2014_5_7.pdf)
15. Mukhin Yu.P., Kuzmina T.S., Baranov V.A. (2002). *Sustainable development: environmental optimization of agro- and urban landscapes: Textbook*. Allowance. Volgograd, 127.
16. Odum Yu. (1975). *Fundamentals of Ecology*. Moscow: Mir, 740.
17. Popova O.L. (2012). Ecodiagnosics of the natural-economic organization of the territory of Ukraine: agrolandscape aspect. *Economics and forecasting*, (3), 92-101. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/econprog\\_2012\\_3\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/econprog_2012_3_9)
18. Popov M.O., Semko I.D. (2013). Assessment of green planting characteristics by using methods of remote sensing of Earth. *Fundamentals of environmental management and life safety*. 2013, 12, 51-62.
19. Popova O.M. (2016). Morphometry and toponymy of the hydrological objects of the Tuzlovsky estuaries, national park. *Bulletin of ONU. Series of geogr. and geol. science*, 21, 2 (29), 64-84.
20. Popova O. M. (2017). Natural-reserve fund of Odessa region in the system of physical and geographical zoning of Ukraine and ways of its optimization. *Bulletin of the Odessa National University. Series: Geographical and Geological Sciences*, 22 (2), 29-47. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vonu\\_geo\\_2017\\_22\\_2\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vonu_geo_2017_22_2_4)
21. Paramonov E.G., Paramonov E.G., Ishutin Y. N., Simonenko A. P. (2003). *Kulundinskaya steppe: desertification problems*. Barnaul: Alt. Univ., 138.
22. Parfenova N. I., Parfenova N. I., Reshetkina N. M. (1993). Energy natural-zonal indicators and the prospect of their application in land reclamation. *Land reclamation and water management*, 1, 3-5.
23. Reimers N.F., Shtilmark F.R. (1978). *Protected areas*. Moscow, Mysl, 224.
24. Reimers N. F. (1990). *Nature management: dictionary-reference book*. Moscow: Mysl, 637.
25. Rubel O.E. (2009). *Econology of the Wetlands*. Kishinev, Eco-TIRAS, 252.
26. Sahatsky O.I., Stankevich S.A. (2007). To the possibility of assessing the humidity of the earth multispectral space coatings optical range images by example the territory of Ukraine. *Reports of the NAS of Ukraine*, 11, 122-128.
27. Zaitsev Yu. P., Alexandrova B. G. (Ed). (2006). *North-Western part of the Black Sea: (biology and ecology)*. Kiev, Naukova Dumka, 351-356.
28. Serbov N.G., Tkachuk M.N. (2019). Methodological approaches to the determination of enviromental risks of soil pollution (on the example of the Danube districts of Odessa region). *Sciences of Europe*, 3, (45), 37-45.
29. Svidzinska D.V. (2014). *Methods of geoecological research: geoinformation workshop on the basis of open GIS SAGA: textbook*. Kiev, Logos, 402.
30. Sineshchekov V.E., Yuzhakov A.I. (2005). Conditions for the stable functioning of agrolandscapes in the south of western Siberia. *Geography and Natural Resources*, 1, 85-90.
31. Sokolov E.V. (2015). Typization of estuaries of the northwestern Black Sea on the basis of hydrologic-morphometric characteristics. *Scientific Notes of the Ternopil National Pedagogical University named after Vladimir Gnatyuk. Series: Biology*, 1 (62), 49-56.



32. Stankevich S.A. (2016). Accuracy estimation of the temperature of artificial and natural Earth's surfaces determining by infrared satellite imagery. *Space science and technology*, 22(4), 19–28. Available at: <ftp://ftp.mao.kiev.ua/pub/journals/knit/2016-22/knit-2016-22-22-4-02-Stankevich.pdf>
33. Tsarik, L.P., Tsarik P.L. (2009). *Geoeological Approaches to Assessing the Balance of Environmental Management. Series: Geography*. 37, 43-48. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VLNU\\_Geograf\\_2009\\_37\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VLNU_Geograf_2009_37_7)
34. Shishchenko P.G. (1988). *Applied physical geography*. Kiev, High School, 192.
35. Yatsenko V.A. (2007). New method for remote estimation of chlorophyll content in vegetation and its software realization. *Space science and technology*, 13 (3), 35-44.
36. Dalezios, N.F. (2002). *Environmental Remote Sensing, University Teaching, University of Thessaly, Volos*. [in Greek].
37. DIRECTIVE 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy (2000). Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32000L0060>
38. Fuller, D.O. (1998). Trends in NDVI time series and their relation to rangeland and crop production in Senegal, 1987-1993. *International Journal of Remote Sensing* 19(10):2013-2018. <https://doi.org/10.1080/014311698215135>
39. Izakovičová, Z., Špulerová, J., Petrovič, F. (2018). Integrated approach to sustainable land use management. *Environ. Open Access J. Environ. Conserv. Technol.*, 5, 37. <https://doi.org/10.3390/environments5030037>
40. Izakovicova, Z., Miklos, L., Miklosova, V. (2018). Integrative Assessment of Land Use Conflicts. *Sustainability*, 10, 3270. <https://doi.org/10.3390/su10093270>
41. Marchi, M., Ferrara, C., Biasi, R., Salvia, R., Salvati, L. (2018). Agro-Forest Management and Soil Degradation in Mediterranean Environments: Towards a Strategy for Sustainable Land Use in Vineyard and Olive Cropland. *Sustainability*, 10, 2565. <https://doi.org/10.3390/su10072565>
42. Moore, LD., and Burch, G.J. (1985). Physical Basis of the Length-slope Factor in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 1294-1298.
43. NASA LP DAAC, 2013. NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Version 3.0 (SRTM Plus) Product Release. Land Process Distributed Active Archive Center, National Aeronautics and Space Administration. [https://lpdaac.usgs.gov/about/news\\_archive/nasa\\_shuttle\\_radar\\_topography\\_mission\\_srtm\\_version\\_30\\_srtm\\_plus\\_product\\_release](https://lpdaac.usgs.gov/about/news_archive/nasa_shuttle_radar_topography_mission_srtm_version_30_srtm_plus_product_release).
44. OpenStreetMap Data Extracts. Geofabrik downloads. Available at: <http://download.geofabrik.de/europe/ukraine.html>
45. Pen, J.; Ma, J.; Du, Y.; Zhang, L.; Hu, X. (2016). Ecological suitability evaluation for mountainous area development based on conceptual model of landscape structure, function, and dynamics. *Ecol. Indic.*, 61, 500–511.
46. Rouse, J.; Haas, R.; Schell, J.; Deering, D (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In *Proceedings of the Third ERTS-1 Symposium NASA SP-351, Washington, DC, USA, 10–14 December 1973*, 309–317.
47. Rudenko L., Maruniak E., Lisovskiy S. (2014). Landscape Planning for Ukrainian Rural Communities: Challenges, Outputs, Prospects. *Geoadria*, 19(2), 191-204.
48. Rudenko L., Maruniak E., Lisovskiy S. (2014). Landscape Planning for Ukrainian Rural Communities: Challenges, Outputs, Prospects. *Geoadria*, 19(2), 191-204.
49. Sentinel-2B\_MSILIC Products. Copernicus Open Access Hub. Available at: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> (accessed on 15 September 2019).
50. Stoiko, N., Parsova, V. (2017). Environmental dimensions of rural development in land use planning circumstances in Ukraine. *Engineering for rural development*, 964–969. <https://doi.org/10.22616/erdev2017.16.n197>
51. Turner, K.G.; Anderson, S.; Gonzales-Chang, M.; Costanza, R.; Courville, S.; Dalgaard, T.; Dominati, E.; Kubiszewski, I.; Ogilvy, S.; Porfirio, L.; et al. (2016). A review of methods, data, and models to assess changes in the value of ecosystem services from land degradation and restoration. *Ecol. Model*, 319, 190–207. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.07.017>
52. USGS GlobalVisualizationViewer. Available at: <http://glovis.usgs.gov/>
53. Using the USGS Landsat 8 Product. Available at: [http://landsat.usgs.gov/Landsat8\\_Using\\_Product.php](http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php).
54. Wilson, E. H. & Sader, S. A. (2002). Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. *Remote Sensing of Environment*, 80 (3), 385-396. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00318-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00318-2)
55. Yang, J.; Li, S.; Lu, H. (2019). Quantitative influence of land-use changes and urban expansion intensity on landscape pattern in Qingdao, China: Implications for urban sustainability. *Sustainability*, 11, 61-74 <https://doi.org/10.3390/su11216174>

UDC 551.481.1(477.82)

**Vasyl Oleksandrovych Fesyuk,**

Doctor of Sciences (Geography), Professor, Head of Department of Physical Geography,  
Lesya Ukrainka Eastern European National University,  
13 Voli Av., Lutsk, 43000, Ukraine,

e-mail: [fesyuk@ukr.net](mailto:fesyuk@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-3954-9917>;

**Leonid Volodymyrovych Ilyin,**

Doctor of Sciences (Geography), Professor, Head of Department of Tourism and Hospitality,  
Lesya Ukrainka Eastern European National University,

e-mail: [ilyinleo@ukr.net](mailto:ilyinleo@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-4180-0544>;

**Iryna Anatoliivna Moroz,**

PhD (Chemistry), Associate Professor, Department of Material Science, Lutsk National Technical University,  
75 Lvivska St., Lutsk, 43018, Ukraine,

e-mail: [moroz.iryana1@gmail.com](mailto:moroz.iryana1@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-9167-4876>;

**Olga Viktorivna Ilyina,**

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Tourism and Hospitality,  
Lesya Ukrainka Eastern European National University,

e-mail: [olga777ilyina@gmail.com](mailto:olga777ilyina@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-8965-0629>

## ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF WATER QUALITY IN VARIOUS LAKES OF THE VOLYN REGION, WHICH IS INTENSIVELY USED IN RECREATION

**В. О. Фесюк, Л. В. Ільїн, І. А. Мороз, О. В. Ільїна. ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ РІЗНОТИПНИХ ОЗЕР ВОЛИНСЬКОЇ ОБЛАСТІ, ЩО ІНТЕНСИВНО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В РЕКРЕАЦІЇ.** Озера Волинської області мають важливе природне і господарське значення. Узбережжя озер інтенсивно використовують у рекреаційній діяльності, що призводить до забруднення водойм та погіршення якості води. У роботі здійснена екологічна оцінка якості води озер Волинської області, які найбільш інтенсивно використовуються в рекреації. Вибір саме цих озер зумовлений розвитком рекреаційної інфраструктури, щорічним зростанням кількості рекреантів, великими розмірами озер, значною рекреаційною ємністю і потенціалом, розміщенням водойм у різних озерних групах. Екологічна оцінка якості озерної води здійснювалась відповідно до Методики оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. Аналіз якісних показників озер Світязь, Велике Згоранське і Сомин засвідчив високу якість води. За період 2015–2019 рр. на всіх озерах якість води відносились до II класу «добрі», за ступенем чистоти «чисті», за категоріями – до II категорії «дуже добрі», за ступенем чистоти «чисті». Для оз. Велике Згоранське за ці роки величина  $I_E$  змінювалась в інтервалі 1,81–2,44, для озера Світязь – 1,66–2,07, для озера Сомин – 2,56–2,96. На величину екологічного індексу якості води найбільший вплив має індекс  $I_2$  (еколого-санітарні показники). Встановлено перевищення гранично-допустимих концентрацій за окремими компонентами. Не дивлячись на ці перевищення, в цілому, якість води дозволяє використання озер в різних галузях господарства. Комплексна оцінка якості озерних вод необхідна для визначення головних напрямів водоохоронної діяльності, поліпшення екологічного стану озер та їхніх водозборів. Це дозволить більш раціонально використовувати озера, перш за все у рекреації, забезпечить ефективний моніторинг озер з метою своєчасного інформування відпочивальників про якість води та пов'язаних з нею потенційних небезпек для їх здоров'я.

**Ключові слова:** озеро, якість води, гранично-допустима концентрація, блокові індекси якості води, інтегральний екологічний індекс якості води, екологічна оцінка якості води, класи якості води, категорії якості води.

**В. А. Фесюк, Л. В. Ильин, И. А. Мороз, О. В. Ильина. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ РАЗНОТИПНЫХ ОЗЕР ВОЛЫНСКОЙ ОБЛАСТИ, КОТОРЫЕ ИНТЕНСИВНО ИСПОЛЬЗУЮТСЯ В РЕКРЕАЦИИ.** Озера Волынской области имеют важное природное и хозяйственное значение. Побережье озер интенсивно используют в рекреационной деятельности, что приводит к загрязнению водоемов и ухудшению качества воды. В работе осуществлена экологическая оценка качества воды озер Волынской области, которые наиболее интенсивно используются в рекреации. Выбор именно этих озер обусловлен развитием рекреационной инфраструктуры, ежегодным ростом количества рекреантов, большими размерами озер, значительной рекреационной емкостью и потенциалом, размещением водоемов в различных озерных группах. Экологическая оценка качества озерной воды осуществлялась в соответствии с Методикой оценки качества поверхностных вод по соответствующим категориям. Анализ качественных показателей озер Свитязь, Большое Згоранское и Сомын показал высокое качество воды. За период 2015–2019 гг. качество воды всех озер относилось к II классу «добрые», по степени чистоты «чистые», по категориям – к II категории «очень хорошие», по степени чистоты «чистые». Для оз. Большое Згоранское за эти годы величина  $I_E$  менялась в интервале 1,81–2,44, для озера Свитязь – 1,66–2,07, для озера Сомын – 2,56–2,96. На величину экологического индекса качества воды наибольшее влияние имеет индекс  $I_2$  (эколого-санитарные показатели). Установлено превышение предельно-допустимых концентраций по отдельным компонентам. Несмотря на эти превышения, в целом, качество воды позволяет использование озер в различных отраслях хозяйства. Комплексная оценка качества озерных вод необходима для определения основных направлений водоохранной деятельности, улучшения экологического состояния озер и их водосборов. Это позволит более рационально использовать озера, прежде всего в рекреации, обеспечит эффективный мониторинг озёр с целью своевременного информирования отдыхающих о качестве воды и связанных с ней потенциальных опасностей для их здоровья.

**Ключевые слова:** озеро, качество воды, предельно-допустимая концентрация, блочные индексы качества воды, интегральный экологический индекс качества воды, экологическая оценка качества воды, классы качества воды, категории качества воды.



**Introduction.** There is a close link between the health status of the population and the environmental factors that affect it. One such factor is surface water bodies, used to meet economic, domestic and other human needs. Human health largely depends on the water status of the lakes used for recreational activities. New types of contaminants, that have not previously existed, emerge and are continuing to emerge: radioactive, toxic, biological, etc. They can cause significant damage to not only lake ecosystems, but also to human health. Considering the above, assessing the ecological status of lakes and their protection against pollution is essential for the conservation and promotion of recreants' health.

The urgency of the lakes study is due to their significant share in the spatial structure of landscapes, enhanced anthropogenic and natural transformation of natural reservoirs of local and regional levels, poor understanding of the laws of the functioning of reservoirs and the need for gaining understanding to solve problems of scientific and economic importance. Development of protection measures and rehabilitation of the aquatic environment takes an important place in rational use of resources, while taking into account economic activities in the catchment area and within the reservoirs. The detailed study and forecast of variants of anthropogenic loads on lakes serves as a basis for the development of water conservation measures. Modern understanding of the rationalization problem of nature management and nature conservation, the need to introduce intensive forms of resource use in combination with resource-saving technology, all lead to considerable attention to the assessment of the quality status of lakes.

**Purpose of the article.** The purpose of the article is ecological assessment of water quality in various lakes of Volyn Region, which are most intensively used in recreation.

**Analysis of recent research and publications.** A considerable amount of work is devoted to the problem of lake water quality assessment. It is carried out in three directions, combining the following indicators: factors related to the physical, geographical and hydrological characteristics of the reservoir as a whole object [10, 15, 21, 25–26]; controlled indicators of the composition and properties of the aquatic environment, which provide an assessment of water quality and its compliance with current standards [1–3, 6–7, 11–14, 19–20, 23–24, 29–30]; set of criteria that determine the specifics of structural and functional organization and dynamics of the limnosystem [8–9, 22]. The suitability of reservoirs for certain types of recreational use for a certain set of indicators (radiological, hydrochemical, climatic, sanitary and hygienic, etc.) is considered in the works [5, 27, 31–33]. Methodological aspects of

surface water quality assessment are proposed in [4, 14, 16–18, 28]. However, the issue of lake water quality assessment requires detailed research and is an important prerequisite for assessing the recreational potential of water bodies.

**Materials and methods.** The materials of expeditionary studies on the assessment of the natural and economic status of lakes, as well as the results of the chemical analysis of water by the Laboratory for Monitoring of Waters and Soils of the Regional Office of Water Resources in Volyn Region and the Complex Laboratory for Observation of the Environmental Pollution Center hydrometeorology (CGM) were used during the research. Research methods are expeditionary (for lake status assessment), methods of mathematical statistics (to statistically process the results of monitoring) and environmental assessment of water quality. Ecological assessment of lake water quality was carried out in accordance with the Methodology of surface water quality assessment in the respective categories. The system of ecological classifications forms the basis for the assessment of lake waters based on three blocks of indicators: salt composition of water; trophic-saprobological (ecological-sanitary) indicators of water; specific water substances of toxic effect [18].

The block of indicators of water salt composition (block index  $I_1$ ) includes specialized classifications of water quality according to the following criteria: mineralization, ionic composition (hydrochemical type of water), contamination with components of salt composition of water (chlorides, sulfates, mineralization) [18].

Tropho-saprobological (ecological-sanitary) block (block index  $I_2$ ) includes the following groups of indicators: hydrophysical, hydrochemical (suspended substances, pH, ammonium nitrogen, nitrite nitrogen, nitrate nitrogen, phosphates, dissolved oxygen, biochemical consumption of oxygen) hydrobiological, bacteriological, etc.

The block of specific substances of toxic action (block index  $I_3$ ) includes specialized classifications of water quality according to the content of specific substances of water (copper, iron, manganese, nickel, chromium) and toxicity level [18].

In general, the environmental assessment lies in determining the block water quality indexes for each of the three blocks ( $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ). An integrated environmental index of  $I_E$  (average of the sum of  $I_1 + I_2 + I_3$ ) was calculated for a comprehensive assessment of water quality [18].

**Results.** The lakes and their coast lines are the main objects of recreational activity in Volyn Region. Resort and recreational development of reservoirs is a special type of water use. Although the amount of water used in this industry for drinking

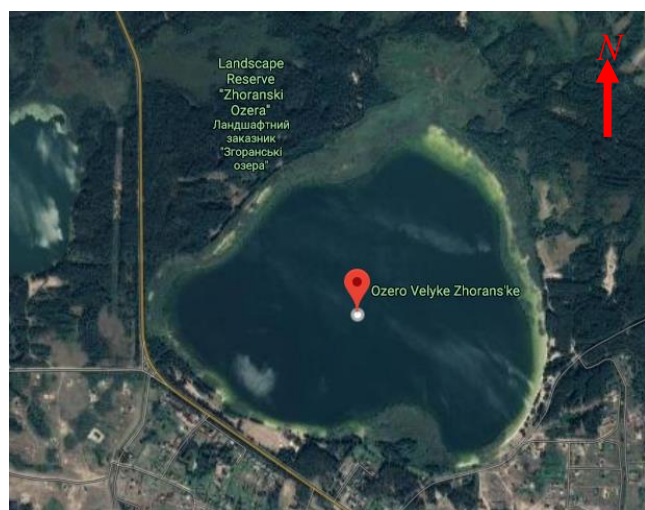
and medical purposes in sanatoriums, holiday homes, boarding houses, camp sites is relatively small, the development of a spa and recreational facilities requires significant additional volumes of fresh water to maintain the depth of water in the bathing area, certain sanitary facilities and temperature regimes of reservoirs. The limiting factors are the sanitary and hygienic indicators of water. First of all, high quality of water should be provided for the organization of contact types of recreation (bathing, scuba diving, water skiing, etc.).

In our opinion, there are three most recreation-ally developed lakes of Volyn Region: Svitiaz, Somyn and Velyke Zgoranske (Fig. 1). The choice of these lakes may be explained by the following factors: development of recreational infrastructure and a significant annual increase in the number of recreation; large sizes of lakes; significant recreational capacity and potential; placement of reser-

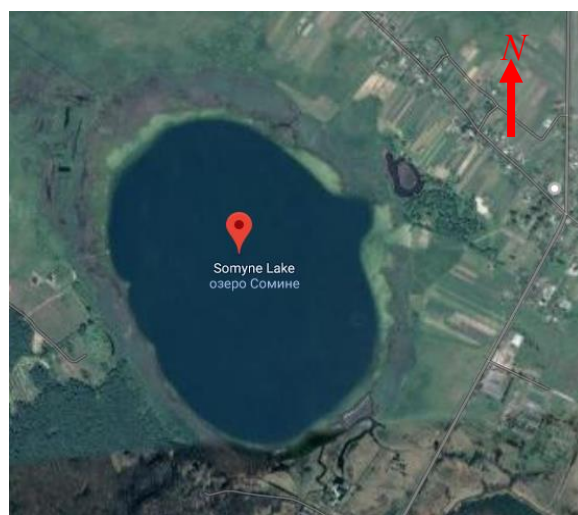
voirs in different lake groups (Lake Svitiaz – Shatsk lakes, Lake Velyke Zgoranske – Zgoransk group of lakes, Lake Somyn – Turiysk group of lakes).

**Lake Svitiaz** (51.4966478 N, 23.8461256 E) – the deepest lake and one of the largest lakes in Ukraine; it is part of the Shatsk National Nature Park. It is inferior in area to only a few Danube lakes. The lake area is 2750.2 ha, maximum length is 9283 m, width is 4822 m. The coastline is undivided. The bottom of the lake can be divided into two hollows – west and east, which are separated by rising above the water surface – the island. There are the largest cavities and the greatest depth of the lake (58.4 m) in the western part of the lake. In the eastern part, the entire bottom area, starting from the southern shores, is a gentle slope to the center of the lake with a marked decrease in depths to the east and west.

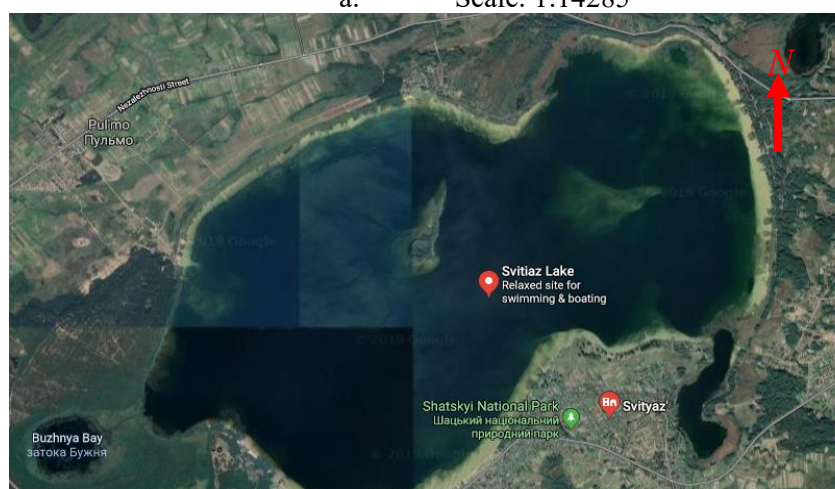
According to the nature of the thermal regime,



a. Scale: 1:14285



b. Scale: 1:13642



c. Scale: 1:43290

Fig. 1. Lake shots from space (based on map service Google Maps):

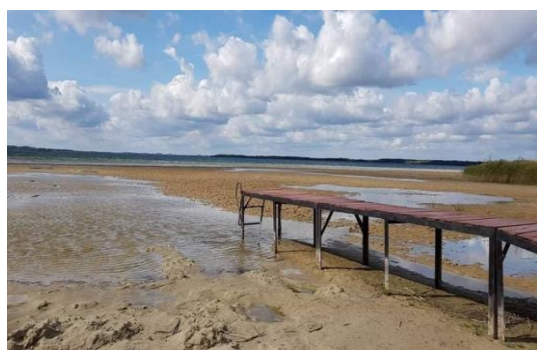
- a. Lake Velyke Zgoranske
- b. Lake Somyn
- c. Lake Svitiaz

Lake Svitiaz refers to the lake type of moderate latitudes with pronounced direct stratification in the summer, reverse – in winter and homothermia in spring and late autumn. Maximum surface water temperature occurs in July-August and reaches

24.5 °C, in the central part of the lake the temperature is slightly lower (19–20 °).

The lake water level is characterized by spring and autumn rise. In the spring, the rise of the level is associated with the melting of snow, at the end of

May the level reaches its maximum, afterwards – the level decreases and its fall lasts until October. Starting in October, there is a rise, which is influenced by autumn rainy floods. This rise peaks early in the winter, and then gradually decreases to a pre-emptive minimum. The height of the rise on average is 0.3–1.0 m. The decline of its levels occurs gradually, as high levels are maintained by the June–July rains. The reservoir is fed by atmospheric precipitation and groundwater. In addition to atmospheric precipitation, the lake's waters are accompanied by groundwater, with a water-resistant chalky surface layer, as well as the waters of the Cretaceous and underlying horizons below, which contributes to the considerable depth of the lake.



In the summer of 2019, the water level of Lake Svitiaz has been anomalously decreased by 0.38 m (the water receded from the shores by 60–90 m). This has raised national concern about the status of the lake ecosystem of this unique site. In our opinion, this is due to the abnormally low rainfall and hot summers, as well as the intensification of the use of groundwater in the catchment area as a result of the massive construction of wells at a depth of 30–50 m (Fig. 2).

The content of water-soluble oxygen in the summer is up to 13.2 mg/dm<sup>3</sup>. Oxygen deficiency is not observed in the bottom layers. The amount of organic matter and biogenic elements is negligible in the lake water. Oxidation ranges from 7.8 to



Fig. 2. Abnormal decrease in water level of lake Svitiaz (Summer 2019)

12 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> in different areas in July–August.

**Lake Somyn** (51.1964602 N, 24.3234086 E) is located in the east of village Somyn of Turiysk district. Water body is of karst origin. The lake area is 123.8 ha and the catchment area is 39.5 km<sup>2</sup>. The maximum depth is 56.9 m, the average depth is 12.77 m. The maximum length is 1.28 km. The maximum width is 1 km. The volume of the lake is 13100000 m<sup>3</sup>. Its water is very clean, transparent and its quality may compete with the water of Lake Svityaz.

There are numerous recreation areas of various degrees of equipment on the southern shore. The lake has been very heavily used in recreational activities lately. The number of recreational facilities and vacationers is increasing every year. This is facilitated by a shorter distance from Lutsk than for Lake Svityaz and such factors as good transport accessibility, clean water and attractiveness of the reservoir.

**Lake Velyke Zgoranske** (51.3727783 N, 23.9797211 E) – the largest lake based on the area of all Zgoransk lakes and it is located in the north of village Zgoriyany Luboml district. Length is 1.5 km, average width – 1 km, area – 148.5 ha, average depth – 10 m, maximum – 20 m, basin is of oval shape, height of the water cut in the lake – 168 m. The shores are located on lowland, are sandy and

sometimes swampy. It is fed by groundwater and precipitation. The lake bottom is sandy, covered with a layer of sapropel (reserves are 1511.2 tons). The shores are swampy, sometimes overgrown with mixed forest (mainly north and west shores). There are numerous recreational areas of various levels of equipment on the southern shore.

When assessing the ecological status of lakes, comprehensive indicator is usually sought that takes combined effect of a variety of factors into account. Developing such an indicator causes many complications even for an individual reservoir. However, the use of a comprehensive indicator of its environmental status is very important and requires careful study in order to determine the efficiency of regional lake resources usage. On the basis of comparison, the categories and classes of water quality were determined according to separate indicators that were taken for a single assessment. The results are presented as a single environmental assessment, which is based on the final conclusions of the three blocks.

An indispensable condition for performing ecological assessment of surface water quality utilizing both ways is strict adherence to generally accepted methods of the composition analysis and the properties of water in selected samples by many indicators or techniques developed by authoritative experts in their fields of expertise and their long-term testing [18].

Environmental assessment of water quality of Lake Velyke Zgoranske for the years of 2015–2019, which was carried out as a result of observations of

the state and chemical analysis of the water composition and conducted by the Laboratory for Monitoring Waters and Soils of the Regional Office of Water

Table 1

Classes and categories of surface water quality by ecological classification [18]

Water Quality Classes	I		II		III		IV	V
Water Quality Categories	1	2	3	4	5	6	7	
Name of water quality classes and categories according to their natural state	Excellent	Good		Satisfactory		Bad	Very Bad	
	Excellent	Very Good	Good	Good Enough	Mediocre	Bad	Very Bad	
Name of classes and categories of water quality according to its degree of cleanliness (pollution)	Very Clean	Clean		Polluted		Dirty	Very Dirty	
	Very Clean	Clean	Clean Enough	Slightly Polluted	Moderately Polluted	Dirty	Very Dirty	
Tropholytic	Oligotrophic	Mesotrophic		Eutrophic		Polytrophic	Hyperotrophic	
	Oligotrophic-oligomesotrophic	Mesotrophic	Meso-eutrophic	Eutrophic	Euplytrophic	Polytrophic	Hyperotrophic	
Saprobility	Oligosaprobic		$\beta$ -mesosaprobic		$\alpha$ -mesosaprobic		Polysaprobic	
	$\beta$ -oligosaprobic	$\alpha'$ -oligosaprobic	$\beta'$ -mesosaprobic	$\beta''$ -mesosaprobic	$\alpha'$ -mesosaprobic	$\alpha''$ -mesosaprobic	Poly-saprobic	

Resources in Volyn Region for the years of 2015–19 according to the materials of the Water and Soil Monitoring Laboratory of the Regional Water Resources Office in Volyn Region and the Integrated Laboratory for Observation of Natural Pollution of Volyn CGM, Lake Somyn for the years of 2015–18 according to the materials of the Water and Soil Monitoring Laboratory of the Regional Water Resources Office in Volyn Region. The assessment was carried out according to the full program with an indicative purpose – to assess the current natural and economic status of the lake, based on ecological assessment of the lake water quality, to identify the main problems and to suggest ways of their solution.

According to the results of the analysis of the chemical composition of water in Lake Velyke Zgoranske in 2019, the concentration of ammonium saline was exceeded above the limited concentration of substance by 60%, and the total iron content was doubled (Fig. 3). The same exceedances occurred for ammonium saline in 2018 (by 68%), in 2017 (by 56%), in 2016 (by 2.4 times), in 2015 (4%). In 2018, total iron amount – was exceeded by twice, in 2017 – 2.3 times, in 2016 – 1.9 times; chemical oxygen consumption in 2018 – 2.85 times; manganese in 2018 – 1.5 times, in 2017 – 10 times, in 2016 – 4 times, in 2015 – 12 times, copper in 2015 – twice.

Limited concentration of substance was exceeded by iron content (by 20%), copper (by 2.9



times), chromium (VI) (by 80%) in the waters of Lake Svitiaz in July 12, 2019. On the other hand, excess was not identified in the content of organic substances as well as nitrogen (ammonium, nitrite

and nitrate). Therefore, despite the problem of the Svitiaz shallowing, the content of pollutants in the lake water was exceeded by only a few indicators during the summer of 2019.

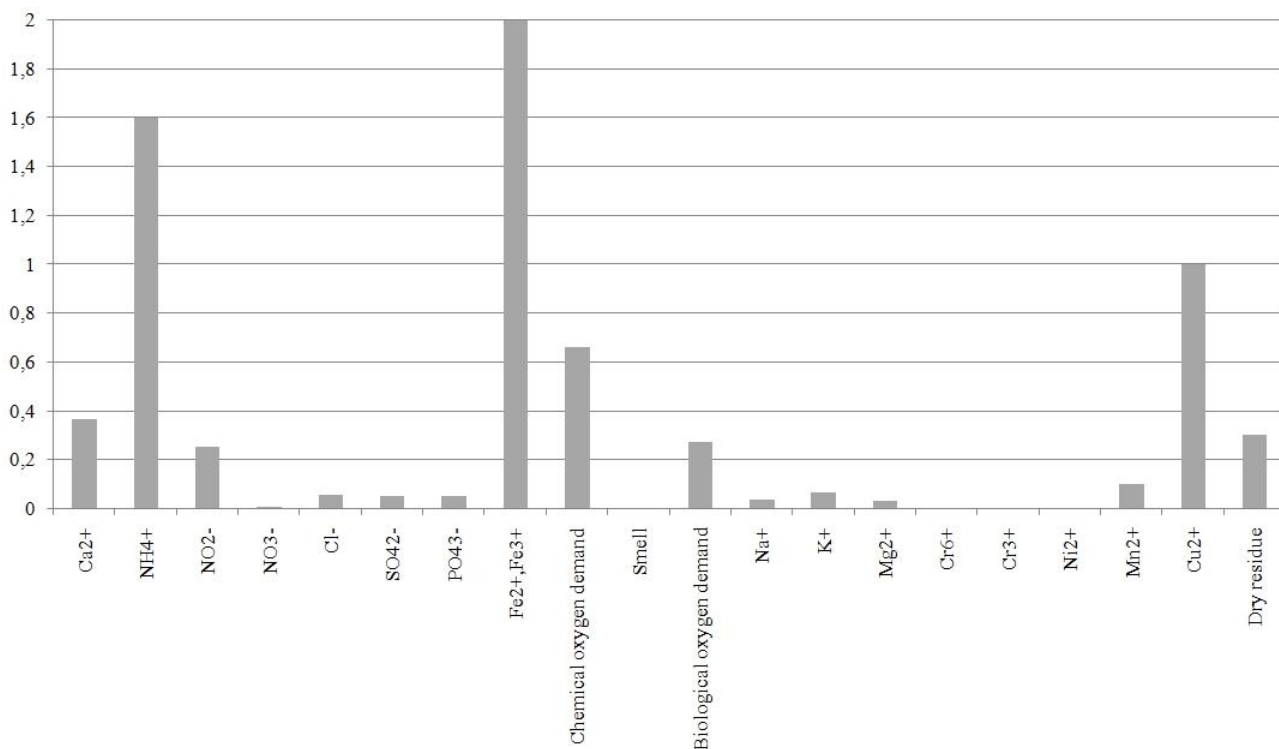


Fig. 3. Multiplicity of exceedance of the maximum permissible concentrations of pollutants in the water of the Lake Velyke Zgoranske (August 1, 2019) (summarized from materials from the Water and Soil Monitoring Laboratory of the Regional Water Resources Office in Volyn Region)

Results of ecological assessment of lake water quality of Velyke Zgoranske are provided in table 2. The water of the lake belongs to water quality class – „good”, in terms of purity – „pure”. In terms of quality category – „very good”, „clean” for the period of observations (2015–2019) by the magnitude of the ecological index. However, there were some differences in the subcategories in some years: for example, lake water quality had a tendency of approaching the „excellent”, „very clean” categories in

2019, 2017, 2016, and referred to categories „good”, „clean enough” in 2015 and 2018. Fig. 4 shows that these years are characterized by the highest values of the Ecological Water Quality Index ( $I_E$ ).

Therefore, the most significant value of the ecological water quality index ( $I_E$ ) in Lake Velyke Zgoranske is affected by the indexes of  $I_2$  (trophic-saprobiological or ecological-sanitary indicators). They vary in the interval from 2.6 to 4. The block index, which takes into account the specific indica-

Table 2

Lake water quality assessment. Velyke Zgoranske (2015–2019 yrs.)

Year	Sampling date	Value $I_E$	Evaluation					
			Category	Class	State by Class	Degree of class purity	Condition by category	The degree of purity by category
2019	01.08	1,81	2	2	Good	Clean	Very good	Clean
2018	30.05	2,44	2	2	Good	Clean	Very good	Clean
2017	09.08	2,1	2	2	Good	Clean	Very good	Clean
2016	15.08	2,06	2	2	Good	Clean	Very good	Clean
2015	17.08	2,34	2	2	Good	Clean	Very good	Clean



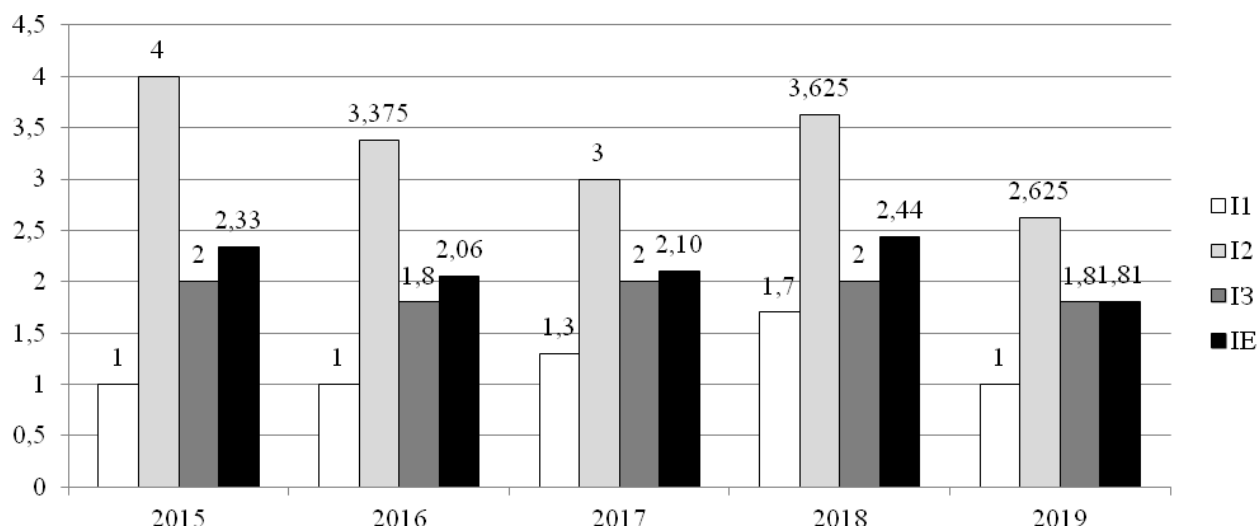


Fig. 4. Dynamics of ecological index of water quality ( $I_E$ ) and its components in the Lake Velyke Zgoranske

tors of toxic and radiation action ( $I_3$ ), does not change by year and corresponds to 1. In some years, there was deterioration of the block index of salt composition ( $I_1$ ). Thus lake waters were assigned to the second category of quality, in particular, in 2018 by chloride and sulphate content and in 2017 – by sulphate content (Table 2).

For the period of our research (2015–2019), Svitiyaz belongs to the class of water quality – „good”, in terms of purity – „pure” by the magnitude of the ecological water index of lake. In terms of quality category – „very good”, „clean”. But in the sub-categories, there were some differences in some years. For example, for all years except 2017, the waters are in transition from „excellent, very clean” to „very good, clean”. In 2017, sub-category of water quality was rated as „very good, clean”. Results of ecological assessment of water quality of Lake Svitiyaz are shown in table 3.

A similar trend is observed in the structure of the ecological water quality index, as for the Lake Velyke Zgoranske. The most significant value of the ecological water quality index ( $I_E$ ) in Lake Svitiyaz is influenced by the indexes  $I_2$  (trophic-saprobiological or ecological-sanitary indices). They vary in different years in the range from 1.625 to 2.875, which is

much lower than for Lake Velyke Zgoranske. The block index, which takes into account the specific indicators of toxic and radiation action ( $I_3$ ), changes much less over the years – from 1.6 to 2.2. The deterioration of the block index of salt composition ( $I_1$ ) was also observed in some years (Fig. 5). Thus, lake waters were classified as second quality category in 2018 by chloride content (20.8 mg/dm<sup>3</sup>).

Results of ecological assessment of water quality of Lake Somyn are given in table 4. Based on the table, it can be seen that in all the years the water quality of the lake is evaluated by the class "good", the degree of purity by the class - "pure". The Ecological Water Quality Index ranged from 2.56 to 2.96. In the category of quality – „good”, the purity category – „fairly pure”. There were some differences in the subcategories in some years: for example, in 2017, 2016, lake waters were rated as transient in quality from „very good”, „clean” to „good”, „fairly pure”. And in 2015 and 2018 – the categories of „good”, „fairly clean” gravitate to the category of „very good”, „clean”. Based on Figure 6, it can be seen that these years are characterized by the highest values of the Ecological Water Quality Index ( $I_E$ ).

There is no longer a rigid dependence of the

Table 3

Water quality assessment of Lake Svitiyaz (2015–2019 yrs)

Year	Sampling Date	Value $I_E$	Evaluation					
			Category	Class	State by Class	Degree of class purity	Condition by Category	The degree of purity by category
2019	12.07	1,54	2	2	Good	Clean	Very good	Clean
2018	30.05	1,79	2	2	Good	Clean	Very good	Clean
2017	09.08	2,07	2	2	Good	Clean	Very good	Clean
2016	15.08	1,99	2	2	Good	Clean	Very good	Clean
2015	10.06	1,66	2	2	Good	Clean	Very good	Clean

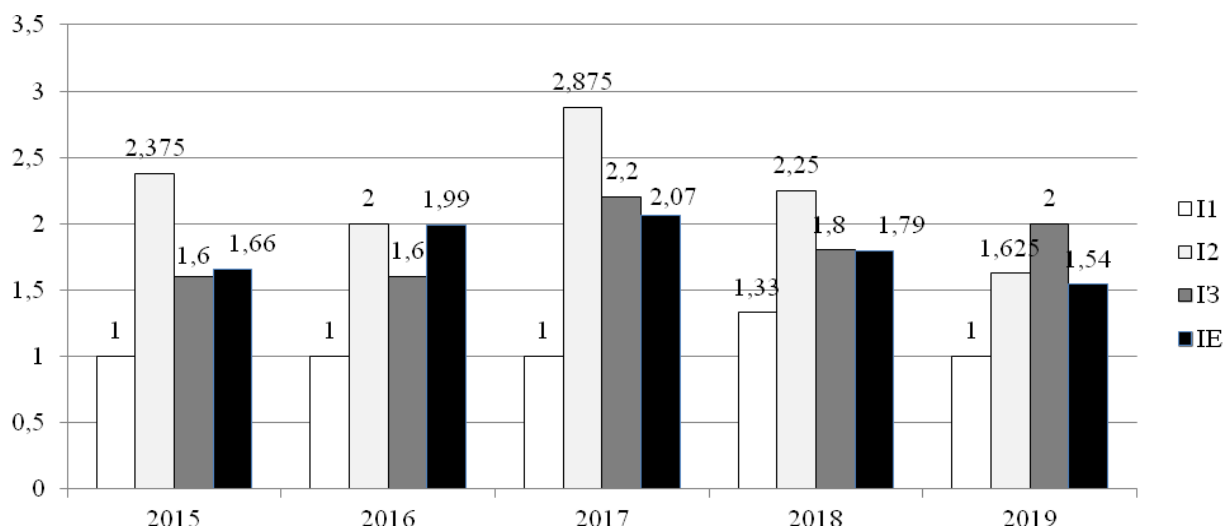


Fig. 5. Dynamics of ecological index of water quality ( $I_E$ ) and its components in Lake Svitiaz

Table 4

Water quality assessment of Lake Somyn (2015–2019 yrs)

Year	Sampling Date	Value $I_E$	Evaluation					
			Category	Class	State of Class	Degree of class purity	Condition by Category	The degree of purity by category
2018	26.06	2,83	2	3	Good	Clean	Good	Clean enough
2017	09.08	2,56	2	3	Good	Clean	Good	Clean enough
2016	24.05	2,71	2	3	Good	Clean	Good	Clean enough
2015	26.05	2,96	2	3	Good	Clean	Good	Clean enough

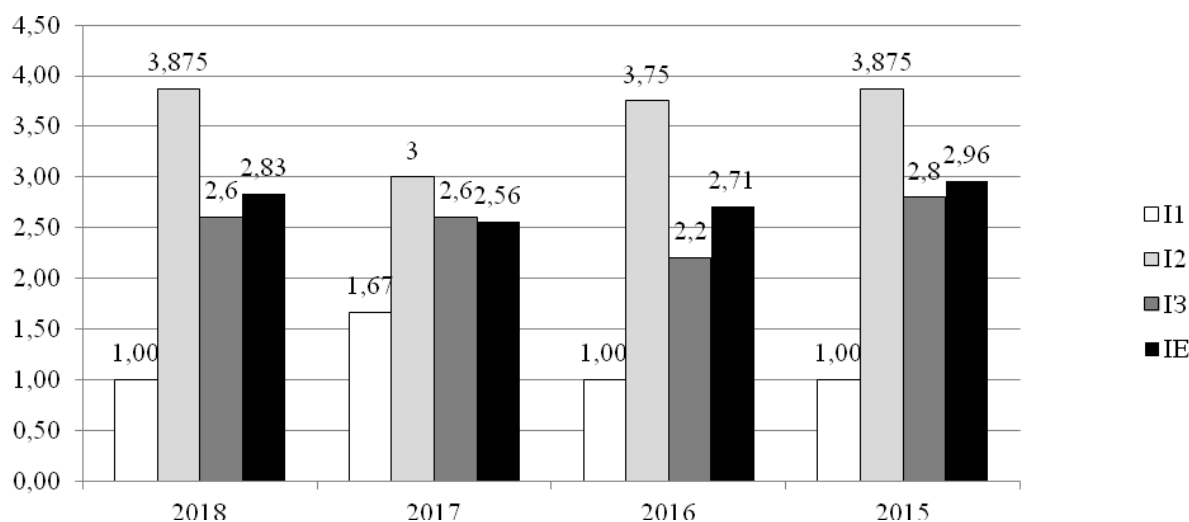


Fig. 6. Dynamics of ecological index of water quality ( $I_E$ ) and its components in Lake Somyn

environmental index of water quality  $I_E$  on  $I_2$  (trophic-saprobiological or ecological-sanitary indicators) for Lake Velyke Zgoranske, Lake Svitiaz, and Lake Somyn. However,  $I_2$  is still quite influential. The numerical values of this index vary from 3 to 3.87 in different years. The block index, which takes into account the specific indicators of toxic and radiation action ( $I_3$ ), varies annually in the range of 2.2–2.8.  $I_E$  is the least affected by the block index

of salt composition. In some years, its deterioration is also noted. Thus, lake waters were classified as second quality category in 2017 by chloride content ( $34.7 \text{ mg/dm}^3$ ).

An important component of our study is the comparison of the results of environmental assessment of water quality of various lakes, which are intensively used in recreation (Table 5, Fig. 7). In 2018, water quality was classified as „good” and

Comparison of results of ecological assessment of water quality of the studied lakes (2018)

Year	Sampling date	Value	Evaluation					
		$I_E$	Category	Class	State of Class	Degree of class purity	Condition by Category	The degree of purity by category
Lake Velyke Zgoranske								
2018	30.05	2,44	2	2	Good	Clean	Very Good	Clean
Lake Svitiáz								
2018	30.05	1,79	2	2	Good	Clean	Very Good	Clean
Lake Somyn								
2018	25.06	2,49	2	2	Good	Clean	Very Good	Clean

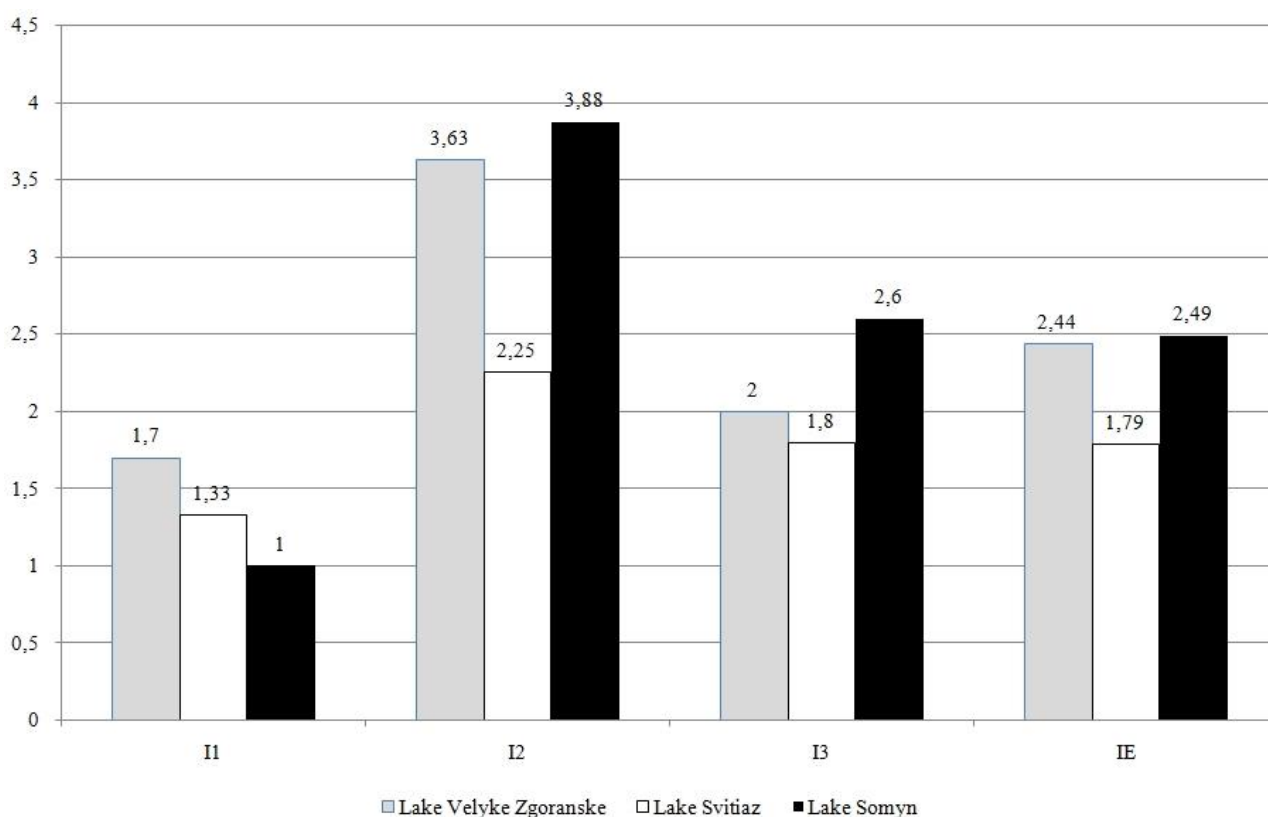


Fig. 7. Water quality indices of the studied lakes (2018)

referred to class II, cleanliness degree as „clean”, by category – category II that are „very good” and „clean” according cleanliness level.

The Environmental Water Quality Index ( $I_E$ ) was the lowest for the Lake Svitiáz (1.79). Indexes were slightly higher – 2.44 and 2.49 for lakes Velyke Zgoranske and Somyn, respectively. The results of the analysis show that Lake Svitiáz is one of the purest recreational natural reservoirs of Volyn. In the context of sub-categories  $I_E$  of lake Svitiáz belongs to the category „very good”, „clean” with inclination to the categories „excellent”, „very clean” according to water quality while the index is similar for the other studied lakes and their water

quality corresponds to „very good”, „clean” with a tendency to approach the category of „good”, „fairly clean”.

According to the indicators of partial indexes, fluctuations in environmental assessment occurred. The most significant value of the ecological index of water quality ( $I_E$ ) in the lakes is affected by the indexes  $I_2$  (trophic-saprobiological or ecological-sanitary indicators). The value of this block index did not go beyond the boundaries of the category II for Lake Svitiáz ( $I_2 = 2.25$ ) and refers to „very good”, „clean” water, while this characteristic refers to quality class III for the Lake Velyke Zgoranske (3.63) and Lake Somyn (3.88) and refers to „satis-

factory”, „contaminated” and category IV – „good enough”, „slightly contaminated”.

According to the criterion of salt composition, the environmental assessment has several other features: the smallest index  $I_l$  that is found in Lake Somyn (1), in Svitiyaz (1.33), and in Lake Velyke Zgoranske where the index value was maximum – 1.77. The content of toxic substances ( $I_3$ ) for the lake Velyke Zgoranske is similar to Lake Svitiyaz. The value of this index for the waters of these lakes are compared: 2 and 1.8, and this is the second category – „very good”, „clean” water. Instead, the value of  $I_3$  is 2.6 in the waters of the Somyn Lake, which indicates that it belongs to the third category – „good”, „fairly clean” water.

It is noteworthy that a comparative environmental assessment of the water quality of the stud-

ied lakes in 2019 has been constantly mentioned in the media about catastrophic shallowing of Lake Svitiyaz. The question is: how did lake water level lowering affect water quality? It should be noted that the lakes Somyn and the Velyke Zgoranske did not suffer a significant decrease in water level in hot and dry summer of 2019, however, this is a very significant problem for Lake Svitiyaz. This necessitated a comparative assessment of the water quality of the studied reservoirs for 2019 (Table 6).

According to the results of the study, the water quality in 2019 of Svitiyaz and Velyke Zgoranske lakes belongs to the second class – „good”, by the degree of purity – „pure”, by categories – to the II category „very good”, by the degree of purity „pure” (Table 6, Fig. 8).

Table 6

Comparison of the results of the ecological assessment of water quality in the Lake Velyke Zgoranske and Lake Svitiyaz (2019)

Year	Sampling date	Value $I_E$	Evaluation					
			Category	Class	State of Class	Degree of class purity	Condition by Category	The degree of purity by category
Lake Velyke Zgoranske								
2019	01.08	1,81	2	2	Good	Clean	Very Good	Clean
Lake Svitiyaz								
2019	12.07	1,54	2	2	Good	Clean	Very Good	Clean

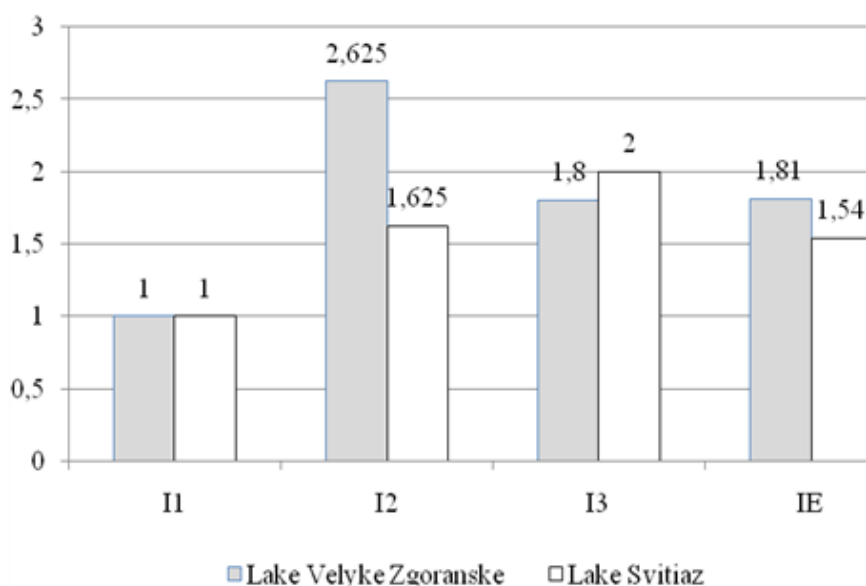


Fig. 8. Comparison of results of ecological assessment of water quality in the lakes of Velyke Zgoranske and Svitiyaz (2019)

The Environmental Water Quality Index ( $I_E$ ) was lower for the Lake Svitiyaz (1.54). This index has been slightly higher for Lake Velyke Zgoranske – 1.81, despite the considerable shallowing of the lake. In the sub-categories of  $I_E$  for Lake Svitiyaz, the water quality is defined as transitional from the cat-

egory „excellent”, „very pure” to „very good”, „pure” while at that time for the Lake Velyke Zgoranske sub-category is defined as „very good”, „clean” with an approximation to the category „excellent”, „very clean”.

According to the values of partial indexes, chan-

ges in the ecological status of water occurred. According to the criterion of salt composition, lake water has the same high score (1.0), which corresponds to the first class. Index  $I_2$  (trophic-saprobiological or ecological-sanitary indicators) is significantly higher for Lakes Velyke Zgoranske (2.6). This testifies belonging to the third category – the waters are transient in quality from „very good”, „pure” to „good”, „quite pure”. The value of this block index is estimated as water for Svitiaz ( $I_2=1.625$ ), which transitions in quality from „excellent”, „very pure” to „very good”, „pure”. According to the criterion of the content of substances of toxic effect ( $I_3$ ), the water of Lake Velyke Zgoranske (1.8) is of better quality than in the Lake Svitiaz (2.0). Both reservoirs are categorized as „very good”, „clean” waters.

**Conclusions.** The ecological assessment of the water quality of the lakes showed that for the period 2015–2019, the water quality was classified as „good” class II, by degree of purity „clean”, by categories – refers to category II „very good”, by degree of purity „clean” for all lakes. During these years,  $I_E$  varied in the range of 1.81–2.44 for the Lake Velyke Zgoranske, in the range of 1.66–2.07 for the lake Svitiaz, and in the range of 2.56–2.96 for the Lake Somyn.

The water quality of the studied lakes is very high even given the impact of global climate change and the shallowing of some of the lakes. This allows the use of lakes for a variety of economic needs. Among these, of course, the most preferred type is recreational use. At the same time, the development

of recreation, and especially the natural one, can worsen the ecological status of the lake. Therefore, recreational use should be made subject to proper hydro-environmental monitoring. In addition, a set of conservation measures should be implemented to protect the investigated lake ecosystems from sewage, field and farm runoff, shoreline contamination, recreational digression, and the negative impact of drainage land reclamation.

The economic use of lakes is differentiated and depends on several determining factors: their location and accessibility, availability of necessary reserves and quality of coastal resources of reservoirs and coasts (water, fishery, mineral, recreational), development of coasts and catchments (availability near settlements).

An important area of optimization of lakes is their reclamation – restoration of lakes and development of scientifically grounded limnosystem management measures.

It should also be taken into account, that in addition to the general remediation paths, for each case, the development of specific measures is needed, that take into account local features of a small catchment area, genetic degree of its stability, capacity and composition of sediments, sources of eutrophication or pollution.

Promising areas for further research are the definition of criteria that will allow us to evaluate the quality of lake waters, taking into account optimization measures as well as a predictive assessment of changes in water levels due to changes in lake water due to climate change already occurring today.

### References

1. Гопчак І. В. Результати екологічної оцінки та екологічного нормування поверхневих вод Волинської області / І. В. Гопчак // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2006. – Т. 11. – С. 370–374.
2. Драбкова В. Г. Оцінка стану озер Шацького національного природного парку / В. Г. Драбкова, В. К. Кузнецов, І. С. Трифонова // Шацький національний природний парк. Наукові дослідження 1983–1993 рр. – Світьязь, 1994. – С. 52–79.
3. Свтушенко М. Ю. Комплексна оцінка еколого-токсикологічної ситуації водоєм Шацьких озер / М. Ю. Свтушенко, С. В. Дудник, Ю. А. Глебова // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гіжицького. – 2011. – Т. 13, № 2 (2). – С. 227–233.
4. Закревський В. І. Аналіз підходів щодо створення бази геоданих геоінформаційних систем моніторингу якості поверхневих вод / В. І. Закревський, Л. В. Плічко // Наукоємні технології. – 2018. – № 1 (37). – С. 114–124.
5. Измайлова А. В. Критерии региональной оценки качества озерных ресурсов / А. В. Измайлова // Общество. Среда. Развитие. – 2015. – № 4. – С. 175–181.
6. Льїн Л. В. Гідрохімічний режим Шацьких озер та його зміни наприкінці ХХ та на початку ХХІ ст. (огляд) / Ю. М. Ситник, П. Г. Шевченко, Н. М. Осадча, Н. В. Хомік, Н. В. Свічкова // Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки. Географічні науки. – 2010. – № 17. – С. 91–97.
7. Льїн Л. В. Гідрохімічні дослідження озерних екосистем Шацького національного природного парку: озеро Чорне Велике (1977–2009 рр.) / Л. В. Льїн, Ю. М. Ситник, П. Г. Шевченко, Н. М. Осадча, Н. В. Хомік // Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки. Географічні науки. – 2010. – № 15. – С. 4–14.
8. Льїн Л. В. Лімнок комплекси Українського Полісся: Монографія: У 2-х т. Т. 1.: Природничо-географічні основи дослідження та регіональні закономірності / Л. В. Льїн. – Луцьк: РВВ «Вежа» Волин. нац. ун-ту ім. Лесі Українки, 2008. – 316 с.
9. Льїн Л. В. Лімнок комплекси Українського Полісся: Монографія: У 2 т. Т. 2 : Регіональні особливості та оптимізація / Л. В. Льїн. – Луцьк: РВВ «Вежа» Волин. нац. ун-ту ім. Лесі Українки, 2008. – 400 с.



10. Ільїн Л. В. Озера Волині: лімнологічно-географічна характеристика / Л. В. Ільїн, Я. О. Мольчак. – Луцьк: Надстир'я, 2000. – 140 с.
11. Інформація щодо якісного стану поверхневих вод України. Дані державного моніторингу поверхневих вод 2016–2018 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://data.gov.ua/dataset/ee2bc3b0-42d4-4f19-8d96913cd9d1f02a/resource/c1ab3675-34ad-48f1-ae14-2b81cd4cd66f>
12. Каминский В. С. Состав и качество поверхностных вод: Понятие «качество» воды / В. С. Каминский // Основы прогнозирования качества поверхностных вод. – М.: Наука, 1982. – С. 6–22.
13. Комплексные оценки качества поверхностных вод / ред. А. М. Никанорова – Л.: Гидрометеоздат, 1984. – 139 с.
14. Кофанов В. І. Нормативно-методичне забезпечення визначення якості води при оцінці впливу на навколишнє середовище / В. І. Кофанов, М. С. Огняник // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2008. – № 4. – С. 15–23.
15. Львович М. В. Загальна характеристика Шацького національного природного парку / М. В. Львович, А. А. Горун // Шацький національний природний парк : Наукові дослідження 1983–1993 рр. – Світязь, 1994. – С. 4–20.
16. Арсан О. М. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / О. М. Арсан, О. А. Давидов, Т. А. Дяченко. – К.: ЛОГОС, 2006. – 408 с.
17. Методика встановлення та використання екологічних нормативів якості поверхневих вод суші та естуаріїв України / В. Д. Романенко, В. М. Жулинський, О. П. Оксіюк. – К., 2001. – 48 с.
18. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В. Д. Романенко, В. М. Жулинський, О. П. Оксіюк, А. В. Яцик. – К.: Символ-Т, 1998. – 28 с.
19. Морозова А. О. Гідрохімічний стан та оцінка якості води водоєм Шацького національного природного парку / А. О. Морозова // Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки. Географічні науки. – 2009. – № 1. – С. 47–51.
20. Морозова А. А. Основные тенденции изменения качества воды озерных экосистем Шацкого национального природного парка / А. А. Морозова // Гидробиологический журнал. – 2006. – № 4. – С. 111–118.
21. Озеро Світязь: сучасний природно-господарський стан та проблеми / За ред. Я. О. Мольчака. – Луцьк: РРВ ЛДТУ, 2008. – 336 с.
22. Пирожник И. И. Рекреационно-озерные ландшафты и методологические подходы к их бонитировке / И. И. Пирожник, Б. П. Власов, С. Л. Федорова // Развитие идей В. А. Дементьева в современных геоморфологических и ландшафтных исследованиях: Материалы Республиканской научно-методической конференции. – Минск: БГУ, 1998. – С. 109–115.
23. Ситник Ю. М. Гідрохімічні дослідження озерних екосистем Шацького національного природного парку: озеро Люцимер (1977–2009 рр.) / Ю. М. Ситник, Л. В. Ільїн, П. Г. Шевченко, Н. М. Осадча, Н. В. Хомік // Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки. Географічні науки. – 2010. – № 17. – С. 99–109.
24. Ситник Ю. М. Гідрохімічне вивчення озерних екосистем Шацького національного природного парку: 1948–2010 рр. Огляд / П. Г. Шевченко, А. О. Морозова, Л. В. Ільїн, Й. В. Гриб, Н. В. Хомік // Стан і біорізноманіття екосистеми Шацького національного природного парку: Матеріали наукової конференції (Шацьк, 8–11 вересня 2011 р.). – Львів: СПОЛОМ, 2011. – С. 94–99.
25. Формування режиму природних вод району Шацьких озер в сучасних умовах / за ред. М. І. Ромащенко, Ю. Й. Бахмачука. – К.: Аграрна наука, 2004. – 96 с.
26. Хомік Н.В. Водні ресурси Шацького національного природного парку: сучасний стан, охорона, управління / Н. В. Хомік. – К. Аграрна наука, 2013. – 240 с.
27. Шевцова Н. С. Основные положения и принципы изменения целевых показателей качества воды рекреационного назначения / Н. С. Шевцова // Природные ресурсы. – 1999. – № 2. – С. 99–106.
28. Якість води та управління водними ресурсами: короткий опис Директив ЄС та графіку їх реалізації. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://buvrtyssa.gov.ua/newsite/download/Water\\_brochure.pdf](http://buvrtyssa.gov.ua/newsite/download/Water_brochure.pdf)
29. Якушин В. М. Оцінка якості води Шацьких озер за еколого-санітарними показниками / В. М. Якушин, Р. І. Гош, В. М. Тімченко // Шацький національний природний парк: Наукові дослідження 1983–1993 рр. – Світязь, 1994. – С. 96–107.
30. Якушин В. М. Екологічний стан озер Шацького природного національного парку та шляхи його поліпшення / В. М. Якушин, О. П. Оксіюк, В. М. Тімченко // Українське Полісся: вчора, сьогодні, завтра: Збірка наукових праць. – Луцьк: Надстир'я, 1998. – С. 170–171.
31. Choinński A. Changes in water resources of Polish lakes as influenced by natural and anthropogenic factors / A. Choinński, M. Ptak, A. Lawniczak // Polish Journal of Environmental Studies. – 2016. – T. 25, Z. 5. – P. 1–9. <https://doi.org/10.15244/pjoes/62906>
32. Ilyin L. V. The hydrochemical characteristics of the lakes of the Shatsk National Nature Reserve, Ukrainian Polissia / L. V. Ilyin // Limnological Review. – 2007. – Vol. 7, № 3. – P. 147–152.
33. Vlasov B. P. Recreational use and environmental problems of lakes of protected areas in Belarus / B. P. Vlasov // Acta Geographica Silesiana. – 2012. – № 11. – P. 71–76.

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

UDC 551.481.1(477.82)

**Vasyl Fesyuk,**

Doctor of Sciences (Geography), Professor, Head of Department of Physical Geography,  
Lesya Ukrainka Eastern European National University,  
13 Voli Av., Lutsk, 43000, Ukraine,  
e-mail: [fesyuk@ukr.net](mailto:fesyuk@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-3954-9917>;

**Leonid Ilyin,**

Doctor of Sciences (Geography), Professor, Head of Department of Tourism and Hospitality,  
Lesya Ukrainka Eastern European National University,  
e-mail: [ilyinleo@ukr.net](mailto:ilyinleo@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-4180-0544>;

**Iryna Moroz,**

PhD (Chemistry), Associate Professor, Department of Material Science, Lutsk National Technical University,  
75 Lvivska St., Lutsk, 43018, Ukraine,  
e-mail: [moroz.iryina1@gmail.com](mailto:moroz.iryina1@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-9167-4876>;

**Olga Ilyina,**

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Tourism and Hospitality,  
Lesya Ukrainka Eastern European National University,  
e-mail: [olga777ilyina@gmail.com](mailto:olga777ilyina@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-8965-0629>

## ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF WATER QUALITY IN VARIOUS LAKES OF THE VOLYN REGION, WHICH IS INTENSIVELY USED IN RECREATION

**Introduction.** Assessment of the ecological status of lakes is important for their conservation and protection. Many lakes are intensively used in recreation in Volyn Region. The development of the resort and recreational facilities requires significant additional volumes of fresh water to maintain the depth of the reservoirs in the bathing area, certain sanitary and temperature regimes of the reservoirs. The limiting factors are the sanitary and hygienic indicators of water. First and foremost, high quality of water should be provided for the organization of contact types of recreation (bathing, diving, water skiing, etc.).

**The purpose of article.** The purpose of the article is ecological assessment of water quality in various lakes of Volyn Region, which are most intensively used in recreation.

**Methods.** Research methods are expeditionary, methods of mathematical statistics and environmental assessment of water quality, which were carried out in accordance with the methodology for assessing the quality of surface water in the respective categories. During the preparation of the article, materials from their own expeditionary studies of the natural-economic state of the lakes were used, as well as the results of chemical analysis of the water composition conducted by the Water and Soil Monitoring Laboratory of the Regional Water Resources Office in Volyn Region and the Complex Laboratory for Observation of the Environmental Environmental Center.

**Results.** The analysis of the qualitative indicators of the lakes Svitiáz, Velyke Zgoranske and Somyn showed the high quality of water in the lakes. For the period of 2015–2019, water quality was classified as „good” class II, by degree of cleanliness „clean”, by category as „very good”, by degree of cleanliness „clean” on all lakes. The value of  $I_E$  for the Lake Velyke Zgoranske varied in the range of 1.81–2.44, in the range of 1.66–2.07 for the Lake Svitiáz, and in the range of 2.56–2.96 for the Lake Somyn. Index  $I_2$  (ecological and sanitary indicators) has the most influence on the magnitude of the ecological index of water quality.

**The scientific novelty** lies in establishing block and integral indexes of ecological assessment of water quality, classes and categories of water quality of the most recreationally-developed lakes of Volyn Region, as well as in assessment of the dynamics of indicators of water quality of lakes during the years of 2015–19.

**Practical significance** is defined with the opportunity of development of a set of measures for the rational use and protection of lakes.

**Keywords:** lake, water quality, maximum permissible concentration, block water quality indexes, integrated ecological water quality index, environmental water quality assessment, water quality classes, water quality categories.

### References

1. Gopchak, I. (2006). *Rezultaty ekolohichnoi otsinky ta ekolohichnoho normuvannia poverkhnevnykh vod Volynskoi oblasti [Results of ecological assessment and ecological normalization of surface waters of Volyn region]. Hidrolohii, hidrokhemii i hidroekolohii – Hydrology, hydrochemistry and hydroecology, 11, 370–374. [in Ukrainian]*
2. Drabkova, V., Kuznetsov, V., Tryfonova, I. (1994.) *Otsinka stanu ozer Shatskoho natsionalnoho pryrodnoho parku. [Assessment of the state of the lakes of the Shatsk National Nature Park]. Shacjkyj nacionalnyj pryrodnyj park:*

- Naukovi doslidzhennja 1983–1993 rr. [Shatsk National Nature Park: Scientific Research 1983-1993]. Svitiaz, 52–79. [in Ukrainian]*
3. Yevtushenko, M., Dudnyk, S., Hliebova, Y. (2011). *Kompleksna otsinka ekoloho-toksykologichnoi situatsii vodoim Shatskykh ozer [Comprehensive assessment of the ecological and toxicological situation of the Shatsk lakes]. Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnologii im. S. Z. Gzhytskoho – Scientific Bulletin of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology, 13, № 2 (2), 227–233. [in Ukrainian]*
  4. Zakrevskiy, V., Plichko, L. (2018) *Analiz pidkhodiv shchodo stvorennja bazy heodanykh heoinformatsiynykh system monitorynhu yakosti poverkhnevyykh vod. [Analysis of approaches to creation of geodatabase geoinformation systems for monitoring surface water quality]. Naukoyemni tekhnolohiyi – High technology, 1 (37), 114–124. [in Ukrainian]*
  5. Izmailova, A. (2015). *Kriterii regionalnoy otsenki kachestva ozernykh resursov. [Criteria for regional assessment of the quality of lake resources]. Obshchestvo. Sreda. Razvitie. – Society. Wednesday. Development, 4, 175–181. [in Russian]*
  6. Ilyin, L., Sytnyk, J., Shevchenko, P., Osadcha, N., Khomik, N., Svichkova, N. (2010). *Ghidrokhimichnyj rezhym Shacjkykh ozer ta jogho zminy naprykinci KhKh ta na pochatku KhKhI st. (oghljad). [Hydrochemical regime of Shatsk lakes and its changes at the end of XX and beginning of XXI century. Review]. Naukovyj visnyk Volynskogho nacionaljnogho universytetu imeni Lesi Ukrajinjy. Gheoghrafichni nauky – Scientific Bulletin of Volyn National University named after Lesya Ukrainka. Geographical Sciences, 17, 91–97. [in Ukrainian]*
  7. Ilyin, L., Sytnyk, J., Shevchenko, P., Osadcha, N., Khomik, N. (2010). *Ghidrokhimichni doslidzhennja ozernykh ekosystem Shacjkogho nacionaljnogho pryrodnogho parku: ozero Chorne Velyke (1977–2009 rr.). [Hydrochemical studies of lake ecosystems of Shatsk National Nature Park: Lake Black (1977–2009)]. Naukovyj visnyk Volynskogho nacionaljnogho universytetu imeni Lesi Ukrajinjy. Gheoghrafichni nauky – Scientific Bulletin of Volyn National University named after Lesya Ukrainka. Geographical Sciences, 15, 4–14. [in Ukrainian]*
  8. Ilyin, L. (2008). *Limnokompleksy Ukrajinjskogho Polissja: Monografija: U 2-kh t. T. 1 [Limnocomplexes of Ukrainian Polissya: Monograph: In 2 volumes]. V. 1.: Pryrodnycho-gheoghrafichni osnovy doslidzhennja ta rehionaljni zakonomirnosti. [Natural-geographical bases of research and regional patterns]. Luck, Vezha, 316. [in Ukrainian]*
  9. Ilyin, L. (2008). *Limnokompleksy Ukrajinjskogho Polissja: Monografija: U 2-kh t. T. 2 [Limnocomplexes of Ukrainian Polissya: Monograph: In 2 volumes]. V. 2.: Rehionaljni osoblyvosti ta optymizacija. [Regional features and optimization]. Luck, Vezha, 400. [in Ukrainian]*
  10. Ilyin, L., Molchak, J. (2000). *Ozera Volyni: limnologho-gheoghrafichna kharakterystyka. [Lakes of Volyn: limnological and geographical characteristics]. Luck, Nadstyria, 140. [in Ukrainian]*
  11. *Informacija shhodo jakisnogho stanu poverkhnevyykh vod Ukrajinjy. Dani derzhavnogho monitorynhu poverkhnevyykh vod 2016–2018. [Information on the qualitative state of surface waters of Ukraine. State Surface Water Monitoring Data 2016–2018]. Available at: <https://data.gov.ua/dataset/ee2bc3b0-42d4-4f19-8d96913cd9d1f02a/resource/c1ab3675-34ad-48f1-ae14-2b81cd4cd66f>. [in Ukrainian]*
  12. Kaminski, V. (1982). *Sostav i kachestvo poverkhnostnykh vod: Ponyatie «kachestvo» vody. [Composition and quality of surface water: The concept of "quality" of water]. Osnovy prognozirovaniya kachestva poverkhnostnykh vod. [Basics of surface water quality forecasting]. Moskva: Nauka, 6–22. [in Russian]*
  13. Nikanorov, A. (1984). *Kompleksnye otsenki kachestva poverkhnostnykh vod [Comprehensive assessment of surface water quality]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 139. [in Russian]*
  14. Kofanov, V., Oghnjanyk, M. (2008). *Normatyvno-metodychne zabezpechennja vyznachennja jakosti vody pry ocinci vplyvu na navkolyshnje seredovyshhe. [Regulatory and methodological support for determining the quality of water in environmental impact assessment]. Ekologhija dovkilja ta bezpeka zhyttjedijalnosti – Ecology and safety, 4, 15–23. [in Ukrainian]*
  15. Ljvovych, M., Ghorun, A. (1994). *Zagaljna kharakterystyka Shacjkogho nacionaljnogho pryrodnogho parku. [General characteristics of Shatsk National Nature Park]. Shacjkyj nacionaljnyj pryrodnyj park: Naukovi doslidzhennja 1983–1993 rr. [Shatsk National Nature Park. Scientific research 1983–1993]. Svitiaz, 4–20. [in Ukrainian]*
  16. Arsan, O., Davydov, O., Djachenko, T. (2006). *Metody gidroekologichnykh doslidzenj poverkhnevyykh vod. [Methods of hydro-ecological studies of surface waters]. Kyiv: Logos, 408. [in Ukrainian]*
  17. Romanenko, V., Zhulynskij, V., Oksijuk, O. (2001). *Metodyka vstanovlennja ta vykorystannja ekologichnykh normatyviv jakosti poverkhnevyykh vod sushi ta estuarijiv Ukrajinjy. [Methods of establishing and using ecological standards for surface water quality of land and estuaries of Ukraine]. Kyiv, 48. [in Ukrainian]*
  18. Romanenko, V., Zhulynskij, V., Oksijuk, O., Yacyk, A. (1998). *Metodyka ekologichnoji ocinky jakosti poverkhnevyykh vod za vidpovidnymi katehorijamy. [Methodology of ecological assessment of surface water quality by relevant categories]. Kyiv: Symvol-T, 28. [in Ukrainian]*
  19. Mororzova, A. (2009). *Ghidrokhimichnyj stan ta ocinka jakosti vody vodojm Shacjkogho nacionaljnogho pryrodnogho parku. [Hydrochemical status and water quality assessment of reservoirs of Shatsk National Nature Park]. Naukovyj visnyk Volynskogho nacionaljnogho universytetu imeni Lesi Ukrajinjy. Gheoghrafichni nauky – Scientific Bulletin of Volyn National University named after Lesya Ukrainka. Geographical Sciences, 1, 47–51. [in Ukrainian]*
  20. Mororzova, A. (2006). *Osnovnye tendentsii izmeneniya kachestva vody ozernykh ekosystem Shatskogo natsionalnogo*



- prirodnogo parka [The main trends in water quality changes in the lake ecosystems of Shatsk National Nature Park]. Hidrobiologicheskij zhurnal. [Hydrobiological Journal], 4, 111–118. [in Russian]*
21. Editor Molchak, J. (2008). *Ozero Svitjazj: suchasnyj pryrodno-ghospodarskyj stan ta problemy. [Lake Svityaz: current natural state and problems]. Luck, RVV LDTU, 336. [in Ukrainian]*
  22. Pirozhnik, I., Vlasov, B., Fedorova, S. (1998). *Rekreatsionno-ozernye landshafty i metodologicheskie podkhodi k ikh bonitirovke. [Recreational-lake landscapes and methodological approaches to their boning]. Razvitie idey V.A.Dementeva v sovremennykh geomorfologicheskikh i landshaftnykh issledovaniyakh: Materialy Respublikanskoj nauchno-metodicheskoy konferentsii. [Development of V. A. Dementiev ideas in modern geomorphological and landscape studies: Proceedings of the Republican Scientific and Methodological Conference]. Minsk, BGU, 109–115. [in Russian]*
  23. Sytnyk, J., Shevchenko, P., Morozova, A., Ilyin, L., Ghryb, J., Khomik, N. (2010). *Ghidrokhimichni doslidzhennja ozernykh ekosystem Shacjkogho nacionaljnogho pryrodnogho parku: ozero Ljucymer (1977–2009 rr.). [Hydrochemical studies of lake ecosystems of the Shatsk National Nature Park: Lake Lucimer (1977–2009)]. Naukovyj visnyk Volynskogho nacionaljnogho universytetu imeni Lesi Ukrainky. Gheoghrafichni nauky. – Scientific Bulletin of Volyn National University named after Lesya Ukrainka. Geographical Sciences, 17, 99–109. [in Ukrainian]*
  24. Sytnyk, J., Shevchenko, P., Morozova, A., Ilyin, L., Ghryb, J., Khomik, N. (2011). *Ghidrokhimichne vyvchennja ozernykh ekosystem Shacjkogho nacionaljnogho pryrodnogho parku: 1948–2010 rr. Oghljad. [Hydrochemical study of lake ecosystems of Shatsk National Nature Park: 1948–2010]. Stan i bioriznomanittja ekosystemy Shacjkogho nacionaljnogho pryrodnogho parku: Materialy naukovoji konferenciji (Shacjk, 8–11 veresnja 2011 r.). [State and biodiversity of the Shatsk National Nature Park ecosystem: Proceedings of a scientific conference (Shatsk, September 8–11, 2011)]. Lviv, Spolom, 94–99. [in Ukrainian]*
  25. Editor Romashhenko, M., Bakhmachuk, J. (2004) *Formuvannja rezhymu pryrodnykh vod rajonu Shacjkykh ozer v suchasnykh umovakh. [Formation of the regime of natural waters of the Shatsk Lakes region in modern conditions]. Kyjiv, Aghrarna nauka, 96. [in Ukrainian]*
  26. Khomik, N. (2013). *Vodni resursy Shacjkogho nacionaljnogho pryrodnogho parku: suchasnyj stan, okhrona, upravlinnja. [Water resources of Shatsk National Nature Park: current state, protection, management]. Kyjiv: Aghrarna nauka, 240. [in Ukrainian]*
  27. Shevtsova, N. (1999). *Osnovnye polozeniya i printsipy izmeneniya tselevykh pokazateley kachestva vody rekreatsionnogo naznacheniya. [Basic provisions and principles of change of water quality targets for recreational purposes]. Prirodnye resursy – Natural resources, 2, 99–106. [in Russian]*
  28. *Jakistj vody ta upravlinnja vodnymi resursamy: korotkyj opys Dyrektyv JeS ta ghrafiku jikh realizaciji. [Water quality and water management: a brief description of the EU Directives and a timetable for their implementation]. Available at: [http://buvrtysa.gov.ua/newsite/download/Water\\_brochure.pdf](http://buvrtysa.gov.ua/newsite/download/Water_brochure.pdf). [in Ukrainian]*
  29. Jakushyn, V., Ghosh, R., Timchenko, V. (1994). *Ocinka jakosti vody Shacjkykh ozer za ekologho-sanitarnymi pokaznykamy. [Assessment of the water quality of Shatsk lakes by ecological and sanitary indicators]. Shacjkyj nacionaljnij pryrodnyj park: Naukovi doslidzhennja 1983–1993 rr. [Shatsk National Nature Park: Scientific Research 1983-1993]. Svityaz, 96–107. [in Ukrainian]*
  30. Jakushyn, V., Oksiyuk, O., Timchenko, V. *Ekologhichnyj stan ozer Shacjkogho pryrodnogho nacionaljnogho parku ta shljakhy jogho polipshennja. [The ecological status of the lakes of the Shatsky Natural National Park and ways to improve it]. Ukrainjsjke Polissja: vchora, sjoghodni, zavtra: Zbirka naukovykh pracj. [Ukrainian Polesie: yesterday, today, tomorrow: Collection of scientific works]. Luck: Nadstyr'ja, 170–171. [in Ukrainian]*
  31. Choin'ski, A., Ptak, M., Lawniczak, A. (2016). *Changes in water resources of Polish lakes as influenced by natural and anthropogenic factors. Polich Jurnal of Environmental Studies. 25, 1–9. <https://doi.org/10.15244/pjoes/62906>*
  32. Ilyin, L. (2007). *The hydrochemical characteristics of the lakes of the Shatsk National Nature Reserve, Ukrainian Polissia. Limnological Review, 7(3), 147–152.*
  33. Vlasov, B. (2012). *Recreational use and environmental problems of lakes of protected areas in Belarus. Acta Geographica Silesiana, 11, 71–76.*

**Ангеліна Володимирівна Чугай,**

к. геогр. н., доцент, декан природоохоронного факультету  
Одеського державного екологічного університету,  
вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016, Україна,

e-mail: [avchugai@ukr.net](mailto:avchugai@ukr.net), <http://orcid.org/0000-0002-8091-8430>;

**Тамерлан Абісалович Сафранов,**

д.г.-м.н., професор, завідувач кафедри екології та охорони довкілля  
Одеського державного екологічного університету,

e-mail: [safranov@ukr.net](mailto:safranov@ukr.net), <http://orcid.org/0000-0003-0928-5121>

## ОСОБЛИВОСТІ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ МІСТ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я

У багатьох регіонах України головний внесок у формування загального рівня забруднення атмосферного повітря вносять пересувні джерела, що суттєво впливає на формування високих рівнів забруднення повітряного басейну. До таких регіонів відносяться Одеська, Миколаївська і Херсонська області Північно-Західного Причорномор'я. Територія цих областей характеризується унікальним природно-ресурсним потенціалом. Проте через розвиток процесів урбанізації, вплив промислового, теплоенергетичного, транспортного та аграрного секторів погіршується загальна екологічна ситуація, в тому числі і стан атмосферного повітря. У регіонах Північно-Західного Причорномор'я, які мають високий рекреаційно-оздоровчий потенціал, до стану і якості атмосферного повітря висуваються більш жорсткі санітарно-гігієнічні вимоги.

На даний час постійні спостереження за станом повітряного басейну проводяться у містах Одеса, Ізмаїл, Миколаїв і Херсон. Метою роботи є оцінка і аналіз рівня забруднення атмосферного повітря окремих міст Північно-Західного Причорномор'я за багаторічний період. Для оцінки були застосовані комплексні індекси забруднення атмосфери.

В результаті проведених досліджень отримано, що рівень забруднення атмосферного повітря м. Одеса у переважній більшості випадків класифікується категорією «сильно забруднена», м. Ізмаїл – категорією «слабко забруднена». Максимальні концентрації у повітряному басейні відзначаються за вмістом формальдегіду. У м. Миколаїв максимальні концентрації зі значними перевищеннями ГДК<sub>с</sub> відзначаються за вмістом формальдегіду. Рівень забруднення атмосферного повітря класифікувався категоріями «слабко забруднена» – «забруднена». У м. Херсон найбільший вміст відзначався по таких забруднюючих речовинах, як формальдегід і діоксид азоту. Рівень забруднення, як і у м. Миколаїв, класифікувався категоріями «слабко забруднена» – «забруднена». Одеса за вмістом переважної більшості забруднюючих речовин входить до категорії міст з підвищеним рівнем забруднення атмосфери, Миколаїв, Херсон і Ізмаїл – до категорії з допустимим рівнем. Отримані результати є основою для розробок природоохоронних рекомендацій відносно зменшення викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря регіону, в першу чергу, від пересувних джерел.

**Ключові слова:** атмосферне повітря, забруднююча речовина, індекс забруднення атмосфери, класифікація, рівень забруднення.

**А. В. Чугай, Т. А. Сафранов. ОСОБЕННОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИЧЕРНОМОРЬЯ.** Во многих регионах Украины главный вклад в формирование общего уровня загрязнения атмосферного воздуха вносят передвижные источники, что существенно влияет на формирование высоких уровней загрязнения воздушного бассейна. К таким регионам относятся Одесская, Николаевская и Херсонская области Северо-Западного Причерноморья. Данная территория характеризуется уникальным природно-ресурсным потенциалом. Однако из-за развития процессов урбанизации, под влиянием промышленного, теплоэнергетического, транспортного и аграрного секторов ухудшается общая экологическая ситуация, в том числе и состояние атмосферного воздуха. В регионах, Северо-Западного Причерноморья, характеризующихся высоким рекреационно-оздоровительным потенциалом, к состоянию и качеству атмосферного воздуха предъявляются более жесткие санитарно-гигиенические требования.

В настоящее время постоянные наблюдения за состоянием воздушного бассейна проводятся в городах Одесса, Измаил, Николаев и Херсон. Целью работы является оценка и анализ уровня загрязнения атмосферного воздуха отдельных городов Северо-Западного Причерноморья за многолетний период. Для оценки были применены комплексные индексы загрязнения атмосферы.

В результате проведенных исследований получено, что уровень загрязнения атмосферного воздуха г. Одеса в подавляющем большинстве случаев классифицируется категорией «сильно загрязненная», г. Измаил – категорией «слабо загрязненная». Максимальные концентрации в воздушном бассейне отмечаются по содержанию формальдегида. В г. Николаев максимальные концентрации со значительными превышениями ПДК<sub>с</sub> отмечаются по содержанию формальдегида. Уровень загрязнения атмосферного воздуха классифицировался категориями «слабо загрязненная» – «загрязненная». В г. Херсон наибольшее содержание отмечалось по таким загрязняющим веществам, как формальдегид и диоксид азота. Уровень загрязнения, как и в г. Николаев, классифицировался категориями «слабо загрязненная» – «загрязненная». Одесса по содержанию подавляющего большинства загрязняющих веществ входит в категорию городов с повышенным уровнем загрязнения атмосферы, Николаев, Херсон и Измаил – в категорию с допустимым уровнем. Полученные результаты являются основой для разработок природоохранных рекомендаций относительно уменьшения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух региона, в первую очередь, от передвижных источников.

**Ключевые слова:** атмосферный воздух, загрязняющее вещество, индекс загрязнения атмосферы, классификация, уровень загрязнения.

**Вступ.** За даними офіційної статистики окремі регіони України характеризуються значним обсягом викидів забруднюючих речовин (ЗР) від

стаціонарних джерел. Але у багатьох областях домінуючий внесок у формування загального рівня забруднення атмосферного повітря вносять



пересувні джерела, що суттєво впливає на формування високих рівнів забруднення повітряного басейну. До таких регіонів відносяться Одеська, Миколаївська і Херсонська області Північно-Західного Причорномор'я (ПЗП). Крім того, за даними Національної доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні [1] м. Одеса посідає 5 місце у переліку найбільш забруднених міст України.

Регіони ПЗП з одного боку характеризуються достатньо високим рівнем техногенного навантаження, а з іншого мають високий рекреаційно-оздоровчий потенціал. Дана територія характеризується унікальним природно-ресурсним потенціалом. Проте через розвиток процесів урбанізації, вплив промислового, теплоенергетичного, транспортного та аграрного секторів погіршується загальна екологічна ситуація, в тому числі і стан атмосферного повітря. При цьому слід зазначити, що у регіонах ПЗП, які мають високий рекреаційно-оздоровчий потенціал, до стану і якості атмосферного повітря висуваються більш жорсткі санітарно-гігієнічні вимоги.

Представлена робота відповідає основним напрямкам екологічної політики України відповідно до Закону України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» [2].

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Зазначимо, що на даний час постійні спостереження проводяться у містах Одеса, Ізмаїл, Миколаїв і Херсон. Питанням оцінки рівня забруднення атмосферного повітря міст ПЗП присвячені роботи багатьох авторів (Сафранов Т.А., Гусєва К.Д., Демяненко О.В., Малєєв В.О. та ін.). Так, це є предметом досліджень авторів роботи та їх співавторів. У роботах [3 – 7] надано результати оцінки і динаміки зміни якості атмосферного повітря регіонів ПЗП за багаторічний період як основними, так і специфічними ЗР. Також певний інтерес представляє робота [8], присвячена аналізу особливостей забруднення природних середовищ, в тому числі і атмосферного повітря, з урахуванням морфологічної структури ландшафтів у межах м. Одеса. Загальний SWOT-аналіз екологічної складової м. Одеса, який містить характеристику основних природних і антропогенних факторів, які є причиною формування екологічної ситуації, наведений авторами роботи [9]. З урахуванням рекреаційного потенціалу м. Одеса цікавою є робота [10], присвячена характеристиці біокліматичних складових рекреаційного потенціалу Одеської промислово-міської агломерації. У роботі [11] проаналізовано стан рівня забруднення атмосферного повітря м. Херсон, проаналізовано вміст ЗР у повітряному басейні. В цілому за даними огляду Центральної

геофізичної обсерваторії ім. Б. Срезневського за I півріччя 2019 р. [12] за рівнем забруднення атмосфери м. Одеса посідає 3 місце, м. Миколаїв – 4 і м. Херсон – 7 місце серед інших міст України.

Більшість робіт інших авторів є комплексними дослідженнями рівня забруднення атмосфери регіонів України в цілому. Так, у роботах [13, 14] виконано загальну оцінку стану забруднення атмосферного повітря за вмістом окремих ЗР і класифікацію міст України за рівнем забруднення атмосфери. Також представляють інтерес дослідження, які присвячені оцінці ризиків від забруднення атмосфери і впливу на стан здоров'я населення [15, 16]. Авторами роботи [15] за результатами оцінки надано рекомендації щодо доцільності включення оцінки ризиків на здоров'я населення до системи моніторингу атмосфери. За рівнем впливу забруднення атмосфери на здоров'я населення Миколаївська і Херсонська області увійшли до безризикової зони, Одеська – до зони критичного ризику [16].

Окремі роботи присвячені оцінці рівня техногенного навантаження на навколишнє середовище регіонів України. Так, цікавим є дослідження авторів роботи [17], в якій представлено результати кластерного аналізу регіонів України за рівнем антропогенного навантаження, в тому числі і за обсягами викидів ЗР. Так, Миколаївська область увійшла до переліку регіонів з низьким рівнем навантаження, Одеська і Херсонська – з середнім рівнем. Також авторами роботи [18] було проведено оцінку техногенного навантаження на повітряний басейн регіонів ПЗП від стаціонарних і пересувних джерел забруднення

Отже, аналіз останніх досліджень показав, що переважна більшість робіт присвячена регіонам України в цілому. Також перелік ЗР і період дослідження є досить обмеженими. Зазвичай, аналізується вміст основних ЗР (пил, діоксид сірки, діоксид азоту і оксид вуглецю). При цьому в регіонах ПЗП значу роль у формуванні високих рівнів забруднення атмосфери відіграє вміст деяких специфічних ЗР [5].

**Формулювання мети статті.** Метою даної роботи є оцінка і аналіз рівня забруднення атмосферного повітря окремих міст Північно-Західного Причорномор'я за багаторічний період (2000 – 2018 рр.).

Для оцінки застосований індекс забруднення атмосфери (*ІЗА*) і комплексний *ІЗА* (*КІЗА*), які на даний час є одними з основних показників якості атмосферного повітря. Для класифікації рівня забруднення використано індекс  $I_5$  як *КІЗА*, який враховує дані про 5 ЗР, для яких значення одиничних *ІЗА* найбільші. Величина  $I_5$  менше 2,5 відповідає відносно чистій атмосфері; від 2,5 до 7,5 – слабо забрудненій; від 7,6 до 12,5 – забрудне-

ній; від 12,6 до 22,5 – сильно забрудненій; від 22,6 до 52,5 – високо забрудненій; більше 52,5 – екстремально забрудненій атмосфері [19].

#### Виклад основного матеріалу дослідження.

Для оцінки і аналізу рівня забруднення атмосферного повітря м. Одеса і м. Ізмаїл використані фондові матеріали даних спостережень Гідрометеорологічного центра Чорного та Азовського морів за якістю атмосферного повітря м. Одеса (2003 – 2007 рр.), а також Регіональних доповідей і Екологічних паспортів Одеської області (2008 – 2018 рр.) [20]. У м. Одеса мережа стаціонарних пунктів спостережень включає 8 постів, у м. Ізмаїл – 1 пост.

У м. Одеса спостереження ведуться за вмістом 11 ЗР. Нами було використано інформацію про вміст 7 ЗР (пил, оксид вуглецю, діоксид азоту, фенол, сажа, фтористий водень і формальдегід), оскільки вміст інших 4 ЗР значно нижче  $ГДК$  і не впливає суттєво на формування загального рівня забруднення атмосфери в місті. Попередній аналіз динаміки зміни середньорічних концентрацій ЗР показав, що вміст майже всіх речовин перевищує  $ГДК_{сб}$  в середньому в 1,5 – 2 рази. Максимальні концентрації відзначаються за вмістом формальдегіду (3,3  $ГДК_{сб}$  і більше). За вмістом фенолу, сажі, фтористого водню і формальдегіду відзначається тенденція до зниження концентрацій, за вмістом оксиду вуглецю – деяке збільшення.

У м. Ізмаїл спостереження проводяться за вмістом 6 ЗР. Нами розглядалось 5 речовин: пил, діоксид сірки, діоксид азоту, оксид вуглецю і формальдегід. Максимальні значення концентрацій

з постійним перевищенням  $ГДК_{сб}$  відзначались за вмістом діоксиду азоту, мінімальний рівень забруднення відзначався за вмістом оксиду вуглецю. Можна відзначити тенденцію до зменшення забруднення атмосфери пилом і формальдегідом і збільшення оксидом вуглецю.

Були розраховані комплексні  $IЗА$  для обох міст (рис. 1 – 2). Для м. Одеса наведено результати розрахунків  $KIЗА$  та  $I_5$ . Так, у 2003 – 2017 рр. при розрахунку  $I_5$  постійно враховувався вміст 4 ЗР, а саме діоксиду азоту, фенолу, фтористого водню і формальдегіду. П'ятим показником був вміст сажі (найчастіше) або пилу. У 2018 р.  $I_5$  розраховувався за вмістом пилу, оксиду вуглецю, діоксиду азоту, фенолу і формальдегіду. Для м. Ізмаїл розраховано  $I_5$ , оскільки для аналізу використано лише 5 ЗР.

За період дослідження відзначається загальна тенденція зменшення рівня забруднення атмосферного повітря м. Одеса. Максимуми показників відзначено у 2004, 2006 – 2007 рр. за рахунок збільшення вмісту формальдегіду. У 2017 – 2018 рр. відзначається незначне зменшення загального рівня забруднення м. Ізмаїл за рахунок зменшення концентрацій пилу і формальдегіду. У 2010 – 2014 рр. значення  $I_5$  було майже незмінним.

Виконані розрахунки дозволяють провести ранжування рівнів забруднення атмосферного повітря м. Одеса і м. Ізмаїл (табл. 1). Як видно, рівень забруднення атмосферного повітря м. Одеса у переважній більшості випадків класифікується категорією «сильно забруднена», м. Ізмаїл – єдиною категорією «слабко забруднена».

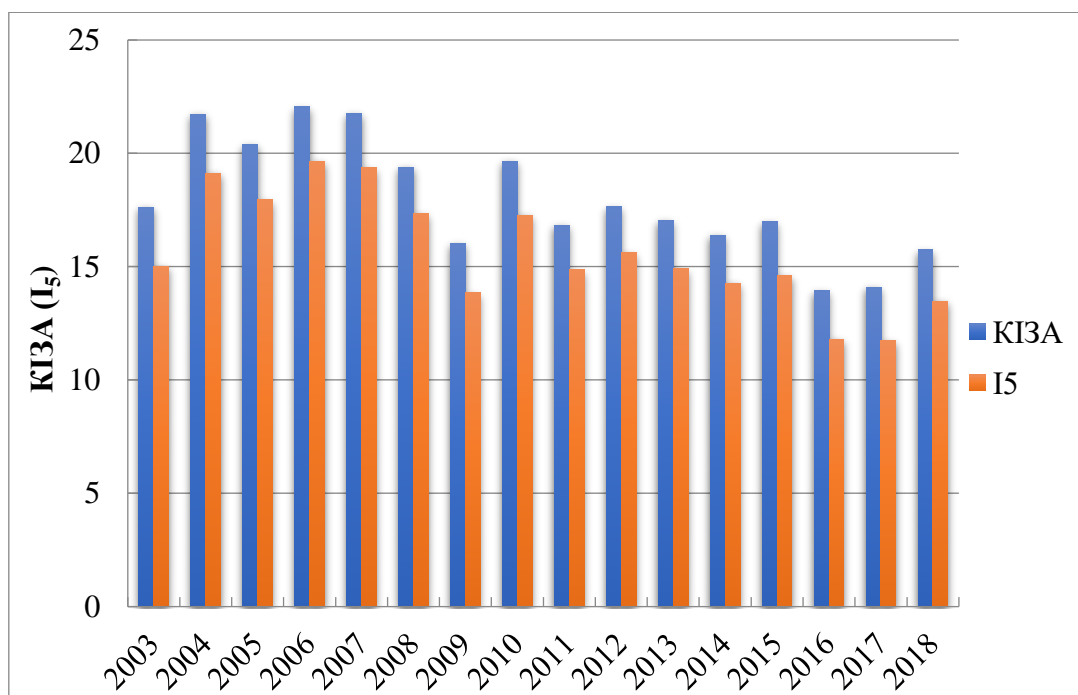
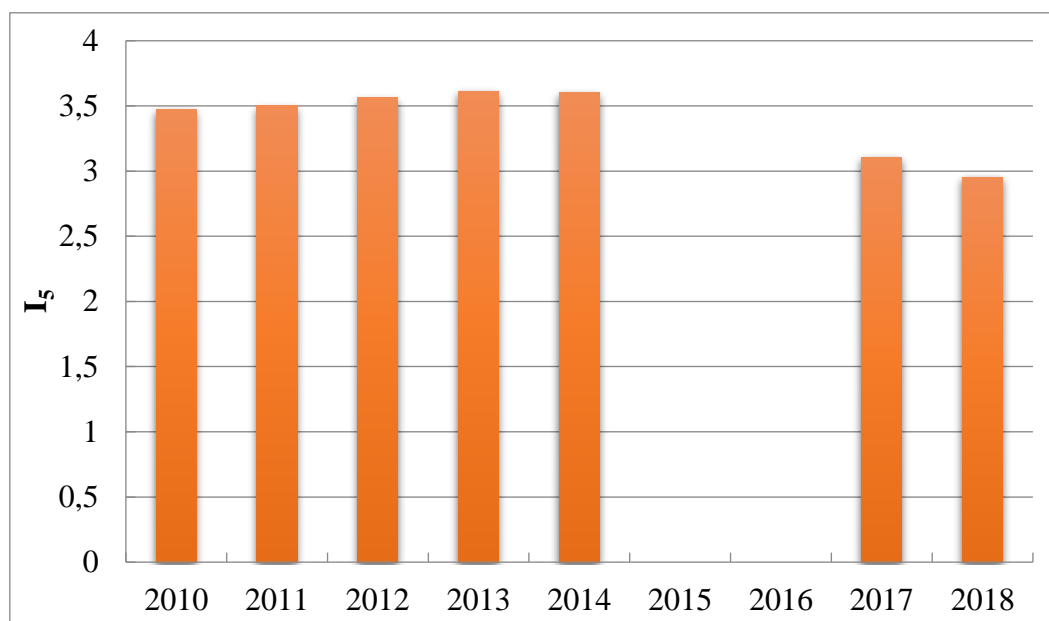


Рис. 1. Динаміка зміни  $KIЗА$  і  $I_5$  м. Одеса у 2003 – 2018 рр.

Рис. 2. Динаміка зміни  $I_5$  м. Ізмаїл у 2010 – 2018 рр.

Спостереження за якістю атмосферного повітря в м. Миколаїв виконуються на 4 стаціонарних пунктах спостережень. Для оцінки рівня забруднення атмосфери використані дані моніторингу атмосферного повітря міста, надані Управлінням екології та природних ресурсів Миколаївської ОДА, а також матеріали Регіональних доповідей за 2002 – 2018 рр. [20].

На даний час виконуються спостереження за вмістом 7 ЗР: пил, діоксид сірки, оксид вуглецю, діоксид азоту, оксид азоту, фтористий водень і

формальдегід. В окремі роки також аналізувався вміст бенз(а)пірену, але ці дані не є систематичними і у розрахунках не враховувались.

Аналіз вихідної інформації показав, що максимальні концентрації зі значними перевищеннями  $ГДК_{ср}$  відзначались за вмістом формальдегіду. Також значні концентрації з окремими перевищеннями  $ГДК_{ср}$  відзначались за вмістом діоксиду азоту. Можна відзначити незначне збільшення вмісту в атмосферному повітрі пилу, діоксиду сірки, оксиду вуглецю і формальдегіду.

Таблиця 1

Ранжування рівня забруднення атмосферного повітря м. Одеса і м. Ізмаїл за значеннями  $I_5$

Рік	м. Одеса	м. Ізмаїл
2003	15,02 (сильно забруднена)	–
2004	19,13 (сильно забруднена)	–
2005	17,95 (сильно забруднена)	–
2006	19,66 (сильно забруднена)	–
2007	19,36 (сильно забруднена)	–
2008	17,33 (сильно забруднена)	–
2009	13,85 (сильно забруднена)	–
2010	17,26 (сильно забруднена)	3,47 (слабко забруднена)
2011	14,87 (сильно забруднена)	3,50 (слабко забруднена)
2012	15,61 (сильно забруднена)	3,56 (слабко забруднена)
2013	14,91 (сильно забруднена)	3,61 (слабко забруднена)
2014	14,28 (сильно забруднена)	3,60 (слабко забруднена)
2015	14,59 (сильно забруднена)	–
2016	11,81 (забруднена)	–
2017	11,74 (забруднена)	3,11 (слабко забруднена)
2018	13,48 (сильно забруднена)	2,95 (слабко забруднена)

Було розраховано комплексні  $I_3A$  для м. Миколаїв (рис. 3). При розрахунку  $I_5$  у всі роки враховувався вміст 4 ЗР: пилу, діоксиду азоту, фто-

ристого водню і формальдегіду. В якості п'ятої речовини використовувалися показники за вмістом оксиду вуглецю (в більшості випадків) або

оксиду азоту. Так, значення  $KI_{3A}$  і  $I_5$  не відрізняються суттєво. Тобто речовини, які не враховані при розрахунку  $I_5$ , не впливають суттєво на формування загального рівня забруднення атмосфери м. Миколаїв. Максимальні значення комплексних показників відзначені у 2015 р. Також у порівнянні з 2002 р. на даний час відзначається незначне збільшення рівня забруднення за рахунок,

в першу чергу, збільшення вмісту формальдегіду, а також в окремі роки діоксиду азоту.

Аналіз рівня забруднення атмосферного повітря м. Миколаїв (табл. 2) показав, що у 2005 – 2007 рр. рівень забруднення класифікувався категорією «слабко забруднена», у всі інші роки дослідження – категорією «забруднена».

Спостереження за якістю атмосферного по-

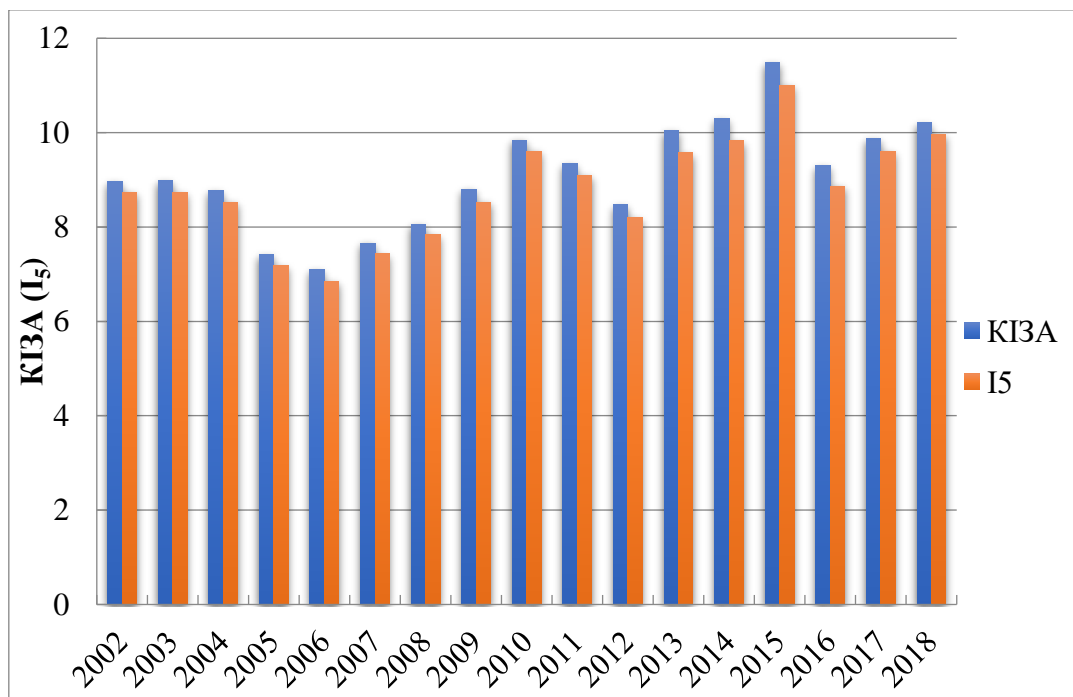


Рис. 3. Динаміка зміни  $KI_{3A}$  і  $I_5$  м. Миколаїв у 2002 – 2018 рр.

Таблиця 2

Ранжування рівня забруднення атмосферного повітря м. Миколаїв за значеннями  $I_5$

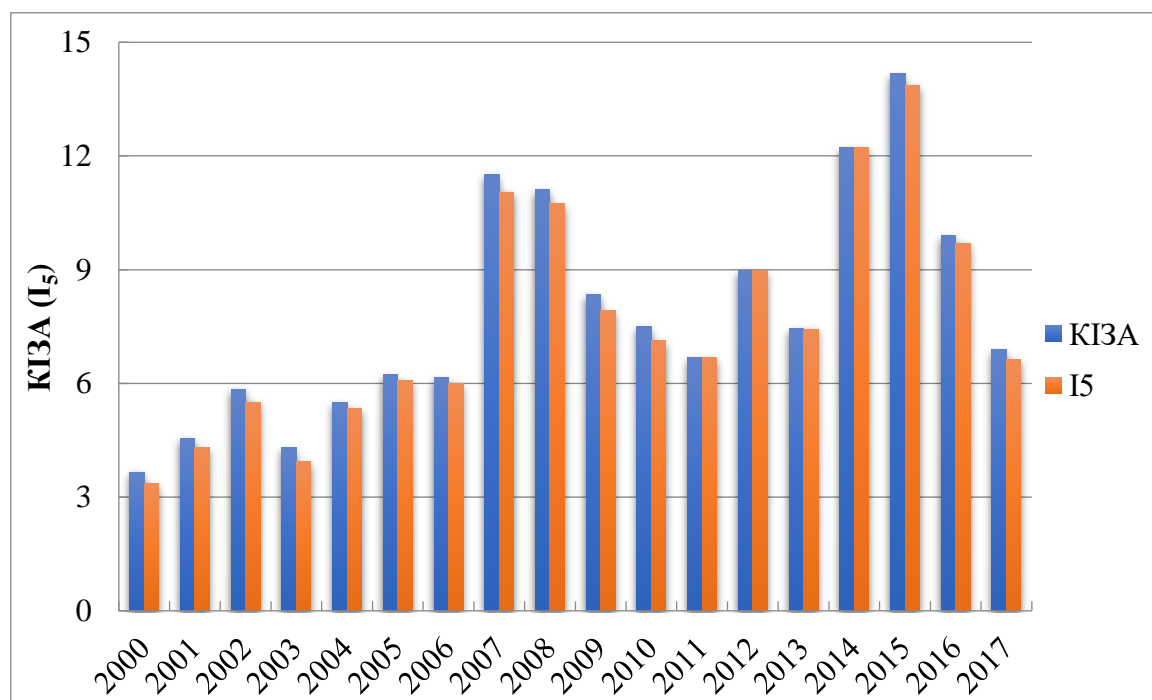
Рік	Рівень забруднення	Рік	Рівень забруднення
2002	8,74 (забруднена)	2011	9,10 (забруднена)
2003	8,74 (забруднена)	2012	8,20 (забруднена)
2004	8,53 (забруднена)	2013	9,58 (забруднена)
2005	7,18 (слабко забруднена)	2014	9,83 (забруднена)
2006	6,86 (слабко забруднена)	2015	11,01 (забруднена)
2007	7,43 (слабко забруднена)	2016	8,87 (забруднена)
2008	7,84 (забруднена)	2017	9,60 (забруднена)
2009	8,53 (забруднена)	2018	9,96 (забруднена)
2010	9,60 (забруднена)		

вітря проводяться у м. Херсон на 4 стаціонарних пунктах. Для оцінки були використані матеріали про середньорічний вміст 7 ЗР в атмосферному повітрі міста, наведені у Регіональних доповідях за 2000 – 2017 рр. (пил, діоксид сірки, оксид вуглецю, діоксид азоту, оксид азоту, фенол і формальдегід) [20].

За період дослідження найбільший вміст відзначався по таких речовинах, як формальдегід і діоксид азоту. Також значні концентрації відзначались по фенолу і оксиду азоту в окремі роки. За вмістом пилу середньорічні концентрації з

2008 р. постійно зменшувались, а за вмістом діоксиду азоту, оксиду азоту, фенолу і формальдегіду – збільшувались.

При розрахунку  $I_5$  постійно враховувався вміст діоксиду азоту і формальдегіду. Перелік інших 3 ЗР постійно змінювався. Результати розрахунків комплексних показників наведено на рис. 4. Встановлено, що як і для м. Миколаїв, значення  $KI_{3A}$  і  $I_5$  м. Херсон суттєво не відрізняються. Тобто загальний рівень забруднення формується всіма ЗР, за якими ведуться спостереження на даний час.

Рис. 4. Динаміка зміни KІЗА і I<sub>5</sub> м. Херсон у 2000 – 2017 рр.

Аналіз забруднення атмосферного повітря м. Херсон (табл. 3) показав, що відзначались категорії «слабко забруднена» – «забруднена».

Проведений порівняльний аналіз рівня забруднення атмосферного повітря окремих міст ПЗП за значенням I<sub>5</sub> (рис. 5, табл. 4). Встановлено, що максимальний рівень забруднення відзначається у м. Одеса (переважаюча категорія «сильно забруднена»), мінімальний – у м. Ізмаїл (категорія «слабко забруднена»). Забруднення повітряного басейну м. Миколаїв і м. Херсон в останні роки характеризуються порівняними показниками I<sub>5</sub>. Стосовно обласних центрів ПЗП, то рівень забруднення атмосфери у м. Одеса в 2 рази вище, ніж у Миколаєві і Херсоні.

У роботі [14] авторами, виходячи із значень перевищення ГДК, запропоновано 4 групи рівнів забруднення: 1) допустимий рівень забруднення (< 1 ГДК); 2) підвищений рівень забруднення (1 – 2 ГДК); 3) високий рівень забруднення (2 – 3

ГДК); 4) екстремально високий рівень забруднення (3 – 6 ГДК).

Нами проведений подібний аналіз стосовно міст ПЗП на основі середніх багаторічних концентрацій окремих ЗР (табл. 4).

Аналіз отриманих результатів показує, що м. Одеса за більшістю ЗР (67 %) входить до категорії міст з підвищеним рівнем забруднення атмосфери, м. Ізмаїл – до категорії з допустимим рівнем (80 % ЗР), м. Миколаїв – до категорії з допустимим рівнем (71 % ЗР), м. Херсон – також до категорії з допустимим рівнем (57 % ЗР). До групи з високим рівнем забруднення увійшло м. Херсон за вмістом діоксиду азоту і формальдегіду, до групи з екстремально високим рівнем забруднення – м. Одеса і м. Миколаїв за вмістом формальдегіду.

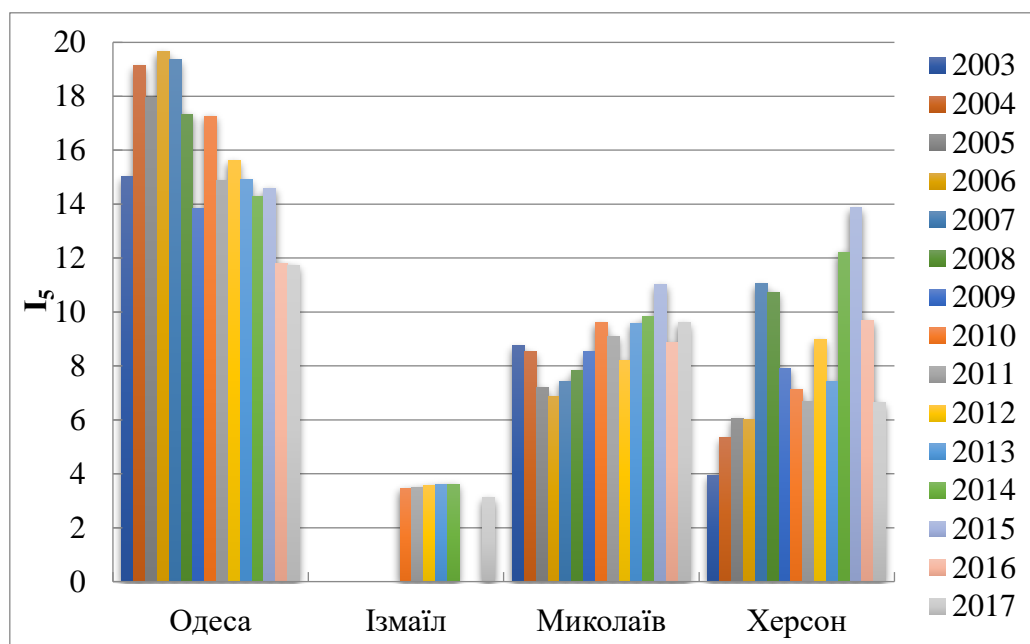
**Висновки.** У роботі виконано оцінку, аналіз і класифікацію міст ПЗП з рівнем забруднення атмосферного повітря. В результаті проведених

Таблиця 3

Ранжування рівня забруднення атмосферного повітрям. Херсон за значеннями I<sub>5</sub>

Рік	Рівень забруднення	Рік	Рівень забруднення
2000	3,35 (слабко забруднена)	2009	7,92 (забруднена)
2001	4,31 (слабко забруднена)	2010	7,12 (слабко забруднена)
2002	5,51 (слабко забруднена)	2011	6,67 (слабко забруднена)
2003	3,93 (слабко забруднена)	2012	8,97 (забруднена)
2004	5,33 (слабко забруднена)	2013	7,43 (слабко забруднена)
2005	6,07 (слабко забруднена)	2014	12,22 (забруднена)
2006	5,60 (слабко забруднена)	2015	13,86 (забруднена)
2007	11,05 (забруднена)	2016	9,69 (забруднена)
2008	10,73 (забруднена)	2017	6,63 (слабко забруднена)



Рис. 5. Динаміка зміни  $I_5$  окремих міст ПЗП у 2003 – 2017 рр.

Таблиця 4

## Ранжування рівня забруднення атмосферного повітря міст ПЗП

Рік	М. Одеса	М. Ізмаїл	М. Миколаїв	М. Херсон
2000	–	–	–	слабко забруднена
2001	–	–	–	слабко забруднена
2002	–	–	забруднена	слабко забруднена
2003	сильно забруднена	–	забруднена	слабко забруднена
2004	сильно забруднена	–	забруднена	слабко забруднена
2005	сильно забруднена	–	слабко забруднена	слабко забруднена
2006	сильно забруднена	–	слабко забруднена	слабко забруднена
2007	сильно забруднена	–	слабко забруднена	забруднена
2008	сильно забруднена	–	забруднена	забруднена
2009	сильно забруднена	–	забруднена	забруднена
2010	сильно забруднена	слабко забруднена	забруднена	слабко забруднена
2011	сильно забруднена	слабко забруднена	забруднена	слабко забруднена
2012	сильно забруднена	слабко забруднена	забруднена	забруднена
2013	сильно забруднена	слабко забруднена	забруднена	слабко забруднена
2014	сильно забруднена	слабко забруднена	забруднена	забруднена
2015	сильно забруднена	–	забруднена	забруднена
2016	забруднена	–	забруднена	забруднена
2017	забруднена	слабко забруднена	забруднена	слабко забруднена
2018	сильно забруднена	слабко забруднена	забруднена	–

досліджень можна зробити такі висновки:

1) рівень забруднення атмосферного повітря м. Одеса у переважній більшості випадків класифікується категорією «сильно забруднена», м. Ізмаїл – єдиною категорією «слабко забруднена» (максимальні концентрації у повітряному басейні відзначаються за вмістом формальдегіду);

2) у м. Миколаїв максимальні концентрації зі значними перевищеннями  $ГДК_{с0}$  також відзначаються за вмістом формальдегіду, а рівень забруднення атмосферного повітря класифікувався

категоріями «слабко забруднена» – «забруднена»;

3) у м. Херсон найбільший вміст відзначався по таких речовинах, як формальдегід і діоксид азоту. Рівень забруднення, як і у м. Миколаїв, класифікувався категоріями «слабко забруднена» – «забруднена»;

4) порівняльний аналіз рівня забруднення атмосферного повітря окремих міст ПЗП показав, що максимальний рівень забруднення відзначається у м. Одеса (переважаюча категорія

Ранжування міст ПЗП за рівнем перевищення ГДК<sub>ед</sub> (2000 – 2018 рр.)

Допустимий рівень ( $< 1$ ГДК)	Підвищений рівень ( $1 - 2$ ГДК)	Високий рівень (2 – 3 ГДК)	Екстремально високий рівень (3 – 6 ГДК)
<b>пил</b>			
Ізмаїл, Миколаїв, Херсон	Одеса	–	–
<b>діоксид сірки</b>			
Одеса, Ізмаїл, Миколаїв, Херсон	–	–	–
<b>оксид вуглецю</b>			
Ізмаїл, Миколаїв, Херсон	Одеса	–	–
<b>діоксид азоту</b>			
–	Одеса, Ізмаїл Миколаїв, Херсон	Херсон	–
<b>оксид азоту</b>			
Одеса, Миколаїв, Херсон	–	–	–
<b>сажа</b>			
–	Одеса	–	–
<b>фенол</b>			
–	Одеса, Херсон	–	–
<b>фтористий водень</b>			
Миколаїв	Одеса	–	–
<b>формальдегід</b>			
Ізмаїл	–	Херсон	Одеса, Миколаїв

«сильно забруднена»), мінімальний – у м. Ізмаїл (категорія «слабко забруднена»);

4) м. Одеса за вмістом переважної більшості ЗР входить до категорії міст з підвищеним рівнем забруднення атмосфери, Миколаїв, Херсон і Ізмаїл – до категорії з допустимим рівнем.

Отримані при дослідженні результати є основою для розробок природоохоронних рекомендацій відносно зменшення викидів ЗР в атмосферне повітря регіону, в першу чергу від пересувних джерел.

#### Література

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2015 році [Текст]. – К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, ФОП Грін Д.С., 2017. – 308 с.
2. Електронний ресурс. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19> (дата звернення: 16.02.2020).
3. Чугай А.В. Оцінка забрудненості повітряного басейну міста Миколаїв [Текст] / А.В. Чугай // Український гідрометеорологічний журнал. – 2013. – № 13. – С. 10–17.
4. Чугай А.В. Оцінка рівня забруднення атмосферного повітря міст прибережної зони Північно-Західного Причорномор'я [Текст] / А.В. Чугай, А.В. Колісник, О.В. Демяненко, С.Е. Романенко // Вісник ХНУ ім. В.Н. Каразіна. Сер. «Екологія». – 2015. – Вип. 13. – С. 91–97.
5. Чугай А.В. Забруднення атмосферного повітря міст прибережної зони Північно-Західного Причорномор'я специфічними забруднюючими речовинами [Текст] / А.В. Чугай, Х.С. Патрман // Людина та довкілля. Проблеми неоекології. – 2017. – № 1 – 2 (27). – С. 113–122.
6. Чугай А.В. Стан та якість повітряного басейну Одеської промислово-міської агломерації [Текст] / А.В. Чугай // Екологічна безпека. – 2019. – Вип. 2 (28). – С. 81–85.
7. Стан і якість природного середовища прибережної зони Північно-Західного Причорномор'я: монографія [Текст] // За ред. Сафранова Т.А., Чугай А.В. – Харків: ФОП Панов А.М., 2017. – 298 с.
8. Гусєва К.Д. Ландшафтні передумови забруднення урбоєкосистем (на прикладі території міста Одеси) [Текст] / К.Д. Гусєва, Г.П. Пилипенко, Т.А. Сафранов // Вісник ОДЕКУ. – 2012. – Вип. 13. – С. 17–28.
9. Сафранов Т.А. SWOT-аналіз екологічної складової урбанізованої території (на прикладі міста Одеса) [Текст] / Т.А. Сафранов, В.Ю. Приходько, Т.П. Шаніна, К.Д. Гусєва // Український гідрометеорологічний журнал. – 2019. – № 23. – С. 121 – 134.

10. Катеруша О.В. Біокліматична складова рекреаційного потенціалу Одеської промислово-міської агломерації [Текст] / О.В. Катеруша, Т.А. Сафранов, К.Д. Гусєва // Чисте місто. Чиста ріка. Чиста планета. Четвертий міжнародний екологічний форум. – Херсон, 2012. – С. 33–39.
11. Малєєв В.О. Атмосферне повітря м. Херсона: стан і проблеми [Текст] / В.О. Малєєв, В.М. Безпальченко, О.О. Семенченко // Екологічні науки. – 2018. – № 3 (22). – С. 47–52.
12. Електронний ресурс. URL: <http://cgo-sreznevskiy.kiev.ua/data/ukr-zabrud-viz-1/oglyad-2016-na-savyt.doc> (дата звернення: 13.03.2020).
13. Баштанник М.П. Стан забруднення атмосферного повітря над територією України [Текст] / М.П. Баштанник, Н.С. Жемера, Є.М. Кіптенко, Т.В. Козленко // Наукові праці УкрНДГМІ. – 2014. – Вип. 266. – С. 70–93.
14. Яценко Ю. Класифікація міст України за рівнем забруднення атмосферного повітря [Текст] / Ю. Яценко, О. Шевченко, С. Сніжко // Вісник КНУ ім. Тараса Шевченка. Серія: Географія. – 2017. – № 3 (68) / 4 (69). – С. 25–30.
15. Nekos A. Assessment of environmental risks from atmospheric air pollution in industrially developed regions of Ukraine [Text] / A.N. Nekos, Yu.V. Medvedeva, N.I. Cherkashyna // Journ. Geol. Geograph. Geology. – 2019. – 28 (3). – P. 511–518. DOI: <https://doi.org/10.15421/111947>
16. Тарасова В.В. Вплив забруднення атмосферного повітря на стан здоров'я населення [Текст] / В.В. Тарасова // Агросвіт. – 2013. – № 16. – С. 24–28.
17. Балуєва О.В. Кластерний аналіз територій України за показниками антропогенних навантажень на навколишнє природне середовище [Електронний ресурс] / О.В. Балуєва, Н.М. Чинкуляк // Ефективна економіка. – 2013. – № 12. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2574>.
18. Chugai A. Analysis of the state of the air basin of industrial-urban agglomerations in the North-Western Black Sea [Text] / A. Chugai, T. Safranov, Yu. Holik // International Journal of Engineering & Technology (UAE). – 2018. – Vol. 7, No. 4.8. – Pp. 783–789.
19. Безуглая Э.Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах [Текст] / Э.Ю. Безуглая. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 116 с.
20. Електронний ресурс. URL: <https://menr.gov.ua> (дата звернення: 5.01.2020).

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

UDC 502:504

**Angelina Chugai,**

PhD (Geography), Associate Professor,  
Dean of Nature Protection Faculty, Odessa State Environmental University,  
15 Lvivska St., Odessa, 65016, Ukraine,  
e-mail: [avchugai@ukr.net](mailto:avchugai@ukr.net), <http://orcid.org/0000-0002-8091-8430>;

**Tamerlan Safranov,**

Doctor of Sciences (Geology and Mineralogy), Professor,  
Head of Department of Environmental Science and Environmental Protection,  
Odessa State Environmental University,  
e-mail: [safranov@ukr.net](mailto:safranov@ukr.net), <http://orcid.org/0000-0003-0928-5121>

## FEATURES OF AIR POLLUTION THE CITIES OF THE NORTH-WESTERN BLACK SEA REGION

**Introduction.** According to official statistics, regions of Ukraine are characterized by a significant amount of pollutant emissions from stationary sources. But in many areas the dominant contribution to the formation of general levels of air pollution is made by mobile sources. Such regions include the Odessa, Mykolaiv and Kherson regions of the North-Western Black Sea. Regions of the North-Western Black Sea are characterized by a sufficiently high level of technogenic load and have a high recreational potential. This territory is characterized by unique natural resource potential. However, due to the development of urbanization processes, the impact of industrial, transport and agrarian sectors is worsening the overall environmental situation, including the state of the atmospheric air.

**Review of previous publications.** The work of many authors is devoted to the question of the level of air pollution in the cities of the North-Western Black Sea. Most of the works are complex studies of the level of pollution of the regions of Ukraine as a whole. Some works are devoted to the assessment of the technogenic load on the environment of the regions of Ukraine. An analysis of recent research has shown that the vast majority of work is devoted to the regions of Ukraine as a whole. Also, the list of pollutants and the study period are quite limited. Usually, the content of the main pollutants is analyzed. At the same time, the

content of specific pollutants is very important in the regions of the North-Western Black Sea in the formation of high levels of atmospheric pollution.

**Purpose.** The purpose of this work is to evaluate and analyze the level of air pollution of individual cities of the North-Western Black Sea over a multi-year period. The complex atmospheric pollution index, which are currently one of the main indicators of atmospheric air quality, were used for the assessment.

**Results.** The level of air pollution in Odessa is in most cases classified as "heavily polluted", Izmail – the only category "slightly polluted" (maximum concentrations in the air pool are marked by the content of formaldehyde). In Mykolayiv maximum concentrations with significant exceedances of the maximum permissible concentration are also noted for formaldehyde content, and the level of atmospheric air pollution was classified as "poorly polluted" – "contaminated". In Kherson, the highest content was observed for substances such as formaldehyde and nitrogen dioxide. The level of pollution, as in the city of Mykolaiv, was classified as "poorly contaminated" – "contaminated".

**Conclusions.** Odessa, by the content of the vast majority of the pollutants, is in the category of cities with high levels of atmospheric pollution, Mykolaiv, Kherson and Izmail – in the category with the permissible level. The results of the study are the basis for the development of environmental recommendations for reducing the emissions of pollutants into the atmospheric air of the region, primarily from mobile sources.

**Keywords:** atmospheric air, pollutant, atmospheric pollution index, classification, pollution level.

### References

1. *National Report on the State of the Environment in Ukraine in 2015(2017)*. Kyiv: Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine, FOP Grin DS, 308.
2. *Electronic resource*. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19>.
3. Chugai A.V. (2013). Assessment of pollution of the air pool of the city of Mykolaiv. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 13, 10–17.
4. Chugai A.V., Kolesnik A.V., Demianenko O.V., Romanenko S.E. (2015). Assessment of the air pollution level of coastal zone cities North Western Black Sea. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series "Ecology"*, 13, 91–97.
5. Chugai A.V., Patraman H.S. (2017). Contamination of atmospheric air of cities of coastal zone cities North Western Black Sea region by specific contaminants. *Man and the environment. Problems of neoecology*, 1–2(27), 113–122.
6. Chugai A.V.(2019). State and quality of the air pool Odessa industrial urban agglomerations. *Environmental safety*, 2 (28), 81 – 85.
7. *The state and quality of the natural environment of the coastal zone of the North-Western Black Sea: monograph (2017)*. Ed. Safranov T.A., Chugai A.V. Kharkiv: FOP Panov AM, 298.
8. Gusyeva K.D., Pylypenko G.P., Safranov T.A. (2012). Landscape prerequisites for urban ecosystem pollution (with the city of Odessa taken as an example). *Bulletin Odessa State Environmental University*, 13, 17–28.
9. Safranov T.A., Prykhodko V.Yu., Shanina T.P., Gusyeva K.D. (2019). SWOT analysis of the urbanized area environmental component (using the example of city of Odesa). *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 23, 121–134.
10. Katerusha O.V., Safranov T.A., Gusyeva K.D. (2012). Bioclimatic component of recreational potential of Odessa industrial-urban agglomeration. *Pure city. Clean river. Clean planet. Fourth International Environmental Forum, Kherson*, 33–39.
11. Maljejev V.O., Bezpalchenko V.M., Semenchenko O.O. (2018). Atmospheric Air of city Kherson: condition and Problems. *Environmental sciences*, 3 (22), 47–52.
12. *Electronic resource*. Available at: [http://cgo-sreznevskiy.kiev.ua/data/ukr-zabrud-viz-1/oglyad\\_2016-na-sayt.doc](http://cgo-sreznevskiy.kiev.ua/data/ukr-zabrud-viz-1/oglyad_2016-na-sayt.doc).
13. Bashtannik M.P., Jemer N.S., Kiptenko E.M., Kozlenko T.V. (2014). Air pollution state the territory of Ukraine. *Scientific Works of UkrNDGMI*, 266, 70–93.
14. Iatsenko, Yu., Shevchenko, O., Snizhko, S. (2017). Classification of the city of Ukraine on the level of atmospheric air pollution. *Bulletin of the Kyiv National University Taras Shevchenko. Series: Geography*, 3(68) / 4(69), 25–30.
15. Nekos A.N., Medvedeva Yu.V., Cherkashyna N.I. (2019). Assessment of environmental risks from atmospheric air pollution in industrialized regions of Ukraine. *Journ. Geol. Geograph. Geology*, 28 (3), 511–518. DOI: <https://doi.org/10.15421/111947>
16. Tarasova V.V. (2013) *The impact of air pollution on the health of the population*. *Agrosvit*, 16, 24–28.
17. Balueva O.V., Chinkulak N.M. (2013). Cluster analyses of the Ukrainian territories according to the indices of the anthropogenic loads on the natural environment. *Effective Economics*, 12. *Electronic resource*. Available at: <http://www.economy.nayka.com.ua/? Op = 1 & z = 2574>.
18. Chugai A., Safranov T., Holik Yu. (2018). Analysis of the state of the air basin of industrial-urban agglomerations in the North-Western Black Sea. *International Journal of Engineering & Technology (UAE)*, 7, 4.8, 783–789.
19. Bezuglya E.Yu. (1986) *Monitoring of atmospheric pollution in cities*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 116.

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

До „Вісника Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна”, серія „Геологія. Географія. Екологія”, приймаються наукові статті обсягом біля 40 тис. знаків, присвячені дослідженням у галузях геології, геохімії, гідрогеології, географії, економічної та соціальної географії, екології, а також суміжних дисциплін. Матеріали можуть бути представлені українською, російською або англійською мовами. Перевага надається англійським статтям. Рішення про публікацію приймається редакційною колегією „Вісника”, при цьому кожна стаття рецензується двома вченими – фахівцями у даній тематичі.

Матеріали подаються у друкованому або в електронному вигляді та надсилаються на електронну пошту [geoeco-series@karazin.ua](mailto:geoeco-series@karazin.ua). Електронна версія оформлюється у форматі Microsoft Word, шрифт Times New Roman, розмір 14, міжрядковий інтервал 1,5, всі поля по 2 см, відступ для абзацу – 0,75 см. **Жирним** шрифтом виділяються підзаголовки у статті. Ілюстрації, включаючи графіки і схеми, мають бути розміщені безпосередньо в тексті, а також подані окремими файлами. Скрізь, де можливо, доцільніше використовувати графіки, а не таблиці. Орієнтація сторінок – книжкова. Вирівнювання слід робити по ширині сторінки.

Згідно вимог ДАК України оригінальна стаття у фаховому виданні має складатися з таких розділів:

1. **Постановка проблеми** у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.
2. **Аналіз останніх досліджень і публікацій**, в яких започатковано розв'язання порушеної проблеми, на які спирається автор; виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття.
3. **Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми**, яким присвячується стаття;
4. **Формулювання мети статті** (постановка завдання).
5. **Виклад основного матеріалу дослідження** з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.
6. **Висновки** з дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі.

Для статей необхідно вказати УДК, подати назву (до 10 слів), анотацію (не менше ніж 1800 знаків) та ключові слова (8-10) українською й російською мовами.

На окремому аркуші надається інформація про авторів (прізвище, ім'я та по-батькові, повна назва організації, посада, вчений ступінь і звання, поштова адреса, телефон, e-mail, ORCID) українською, російською й англійською мовами. Кількість авторів не повинна перевищувати 3 (як виключення – до 5). Перелік посилань оформлюється згідно з ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. До переліку обов'язково повинна бути включена література за останні п'ять років, у тому числі закордонна, а сам перелік повинен містити не менше ніж 20 посилань.

Також є необхідним розгорнутий реферат англійською мовою, оформлений згідно міжнародних вимог до наукових видань. Реферат повинен мати:

- обсяг не менше ніж 2500 знаків,
- інформативність (не містити загальних слів),
- оригінальність (не бути калькою російської або української анотації),
- змістовність (відображати головний зміст статті та результати досліджень),
- структурованість (наявність обов'язкових елементів: *мета, методика, результати, наукова новизна, практична значимість, ключові слова*).

Після реферату необхідно навести **References** – перекладений англійською список використаних джерел, який має бути оформлений згідно міжнародного стандарту APA (American Psychological Association). До списків використаної літератури у статтях необхідно додавати DOI джерел (за наявності).

Рукописи, не оформлені належним чином, не приймаються до публікації.

Редакція залишає за собою право проводити редакційну правку рукопису.

У разі переробки статті авторами датою надходження рукопису статті в редакцію приймається дата її повторного надсилання. За відмови у публікації роботи рукописи статей авторам не повертаються.

При підтвердженні позитивного рішення на публікацію статті, автор має оформити та надіслати згоду на публікацію та оприлюднення персональних даних.



Зразок оформлення статті :

УДК 551.24.548:242.7:248(477)

**Олексій Вацлавович Барташук,**

к. геол. н., доцент, зав. відділу газових ресурсів Українського науково-дослідного інституту природних газів, Гімназіяна наб., 20, м. Харків, 61010, Україна,  
e-mail: [alekseybart@gmail.com](mailto:alekseybart@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0001-7831-6134>

**СИСТЕМНА ОРГАНІЗАЦІЯ ДИЗ'ЮНКТИВНОЇ ТЕКТОНІКИ КОНСОЛІДОВАНОГО ФУНДАМЕНТУ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОГО ПАЛЕОРИФТУ.**

*Стаття є заключною частиною трилогії, що висвітлює системну організацію розломної тектоніки кристалічного фундаменту Дніпровсько-Донецького палеорифту (ДДП). При регіональних геотектонічних дослідженнях структурних рисунків розломних систем докембрійського фундаменту вперше виявлено ансамблі структур об'ємної тектонічної течії, які зумовлені здвиговими деформаціями кристалічних гірських порід і горизонтальними переміщеннями геомасивів в межах цієї рифтогенної внутрішньооплітної геоструктури Сарматської плити. ...*

**Ключові слова:** деформації горизонтального здвигу, структурний рисунок, механізми тектонічної течії, структурно-кінематичний парагенез.

**А.В. Барташук. СИСТЕМНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ДИЗ'ЮНКТИВНОЙ ТЕКТониКИ КОНСОЛИДИРОВАННОГО ФУНДАМЕНТА ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОГО ПАЛЕОРИФТА.** Статья является заключительной частью трилогии, освещающей системную организацию разломной тектоники кристаллического фундамента Днепровско-Донецкого палеорифта (ДДП). При региональных геотектонических исследованиях структурных рисунков разломных систем докембрийского фундамент впервое выявлены ансамбли структур тектонического течения, которые вызваны сдвиговыми деформациями кристаллических горных пород и горизонтальными перемещениями геомассивов, в пределах этой рифтогенной внутриплитной геоструктуры Сарматской плиты. ...

**Ключевые слова:** деформации горизонтального сдвига, структурный рисунок, механизмы тектонического течения, структурно-кинематический парагенез.

**Вступ.** Встановлено, що внутрішня кінематика літосфери проявляється у вертикальних і горизонтальних переміщеннях геомас. Відбитками перших є діапіри та магматичні осередки різного речовинного складу і глибини проникнення. Структурними проявами горизонтальних переміщень гірських порід є деформаційні структури тектонічної течії (СТТ). Тому, при вивченні тектонічної будови геоструктур слід враховувати ймовірність комбінованого ефекту двох головних структуроутворюючих факторів – магматичного та тектонічного, який реалізується за механізмами об'ємної течії гірських порід. ...

**Література**

1. Пейве, А. Тектоника и магматизм [Текст] / А. Пейве. – М. : Изд. АН СССР. Сер. геол., 1961. – № 3. – С. 36-54.
2. Горизонтальные перемещения по разломам и некоторые методы их изучения [Текст] / В. Буртман, А. Лукьянов, А. Пейве, С. Руженцев // Разломы и горизонтальные движения земной коры. – М. : Изд. АН СССР, 1963. – С. 5-33.

UDC 551.243.8:550.8(477)

**Oleksii Bartashchuk,**

PhD (Geology), Associate Professor, Head of Department of natural gas resources, Ukrainian Scientific Research Institute of Natural Gases, 20 Gimnaziyna Naberejna, Kharkiv, 61010, Ukraine,  
e-mail: [alekseybart@gmail.com](mailto:alekseybart@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0001-7831-6134>

**SYSTEM ORGANIZATION OF DISJUNCTIVE TECTONICS OF CONSOLIDATED BASEMENT IN DNIPRO-DONETS PALEORIFT**

**Formulation of the problem.** Getting knowledge of the processes and mechanisms of the rocks tectonic flow is important both for geotectonics and for oil and gas geology as horizontal displacements and rotation of geological blocks in creep dislocations form secondary deformation structures. ...

**Keywords:** horizontal strike-slip deformation, structural pattern, tectonic flow structure, structural kinematic paragenesis.

**References**

1. Peyve, A. (1961). *Tectonics and magmatism*. M., Academy of Sciences of USSR, Vol. Geol., 36-54.
2. Burtman, V., Luk'yanov, A., Peyve, A., Ruzhentssev, S. (1963). *Horizontal displacements by faults & some methods of study*. M., Academy of Sciences of USSR, 5-33.

Наукове видання

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

серія  
**«ГЕОЛОГІЯ. ГЕОГРАФІЯ. ЕКОЛОГІЯ»**

Випуск 52

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Українською, російською та англійською мовами

Редактор К. А. Немець  
Технічний редактор О. В. Чуєнко  
Комп'ютерне верстання О. В. Чуєнко  
Відповідальний за випуск К. А. Немець

Підписано до друку 28.04.2020 р. Формат 60x84/8. Папір офсетний.  
Друк ризографічний. Ум. друк. арк. 24,1. Обл.–вид. арк. 27,9.  
Наклад 100 пр. Зам. № 1229/8–15. Ціна договірна.

---

Видавець та виготовлювач  
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна  
61022, Харків, майдан Свободи, 4,  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.09.