

ISSN 2410-7360 (Print)
ISSN 2411-3913 (Online)

Міністерство освіти і науки України

ВІСНИК

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

СЕРІЯ

“ГЕОЛОГІЯ. ГЕОГРАФІЯ. ЕКОЛОГІЯ”

[illegible]

Випуск 55

◁ ▷ ◁ ▷ ◁ ▷ ◁ ▷ ◁ ▷ ◁ ▷ ◁ ▷ ◁ ▷ ◁ ▷ ◁ ▷ ◁ ▷ ◁ ▷

Заснована 1970 року

Харків
2021

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 № 12 від 29.11.2021 р.).

Редакційна колегія: д. геогр. н., проф. К. А. Нємець (голова редколегії); О. В. Чуєнко (відповідальний секретар); д. геол.-мін. н., проф. І. В. Височанський; д. геогр. н., проф. О. М. Крайнюков; д. геол.-мін. н., проф. А. І. Лур'є; д. геогр. н., проф. А. Н. Некос; д. геогр. н., проф. Л. М. Нємець; д. геогр. н., проф. В. А. Пересацько; д. геол.-мін. н., проф. В. Г. Суярко; д. геогр. н., доц. К. Ю. Сєгіда; 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;
сайт: <http://periodicals.karazin.ua/geoeco>, <http://journals.uran.ua/geoeco>

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

Статті пройшли внутрішнє та зовнішнє рецензування.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

INTERNATIONAL COUNCIL

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

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

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

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

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

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

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

З М І С Т

ХРОНІКА

ПАМ'ЯТІ Костянтина Аркадійовича НЄМЦЯ (1948-2021)	8
---	---

ГЕОЛОГІЯ

<i>Нємець К. А., Удалов І. В., Лур'є А. Й., Прибилова В. М., Крайнюков О. М.</i> БАГАТОВИМІРНИЙ СИСТЕМНИЙ ГЕОМОНІТОРИНГ ПІДЗЕМНИХ ВОД В РАЙОНАХ ВОДОЗАБОРІВ (НА ПРИКЛАДІ М. ПОЛТАВА). ЧАСТИНА 1. ІДЕНТИФІКАЦІЯ СИСТЕМНОГО РОЗВИТКУ ГІДРОГЕОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	10
<i>Александрович В. А., Гаврилюк О. В., Сухов В. В.</i> ОСОБЛИВОСТІ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ ВИШУКУВАНЬ ПРИ ОБСТЕЖЕННІ ІСТОРИЧНОЇ ЗАБУДОВИ М. ХАРКОВА	23
<i>Harasymchuk V. Yu., Medvid H. B., Solovey T. V.</i> GAS-HYDROGEOCHEMICAL CONDITIONS OF THE BILCHE-VOLYTSIA OIL-GAS-BEARING AREA (CARPATHIAN FOREDEEP, UKRAINE)	37
<i>Гусарова А. Д., Матвєєв А. В.</i> ВАПНИСТІ ВОДОРОСТІ ТА ФОРАМІНІФЕРИ НИЖНЬОГО КАРБОНУ СЕРЕДНЬОЇ ЧАСТИНИ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ПРИОСЬОВОЇ ЗОНИ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ (УКРАЇНА)	52
<i>Дернов В. С.</i> НОВІ ЗНАХІДКИ РЕШТОК КАМ'ЯНОВУГІЛЬНИХ ЦЕФАЛОПОД НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ	72
<i>Mohammad Ibrahim Fazel Valipour, Hengameh Erfanian Kaseb</i> QUALITY ASSESSMENT OF UNDERGROUND WATER RESOURCES IN THE NORTHEAST OF SABZEVAR	82
<i>Пушкарьов О. В., Севрук І. М., Долін В. В.</i> ВПЛИВ СТРУКТУРИ МІНЕРАЛЬНОГО АДСОРБЕНТУ НА ДЕТРИТИЗАЦІЮ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ	94
<i>Шевчук О. А., Іванченко К. В.</i> АКРИТАРХИ МЕЗОЗОЮ УКРАЇНИ	107

ГЕОГРАФІЯ

<i>Беспалько Р. І., Гуцул Т. В.</i> ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИДІЛЕННЯ МЕЖ ВОДОЗБІРНИХ БАСЕЙНІВ ЗАСОБАМИ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ (НА ПРИКЛАДІ Р. БРУСНИЦЯ)	117
<i>Borysenko K. B., Popov V. S., Oblogina P. O.</i> ELEVATION MODELLING OF AN AREA OF THE SIVERSKYI DONETS RIVERBED (NEAR HAIDARY VILLAGE, CHUGUYEVSKIY DISTRICT, KHARKIV REGION)	128

Гаврилюк О. К.

ДИФЕРЕНЦІАЛЬНА ТА НЕДИФЕРЕНЦІАЛЬНА УРБАНІЗАЦІЯ В УКРАЇНІ У РАДЯНСЬКУ ТА ПОСТ-РАДЯНСЬКУ ЕРУ	141
---	-----

Zatula V. I., Kyhtenko Ya. V., Oliinyk R. V., Snizhko S. I.

EVALUATION OF ATMOSPHERE CLEARNESS AND CLOUDINESS PARAMETERS IN THE SOUTHERN REGIONS OF UKRAINE USING STATISTICAL ANALYSIS	159
---	-----

Іліна М. В., Шпыліова Ю. В.

METHODOLOGY OF THE COMPREHENSIVE SPATIAL DIFFERENTIATION OF THE NEWLY CONSOLIDATED TERRITORIAL COMMUNITIES	174
---	-----

Мельник Н. В., Мельник А. В., Пересадько В. А., Великочий В. С.

ДЕМОГРАФІЧНІ ПРОЦЕСИ КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ В КОНТЕКСТІ ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ ТЕРИТОРІЇ	187
--	-----

Осіпов В. В., Бончковський А. С., Орещенко А. В., Ошурок Д. О., Осадча Н. М.

ОБЧИСЛЕННЯ КІЛЬКОСТІ ОПАДІВ НА УКРАЇНСЬКИХ МЕТЕОСТАНЦІЯХ ІЗ УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ВІТРУ	204
---	-----

Проватар Н. І., Олішевська Ю. А., Мезенцев К. В., Кравченко К. О.

ВУЛИЧНЕ МИСТЕЦТВО У МІСЬКОМУ ПРОСТОРІ: РОЗМІЩЕННЯ ТА СПРИЙНЯТТЯ У МІСТАХ УКРАЇНИ	216
---	-----

Сафранов Т. А., Катеруша Г. П., Катеруша О. В., Яраї Камбіз

ОСОБЛИВОСТІ ДИНАМІКИ ХВИЛЬ ТЕПЛА В ОКРЕМИХ МІСТАХ УКРАЇНИ	232
---	-----

Шищенко П. Г., Гавриленко О. П., Циганок Є. Ю.

ДОСТУПНІСТЬ ЗЕЛЕНИХ ЗОН В УМОВАХ КОМПАКТНОГО МІСТА (НА ПРИКЛАДІ КИСВА)	245
---	-----

ЕКОЛОГІЯ

Biletska Ya. O., Nekos A. N., Bekhter A. O., Krivtsova A. S., Brayninger O. I.

WAYS OF OPTIMIZATION OF LEAD-POLLUTED BLACK EARTH SOILS IN THE SOIL – PLANT SYSTEM	257
---	-----

Maksymenko N. V., Burchenko S. V., Utkina K. B., Buhakova M. V.

INFLUENCE OF GREEN INFRASTRUCTURE OBJECTS FOR QUALITY OF SURFACE RUNOFF (ON THE EXAMPLE OF GREEN ROOFS IN KHARKIV)	274
---	-----

Панкратова Н. Д., Недашківська Н. І., Гайко Г. І., Білецький В. С.

ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ РОЗВИТКУ ПІДЗЕМНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ МЕТОДОМ БОСР	285
---	-----

Теслович М. В., Кричевська Д. А.

ІСТОРИЧНІ ТА ГЕОПРОСТОРОВІ АСПЕКТИ ФОРМУВАННЯ ЕКОМЕРЕЖІ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ	299
--	-----

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО «ВІСНИКА ХАРКІВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ»	318
---	-----

CONTENTS

CHRONICLE

IN THE MEMORY OF Kostyantyn Arkadiiovych NIEMETS (1948-2021)	8
--	---

GEOLOGY

<i>Niemets Kostiantyn, Udalov Ihor, Lurye Anatoliy, Pribilova Victoriia, Krainiukov Oleksii</i> MULTIDIMENSIONAL SYSTEM GEOMONITORING OF GROUNDWATER IN WATER IN-TAKES AREAS (ON THE EXAMPLE OF POLTAVA CITY). PART 1. IDENTIFICATION OF SYSTEM DEVELOPMENT OF HYDROGEOLOGICAL PROCESS ..	10
<i>Aleksandrovych Vadym, Havryliuk Olha, Sukhov Valeriy</i> PECULIARITIES OF ENGINEERING AND GEOLOGICAL SURVEYS WHEN INSPECTING THE HISTORICAL BUILDING OF KHARKIV	23
<i>Harasymchuk Vasyl, Medvid Halyna, Solovey Tatiana</i> GAS-HYDROGEOCHEMICAL CONDITIONS OF THE BILCHE-VOLYTSIA OIL-GAS-BEARING AREA (CARPATHIAN FOREDEEP, UKRAINE)	37
<i>Gusarova Anastasiia, Matveyev Andriy</i> LOWER CARBONIFEROUS CALCAREOUS ALGAE AND FORAMINIFERA OF THE MIDDLE PART OF THE CENTRAL PARAXIAL ZONE OF THE DONO-DNIEPER DEPRESSION (UKRAINE)	52
<i>Dernov Vitaly</i> NEW FINDS OF THE CARBONIFEROUS CEPHALOPODS ON THE TERRITORY OF UKRAINE	72
<i>Mohammad Ibrahim Fazel Valipour, Hengameh Erfanian Kaseb</i> QUALITY ASSESSMENT OF UNDERGROUND WATER RESOURCES IN THE NORTHEAST OF SABZEVAR	82
<i>Pushkarov Oleksandr, Sevruck Iryna, Dolin Vitaliy</i> INFLUENCE OF THE STRUCTURE OF A MINERAL ADSORBENT ON THE DETRITIZATION OF AQUEOUS SOLUTIONS	94
<i>Shevchuk Olena, Ivanchenko Kateryna</i> ACRITARCHS OF THE MESOZOIC OF UKRAINE	107

GEOGRAPHY

<i>Bespalko Ruslan, Hutsul Taras</i> TECHNOLOGICAL FEATURES OF DISTRIBUTION BETWEEN RIVER BASINS USING GIS TECHNOLOGIES (BASED ON THE EXAMPLE OF R. BRUSNYTSYA)	117
<i>Borysenko Kateryna, Popov Vladyslav, Oblogina Polina</i> ELEVATION MODELLING OF AN AREA OF THE SIVERSKYI DONETS RIVERBED (NEAR HAIDARY VILLAGE, CHUGUYEVSKIY DISTRICT, KHARKIV REGION)	128

Havryliuk Oleksii

DIFFERENTIAL AND NON-DIFFERENTIAL URBANIZATION IN UKRAINE DURING THE SOVIET AND POST-SOVIET ERA	141
--	-----

Zatula Vasyly, Kyhtenko Yaroslav, Oliynyk Rostyslav, Snizhko Sergiy

EVALUATION OF ATMOSPHERE CLEARNESS AND CLOUDINESS PARAMETERS IN THE SOUTHERN REGIONS OF UKRAINE USING STATISTICAL ANALYSIS	159
---	-----

Ilin Maria, Shpyliova Yulia

METHODOLOGY OF THE COMPREHENSIVE SPATIAL DIFFERENTIATION OF THE NEWLY CONSOLIDATED TERRITORIAL COMMUNITIES	174
---	-----

Melnik Nadiia, Melnyk Andriy, Peresadko Vilina, Velykochyy Volodymyr

DEMOGRAPHIC PROCESSES OF THE CARPATHIAN REGION IN THE CONTEXT OF ECONOMIC DEVELOPMENT OF THE TERRITORY	187
---	-----

Osyrov Valeriy, Bonchkovkyi Andriy, Oreshchenko Andrii, Oshurok Dmytro, Osadcha Natalia

QUANTIFYING WIND-INDUCED UNDERCATCH IN THE PRECIPITATION MEASUREMENTS AT UKRAINIAN WEATHER STATIONS	204
--	-----

Provotar Nataliia, Olishevskaya Yuliia, Mezentshev Kostyantyn, Kravchenko Kateryna

STREET ART IN URBAN SPACE: LOCATION AND PERCEPTION IN UKRAINIAN CITIES	216
---	-----

Safranov Tamerlan, Katerusha Halyna, Katerusha Olena, Yaraei Kambiz

FEATURES OF THE DYNAMICS OF HEAT WAVES IN SELECTED CITIES OF UKRAINE	232
---	-----

Shyshchenko Petro, Havrylenko Olena, Tsyhanok Yevhen

ACCESSIBILITY OF GREEN SPACES IN THE CONDITIONS OF A COMPACT CITY: CASE STUDY OF KYIV	245
--	-----

ECOLOGY

Biletska Yana, Nekos Alla, Bekhter Anastasia, Krivtsova Anna, Brayninger Olga

WAYS OF OPTIMIZATION OF LEAD-POLLUTED BLACK EARTH SOILS IN THE SOIL – PLANT SYSTEM	257
---	-----

Maksymenko N. V., Burchenko S. V., Utkina K. B., Buhakova M. V.

INFLUENCE OF GREEN INFRASTRUCTURE OBJECTS FOR QUALITY OF SURFACE RUNOFF (ON THE EXAMPLE OF GREEN ROOFS IN KHARKIV)	274
---	-----

Pankratova Nataliya, Nedashkovskaya Nadezhda, Haiko Hennadii, Biletskyi Volodymyr

ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL RISKS OF UNDERGROUND TRANSPORT INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT BY BOCR METHOD	285
---	-----

Teslovych Mariana, Krychevska Diana

HISTORICAL AND GEOSPATIAL ASPECTS OF FORMATION OF THE ECO-NETWORK OF THE TRANSCARPATHIAN REGION	299
--	-----

REQUIREMENTS TO THE MATERIALS SUBMITTED TO

THE “VISNYK OF V. N. KARAZIN KHARKIV NATIONAL UNIVERSITY”	318
---	-----

ХРОНІКА

ПАМ'ЯТІ Костянтина Аркадійовича НЄМЦЯ (1948-2021)



21 жовтня 2021 року пішов з життя Костянтин Аркадійович НЄМЕЦЬ – видатний український вчений – гідрогеолог і географ, незмінний Головний редактор «Вісник. Серія «Геологія. Географія. Екологія».

Костянтин Аркадійович – доктор географічних наук, професор, професор кафедри соціально-економічної географії і регіонознавства, кандидат геолого-мінералогічних наук, професор кафедри гідрогеології, декан геолого-географічного факультету (1995–2010 роки), заслужений професор Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, Відмінник освіти України, Почесний доктор Ужгородського національного університету.

Костянтин Аркадійович народився в с. Городниця Житомирської області. В 1965 році із золотою медаллю закінчив Снігурівську середню

школу та успішно поступив на геолого-географічний факультет Харківського державного університету імені О. М. Горького. У 1970 році з дипломом інженера-геолога, гідрогеолога з відзнакою був направлений на роботу в проектний інститут «ПІВДЕНДІПРОЦЕМЕНТ». За запрошенням професора Г. Г. Мальованого у 1972 році Костянтин Аркадійович перейшов на роботу на кафедру гідрогеології на посаду асистента і поступив в заочну аспірантуру. У 1979 році успішно захистив дисертацію зі здобуття наукового ступеня кандидата геолого-мінералогічних наук за темою «Исследование фильтрационной неоднородности трещиноватых пород в зоне гипергенеза методом математического моделирования (на примере верхнемелового водоносного горизонта верхней части бассейна Северского Донца)» у Московському геологорозвідувальному інституті

(МГРІ). На кафедрі гідрогеології він працював на посаді асистента, доцента, з 1984 року по 1986 рік обіймав посаду завідувача кафедри гідрогеології і декана геолого-географічного факультету.

Тривалий період Костянтин Аркадійович працював старшим науковим співробітником в інституті «ТюменьГІПРОГаз» в Новому Уренгої Тюменської області Росії (з 1986 року по 1995 рік). Під час цього періоду розвідкових та наукових робіт, він розробляє математичні моделі руху підземних вод, нафти і газу в умовах кріолітозони для використання в інженерній екології і природокористуванні. Розроблена ним математична модель трьохфазної фільтрації впроваджена в «Уренгойгаздобыче» і в Українському науково-дослідному інституті природних газів.

Повернувшись у Харківський національний університет Костянтин Аркадійович Немець з 1995 року по 2011 рік посідав посаду завідувача кафедри гідрогеології, 1995 року по 2010 рік – посаду декана геолого-географічного факультету. У 2006 році він успішно захистив докторську дисертацію за темою «Суспільно-географічні основи інформаційного розвитку соціогеосистем» у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка. У 2011 році К. А. Немець отримав вчене звання професора. З 2006 року за сумісництвом працював на посаді професора кафедри соціально-економічної географії і регіоназнавства. З лютого 2011 року працює на цій кафедрі на постійній основі, а також за сумісництвом на кафедрі гідрогеології.

Наукові публікації Костянтина Аркадійовича НЕМЦЯ користуються великою увагою та мають високий індекс цитувань. Він був видатним в Україні фахівцем у галузі методології суспільної географії, одним із лідерів Харківської школи суспільної географії, вів активну науково-педагогічну роботу з підготовки фахівців найвищої кваліфікації. Під його керівництвом один докторант захистив докторську дисертацію та одинадцять аспірантів та здобувачів захистили кандидатські дисертації. Його вихованці працюють в Україні та за кордоном у різних напрямках науки, політики і промисловості, продовжуючи розвивати ідеї Костянтина Аркадійовича.

Костянтин Аркадійович був видатним вченим та визнаним фахівцем – членом експертної ради з природничих математичних наук при Акредитаційній комісії «навчально-методичного центру з питань якості освіти» України, членом науково-методичних комісій Міністерства освіти і науки України з географії та геології, з 2007 по 2011 рр. був членом експертної ради ВАК України з географії; членом спеціалізованих вчених рад із захисту докторських дисертацій в Одеському національному університеті імені І. І. Мечнікова та кандидатських дисертацій у Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна.

Костянтин Аркадійович НЕМЕЦЬ з 1998 року був незмінним Головним редактором провідного фахового видання «Вісник. Серія «Геологія. Географія. Екологія» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, якому присвятив значну частину свого життя; розвивав видання, дотримуючись принципів наукової етики та доброчесності. Зусиллями Костянтина Аркадійовича «Вісник» одним із перших серед видань Караїзського університету у 2018 році увійшов до переліку видань, що реферуються наукометричною базою Web of Science. Продовжуючи розвивати журнал «Вісник», в подальшому будуть втілені ідеї та принципи Костянтина Аркадійовича для збереження високої планки, яку задав незмінний Головний редактор.

Костянтин Аркадійович НЕМЕЦЬ користувався беззаперечним авторитетом та повагою; мав тверду життєву позицію, в трудовій і науковій діяльності спирався на цінності Караїзського університету, був доброзичливою та порядною людиною, надзвичайно вимогливим до себе та оточуючих. Костянтин Аркадійович був еталоном справжнього науковця нашого часу, який гармонійно поєднував у собі глибоке розуміння закономірностей розвитку Універсуму та новітніх поглядів на наукову проблему, був мудрим наставником для молодих вчених та студентства, який охоче ділився власним багатим життєвим і професійним досвідом.

Добра пам'ять про Костянтина Аркадійовича назавжди залишиться у наших серцях!

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

ГЕОЛОГІЯ

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-01>

УДК 004.94:556.314

Надійшла 5 травня 2021 р.

Прийнята 17 травня 2021 р.

Багатовимірний системний геомоніторинг підземних вод в районах водозаборів (на прикладі м. Полтава). Частина 1. Ідентифікація системного розвитку гідрогеологічного процесу

Костянтин Аркадійович Немець¹,

д. геогр. н., професор, кафедра гідрогеології,
¹Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
пл. Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна,

e-mail: konnem1948@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7262-2111>;

Ігор Валерійович Удалов¹,

д. геол. н., професор, завідувач кафедри гідрогеології,
e-mail: igorudalov8@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3844-6481>;

Анатолій Йонович Лур'є¹,

д. геол.-мін. н., професор, кафедра гідрогеології,
e-mail: anlure16@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4836-5781>;

Вікторія Миколаївна Прибилова¹,

к. геол. н., доцент, кафедра гідрогеології,
e-mail: pribylovavn@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7770-8934>;

Олексій Миколайович Крайнюков¹,

д. геогр. н., професор, кафедра екологічної безпеки та екологічної освіти,
e-mail: alkraynukov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5264-3118>

Робота є початком серії наукових праць авторів по актуальній екологічній темі – багатовимірному системному геомоніторингу підземних вод в районах водозаборів. Авторами обґрунтована можливість застосування для геомоніторингу гідрогеологічних об'єктів методу моделювання траєкторії руху об'єктів у нормованому фазовому просторі, розробленого у Харківському національному університеті імені В.Н. Каразіна для задач суспільно-географічного моніторингу. Досліджені гідрогеохімічні режими експлуатації п'яти потужних водозаборів Полтавської міської агломерації, що експлуатують сеноман-нижньокрейдовий водоносний комплекс, за 28-ми річний період часу. Кількісно розраховані по кожному водозабору наступні показники системного розвитку гідрогеологічної системи: довжина шляху, пройденого гідрогеологічною системою водозабору на кожний період часу; проекція поточної точки траєкторії на оптимальну траєкторію, відхилення точки від оптимальної траєкторії та коефіцієнт прогресу на кожний контрольний момент часу. На базі отриманих результатів моделювання встановлені основні тенденції системного розвитку гідрогеологічної системи для всіх досліджуваних водозаборів: зменшення інтенсивності зміни хімічного складу підземних вод на усіх водозаборах з часом; суттєво менші показники інтенсивності зміни хімічного складу підземних вод на водозаборі № 3; найбільша мінливість інтенсивності зміни хімічного складу у часі – на водозаборі № 1; досить помітна синхронізація інтенсивності руху гідрогеологічної системи водозаборів і середньої інтенсивності зміни хімічного складу підземних вод, але виявляються деякі відхилення від цієї закономірності, які можуть бути зумовлені різними змінами режиму роботи водозаборів.

Ключові слова: геомоніторинг, гідрогеологічна система, моделювання, підземні води, водозабір, хімічний склад.

Як цитувати: Немець К. А. Багатовимірний системний геомоніторинг підземних вод в районах водозаборів (на прикладі м. Полтава). Частина 1. Ідентифікація системного розвитку гідрогеологічного процесу / К. А. Немець, І. В. Удалов, А. Й. Лур'є, В. М. Прибилова, О. М. Крайнюков // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2021. – Вип. 55. – С. 10-22. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-01>

In cites: Niemets K. A., Udalov I. V., Lurye A. I., Pribilova V. M., Krainiukov O. M. (2021). Multidimensional system geomonitoring of groundwater in water in-takes areas (on the example of Poltava city). Part 1. Identification of system development of hydrogeological process. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (55), 10-22. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-01>

Актуальність дослідження. Зростання негативного впливу людини на природне середовище вимагає розробки нових, більш ефективних методів управління техногенними процесами з метою їх узгодженості з природними процесами.

Однією з найважливіших ланок управління є моніторинг – система ідентифікації стану мульти-системи природокористування та інформаційно-го забезпечення прийняття управлінських рішень. Традиційно моніторинг полягає у дослі-

дженні динаміки певної кількості параметрів керованого або природного процесу, на основі чого робиться висновок стосовно: а) ефективності управління; б) змін стану об'єкту управління; в) впливу на природне середовище. У практиці водопостачання із підземних джерел об'єктом управління є природна гідрогеологічна система (ГГС) і відповідний гідрогеологічний процес (ГПП), а техногенною системою (елементом управління) – водозабір. Як правило, аналізуються параметри гідрохімічного і гідродинамічного режиму ГГС і ГПП, а також деякі технологічні параметри експлуатації водозаборів.

З позицій системного підходу необхідно розглядати внутрішню та зовнішню адаптацію ГГС. В залежності від пріоритетності мети геомоніторингу, слід розглядати дві ситуації:

- ситуація А складається під впливом, умовно говорячи, внутрішнього посилю – за ініціативою та в межах компетенції замовника й експлуатуючої організації. Ця ситуація актуальна з часів появи перших водозабірних споруд на підземні води. Спочатку спостереження скрізь велися інтуїтивно, потім за місцевими стандартами, а сьогодні регламентуються відомчими та законодавчими документами. Головною метою є оцінка ефективності управління та оптимізація режиму роботи водозабору. Тоді сам водозабір (площа розміщення експлуатаційних свердловин) буде досліджуваною системою, а ГГС в зоні активного впливу водозабору – зовнішнім середовищем. У цьому випадку увага концентрується на внутрішній адаптації системи – взаємодії свердловин, оптимізації структури (розташування) і режиму роботи, технічному стані тощо. ГГС в ракурсі зовнішньої адаптації розглядається як динамічне середовище формування експлуатаційних запасів, вплив якого залежить від експлуатації водозабору і змін природних умов. Дослідження системного розвитку ГГС має другорядне значення;

- ситуація Б виникає за зовнішнім посилю з ініціативи та в межах компетентності громадських та державних природоохоронних організацій і відомств. Основою, як правило, є національні та регіональні програми захисту навколишнього природного середовища та техногенної безпеки. Пріоритетним є завдання оцінки системного впливу водозабору на природне середовище з метою його мінімізації. У цьому випадку водозабір розглядається як точкове або площинне джерело збурення ГГС (наприклад, за схемою «великого колодязя»), внутрішня адаптація розглядається в активній зоні його впливу як формування ГПП між контуром живлення і площею водозабору, а зовнішнім середовищем є ГГС поза зоною впливу водозабору. Така ситуація складається, коли, наприклад, досліджується робота (з

можливою взаємодією) кількох водозаборів, системний вплив водовідбору на навколишнє середовище або дослідження виконуються в регіональному масштабі. Пріоритетним є дослідження системного розвитку ГГС і ГПП у складі більш загальних природних систем.

У другій половині ХХ ст. сформувалася природоохоронна, а пізніше екологічна парадигми природокористування, що прискорило і якісно змінило державну політику в галузі використання природних ресурсів. З іншого боку в гідрогеологічних дослідженнях зростаючими темпами почали застосовуватись методи математичного моделювання (електричні сітки і цифрові моделі), що зумовило можливість переведення епігнозного та прогностичного моделювання в масштаби більш системних регіональних та оглядових досліджень. Тому сьогодні обидві ситуації є майже пріоритетними і частіше всього доповнюють одна одну.

Узагальнюючи викладене вище, можна стверджувати, що у найбільш загальному сенсі нарощування інформаційного ресурсу суспільства головною задачею геомоніторингу в гідрогеології є спостереження, аналіз та ідентифікація стану й динаміки розвитку ГГС і техногенних систем у їх складі (водозабори, водовідлив, дренаж тощо). При цьому важливо подавати результати аналізу в зручному для дослідження динаміки форматі. Враховуючи це, технологічно всю процедуру гідрогеологічного геомоніторингу умовно можна поділити на низку послідовних задач:

а) отримання моніторингової інформації – безпосередні заміри технологічних параметрів, відбір проб води і виконання хімічних аналізів, збір сторонньої інформації (наприклад, гідрометеорологічної) тощо;

б) перетворення моніторингової інформації в оперативну – фільтрацію, усунення грубих помилок, аналіз різними методами, традиційними для гідрогеології, обґрунтування висновків тощо;

в) згортка інформації, тобто, компактне представлення результатів моніторингу найбільш ефективним чином, зручним, наприклад, для експрес-огляду чи наукового аналізу динаміки розвитку ГГС.

Якщо перші дві задачі вирішуються традиційними для гідрогеології методами, які постійно удосконалюються та оптимізуються, то задача згортки інформації вимагає застосування спеціальних математичних методів. Застосування потужної комп'ютерної техніки і можливостей сучасних інформаційних технологій стимулює продовження пошуків інтегрального відображення результатів моніторингу. Мова йде про адаптацію методів згортки інформації до проце-

дури гідрогеологічного геомоніторингу, коли величезний масив даних за десятками моніторингових параметрів зводиться до кількох інтегральних параметрів. Такі узагальнені параметри, на наш погляд, повинні відповідати таким вимогам:

- мати однозначну семантичну інтерпретацію стосовно динаміки розвитку ГПП і можливості ефективного управління ним;
- об'єктивне відображення стану та динаміки водозабірної системи;
- інваріантність для можливості об'єктивного порівняння стану і динаміки ГГС різних ієрархічних рівнів;
- можливість наочного відображення динаміки ГПП і ГГС на 2D або 3D графіках.

Метою даної статті є обґрунтування можливості застосування для геомоніторингу гідрогеологічних об'єктів методу моделювання траєкторії руху об'єктів у нормованому фазовому просторі (НФП), розробленого у Харківському національному університеті імені В.Н. Каразіна для задач суспільно-географічного моніторингу.

Стан досліджуваної проблеми. Як уже зазначалося вище, методи гідрогеологічного моніторингу особливо інтенсивно почали розроблятися з другої половини ХХ ст.

Покращенням методології вивчення питних підземних вод та розробкою заходів для контролю за змінами якісного складу цих вод, у різний час та різних регіонах світу займалися багато дослідників. Це праці таких видатних науковців, як Є. С. Дзекцер (1993), А. Л. Брикс (1983, 2013), О. А. Улицький (1998), Є. О. Яковлев (1994, 1998), М. С. Огняник (2013), І. В. Удалов (2012, 2015), Е. Preziosi (2014), N. Dalla Libera (2017), A. Molinari (2019) та ін. У цих роботах розроблялася методологія еколого-гідрогеологічних досліджень питних підземних вод під впливом природних чинників та активного техногенезу. Ключові принципи цих робіт є базовими для сучасних розробок даного напрямку.

Далі наводяться результати деяких досліджень, які для авторів представляли великий науковий інтерес.

Одним із основоположників сучасної методології еколого-геологічних досліджень в Україні є Яковлев Є. О. У роботах [1, 6-8] науковцем у тому числі рекомендовано за границі територій для моніторингових досліджень приймати зону збереження початкового стану ГС. Ним запропоновано дані межі визначати на базі двох рівнів впливу на ГС – гідрогеофільтраційному і гідрогеохімічному (гідрогеоміграційному).

М. С. Огняник у працях [3, 4] займався у тому числі розробкою методології еколого-гідрогеологічних досліджень питних підземних вод під впливом природних чинників та активно-

го техногенезу. Особливу увагу приділено територіям, у межах яких ґрунтовий шар та підземні води забруднені легкими нафтопродуктами.

Кононенко А. В., Лур'є А. І. та Удалов І. В. у роботі [13] розробили критерії оцінки рівнів забруднення підземних вод крейдових водозаборів Східної України при проведенні гідрогеохімічного моніторингу на даній території. Це зроблено на базі визначених авторами пріоритетних показників якісного складу цих вод.

У роботах Удалова І. В., Решетова І. К. та ін. [5, 10] на прикладі Східного Донбасу розглянуто використання інтегрального підходу в еколого-геологічних дослідженнях ГС (у т. ч. підземних вод). При оцінці рівня забруднення компонентів ГС ними рекомендовано замість недосконалих та застарілих діючих нормативів та стандартів використовувати показники геологічного фонового вмісту для даної території. Ці показники необхідно визначати із релевантних значень у межах площ із мінімальним техногенним впливом та які віддалені від осередків забруднення.

Сучасні роботи зарубіжних дослідників з питань гідрогеологічного моніторингу вирізняються широтою охоплення.

Проблеми проведення гідрогеологічного моніторингу та, на базі цього, оптимізації режимів експлуатації водозаборів на фоні погіршення якості підземних вод на них є нагальними для різних територій світу. А особливо у великих та екологічно нестабільних містах: S. Nurani Zulkipli, H. Abdul Rahim у Куала-Лумпур (Малайзія) [15], Y. Weiwu та ін. у Шанхаї (Китай) [18], Y. Chen, J. Hall та ін. у містах США [11, 17] та деякі ін.

Науковці Weiwu Yan, M. Abtahi та деякі ін. [9, 18 та ін.] займалися удосконаленням методології оцінки якості підземних вод при моніторингових роботах для стандартизації цих робіт та розробки заходів для покращення екологічної безпеки питного водопостачання. В основі – відбір лише важливих компонентів якості вод для даних територій та встановлення для них доцільних вагових коефіцієнтів.

Праці N. Dalla Libera, P. Fabbri та ін. [12], A. Molinari й ін. [14], E. Preziosi й ін. [16] були направлені на розробку методичного підходу до визначення максимально точних значень геологічного фону території при проведенні геомоніторингу. У роботах акцентується увага саме на значенні геофоновому вмісту компонентів під час розрахунків змін гідрогеохімічних особливостей підземних вод. Вважається, що при визначенні стану якісного складу вод доречніше порівнювати поточний вміст компоненту саме із локальним геофоном замість різних діючих нормативів.

В центрі уваги гідрогеологів щодо гідрогеологічного геомоніторингу весь час знаходяться

технології просторово-часової оптимізації систем геомоніторингу, збору, зберігання і обробки результатів геомоніторингу, виходячи з існуючої методології дослідження підземної гідросфери. Відносно мало уваги приділяється подальшому розвитку можливостей математичного моделювання для отримання інтегральних параметрів геомоніторингу. Побудова постійнодіючих моделей водозаборів з можливістю самоадаптації є втіленням найбільш ефективного підходу для більш-менш точного відображення суті ГПП. Але такі моделі при всій їхній корисності і важливості в управлінні водозаборами є тільки засобами отримання локальних параметрів і прогнозування роботи водозаборів, тобто, добре вирішують першу задачу геомоніторингу – отримання масиву моніторингових параметрів. Для вирішення задачі згортки інформації необхідні інші підходи, більш абстрактні і формалізовані.

Методи дослідження. В основу дослідження покладено метод моделювання траєкторії руху об'єктів у НФП, розроблений протягом останніх десяти років для обробки результатів суспільно-географічного моніторингу і найбільш повно описаний у роботі К. Немця і Л. Немець [2]. Нормований фазовий простір утворюється множиною координат – параметрів стану досліджуваного об'єкту. Внаслідок того, що параметри можуть бути різними за розмірністю, фізичною природою тощо, ізометричність НФП забезпечується нормуванням кожної з його координат на розмах значень $P_{max} - P_{min}$. Це означає, що довжина кожного ребра гіперкуба НФП становить одну умовну одиницю, що дає можливість ввести єдину метрику для кількісного аналізу. Таким чином на момент часу t об'єкту у НФП відповідає точка $A^t(P_1^t, P_2^t, \dots, P_n^t)$, де $P_1^t, P_2^t, \dots, P_n^t$ – координати простору, n – вимірність простору (кількість координат). На момент часу $t+\Delta t$ внаслідок зміни стану об'єкту координати точки зміняться на $A^{t+\Delta t}(P_1^{t+\Delta t}, P_2^{t+\Delta t}, \dots, P_n^{t+\Delta t})$. Порівнюючи ці два стани, тобто, аналізуючи вектор, утворений початковою і кінцевою точкою руху об'єкту, можна визначити лінійні і кутові параметри руху за інтервал часу Δt (за аналогією з рухом матеріальної точки у тривимірному фізичному просторі). Загальна траєкторія руху об'єкту утворюється множиною точок на послідовні моменти часу t_1, t_2, \dots, t_m , де m – кількість моментів часу спостереження об'єкту, а точність її побудови залежить від величини кроку дискретизації часу спостереження об'єкту Δt .

Траєкторію руху об'єкта у багатовимірному НФП у загальному випадку не можна уявити або відобразити графічно, що унеможливує її аналіз традиційними для геології методами. Для кількісного аналізу співвідношення сукупності

точок траєкторії у віртуальному просторі з установленною метрикою доцільно застосувати математичний апарат аналітичної геометрії і лінійної алгебри. Виходячи з того, що траєкторію можна представити як послідовність взаємопов'язаних векторів, для кожного з них можна розрахувати лінійні і кутові характеристики, необхідні для опису зміни стану об'єкта. Так, інтенсивність зміни стану можна визначити як швидкість руху об'єкта в ознаковому просторі V_o як відношення довжини вектора L до періоду часу Δt . Але цей перший узагальнений параметр є недостатнім для розуміння та якісної інтерпретації системної динаміки стану об'єкта (погіршення чи покращення хімічного складу підземних вод, гідродинамічних показників водоносного горизонту, виснаження чи поповнення запасів тощо). Для цього необхідний інший узагальнений параметр, який дозволив би однозначно оцінювати напрям системного розвитку об'єкта (деградація чи еволюція). Такий параметр можна визначити, виходячи з наступних міркувань (що є головною ідеєю методу моделювання траєкторії).

Гіперкуб НФП є простором області руху об'єкта за період $t_0 - t_m$, і у такому сенсі має дві особливі точки: точка початку координат, де $P_1 = P_2 = \dots = P_n = 0$, і точка максимального розвитку об'єкта, де $P_1 = P_2 = \dots = P_n = 1$, які з'єднуються головною діагоналлю гіперкубу. Вона є найкоротшою відстанню від початкової до кінцевої точки процесу руху об'єкта. Водночас її можна розглядати як найшвидшу траєкторією розвитку об'єкта в сенсі системного розвитку. Тому проекція поточної точки траєкторії об'єкта L_d на головну діагональ, яку легко знайти, знаючи кутові і лінійні характеристики вектору руху, характеризує просунутість (прогрес/регрес) об'єкту у розвитку і є другим узагальненим параметром стану об'єкта. Порівняння суміжних точок траєкторії за цим параметром дає однозначну оцінку напрямку розвитку об'єкта за певний період Δt – еволюцію, коли об'єкт рухається у бік максимальних значень координат, або деградацію при русі у протилежному напрямі. Крім цього, легко знаходиться відстань поточної точки об'єкта від головної діагоналі ΔL , яка є третім узагальненим параметром і кількісно оцінює відхилення реальної траєкторії об'єкту від теоретичної (оптимальної), що може бути оцінкою оптимальності процесу. Таким чином, аналіз траєкторії руху гідрогеологічного об'єкту дозволяє компактно представити її на кожний період часу Δt трьома узагальненими параметрами: V_o – інтенсивність зміни стану; L_d – параметр напрямку і просунутості системного розвитку; ΔL – величина відхилення від оптимальної траєкторії.

З викладеного вище видно, що важливу

умовою аналізу багатовимірної моніторингової інформації є встановлення просторових і часових границь досліджуваного процесу зміни стану об'єкта. У загальному випадку нормування координат багатовимірного фазового простору може виконуватися різним чином – на максимальне, середнє значення, середньоквадратичне відхилення та інші константи. Як показує досвід, найбільш ефективним є нормування на розмах значень $P_{max} - P_{min}$ по кожній координаті. Фазові ознаки процесу можуть бути позитивними (сприяють еволюції об'єкту) чи негативними (сприяють деградації об'єкту), для них нормування відбувається за різними формулами. На відміну від переважної більшості природних і соціальних процесів без зміни якості фазових координат, геомоніторинг гідрогеологічних процесів і об'єктів має одну важливу особливість, а саме – наявність ГДК для багатьох компонентів хімічного складу підземних вод. Вважається, що до досягнення ГДК концентрація певної хімічної сполуки чи хімічного елементу є позитивним чинником для розвитку процесу, а при перевищенні ГДК – перетворюється на негативний чинник. Стосовно моніторингу такого динамічного середовища як підземна гідросфера слід

зазначити, що у процесі відбору підземних вод їхня якість часто змінюється саме таким чином і фазові координати можуть якісно змінюватись з відповідним коригуванням нормованих значень. У зв'язку з цим максимальні значення лімітованих ознак (фаз) встановлюються за відповідною ГДК або максимальним перевищенням її.

Результати дослідження. Для досягнення мети даного дослідження були використані дані геомоніторингу п'яти водозаборів м. Полтава, які експлуатують сеноман-нижньокрейдовий водоносний комплекс. Аналізувалися зміни середнього хімічного складу підземних вод по кожному водозабору за 12 показниками: рН, жорсткість, сухий залишок, амоній, фтор, хлор, сульфати, гідрокарбонати, кальцій, магній, натрій + калій, закисне залізо. Вихідні дані збиралися з 1981 по 2008 роки за нерегулярною схемою у часі (всього 39 моментів часу).

Розміщення водозаборів відносно гідрографічних елементів району показано на рис. 1.

Після статистичної обробки вихідних даних було розраховано по кожному водозабору описані вище показники системного розвитку:

а) на кожний період часу (між суміжними контрольними моментами часу) – довжина шляху,

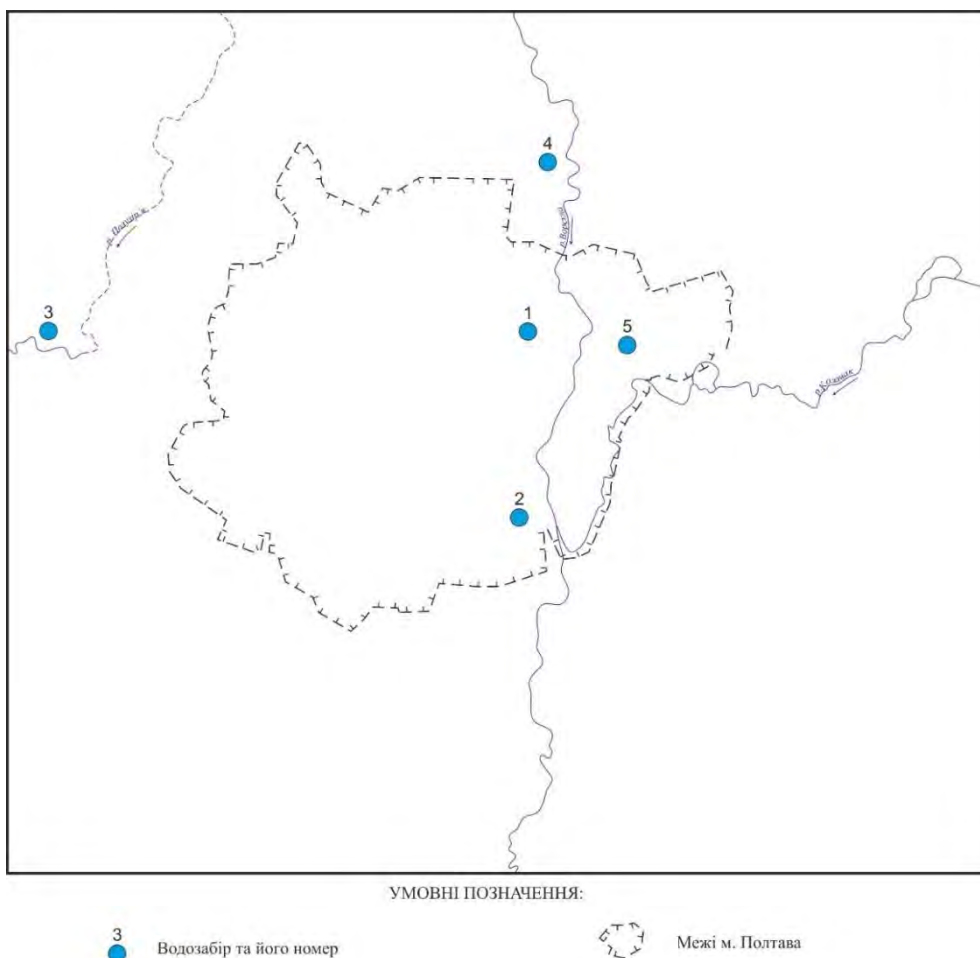


Рис. 1. Карта-схема розміщення досліджуваних водозаборів.

Fig. 1. Map-scheme of studied water intakes location

пройденного ГГС водозабору, яка характеризує інтенсивність зміни хімічного складу підземних вод (швидкість розраховувати некоректно, бо спостереження нерегулярні у часі);

б) на кожний контрольний момент часу – проекція поточної точки траєкторії на оптимальну траєкторію (головну діагональ), відхилення точки від оптимальної траєкторії, коефіцієнт прогресу (відношення проекції точки до довжини головної діагоналі).

Графіки інтенсивності руху ГГС водозаборів у НФП наведено на рис. 2, для порівняння на рисунку показано також графік середньої для всіх водозаборів інтенсивності руху. З наведених графіків можна зробити наступні висновки:

- інтенсивність зміни хімічного складу підземних вод водозаборів м. Полтава з часом зменшується, що можна пояснити зменшенням водовідбору і гідродинамічними чинниками, пов'язаними з формуванням депресійної лійки, зокрема поширенням зони квазістаціонарного режиму фільтрації;

- за абсолютними значеннями інтенсивності зміни хімічного складу підземних вод виділяється водозабір № 3, показник якого суттєво менше показників інших водозаборів, його графік єдиний із всіх інших знаходиться нижче графіку середньої по всім водозаборах інтенсивності;

- найбільшою мінливістю інтенсивності зміни хімічного складу у часі відрізняються підземні води на водозабір № 1 як за амплітудою, так і за абсолютними значеннями;

- спостерігається досить помітна синхронізація графіків водозаборів і середньої інтенсивності зміни хімічного складу підземних вод, але за детальним аналізом виявляються деякі відхилення від цієї закономірності, які можуть бути зумовлені різкими змінами режиму роботи водозаборів.

На рис. 3 подано графіки динаміки довжини проекції поточної точки траєкторії і похідного від неї параметра – коефіцієнту прогресу, а також її відхилення від оптимальної траєкторії (головної діагоналі гіперкуба НФП). Ці узагальнені параметри є найважливішими для аналізу траєкторії руху ГГС водозаборів у НФП.

Як видно з графіків на рис. 3, головна тенденція зміни ГГС для всіх водозаборів (за винятком водозабору № 2) згідно з лініями тренду полягає у зменшенні проекції шляху ГГС в НФП з часом, що свідчить про сповільнення темпів зміни хімічного складу підземних вод. Це також підтверджується динамікою коефіцієнту прогресу. Щодо відхилень реальних траєкторій руху ГГС від оптимальної траєкторії, то їх синхронізація з довжиною проекцій прослідковується в макромасштабі більш-менш чітко тільки для во-

дозаборів №№ 2, 4, 5. Всі висновки, отримані за результатами аналізу динаміки руху ГГС в НФП (рис. 2), викладені вище, практично підтверджуються графіками на рис. 3.

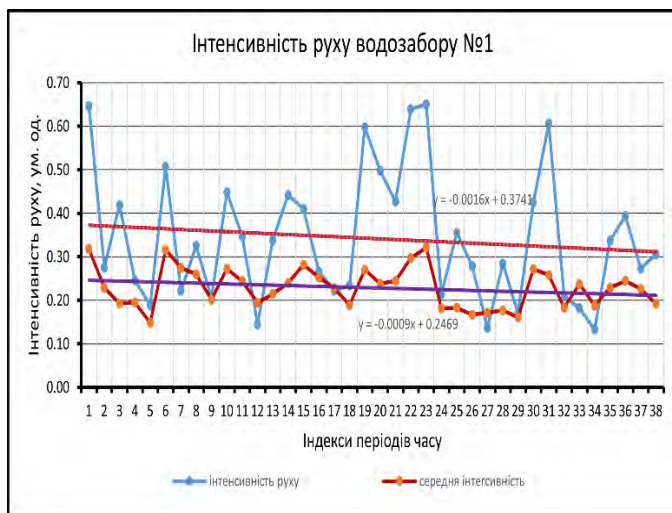
Візуалізація траєкторій руху ГГС водозаборів на фазовій площині «проекція траєкторії на оптимальну траєкторію – відхилення від оптимальної траєкторії» дає можливість наочно бачити зміни ГГС в узагальнених параметрах, як показано на рис. 4. Але при цьому виникли певні труднощі з інтерпретацією графіків. Справа у тому, що в окремі контрольні моменти часу спостерігалися різкі випадкові з точки зору системного розвитку зміни стану ГГС, що можна пояснити дією зовнішніх факторів (наприклад, водністю року, аномальними температурами, особливостями живлення підземних вод тощо) і внутрішніх факторів (зміни режиму роботи водозаборів і т.п.). Тому побудова траєкторії руху ГГС в НФП від точки до точки створює плутанину, в якій закономірності системного розвитку ГГС спотворюються вказаними флуктуаціями. Виявилось більш ефективним групування контрольних точок за моментами часу, що виявило зони їх концентрації у певні моменти розвитку ГГС і дало можливість побудувати узагальнені траєкторії розвитку, показані червоними стрілками на рис. 4. Таким чином, практично для всіх водозаборів вдалося однозначно визначити основні тенденції системного розвитку ГГС.

Як видно із представлених графіків, для водозаборів №№ 1, 4 і 5 переважає системний рух у напрямі зменшення довжини проекції і відхилення від оптимальної траєкторії. Для ГГС водозабору № 2 характерний рух у першій частині досліджуваного періоду із зростанням довжини проекції і величини відхилень від оптимальної траєкторії. У другій половині періоду спостережень траєкторія показує протилежну тенденцію.

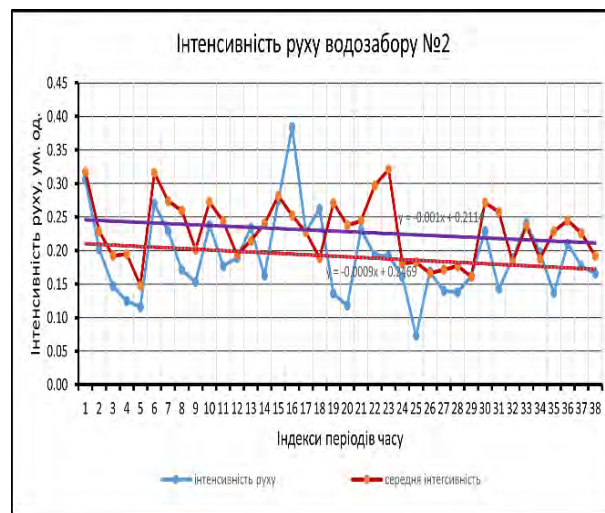
Реальна траєкторія ГГС водозабору № 3 у першій половині періоду спостережень має майже стабільну і досить велику довжину проекції і зменшення відхилень від оптимальної траєкторії. Друга половина траєкторії спрямована у напрямі зменшення довжини проекції і збільшення відхилення.

Висновки. Дана стаття є першою частиною серії наукових праць авторів по багатовимірному системному геомоніторингу підземних вод в районах водозаборів.

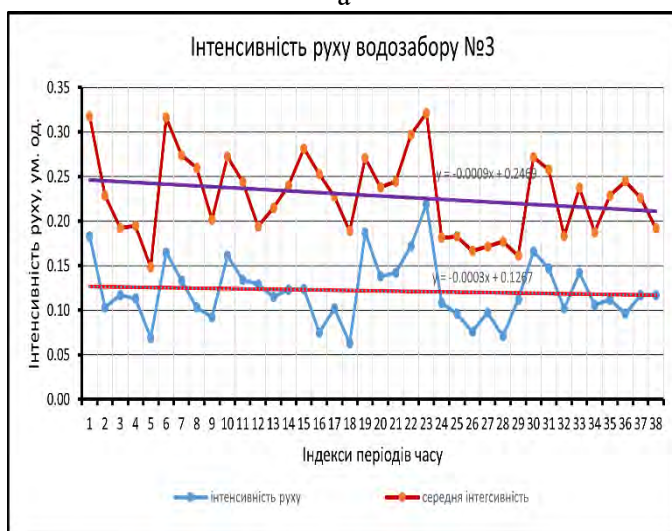
У роботі обґрунтовано можливість застосування для геомоніторингу гідрогеологічних об'єктів методу моделювання траєкторії руху об'єктів у нормованому фазовому просторі, розробленого у Харківському національному університеті імені В.Н. Каразіна для задач суспільно-географічного моніторингу.



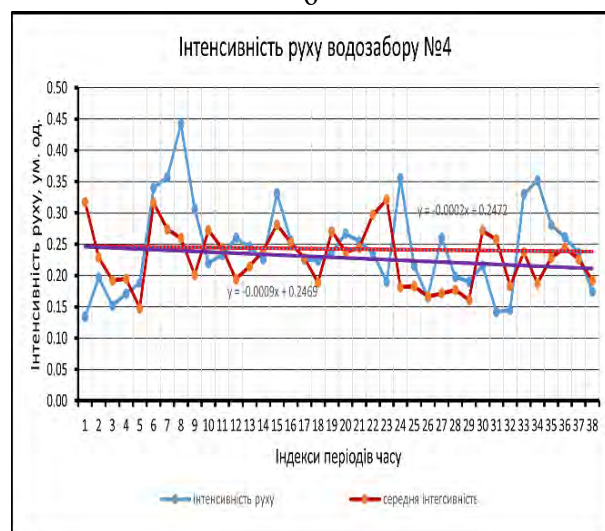
а



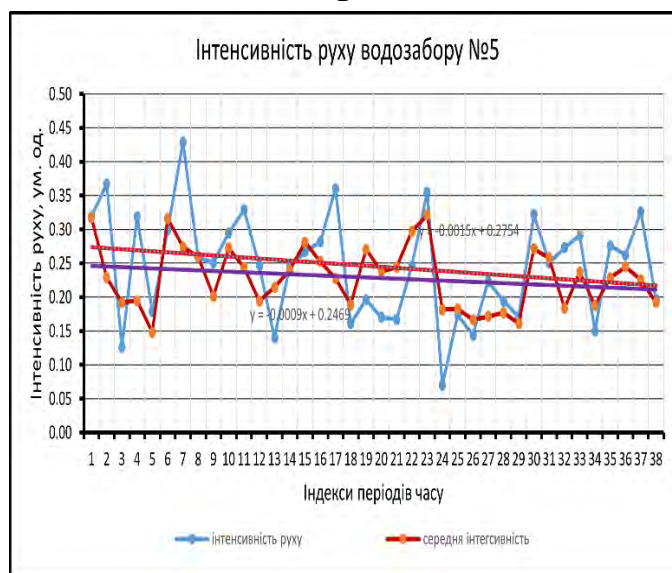
б



в



г



д

Рис. 2. Графіки інтенсивності руху ГГС у НФП:

- а – у районі водозабору № 1;
- б – у районі водозабору № 2;
- в - у районі водозабору № 3;
- г - у районі водозабору № 4;
- д - у районі водозабору № 5

Fig. 2. Graphs of moving intensity of HGS in NPS:

- a - in the area of water intake № 1;
- b - in the area of water intake № 2;
- c - in the area of water intake № 3;
- d - in the area of water intake № 4;
- e - in the area of water intake № 5

Досліджено гідрогеохімічні режими експлуатації потужних водозаборів №№ 1-5 м. Полтава, що експлуатують сеноман-нижньокрейдовий водоносний комплекс, за період 1981-2008 рр. за нерегулярною схемою у часі.

Розраховано по кожному водозабору наступні показники системного розвитку ГГС: а) на кожний період часу – довжину шляху, пройденого ГГС водозабору, яка характеризує інтенсивність зміни хімічного складу підземних вод;

б) на кожний контрольний момент часу – проєкцію поточної точки траєкторії на оптимальну траєкторію (головну діагональ), відхилення точки від оптимальної траєкторії, коефіцієнт прогресу (відношення проєкції точки до довжини головної діагоналі).

Визначено основні тенденції системного ро-

звитку ГТС для всіх досліджуваних водозаборів:

- інтенсивність зміни хімічного складу підземних вод водозаборів №№ 1-5 з часом зменшується, що можна пояснити зменшенням водовідбору і гідродинамічними чинниками, пов'язаними з формуванням депресійної лійки, зокрема поширенням зони квазістаціонарного режиму

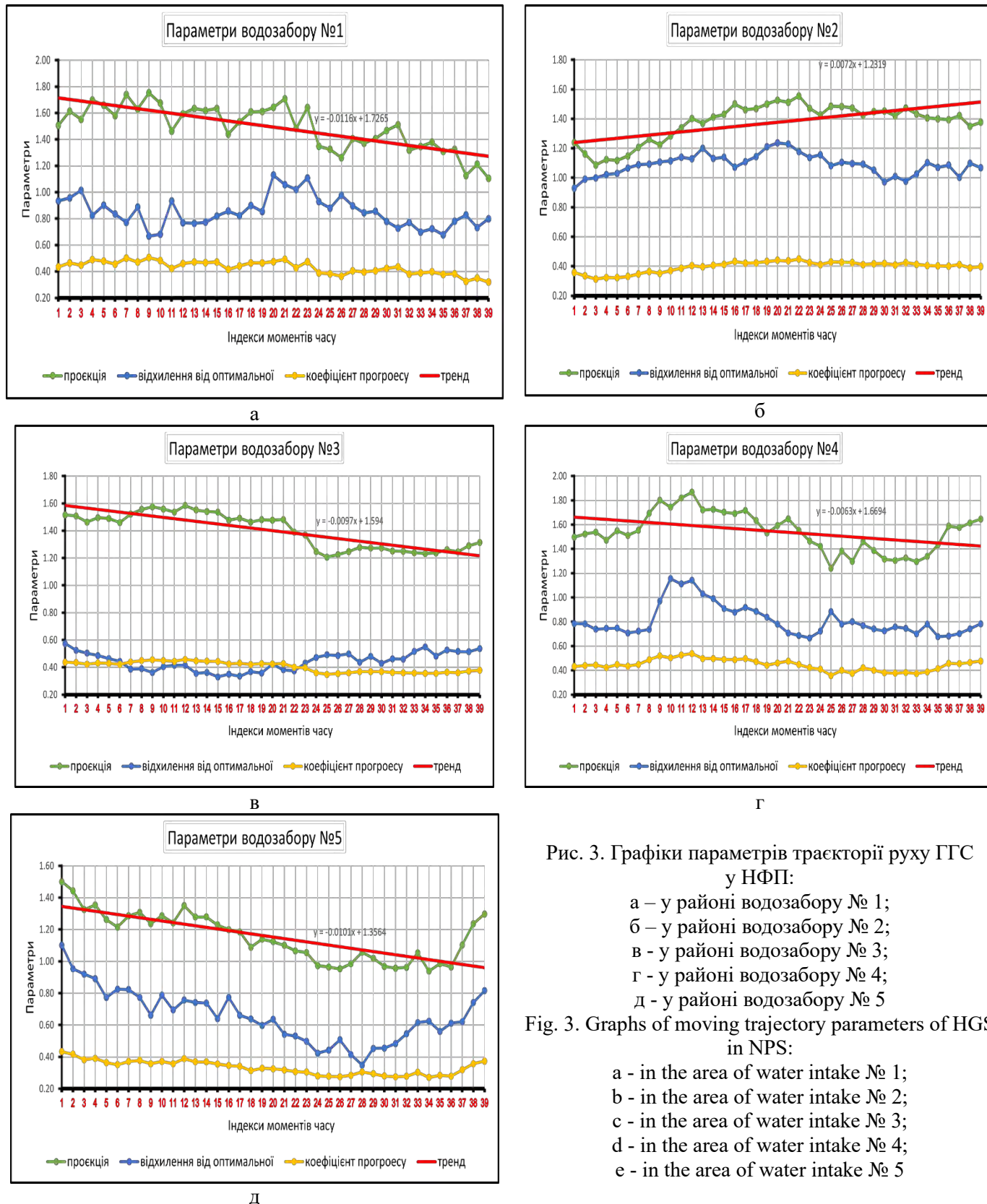
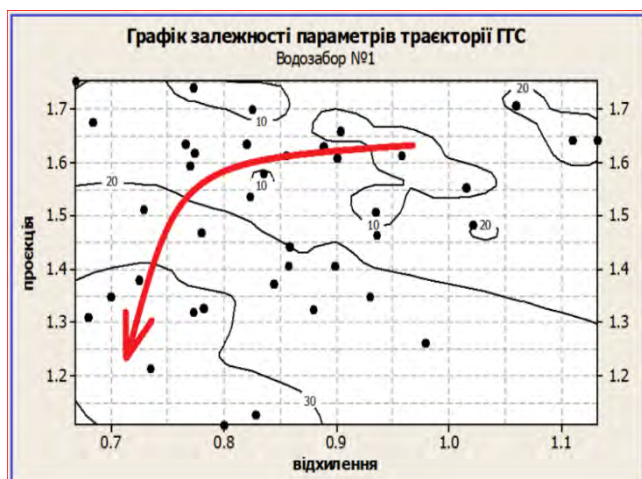


Рис. 3. Графіки параметрів траєкторії руху ГТС у НФП:

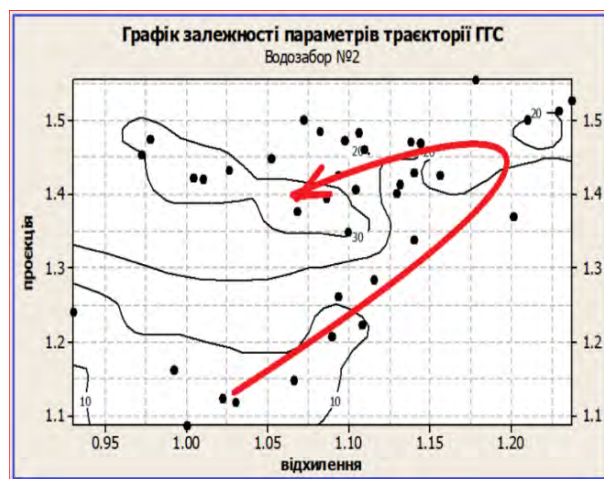
- а – у районі водозабору № 1;
- б – у районі водозабору № 2;
- в - у районі водозабору № 3;
- г - у районі водозабору № 4;
- д - у районі водозабору № 5

Fig. 3. Graphs of moving trajectory parameters of HGS in NPS:

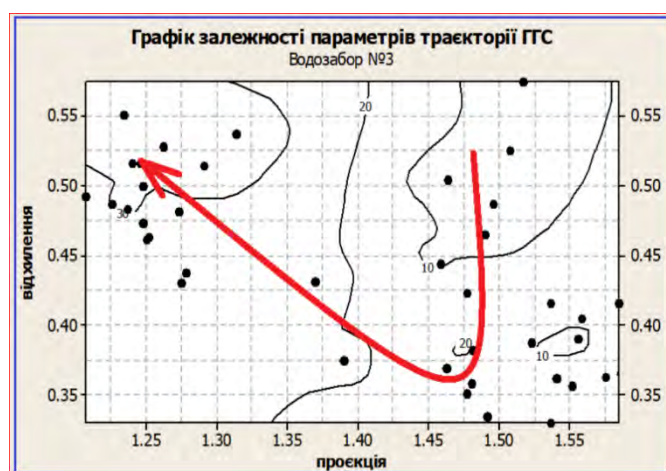
- a - in the area of water intake № 1;
- b - in the area of water intake № 2;
- c - in the area of water intake № 3;
- d - in the area of water intake № 4;
- e - in the area of water intake № 5



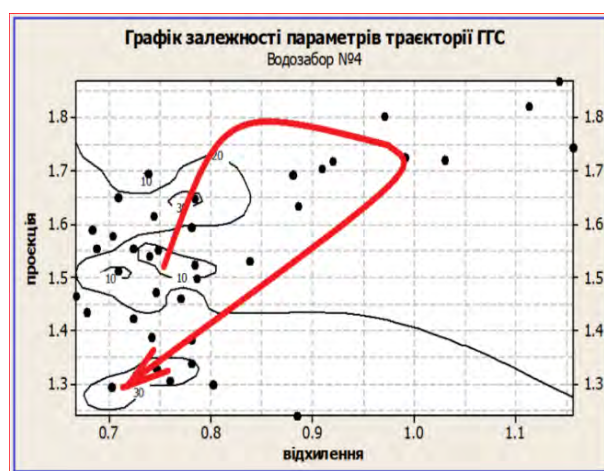
а



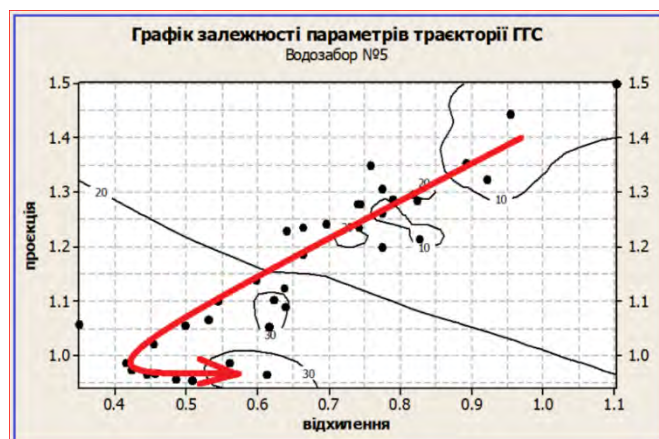
б



в



г



д

Рис. 4. Графіки залежності параметрів траєкторії руху ГТС у НФП:

- а – у районі водозабору № 1;
- б – у районі водозабору № 2;
- в - у районі водозабору № 3;
- г - у районі водозабору № 4;
- д - у районі водозабору № 5

Fig. 4. Graphs of dependence of moving trajectory parameters of HGS in NPS:

- a - in the area of water intake № 1;
- b - in the area of water intake № 2;
- c - in the area of water intake № 3;
- d - in the area of water intake № 4;
- e - in the area of water intake № 5

фільтрації;

- за абсолютними значеннями інтенсивності зміни хімічного складу підземних вод виділяється водозабір № 3, показник якого суттєво менше показників інших водозаборів;

- найбільшою мінливістю інтенсивності зміни хімічного складу у часі відрізняються підземні води на водозаборі № 1 як за амплітудою,

так і за абсолютними значеннями;

- спостерігається досить помітна синхронізація графіків інтенсивності руху ГТС водозаборів у НФП і середньої інтенсивності зміни хімічного складу підземних вод, але за детальним аналізом виявляються деякі відхилення від цієї закономірності, які можуть бути зумовлені різкими змінами режиму роботи водозаборів.

Список використаної літератури

1. Временное методическое руководство по проведению комплексных эколого-геологических исследований (на территории Украины) [Текст] / под ред. Е. А. Яковлева [и др.]. – К.: ГПП «Геопрогноз», 1994. – 331 с.
2. Немець К. А. Теорія і методологія географічної науки: методи просторового аналізу [Текст] / К. А. Немець, Л. М. Немець. – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014. – 172 с.
3. Огняник Н. С. Эколого-гидрогеологический мониторинг территорий загрязнения геологической среды легкими нефтепродуктами [Текст] / Н. С. Огняник, Н. К. Парамонова, А. Л. Брикс [и др.]. – К.: LAT&K, 2013. – 254 с.
4. Огняник Н. С. Охрана подземных вод в условиях техногенеза [Текст] / Н.С. Огняник. – К.: Вища школа, 1985. – 221 с.
5. Удалов І. В. Еколого-геологічне картографування та моніторинг геологічного середовища: навчальний посібник [Текст] / І. В. Удалов, І. К. Решетов. – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2012. – 152 с.
6. Яковлев Є. О. Еколого-геохімічна оцінка забруднення ґрунтів, донних відкладів, ґрунтових вод. Методичні рекомендації [Текст] / Є. О. Яковлев, І. В. Мельник, А. І. Дубицький. – К.: ДГП «Геоінформ», 1998. – 34 с.
7. Яковлев Є. О. Методологія екологічних досліджень регіональних техногенних змін геологічного середовища України : автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.26.05 [Текст] / Є. О. Яковлев. – Івано-Франківський держ.техн.універ. – К., 1996. – 95 с.
8. Яковлев Е. А. Методология оценки экологического состояния подземных вод [Текст] / Е. А. Яковлев, Н. А. Юркова, В. А. Сляднев // Экология и ресурсосбережение. – Киев, 2001. – № 3. – С. 56–59.
9. Abtahi M. A modified drinking water quality index (DWQI) for assessing drinking source water quality in rural communities of Khuzestan Province, Iran [Text] / M. Abtahi, N. Golchinpour, K. Yaghmaeian [Eds.] // Ecological Indicators, June 2015. – Vol. 53. – P. 283-291. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.02.009>
10. Aziz A. Rational integration of ecologic-geological studies [Text] / A. Aziz, I. V. Oudalov, N. Rouhollah [Eds.] // Ecology, Environment and Conservation Paper, 2015. – Vol. 21, Issue 4. – P. 1625-1631.
11. Chen Y. Water quality monitoring in smart city: A pilot project [Text] / Y. Chen, D. Han // Automation in Construction, May 2018. – Vol. 89. – P. 307-316. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.008>
12. Dalla Libera N. Geostatistics as a tool to improve the natural background level definition: An application in groundwater [Text] / N. Dalla Libera, P. Fabbri, L. Mason [Eds.] // Science of The Total Environment, November 2017. – Vol. 598. – P. 330-340. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.018>
13. Kononenko A. Criteria for Assessing Groundwater Contamination Levels of Marl and Chalk Water Intakes in Eastern Ukraine [Text] / A. Kononenko, A. Lurie, I. Udalov // Eastern European Scientific Journal (Gesellschaftswissenschaften): Düsseldorf (Germany): Auris Verlag, 2018. – № 2. – P. 13-17.
14. Molinari A. Geostatistical multimodel approach for the assessment of the spatial distribution of natural background concentrations in large-scale groundwater bodies [Text] / A. Molinari, L. Guadagnini, M. Marcaccio [Eds.] // Water Research, February 2019. – Vol. 149. – P. 522-532. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.09.049>
15. Nurani Zulkifli S. Detection of contaminants in water supply: A review on state-of-the-art monitoring technologies and their applications [Text] / S. Nurani Zulkifli, H. Abdul Rahim, W.-J. Lau // Sensors and Actuators B: Chemical, February 2018. – Vol. 255, Part 3. – P. 2657-2689. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.09.078>
16. Preziosi E. Natural background level assessment in groundwaters: probability plot versus pre-selection method [Text] / E. Preziosi, D. Parrone, A. Del Bon [Eds.] // Journal of Geochemical Exploration, August 2014. – Vol. 143. – P. 43-53. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.03.015>
17. Szabo J. On-line Water Quality Monitoring for Drinking Water Contamination [Text] / J. Szabo, J. Hall // Comprehensive Water Quality and Purification, 2014. – Vol. 2. – P. 266-282. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382182-9.00038-4>
18. Weiwu Y. Comprehensive assessment and visualized monitoring of urban drinking water quality [Text] / Y. Weiwu, L. Jialong, B. Xiaohui // Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, July 2016. – Vol. 155. – P. 26-35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2016.03.026>

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Многомерный системный геомониторинг подземных вод в районах водозаборов (на примере г. Полтава). Часть 1. Идентификация системного развития гидрогеологического процесса

Константин Аркадьевич Немец¹,

д. геогр. н., проф., кафедра гидрогеологии,

¹Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина,
пл. Свободы, 4, г. Харьков, 61022, Украина;

Игорь Валерьевич Удалов¹,

д. геол. н., проф., зав. кафедрой гидрогеологии;

Анатолий Йонович Лурье¹,

д. геол.-мин. н., проф., кафедра гидрогеологии;

Виктория Николаевна Прибылова¹,

к. геол. н., доц., кафедра гидрогеологии;

Алексей Николаевич Крайнюков¹,

д. геогр. н., проф., кафедра экологической безопасности и экологического образования

Работа является началом серии научных трудов авторов по актуальной экологической теме – многомерного системного геомониторинга подземных вод в районах водозаборов. Авторами обоснована возможность применения для геомониторинга гидрогеологических объектов метода моделирования траектории движения объектов в нормированном фазовом пространстве, разработанного в Харьковском национальном университете имени В.Н. Каразина для задач общественно-географического мониторинга. Исследованы гидрогеохимические режимы эксплуатации пяти мощных водозаборов Полтавской городской агломерации, эксплуатирующих сеноман-нижнемеловой водоносный комплекс, за 28-ми летний период времени. Количественно рассчитаны по каждому водозабору следующие показатели системного развития гидрогеологической системы: длина пути, пройденного гидрогеологической системой водозабора на каждый период времени; проекция текущей точки траектории на оптимальную траекторию, отклонение точки от оптимальной траектории и коэффициент прогресса на каждый контрольный момент времени. На базе полученных результатов моделирования установлены основные тенденции системного развития гидрогеологической системы для всех исследуемых водозаборов: уменьшение интенсивности изменения химического состава подземных вод на всех водозаборах со временем; существенно меньшие показатели интенсивности изменения химического состава подземных вод на водозаборе № 3; наибольшая изменчивость интенсивности изменения химического состава во времени – на водозаборе № 1; достаточно заметная синхронизация интенсивности движения гидрогеологической системы водозаборов и средней интенсивности изменения химического состава подземных вод, но оказываются некоторые отклонения от этой закономерности, которые могут быть обусловлены резкими изменениями режима работы водозаборов.

Ключевые слова: геомониторинг, гидрогеологическая система, моделирование, подземные воды, водозабор, химический состав.

Multidimensional system geomonitoring of groundwater in water in-takes areas (on the example of Poltava city). Part 1. Identification of system development of hydrogeological process

Kostiantyn Niemets¹,

DSc (Geography), Professor,

¹V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine;

Ihor Udalov¹,

DSc (Geology), Full Professor, Head of the Department;

Anatoliy Lurye¹,

DSc (Geology and Mineralogy), Full Professor;

Victoriia Pribilova¹,

PhD (Geology), Associate Professor;

Oleksii Krainiukov¹,

DSc (Geography), Full Professor

ABSTRACT

Formulation of the problem. The paper is the beginning of scientific papers series of authors on an actual environmental topic – multidimensional system geomonitoring of groundwater in water intakes areas.

The purpose of article is a substantiation of application possibility of the method of objects trajectory modeling in the normalized phase space, which has been developed at V. N. Karazin Kharkiv National University for socio-geographical monitoring tasks, for hydrogeological objects geomonitoring.

Materials and methods. The research is based on the method of objects trajectory modeling in the normalized phase space.

To achieve the purpose of this study, geomonitoring data of five water intakes in Poltava city, which operate Cenomanian-Lower Cretaceous aquifer, has been used. Changes in the average chemical composition of groundwater for each water intake have been analyzed according to 12 indicators: pH, hardness, dry residue, ammonium, fluorine, chlorine, sulfates, bicarbonates, calcium, magnesium, sodium+potassium, ferrous iron. The initial data have been collected from 1981 to 2008 according to an irregular pattern in time (39 points in time).

Research results. The following indicators of systemic development of hydrogeological system have been calculated for each water intake: a) for each period of time – the path length traveled by the water intake hydrogeological system, which characterizes the intensity of changes in the groundwater chemical composition;

b) for each control time – the projection of current trajectory point on the optimal trajectory (main diagonal), the deviation of point from the optimal trajectory, the progress coefficient (the ratio of point projection to the length of main diagonal).

The main trends in the systemic development of hydrogeological system for all studied water intakes have been identified:

- the intensity of changes in the groundwater chemical composition at water intakes Nos. 1-5 decreases over time, which can be explained by the reduction of water withdrawal and hydrodynamic factors associated with the formation of depression funnel, in particular the spreading of quasi-stationary filtration regime;
- according to the absolute values of changes intensity in the groundwater chemical composition, the water intake No. 3 is highlighted, the value of which is significantly less than the values of other water intakes;
- groundwater at the water intake No. 1 has the greatest variability in the changes intensity of chemical composition over time both in amplitude and in absolute values;
- there is a very noticeable synchronization of movement intensity graphs of water intakes hydrogeological systems in the normalized phase space and the average intensity of changes in the groundwater chemical composition, but a detailed analysis reveals some deviations from this pattern, which may be due to abrupt changes in operation mode of water intakes.

Keywords: geomonitoring, hydrogeological system, modeling, groundwater, water intake, chemical composition.

References

1. Yakovlev, Ye. A. (Eds.) (1994). *Vremennoe metodicheskoe rukovodstvo po provedeniyu kompleksnykh ekologo-geologicheskikh issledovaniy (na territorii Ukrainy) [Temporary guidelines for the conduct of integrated environmental and geological research (in Ukraine)]*, Kiev: GGP «Geoprognoz», 331. [in Russian]
2. Niemets, K. A., Niemets, L. M. (2014). *Teoriya i metodologiya geografichnoi nauky: metody`prostorovogo analizu [Theory and methodology of geographical science: methods of spatial analysis]*, Kharkiv: V. N. Karazin KhNU, 172. [in Ukrainian]
3. Ognyanik, N. S., Paramonova, N. K., Briks, A. L. (Eds.) (2013). *Ekologo-gidrogeologicheskii monitoring territoriy zagryazneniya geologicheskoy sredy legkimi nefteproduktami [The ecological and hydrogeological monitoring of territories of contamination of geological environment by light oil products]*, Kiev: LAT&K, 254. [in Russian]
4. Ognyanik, N. S. (1985). *Okhrana podzemnykh vod v usloviyakh tekhnogeneza [Protection of groundwater in the conditions of technogenesis]*, Kiev: Vysha shkola, 221. [in Russian]
5. Udalov, I. V., Reshetov, I. K. (2012). *Ekologo-geologichne kartografuvannya ta monitoryng geologichnogo seredovy`shha: navchal`ny`j posibny`k [Ecological-geological mapping and geological environment monitoring: a textbook]*, Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University, 152. [in Ukrainian]
6. Yakovlev, Ye. O., Mel`ny`k, I. V., Duby`cz`ky`j, A. I. (1998). *Ekologo-geoximichna ocinka zabrudnennya g`runtiv, donny`x vidkladiv, g`runtovy`x vod. Metody`chni rekomendaciyi [Ecological-geochemical assessment of contamination of soil, bottom sediments, groundwater: Guidelines]*, Kyiv: DGP «Geoinform», 34. [in Ukrainian]
7. Yakovlev, Ye. O. (1996). *Metodologiya ekologichny`x doslidzhen` regional`ny`x texnogenny`x zmin geologichnogo seredovy`shha Ukrainy` [Methodology of ecological researches of regional technogenic changes of the geological environment of Ukraine] : Sc. D. (Technics) Thesis*, Kyiv, 95. [in Ukrainian]
8. Yakovlev, Ye. A., Yurkova, N. A., Slyadnev, V. A. (2001). *Metodologiya otsenki ekologicheskogo sostoyaniya podzemnykh vod [Methodology for assessing the groundwater ecological state]*. *Ecology and resource conservation*, 3, 56-59. [in Russian]
9. Abtahi, M., Golchinpour, N., Yaghmaeian, K. (Eds.) (2015). *A modified drinking water quality index (DWQI) for assessing drinking source water quality in rural communities of Khuzestan Province, Iran. Ecological Indicators*, 53, 283-291. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.02.009>
10. Aziz, A., Oudalov, I. V., Rouhollah, N. (Eds.) (2015). *Rational integration of ecologic-geological studies. – Ecology, Environment and Conservation Paper*, 21, 4, 1625-1631.
11. Chen, Y., Han, D. (2018). *Water quality monitoring in smart city: A pilot project. Automation in Construction*, 89, 307-316. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.008>

12. Dalla Libera, N., Fabbri, P., Mason, L. (Eds.) (2017). Geostatistics as a tool to improve the natural background level definition: An application in groundwater. *Science of The Total Environment*, 598, 330-340. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.018>
13. Kononenko, A., Lurie, A., Udalov, I. (2018). Criteria for Assessing Groundwater Contamination Levels of Marl and Chalk Water Intakes in Eastern Ukraine. *Eastern European Scientific Journal (Gesellschaftswissenschaften)*: Düsseldorf (Germany): Auris Verlag, 2, 13–17.
14. Molinari, A., Guadagnini, L., Marcaccio, M. (Eds.) (2019), Geostatistical multimodel approach for the assessment of the spatial distribution of natural background concentrations in large-scale groundwater bodies. *Water Research*, Vol. 149, 522-532. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.09.049>
15. Nurani Zulkifli, S., Abdul Rahim, H., Lau, W.-J. (2018). Detection of contaminants in water supply: A review on state-of-the-art monitoring technologies and their applications. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 255, 3, 2657-2689. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.09.078>
16. Preziosi, E., Parrone, D., Del Bon, A. (Eds.) (2014). Natural background level assessment in groundwaters: probability plot versus pre-selection method. *Journal of Geochemical Exploration*, 143, 43-53. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.03.015>
17. Szabo, J., Hall, J. (2014). On-line Water Quality Monitoring for Drinking Water Contamination. *Comprehensive Water Quality and Purification*, 2, 266-282. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382182-9.00038-4>
18. Weiwu, Y., Jialong, L., Xiaohui, B. (2016). Comprehensive assessment and visualized monitoring of urban drinking water quality. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 155, 26-35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2016.03.026>

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 15 March 2021

Accepted 12 April 2021

Особливості інженерно-геологічних вишукувань при обстеженні історичної забудови м. Харкова

Вадим Анатолійович Александрович¹,

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

Ольга Володимирівна Гаврилюк¹,

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

Валерій Васильович Сухов²,

к. геол. н., зав. лаб., ²Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна,
e-mail: valery.sukhov@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0001-5784-5248>

Великий обсяг історичних об'єктів, які потребують капітального ремонту, реконструкції та пристосування до сучасного використання диктує необхідність переходу на більш швидкі та надійні технології відновлення пам'яток архітектури. У зв'язку з цим виникає необхідність комплексного підходу в ході проведення відновлювальних робіт. При реконструкції будівлі першорядне значення має міцність і стійкість елементів споруди, що залежить від правильного вибору конструктивної схеми, врахуванні при проектуванні всіх можливих навантажень, а також якісного виконання будівельних робіт. У статті показується складність отримання достовірних даних геологічних умов при реконструкції нежитлової будівлі історичної забудови в місті Харкові, оснований на раніше проведених інженерно-геологічних вишукуваннях. В ході проведення робіт було встановлено відсутність проектної та виконавчої документації на будівлю, а також некваліфіковане втручання в її конструктив. Тому одним з ключових питань стало визначення фактичної конструкції фундаменту, а також типу та стану її ґрунтової основи. В результаті комплексного аналізу конструктивної схеми підземної частини будівлі встановлено, що підвальне приміщення було облаштовано після зведення будівлі. Для визначення конструкції, глибини та стану фундаменту були закладені шурфи з торцевої й зворотної стіни фасаду будівлі. Так само в рамках даного обстеження для комплексного аналізу ситуації у внутрішньому контурі будівлі було відібрано зразки ґрунту в підвальній частині будівлі для визначення фізико-механічних характеристик. На основі отриманих даних було видано рекомендації для подальшої реконструкції нежитлової будівлі історичної забудови міста. Таким чином показано, що некваліфіковане втручання в основу і конструкції будівлі без розробки відповідної проектної та виконавчої документації, яка майже завжди має місце при обстеженні історичних будівель, ускладнює, як їх дослідження так і подальшу реабілітацію і пристосування до сучасних норм.

Ключові слова: інженерно-геологічні вишукування, ґрунти, ґрунтова основа, фундаменти, історична забудова, реконструкція, конструктивна схема.

Як цитувати: Александрович В. А. Особливості інженерно-геологічних вишукувань при обстеженні історичної забудови м. Харкова / В. А. Александрович, О. В. Гаврилюк, В. В. Сухов // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2021. – Вип. 55. – С. 23-36. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-02>

In cites: Aleksandrovych V. A., Havryliuk O. V., Sukhov V. V. (2021). Peculiarities of engineering and geological surveys when inspecting the historical building of Kharkiv. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (55), 23-36. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-02> [in Ukrainian]

Постановка проблеми.

На сучасному етапі розвитку будівельної індустрії гостро стоїть питання реконструкції пам'яток архітектури для подальшого використання в сучасних умовах. Архітектурні пам'ятки як історичні місця міст є запорукою сталого розвитку. Вони відображають нашу громадську, національну та державну ідентичність.

В українському законодавстві прописано чимало механізмів та інструментів захисту нерухомої культурної спадщини, однак досі в нашій країні не існує єдиного алгоритму реконструкції архітектурних пам'яток для подальшого їх сучасного використання. А існуючі рекомендації мають вигляд жорсткого контролю з подальшим

покаранням за невиконання, що сприяє відмові будівельників вирішувати питання реконструкції тих чи інших архітектурних об'єктів. При роботі з такими будівлями та інженерними спорудами основний наголос спрямовано на реставраційні роботи заради реставрації, а не на використання та сталий розвиток. Внаслідок цього у будівельній практиці ми постійно стикаємося з роботами, що не відповідають ані засадам наукової реставрації, ані світовим стандартам будівництва і знають критики, як від фахівців у галузі реставрації, так і від приватних осіб та громадських організацій. Пам'ятки архітектури та історична забудова в цілому потерпають від некваліфікованих ремонтно-реставраційних робіт, котрі завда-

ють їм значної, часто непоправної шкоди.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

До середини XX сторіччя питання пристосування пам'яток архітектури до сучасного використання розглядалося на законодавчому рівні та за методикою виконання в межах проекту реставрації, як частина інженерного проекту. Лише з 1970-х років ця тема почала набувати окремих наукових напрям у закордонних дослідників. Даний напрям у вітчизняній практиці почав активно реалізовуватися на початку 90-х років. Проблема збереження цінності пам'яток архітектури та реставраційна теорія для використання в сучасних умовах наведена в роботах Босенко Е., Клименко І., Прибега Л., Rosenfeld Y., Douglas J., Frediani P. та інших [1-10].

Методики, які направлені на збереження, реконструкцію та пристосування історичних будівель до сучасного використання розглядаються в роботах закордонних та вітчизняних вчених [15-20]. Особлива увага в них приділяється не лише загальному висвітленню методики але і розглядаються конкретні приклади їх застосування на практиці.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Проблема інженерно-геологічних вишукувань при виконанні робіт з реконструкції, інтенсивності техногенного впливу на ґрунтові основи та втручань в конструкцію будівлі.

Формулювання мети статті. На прикладі інженерно-геологічних вишукувань при реконструкції будівлі історичної забудови м. Харкова дослідити складність отримання правильних висновків щодо умов передачі навантажень на ґрунти основи від фундаментів споруди внаслідок проведених раніше некваліфікованих ремонтних робіт.

Виклад основного матеріалу досліджень. Необхідність досліджень викликана потребою визначення дійсного технічного стану будівельних конструкцій будівлі історичної забудови для оцінки можливості подальшої надійної і безпечної експлуатації за своїм прямим функціональним призначенням, з розробкою технічних рішень і рекомендацій щодо подальшої реконструкції будівлі під потреби замовника, та забезпечення її подальшої безперебійної та безпечної експлуатації.

Об'єкт досліджень – нежитлова будівля розміщена за адресою: м. Харків, вул. Чернишевська 42 (рис. 1).

Одним з найсерйозніших питань котре постало при обстеженні будівлі стало визначення фактичної конструкції її фундаменту, а також типу та стану її ґрунтової основи зважаючи на відсутність проектної та виконавчої документації

на будівлю, а також численні некваліфіковані втручання в її конструктив.

При аналізі фактичних інженерно-геологічних умов ґрунтової основи будівлі було використано дані звіту інженерно-геологічних вишукувань виконаних ФОП «Соколов В.А.» у серпні-вересні 2020 р, та дані контрольного відбору проб із шурфів у підвальної частині об'єкту обстеження. Зразки ґрунту досліджені у лабораторії кафедри Механіки ґрунтів, фундаментів та інженерної геології ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. Виконано аналітичне порівняння цих даних для розуміння конструктивного рішення фундаментів будівлі та інженерно-геологічних умов їх спирання.

В адміністративному відношенні район вишукувань розташований в межах Київського району м. Харкова, в інтенсивно забудованій житловій частині міста, насиченій різними комунікаціями (рис. 2).

В геоморфологічному відношенні територія приурочена до мартоношсько-сульської тераси річки Лопань.

Рельєф ділянки вишукувань спокійний, спланований насипними ґрунтами. Абсолютні позначки поверхні землі по гирлам свердловин коливаються від 152,60 м до 153,90. Перепад висот складає 1,30 м.

Небезпечних фізико-геологічних, техногенних процесів згідно ДБН А.2.1-1-2014 на території, що розглядається, та прилеглий території (карстів, суфозійнонебезпечних, зсувонебезпечних, прогинів, кренів споруд та інше) не виявлено.

Територія досліджень будівництва розташована в межах Пів кліматичного підрайону.

Нормативна глибина промерзання глинистих ґрунтів – 1,1 м.

В результаті аналізу матеріалів досліджень минулих років слід зазначити поширення в цьому районі просадних лесовидних відкладів.

В геологічному відношенні майданчик вишукувань до дослідної глибини до 23,0 м, складено товщею середньо четвертинних еолово-делювіальних лесовидних суглинків з прошарками дрібних пісків дніпровського горизонту, підстиляємих делювіальними нижньочетвертинними відкладами приазовського горизонтів, а з глибини 21,3 м – глинами з прошарками вивітрілого піщаника, пісковинами і дрібними пісками верхньокіївського горизонту палеогенового періоду що підстиляються глинами.

З поверхні товща місцями перекрита насипним шаром і сучасними суглинистими ґрунтами.

Найменування видів і стан ґрунтів, виділених інженерно-геологічних елементів, приводиться нижче в порядку їх природного залягання зверху вниз (рис. 3).

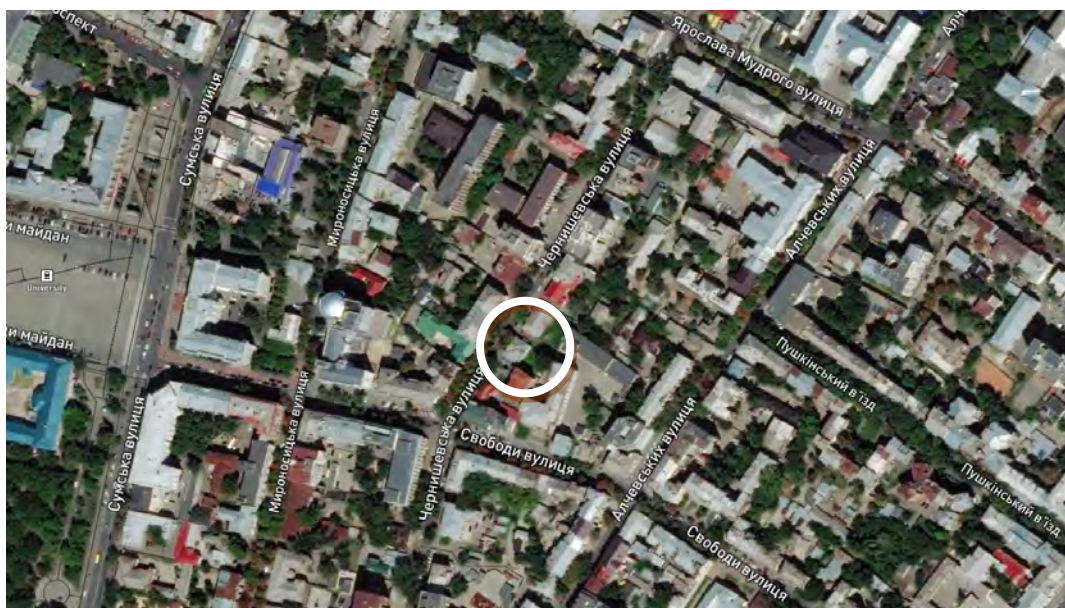


Рис. 1. Розміщення об'єкту обстеження на карті міста.
Fig. 1. Object location on the city map

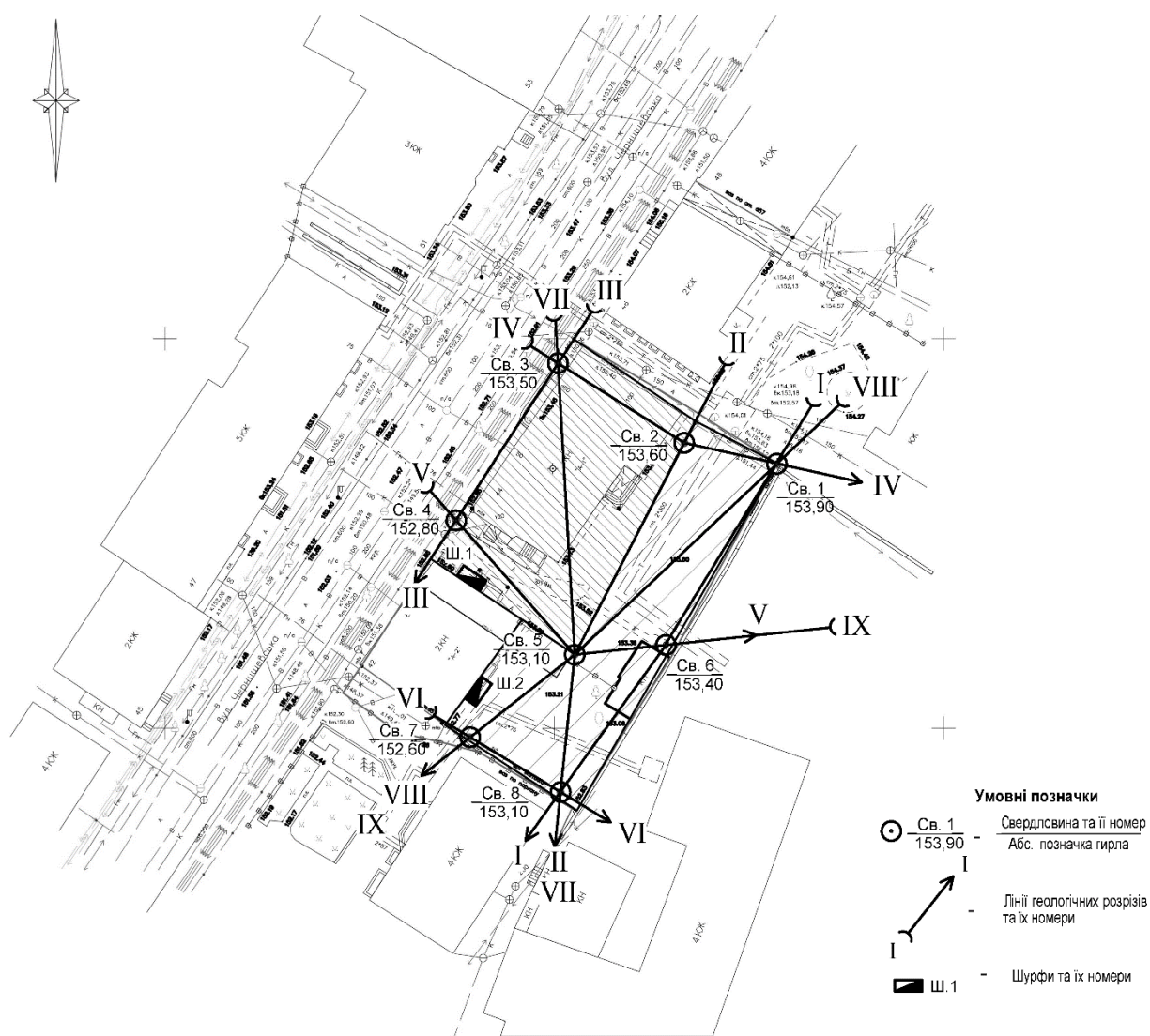


Рис. 2. Схема розташування свердловин на ділянці досліджень.
Fig. 2. Boreholes location on the investigation area

На дослідній території до пройденої глибини 23 м ґрунтові води не зустрінуті. За архівними даними, положення рівня ґрунтових вод можна очікувати на глибинах 28,0 м – 30,0 м від поверхні землі.

У конструктивному відношенні нежитлова будівля за адресою: м. Харків, вул. Чернишевська 42 являє собою одноповерхову прямокутну цегляну будівлю з розмірами в плані 15,25×11,62 м. Орієнтовний термін побудови – початок ХХ сторіччя (загальний вигляд – рис. 4).

До початку будівельних робіт з реконструкції нежитлова будівля за адресою: м. Харків, вул. Чернишевська 42, являла собою прямокутну одноповерхову цегляну будівлю із цоколем поверхом, підвалом під частиною будівлі, дерев'яними та залізобетонними перекриттями і дерев'яною кроквяною системою покриття, що формувала мансардний поверх. На момент дослідження кроквяна система була демонтована,

покрівля будівлі відсутня.

Для кращого розуміння було виконано обмірні креслення та надано умовні прив'язочні осі (рис. 5).

Фундаменти будівлі виконано з керамічної цегли на складному розчині, що використовувався за часів побудови будівлі. Глибина закладання фундаментів біля зовнішніх стін будівлі, та досліджень виконаних під час даного обстеження у підвалі будівлі становить ~ 1,8 м від рівня чистої підлоги 1-го поверху, що відповідає 2,1 – 2,4 м від поверхні вимощення по периметру будівлі (залежно від перепаду рельєфу місцевості).

В результаті комплексного аналізу конструктивної схеми підземної частини будівлі встановлено, що підвальні приміщення було влаштовано після спорудження будівлі шляхом підведення під фундаменти будівлі цегляних підпірних стін товщиною 250 мм на розчині низької марки.

Для визначення конструкції, глибини та ста-

Номер ПЕ	Літологічний склад	Глибина залягання підшви, м	Найменування
а		0,3	Асфальт, гравій, пісок
1		0,8	Насипний шар – суглинок, пісок, чернозем, будівельне сміття, злежаний, R ₀ =120КПа
2		1,2	Ґрунтово-рослинний шар, коричнево-чорний, гумусовий, суглинистий, з корінням рослин
3		1,4	Суглинок сірий, темно-сірий, з корінням рослин, гумусований, твердий
4		3,1	Суглинок жовто-бурий, з включеннями карбонатів, твердої консистенції, просідний
5		4,3	Супісок жовто-сірий, твердої консистенції
6		7,1	Суглинок жовто-бурий, палево-бурий, напівтвердої консистенції, просідний
7		9,5	Пісок жовто-сірий, сірий, дрібний, малого ступеню водонасичення, середньої щільності, з прошарком пісковини
8		13,2	Суглинок бурий, коричнево-бурий, тугопластичної консистенції, з прошарками пісковини
9		18,8	Суглинок коричнево-бурий, світло-коричневий, твердої консистенції
10		20,2	Суглинок темно-коричневий, напівтвердої консистенції, з прошарками глини
11		21,3	Пісок сірий, блакитно-сірий, дрібний, малого ступеню водонасичення, середньої щільності
12		22,5	Глина сіро-зелена, буровато-зелена, твердої консистенції, з прошарками тріщинуватих пісковин

Рис. 3. Геологічна колонка / Fig. 3. Geological column



Рис. 4. Загальний вигляд будівлі, головний фасад.
Fig. 4. Building overview, main facade

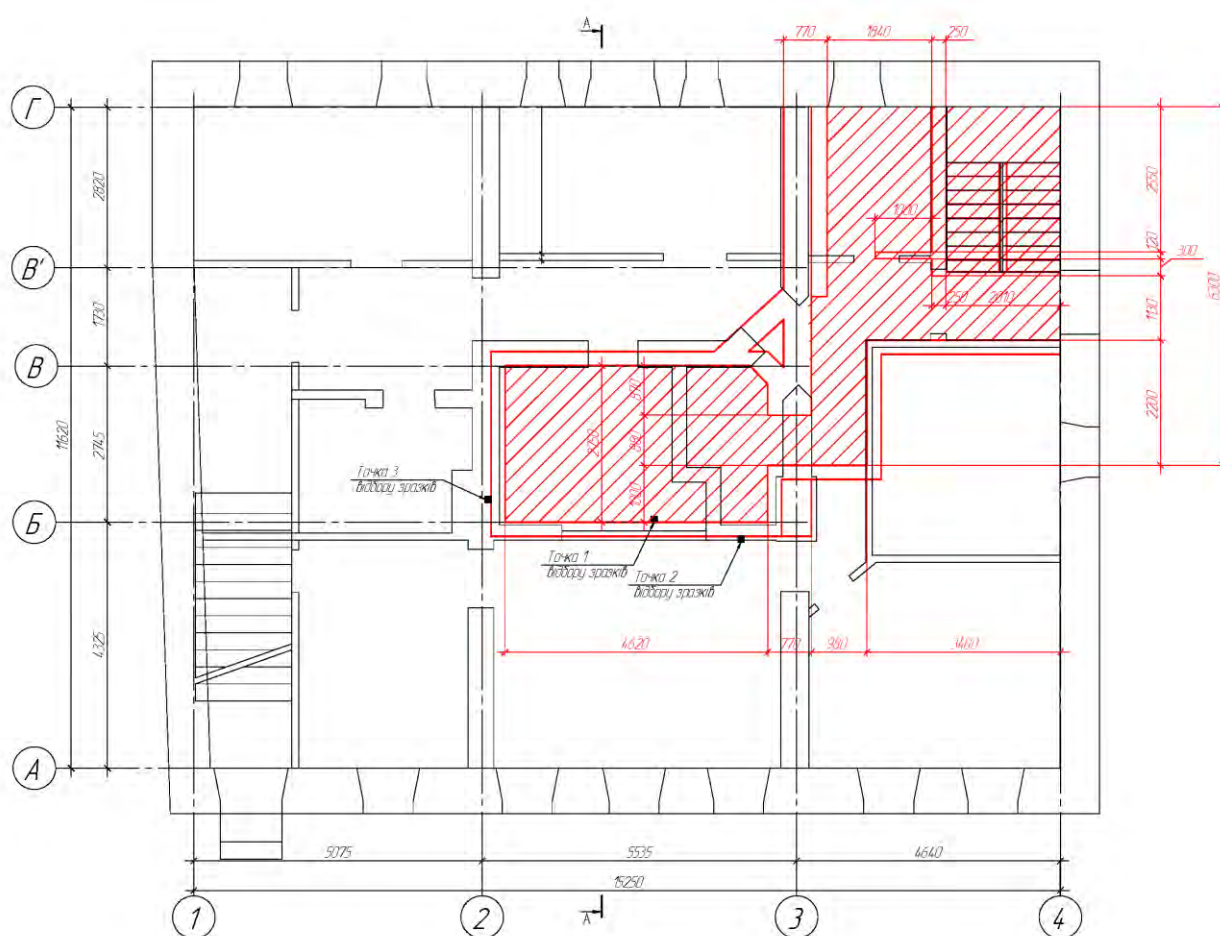


Рис. 5. План підвалу з точками відбору зразків співставлений з планом цокольного поверху будівлі (штриховкою показано підвальну частину).
Fig. 5. Plan of the cellar overlapped with socle floor of the building with sampling points (cellar is hatched)

ну фундаментів було закладено два шурфи з торцевої та зворотної стіни фасаду будівлі, що приймає до майданчику.

Шурф № 1 пройдено згідно вказаної схеми розташування (рис. 1). В результаті обстеження виявлено, що фундаменти стрічкові – цегляна кладка червоної цегли на карбонатно-вапняному розчині (0,80 м), загальною глибиною закладання – 2,00 м (рис. 6). Товща основи фундаменту орієнтовано – 0,80 м. Основою фундаменту слугують суглинки ІГЕ-4, що мають твердий стан, просадні. Фундамент знаходиться в задовільному стані і не має видимих порушень і деформацій. В цілому, по пройдених виробках можна відмітити задовільний стан підземної частини споруд.

Схема шурфу №2 подібна до схеми шурфу №1 і в даній роботі додатково не приводиться.

В рамках даного обстеження було виконано додатковий відбір ґрунтових проб у підвальній частині для комплексного аналізу ситуації у внутрішньому контурі будівлі (місця відбору проб ґрунту див. рис. 7 – 9).

Зразки ґрунту із шурфів у підвальній частині об'єкту обстеження були досліджені у лабораторії кафедри МГФІГ ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. Результати визначення фізико-механічних характеристик відібраних проб наведено в таблиці 1.

Відповідно до характеристик наведених в таблиці 1 ґрунти за точками відбору визначаються наступним чином:

Точка відбору 1: суглинок, жовто-бурий, напівтвердої консистенції, середнього ступеню водонасичення (відповідає ІГЕ 6).

Точка відбору 2: супісок, жовто-бурий, твердий (відповідає ІГЕ 5).

Точка відбору 3: супісок, жовто-бурий, твердий (відповідає ІГЕ 5).

В результаті аналітичного порівняння отриманих даних встановлено високу збіжність з даними інженерно-геологічних вишукувань отриманих буровим способом зовні будівлі, що свідчить про непорушність природного складення інженерно-геологічної будови ґрунту основи будівлі за межами периметру підвальних примі-

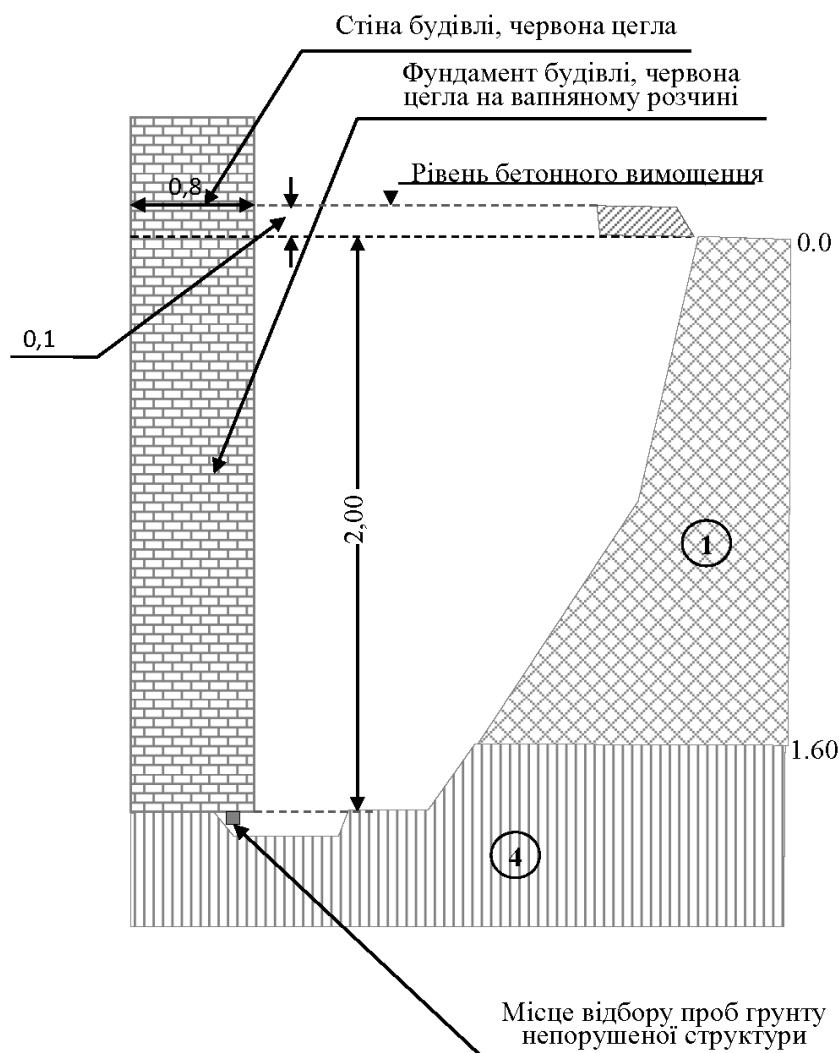


Рис. 6. Схема шурфу №1 / Fig. 6. Bore pit scheme #1



Рис. 7. Точка №1 відбору ґрунту непорушеної структури біля підшви стіни підвалу по осі Б в осях 2-3.
Fig. 7. Soil sampling point #1 of the unbroken structure next to the cellar wall at axis B and 2-3



Рис. 8. Точка №2 відбору ґрунту порушеної структури з-за стіни підвалу по осі Б в осях 2-3.
Fig. 8. Soil sampling point #2 of the broken structure from behind of the cellar wall at axis B and 2-3



Рис. 9. Точка №3 відбору ґрунту порушеної структури з-за стіни підвалу в місці перетину осей Б та 2.
Fig. 9. Soil sampling point #3 of the broken structure from behind of the cellar wall at intersection point of axis B and 2

Нормативні значення фізико-механічних характеристик

Фізико-механічні властивості ґрунтів	Точка відбору 1	Точка відбору 2	Точка відбору 3
Природна вологість, W , %	0,18	0,09	0,07
Вологість на границі текучості, W_L	0,29	0,20	0,17
Вологість на границі пластичності, W_P	0,17	0,14	0,13
Число пластичності, J_p	0,11	0,06	0,04
Показник текучості, J_L	0,02	<0	<0
Щільність ґрунту, ρ , г/см ³	1,89	-	-
Щільність сухого ґрунту, ρ_d , г/см ³	1,61	-	-
Питома вага частинок ґрунту, ρ_s , г/см ³	2,71	-	-
Пористість, n	0,41	-	-
Коефіцієнт пористості, e	0,69	-	-
Коефіцієнт водонасичення, S_r	0,69	-	-
Кут внутрішнього тертя, ϕ , град.	24	-	-
Питоме зчеплення, C , КПа	15	-	-
Модуль деформації, E , МПа	21	-	-
Модуль деформації в водонасиченому стані, E , МПа	13	-	-
Відносне просідання ґрунту ϵ_{sl} , (при $P=0,3$ МПа)	0,017	-	-
Початковий просідний тиск p_{sl} , МПа	0,2	-	-

щень.

Конструктивну схему фундаментів будівлі та стін підвалу в осях 2-3 – Б-В, та 3-4 – Б-Г (в підвальних приміщеннях) (див. рис. 10).

На момент обстеження встановлено, що конструкція цегляних стін підвалу товщиною 250 мм не здатна витримувати сумарну дію вертикального навантаження від фундаментів будівлі та бічного тиску ґрунту ПГЕ 4 котрий є несучим ґрунтом для фундаментів будівлі. Це проявляється в випинанні вказаних стін по осям Б, В та 2 із їх площини і фактичному її руйнуванню по осі 3. Стрічкові фундаменти будівлі котрі примикають до підвального приміщення знаходяться в непридатному до нормальної експлуатації стані через зміну схеми роботи ґрунту основи – ПГЕ 4. А по осі 3 в рядах Б-В' стан фундаментів оцінюється як аварійний через фактичне випинання та руйнування як стін підвалу так і ґрунту основи. Фундамент на вказаній ділянці частково втратив спирання на ґрунт основи і тримається за рахунок перерозподілу навантажень у цегляній стіні вздовж осі 3.

Вказані дефекти стрічкових цегляних фундаментів утворилися внаслідок влаштування підвальних приміщень з рівнем підлоги нижче відмітки підлоги первісно існуючих фундаментів будівлі шляхом підведення під них цегляних стін товщиною 250 мм, котрі не змогли забезпечити несучу здатність навантажень від виниклого бічного тиску ґрунту у поєднанні з вертикальним навантаженням від вищерозміще-

них конструкцій.

При візуальному обстеженні цегляних стін надземної частини будівлі було виявлено наступні недоліки та дефекти:

- утворення вертикальних та навісних тріщин осадочного характеру у зовнішніх несучих стінах будівлі висотою більше ніж 5 рядів кладки з шириною розкриття до 1 см (рис. 11);
- навісні тріщини осадочного характеру цегляних арочних перемичок (рис. 12);
- пошкодження внутрішніх несучої цегляної стіни по осям 3 в рядах Б-В' (рис. 13).

Вказані дефекти несучих цегляних стін вірогідніше за все утворилися внаслідок порушення роботи ґрунтової основи будівлі через влаштування підвальних приміщень під частиною будівлі з рівнем підлоги нижче відмітки підлоги первісно існуючих фундаментів будівлі шляхом підведення під них цегляних стін товщиною 250 мм, котрі не змогли забезпечити несучу здатність навантажень від виниклого бічного тиску ґрунту у поєднанні з вертикальним навантаженням від вищерозміщених конструкцій. Осідання частково стабілізовані перерозподілом напружень у масиві цегляних стін, але можуть відновитися в процесі реконструкції будівлі внаслідок зміни чи збільшення режиму навантаження.

З точки зору геолого-гідрогеологічних умов та геоморфологічних ознак слід відзначити наступне. На території дослідження не спостерігається розвиток зсувних та обвальних процесів,

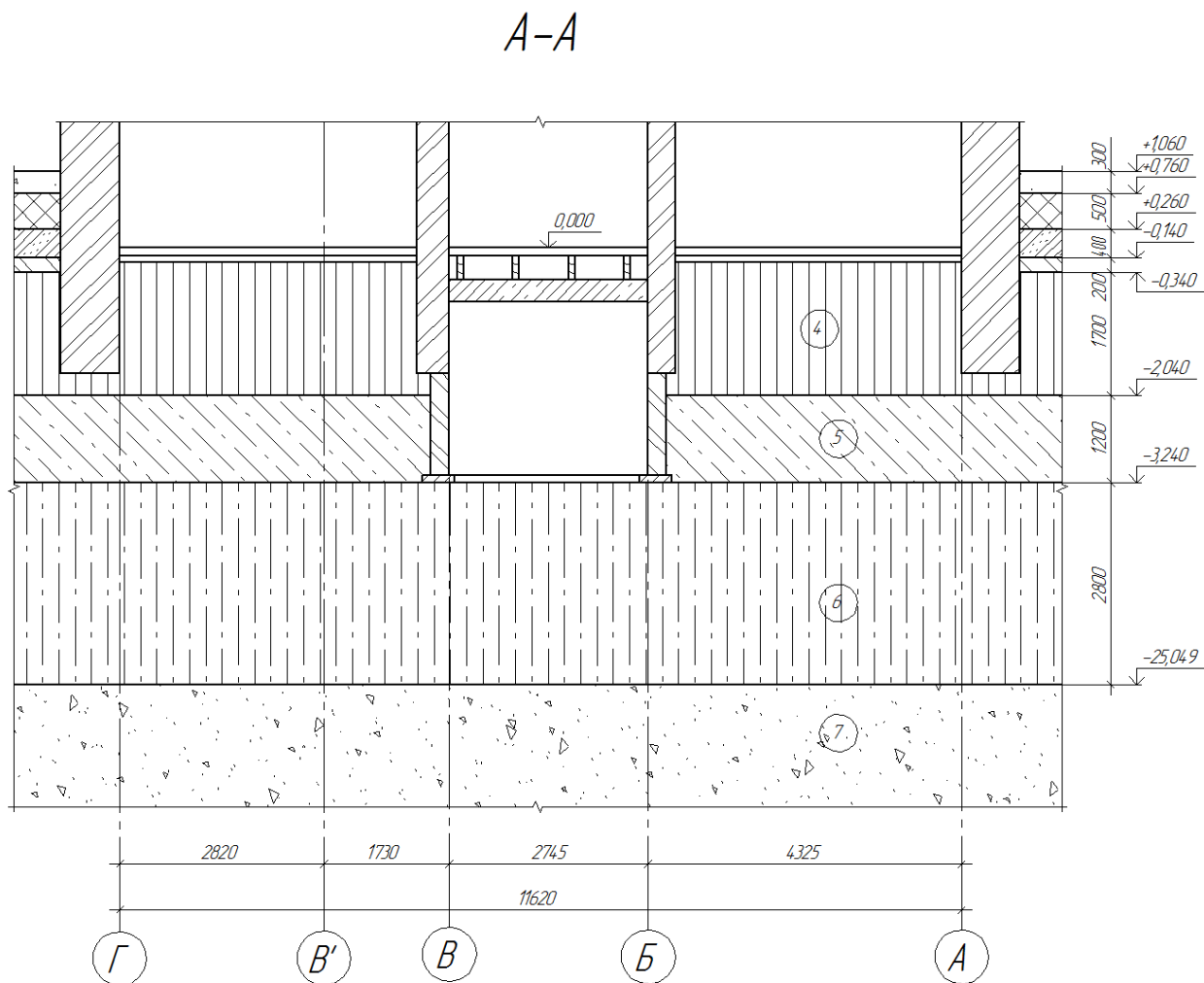


Рис. 10. Конструктивна схема фундаментів будівлі та стін підвалу.
Fig. 10. Structural scheme of building foundations and cellar walls



Рис. 11. Тріщини у зовнішніх стінах / Fig. 11. Cracks in outside walls



Рис. 12. Тріщини в цегляних арочних перемичках.
Fig. 12. Cracks in brick arched bridges



Рис. 13. Пошкодження внутрішньої цегляної стіни на 1-му поверсі.
Fig. 13. Inner brick wall damages on the first floor

карстових та суфозійних явищ. Розвиток провалів, воронок тощо, на даній території не зафіксовано.

В геологічній будові території спостерігається товща лесоподібних суглинків, що при за-

мочуванні проявляє просідні явища. Така поведінка ґрунту, при проектуванні будівель та інженерних споруд потребує виконання комплексних захисних заходів, які включають в себе підсилення конструкцій для сприйняття додаткових

зусиль від нерівномірного осідання фундаментів, облаштування дренажних систем для відведення підземних, поверхневих та техногенних вод.

Інженерно-геологічні умови досліджуваної території змінюються під впливом господарської діяльності людини, що призводить до порушення поверхневого та підземного стоків, змін умов міграції води та зони аерації. В таких умовах ґрунтова товща може бути підвержена впливу води техногенного або природного походження, що призведе до виникнення просідних явищ в ґрунтовому масиві.

Таким чином, пошуковий проноз при виконанні інженерно-геологічних вишукувань на досліджуваній території свідчить про наступні можливі зміни існуючих інженерно-геологічних умов:

- при аварійних витіках води із інженерних комунікацій можливе замочування ІГЕ 4 та 6 яке призведе до вимивання та розчинення карбонатної складової ґрунтів, що може викликати їх просідання і пов'язаного з цим нерівномірного осідання фундаментів будівлі.

Висновки. Отже, як показує практика, некваліфіковане втручання в основу та конструкції будівлі без розробки відповідної проектно-технічної документації, котре майже завжди має місце при обстеженні історичних будівель, ускладнює, як їх дослідження так і подальшу реабілітацію та пристосування до сучасних норм.

Зокрема проведене дослідження даної будівлі дозволяє стверджувати наступне:

- основою усіх стрічкових фундаментів будівлі є ІГЕ 4 – суглинок жовто-бурий твердої консистенції, в водонасиченому стані м'якопластичний, просадний;
- підвальні приміщення було влаштовано після спорудження будівлі шляхом підведення під фундаменти будівлі цегляних підпірних стін товщиною 250 мм на розчині низької марки котрі

наразі сприймають навантаження бокового тиску ґрунту ІГЕ 5;

- стіни підвальних приміщень мають своєю основою ІГЕ 6 – суглинок жовто-бурий, палево-бурий, напівтвердої консистенції, в водонасиченому стані м'якопластичний, просідний потужністю 2,8 м котрий у разі замочування може дати просадку у розмірі до 4 см.

Для забезпечення подальшої нормальної та безпечної експлуатації обстежуваної будівлі необхідно:

- виконати організоване відведення атмосферних опадів, запобігати витікам з інженерних мереж.

- необхідно негайно вжити заходів з відновлення кладки стін підвалу на вказаних ділянках, та забезпечити компенсацію бічного тиску ґрунту влаштуванням тимчасових розпорок. В разі відсутності необхідності експлуатації підвального приміщення після реконструкції будівлі його рекомендується засипати під час заміни непридатного для нормальної експлуатації надпідвального перекриття. Матеріалом засипки має бути піщано-щебенева суміш ущільнена шарово до $K_{com} \geq 0,95$ (потужність шарів ≤ 30 см).

- наявні у підвалі каналізаційні та інші комунікації рекомендується перенести для зручного їх обслуговування чи ревізії, що передбачити при розробці розділу ВК проекту реконструкції.

- довантажувати несучу стіну по осі 3 в осях Б-В' в проекті реконструкції – не рекомендується через неможливість точного розрахунку залишкової несучої здатності ґрунтової основи після вже відбувшогося її випинання і можливості виникнення додаткових осідань фундаменту. Довантажувати несучу стіну по осі 2 між осями Б-В також не рекомендується через наявність в ній великої кількості каналів та димоходів.

Список використаної літератури

1. Босенко Е. В. Анализ характеристик ценного исторического здания с целью выявления ресурсного потенциала приспособления к современному использованию [Текст] / Е. В. Борисенко // Архитектура: сб. науч. тр. – Минск, 2019. – № 12. – С. 206–212.
2. Клименко І. Оцінка пам'яток історії, архітектури та містобудування [Текст] / І. Клименко // Київ: АртЕк, 2006. – 287 с.
3. Прибєга Л. В. Архитектурна пам'яткоохоронна методика як наукова дисципліна [Текст] / Л. В. Прибєга // Праці центру пам'яткознавства: науковий збірник. – Київ, 2010. – Вип. 17. – С. 16–21. Режим доступу: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/79443>
4. Rosenfeld Y. Decision support model for semi-automated selection of renovation alternatives [Текст] / Y. Rosenfeld // Automation in Construction, 1999. – Вип. 8. – С. 503–510. – Режим доступу: <https://cris.bgu.ac.il/en/publications/decision-support-model-for-semi-automated-selection-of-renovation-2>. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0926-5805\(98\)00097-1](https://doi.org/10.1016/S0926-5805(98)00097-1)
5. Douglas J. Building Adaptation: Second Edition [Текст] / J. Douglas // Oxford: Butterworth-Heinemann, 2006. – 651 p.
6. Frediani P. Cultural Heritage: Protection, Developments and International Perspectives. [Текст] / P. Frediani // New York: Nova Science Publishers, 2013. – 312 p.

7. Акуленко В. І. Міжнародне право охорони культурних цінностей та його імплементація у внутрішньому праві України. [Текст] / В. І. Акуленко // Київ: Юстініан, 2013. – 616 с.
8. Green M. Building codes for existing and historic buildings [Текст] / M. Green // Hoboken, New Jersey: John Wiley&Sons, Inc., 2012. – 248 p.
9. Кондель-Пермінова Н. Інтеграція пам'яток архітектури та містобудування в сучасний соціокультурний контекст [Текст] / Н. Кондель-Пермінова // Сучасні проблеми дослідження, реставрації та збереження культурної спадщини: зб. наук. пр. з мистецтвознавства, архітектурознавства й культурології. – Київ, 2008. – Вип. 5. – С. 94–112. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Spdr_2008_5_8
10. Cullinane J. Maintaining and Repairing Old and Historic Buildings [Текст] / J. Cullinane // Hoboken, New Jersey: John Wiley&Sons, Inc., 2003. – 260 p.
11. Беломесяцев А. Б. Економічні основи архітектури [Текст] / А. Б. Беломесяцев // Київ: Фенікс, 2008. – 400 с.
12. Wilkinson S. J. Sustainable Building Adaptation: Innovations in Decision-making [Текст] / S. J. Wilkinson // Chichester: Wiley, 2014. – 2011 p.
13. Gorse C. Refurbishment and Upgrading of Buildings [Текст] / C. Gorse // Second edition. London: Spon Press, 2009. – 263 с.
14. Лесик О. В. Принципи реставрації пам'яток архітектури. Традиції та новаторство [Текст] / О. В. Лесик // Українська академія мистецтв, 2013. – Вип. 21. – С. 97–103. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Uam_2013_21_13.pdf
15. Schittich C. Refurbishment: Best of Detail [Текст] / C. Schittich // Herausgeber, 2015. – 200 p.
16. Giebler G. Refurbishment Manual: maintenance conversions extensions [Текст] / G. Giebler // Basel: Birkhauser, 2009. – 279 p.
17. Schittich C. Building in Existing Fabric: Refurbishment, Extensions New Design [Текст] / C. Schittich // Basel: Birkhäuser Architecture, 2003. – 176 p.
18. Артішевський А. Е. Деякі аспекти збереження і використання збереження культурної спадщини [Текст] / А. Е. Артішевський // Сучасні проблеми дослідження, реставрації та збереження культурної спадщини: зб. наук. пр. з мистецтвознавства, архітектурознавства й культурології. Київ, – 2007. – Вип. 4. – С. 392–396.
19. Wilkinson S. J. Sustainable Building Adaptation: Innovations in Decision-making [Текст] / S. J. Wilkinson // Chichester: Wiley, 2014. – 2011 p.
20. Партика Р. Архітектурно-планувальна реконструкція та сучасне використання пам'яток архітектури [Текст] / Р. Партика // Вісник Львівського національного аграрного університету, 2014. – Вип. 15. – С. 173–177. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vldau_2014_15_31.pdf
21. Aleksandrovych V. A. Investigation of the Influence of Dynamic Loads of Industrial Equipment on the Occurrence of Prolonged Yielding of their Foundation Soils / V. A. Aleksandrovych, O. V. Havryliuk // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2021. – Vol. 1021(1) 012010. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1021/1/012010>
22. Levenko H. M. Reconstruction of Shallow Foundations Using Peracetic Silicate Solutions / H. M. Levenko, V. A. Aleksandrovych // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2021. – Vol. 1021(1) 012010. DOI: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1021/1/012010>

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Особенности инженерно-геологических изысканий при обследовании исторической застройки г. Харькова

Вадим Анатольевич Александрович¹,

к. т. н., доцент, зав. кафедры механики грунтов, фундаментов и инженерной геологии,
¹Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова,
ул. Маршала Бажанова, 17, г. Харьков, 61002, Украина;

Ольга Владимировна Гаврилюк¹,

ст. преп. кафедры механики грунтов, фундаментов и инженерной геологии;

Валерий Васильевич Сухов²,

к. геол. н., зав. лаб., ²Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина,
пл. Свободы, 4, г. Харьков, 61022, Украина

Большой объем исторических объектов, которые требуют капитального ремонта, реконструкции и приспособления к современному использованию диктует необходимость перехода на более быстрые и надежные технологии восстановления памятников архитектуры. В связи с этим возникает необходимость комплексного подхода в ходе проведения восстановительных работ. При реконструкции здания первостепенное значение имеет прочность и устойчивость элементов сооружения, что зависит от правильного выбора конструктивной схемы, учета при проектировании всех возможных нагрузок, а также качественного выполнения строительных работ. В статье показывается сложность получения достоверных данных геологических условий при реконструкции нежилого здания исторической застройки в городе Харькове, основанных на ранее проведенных инженерно-

геологических изысканиях. В ходе проведения работ было выявлено отсутствие проектной и исполнительной документации на здание, а также неквалифицированное вмешательство в ее конструктив. Поэтому одним из ключевых вопросов стало определение фактической конструкции фундамента, а также типа и состояния ее грунтового основания. В результате комплексного анализа конструктивной схемы подземной части здания установлено, что подвальное помещение было обустроено после возведения здания. Для определения конструкции, глубины и состояния фундамента были заложены шурфы с торцевой и обратной стены фасада здания. Так же в рамках данного обследования для комплексного анализа ситуации во внутреннем контуре здания были отобраны образцы грунта в подвальной части здания для определения физико-механических характеристик. На основе полученных данных были выданы рекомендации для дальнейшей реконструкции нежилого здания исторической застройки города. Таким образом показано, что неквалифицированное вмешательство в основу и конструкции здания без разработки соответствующей проектной и исполнительной документации, которое почти всегда имеет место при обследовании исторических зданий, усложняет, как их исследования, так и последующую реабилитацию и приспособление к современным нормам.

Ключевые слова: инженерно-геологические изыскания, грунты, грунтовая основа, фундаменты, историческая застройка, реконструкция, конструктивная схема.

Peculiarities of engineering and geological surveys when inspecting the historical building of Kharkiv

Vadym Aleksandrovych¹,

¹PhD (Technics), Associate Professor, Department of Soil Mechanics, Foundations and Engineering Geology
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv,
17, Marshal Bazhanov Street, Kharkiv, 61002, Ukraine;

Olha Havryliuk¹,

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

Valeriy Sukhov²,

PhD (Geology), Senior Lecturer, Department of Geology,

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

ABSTRACT

Formulation of the problem. The large volume of historic buildings that require major repairs, reconstruction and adaptation to modern use dictates the need to move to faster and more reliable technologies of architectural monuments restoration. In this regard, there is a need for a complex approach during the restoration work.

The purpose of the article is to investigate the difficulty of obtaining the correct conclusions about the geological conditions of the building placement as a result of previously unqualified repair works on the example of engineering-geological surveys during the reconstruction of a historic building.

Materials and methods. To achieve the goal, the analysis of engineering-geological conditions of the soil base of the building, visual inspection of the building, soil sampling from the pits in the basement of the survey object, as well as determining the physical-mechanical characteristics of the soil have been done. An analytical comparison of these data was performed to understand the constructive solution of the building foundations and engineering-geological conditions of their support.

Results. During the working process, the lack of design and executive documentation for the building, as well as unqualified interference in its structure, was revealed. Therefore, one of the key issues was to determine the actual structure of the foundation, as well as the type and condition of its soil base. As a result of a complex analysis of the structural scheme of the underground part of the building, it was established that the basement was equipped after the construction of the building. To determine the structure, depth and condition of the foundation, pits were laid from the frontal and back walls of the building facade, which is adjacent to the site. During the laboratory studies of the soils, physical-mechanical characteristics were obtained for calculating building structures. Based on the data obtained, recommendations were issued for the further reconstruction of a non-residential building of the historical development of the city.

Scientific novelty and practical significance. The necessity to research the actual technical state of building structures of a historical building is substantiated to assess the possibility of further reliable and safe operation according to its direct functional purpose, with the development of technical solutions and recommendations for further reconstruction of the building according to the needs of the customer, and ensuring its further uninterrupted and safe operation.

The practical application of the proposed results has been substantiated - the need for a complex approach during the restoration work for the further reconstruction of a non-residential building of the historical buildings of the city has been confirmed.

Keywords: engineering-geological surveys, soils, soil base, foundations, historical building, reconstruction, structural scheme.

References

1. Bosenko E. V. (2019). Analiz kharakteristik tsennogo istoricheskogo zdaniya s tsel'yu vyyavleniya resursnogo potent-siala prispособleniya k sovremennomu ispol'zovaniyu. [Analysis of the characteristics of a valuable historic build-ing in order to identify the resource potential of adaptation to modern use]. Arkhitektura: sb. nauch. tr. Minsk, 12, 206–212. [in Russian]
2. Klimenko I. (2006). Otsinka pamyatok istorii, arkhitekturi ta mistobuduvannya. [Assessment of monuments of history, architecture and urban planning]. Kyiv: ArtEk, 287. [in Russian]
3. Prybieha L. V. (2010). Arkhitekturna pamiatkoohoronna metodyka yak naukova dystsyplina. [Architectural conser-vation techniques as a scientific discipline]. Pratsi tsentru pamiatkoznavstva: naukovyi zbirnyk. Kyiv, 17, 16–21. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/79443> [in Ukrainian]
4. Rosenfeld Y. (1999). Decision support model for semi-automated selection of renovation alternatives. Automation in Construction, 8, 503–510. [in English]. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0926-5805\(98\)00097-1](https://doi.org/10.1016/s0926-5805(98)00097-1)
5. Douglas J. (2006). Building Adaptation: Second Edition. Oxford: Butterworth- Heinemann, 651.
6. Frediani P. (2013). Cultural Heritage: Protection, Developments and International Perspectives. New York: Nova Science Publishers, 312.
7. Akulenko V. I. (2013). Mizhnarodne pravo okhorony kulturnykh tsinnosti ta yoho implementatsiia u vnutrishnomu pravi Ukrainy [International law of protection of cultural values and its implementation in the domestic law of Ukraine]. Kyiv: Yustinian, 616. [in Ukrainian]
8. Green M. (2012). Building codes for existing and historic buildings. Hoboken, New Jersey: John Wiley&Sons, Inc., 248.
9. Kondel-Perminova N. (2008). Intehratsiia pamiatok arkhitektury ta mistobuduvannya v suchasnyi sotsiokulturnyi kontekst [Integration of architectural and urban monuments into the modern socio-cultural context]. Suchasni prob-lemi doslidzhennia, restavratsii ta zberezheniia kulturnoi spadshchyny: zb. nauk. pr. z mystetstvoznavstva, arkhitekturoznavstva y kulturolohii. Kyiv, 5, 94–112. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Spdr_2008_5_8. [in Ukrainian]
10. Cullinane J. (2003). Maintaining and Repairing Old and Historic Buildings. Hoboken, New Jersey: John Wiley&Sons, Inc., 260.
11. Bielomiesiatsev A. B. (2008). Ekonomichni osnovy arkhitektury. Kyiv: Feniks, 400. [in Ukrainian]
12. Wilkinson S. J. (2014). Sustainable Building Adaptation: Innovations in Decision- making: Innovations in Decision-making. Chichester: Wiley, 2011.
13. Gorse C. (2009). Refurbishment and Upgrading of Buildings. Second edition. London: Spon Press, 263.
14. Lesyk O. V. (2013). Pryntsypy restavratsii pamiatok arkhitektury. [Principles of restoration of architectural monu-ments. Traditions and innovation]. Tradysii ta novatorstvo. Ukrainska akademiia mystetstv, 21, 97–103. Available at: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Uam_2013_21_13.pdf [in Ukrainian]
15. Schittich C. (2015). Refurbishment: Best of Detail. Herausgeber, 200.
16. Giebel G. (2009). Refurbishment Manual: maintenance conversions extensions. Basel: Birkhduser, 279.
17. Schittich C. (2003). Building in Existing Fabric: Refurbishment, Extensions New Design. Basel: Birkhäuser Archi-tecture, 176.
18. Artishevskiy A. E. (2007). Deiaki aspekty zberezheniia i vykorystannia zberezheniia kulturnoi spadshchyny. [Some aspects of preservation and use of cultural heritage preservation]. Suchasni problemy doslidzhennia, restavratsii ta zberezheniia kulturnoi spadshchyny: zb. nauk. pr. z mystetstvoznavstva, arkhitekturoznavstva y kulturolohii. Kyiv, 4, 392–396. [in Ukrainian]
19. Wilkinson S. J. (2014). Sustainable Building Adaptation: Innovations in Decision-Sustainable Building Adaptation: Innovations in Decision-making. Chichester: Wiley, 2011.
20. Partyka R. (2014). Arkhitekturno-planuvalna rekonstruktsiia ta suchasne vykorystannia pamiatok arkhitektury. [Ar-chitectural and planning reconstruction and modern use of architectural monuments]. Visnyk Lvivskoho natsional-noho ahrarnoho universytetu, 15, 173–177. Available at: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vldau_2014_15_31.pdf. [in Ukrainian]
21. Aleksandrovych V. A., Havryliuk O. V. (2021). Investigation of the Influence of Dynamic Loads of Industrial Equip-ment on the Occurrence of Prolonged Yielding of their Foundation Soils. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 1021(1) 012010. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1021/1/012010>
22. Levenko H. M., Aleksandrovych V. A. (2021). Reconstruction of Shallow Foundations Using Peracetic Silicate Solu-tions. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 1021(1) 012010. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1021/1/012020>

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 13 September 2021

Accepted 28 September 2021

Gas-hydrogeochemical conditions of the Bilche-Volytsia oil-gas-bearing area (Carpathian foredeep, Ukraine)

Vasyl Yu. Harasymchuk¹,

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

¹Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine,

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

e-mail: v_harasymchuk@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-4377-2655>;

Halyna B. Medvid¹,

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

e-mail: halmedvid@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5059-245X>;

Tatiana V. Solovey²,

DSc (Geography), Professor, ²Polish Geological Institute – National Research Institute,

Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa, Poland,

e-mail: tatiana.solovey@pgi.gov.pl, <https://orcid.org/0000-0001-8949-4075>

ABSTRACT

Introduction. Water-dissolved gases in exploratory oil and gas hydrogeology are the fundamental criteria of oil and gas potential. Their quantitative and qualitative characteristics allow to study the conditions of formation and preservation of the hydrocarbon deposits and to identify the perspective searching areas.

The purpose of article was to determine the vertical and lateral gas-hydrogeochemical zonation of the Bilche-Volytsia oil and gas zone, to assess the role of water-dissolved gases in the formation of gas fields with the prospect of predicting new hydrocarbon deposits.

The research methods base on the calculation and interpretation of the following parameters: gas saturation of water, saturation pressure, gas saturation coefficient. Graphs of dependences based on experimental studies from published scientific publications were used to determine the solubility of methane.

The results of research. Nitrogen-methane composition of water-dissolved gases of the Upper Jurassic and Upper Cretaceous aquifers in combination with specific geochemical characteristics of groundwater of the north-western and central parts of the Bilche-Volytsia OGBA indicate the open hydrodynamic conditions, which, in general, are unfavourable for the formation and preservation of hydrocarbon deposits. In deep-submerged reservoirs of the south-eastern part of this area, water-dissolved gases of the Upper Jurassic and Upper Cretaceous aquifers are characterized by high contents of methane homologues.

In the Upper Badenian aquifer the lateral distribution of water-dissolved methane is presented in the growth of its portions from the West and East European platforms in the direction of the sub-submerge of the Carpathians, which is due to an increase in the degree of hydrogeological closure of structures. Increased methane contents also spatially tend to transverse tectonic faults, which determines their role in the vertical migration of water-hydrocarbon mixtures.

Water-dissolved gases of the highly productive Lower Sarmatian aquifer are mainly methane, occasionally nitrogen-methane. The gas saturation of the waters directly correlates with the proximity to gas deposits. Laterally, the portion of water-dissolved methane is directly correlated with TDS of water, the high values of which accordingly reflect the structures of a high degree of hydrogeological stagnation.

Conclusions. The portions of water-dissolved methane increase from the West and East European platforms in the direction of the sub-submerge of the Carpathians, which is effect of higher degree of hydrogeological closure of structures. It has been established that water-dissolved methane, nitrogen and carbon dioxide have different sources of origin and different spatiotemporal mechanisms of water saturation. The hydrodynamically closed structures (favourable for the formation and preservation of hydrocarbon deposits) characterized by high relative and absolute contents of dissolved methane. Increased methane contents also spatially tend to transverse tectonic faults, which determines their role in the vertical transportation of water-hydrocarbon mixtures. Deep hydrodynamically closed aquifers of the Bilche-Volytsia OGBA often are marked by high nitrogen contents of non-air origin. Its source can be rock organic matter, bound rock nitrogen released during metamorphism, nitrogen of deep genesis.

Keywords: Bilche-Volytsia oil-gas-bearing area, water-dissolved gases, gas saturation of water.

In cites: Harasymchuk V. Yu., Medvid H. B., Solovey T. V. (2021). Gas-hydrogeochemical conditions of the Bilche-Volytsia oil-gas-bearing area (Carpathian foredeep, Ukraine). Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (55), 37-51. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-03>

Introduction. Water-dissolved gases in exploratory oil and gas hydrogeology are the fundamental criteria of oil and gas potential. Their quantitative and qualitative characteristics allow to study the conditions of formation and preservation of the hydrocarbon deposits and to identify the perspective searching areas. The amount and composition of

water-dissolved gases depend mainly on the presence of hydrocarbon deposits, organic matter in rocks, tectonic, lithological and hydrogeological conditions of the region [1, 2, 3]. The area of gas scattering of hydrocarbon deposits, which can be located in both adjacent and upper aquifers, plays the main role. The gas scattered aureole occurs due

to the destruction of hydro-carbon deposits and diffusion-filtration movement of components from deposits into formation waters [4]. According to Kartsev A. [5], the most favourable for the saturation of groundwater with hydrocarbon gases are the reducing conditions on the exfiltration stages of the hydrogeological history of the artesian basin.

Studies of natural dissolved gases and their impact on the formation of gas fields performed in the Republic of China found that Weiyan gas field in the Sichuan River basin was formed by degassing and accumulation of dissolved gases due to the decrease of formation pressures and temperatures in aquifers during the rise of tectonic structures of the Himalayas [6]. The following conclusions were expressed on the results of studying of geochemical and isotopic features of formation waters, and also isotopic characteristics of carbon of free and water-dissolved gases.

Also, the results of carbon isotopes studies of free and water-dissolved gases of the Central, South-Western and Southern gas-bearing areas of Sichuan confirmed the mechanism of formation of deposits due to degassing of hydrocarbons from formation waters [7].

The mechanism of gas fields formation in Western Siberia (Russia) is seen in the release of dissolved gas from the Cretaceous aquifer complex due to lower formation pressures and temperatures during its geodynamic rise in the Quaternary period [8]. Such conclusions were made by researchers in the analysis of petrophysical, hydrodynamic, hydrochemical characteristics of aquifers and isotopic studies of hydrocarbon components of free and water-dissolved gases.

In Ukraine, based on the study of hydrogeochemical characteristics, qualitative and quantitative characteristics of dissolved gases, the criteria of gas potential of the Black Sea artesian basin were clarified [9, 10].

For the Carpathian Oil and Gas-Bearing Province, it was found that the high gas saturation of waters and high P_g/P_f (gas pressure/formation pressure) ratio indicate the prospects of Sarmatian sediments of the Outer Zone of the Carpathian Foredeep in terms of gas potential. The sediments of the Upper Badenian of the central part of the Outer Zone are characterized by unfavourable conditions for the preservation of hydrocarbon deposits, due to the significant content of water-dissolved nitrogen. Based on the qualitative and quantitative characteristics of the water-dissolved gases, reservoir thicknesses and their porosity parameters, the resources of water-dissolved gases of the Outer Zone were quantified. For the Neogene complex, they are 100, for the Cretaceous - 6, for the Jurassic - 28 billion m^3 [11].

According to isotope studies of methane carbon and carbon dioxide carbon [12], the methane generation temperatures of the Outer Zone of the Carpathian Foredeep are 40-135 °C. This allowed the researchers to predict the generation of methane at depths of 2.3-4.3 km. For the Inner Zone of the Carpathian Foredeep, the calculated generation temperatures are 170-355 °C, which corresponds to depths of 8-17 km.

The values of $\delta^{13}C$ in methane of free gases of the Carpathian region vary in the range of -70 - -18 ‰ [13]. The distribution is displayed in the growth of $\delta^{13}C$ with depth increasing, and laterally – from the Outer Zone through the Inner Zone and Folded Carpathians to Transcarpathia. According to this researcher, methane and carbon dioxide gases have thermocatagenetic and thermometamorphic origins, and their sites do not correspond to the sites of formation.

Pavliukh [14] sees the formation of Bilche-Volytsia OGBA gas deposits in “the presence of supplying deep faults, the characteristic of their contact with permeable layers through which gas migrated into the raised structures; the presence of the formations with good reservoir properties, covered by aquitards, and the presence of the traps with favorable conditions for the accumulation of hydrocarbons and their long-term storage”.

Maievskii and Kurovets [15] consider the mechanism of formation of hydrocarbon deposits both in the Carpathian Foredeep and other oil and gas regions, as pulsation-sequential subvertical (vertical) migration of fluid hydrocarbon systems of deep genesis by zones of intersection of tectonic faults.

Despite a certain number of researches on water-dissolved gases of Bilche-Volytsia OGBA, the role of these gases in the mechanism of formation of hydrocarbon deposits and their oil-gas-bearing criteria are still not fully clarified.

The study aim was to determine the vertical and lateral gas-hydrogeochemical zonation of the Bilche-Volytsia oil and gas zone, to assess the role of water-dissolved gases in the formation of gas fields with the prospect of predicting new hydrocarbon deposits.

Geological structure and oil-gas-bearingness. Bilche-Volytsia OGBA is confined to the Outer Zone of the Carpathian Foredeep (Fig. 1). The Outer Zone from the north-east is separated from the old East European platform and the young West European platform by a system of regional tectonic faults. From the south-west, the formations of the Inner Zone of the Carpathian Foredeep cover the Outer Zone. The north-western part of the Outer Zone is formed by Badenian and Sarmatian sandy-clay deposits up to 4000-4500 m thick. Most of the

gas fields of Bilche-Volytsia OGBA are connected with this part of these formations.

Neogene, Cretaceous and Jurassic rock complexes are regionally oil-gas-bearing here. The gas

deposits are associated with Miocene sandstone reservoirs, oil deposits – with Upper Cretaceous sandstone reservoirs and Upper Jurassic limestones. The porosity of sandstones is 18–23 %. The depth of

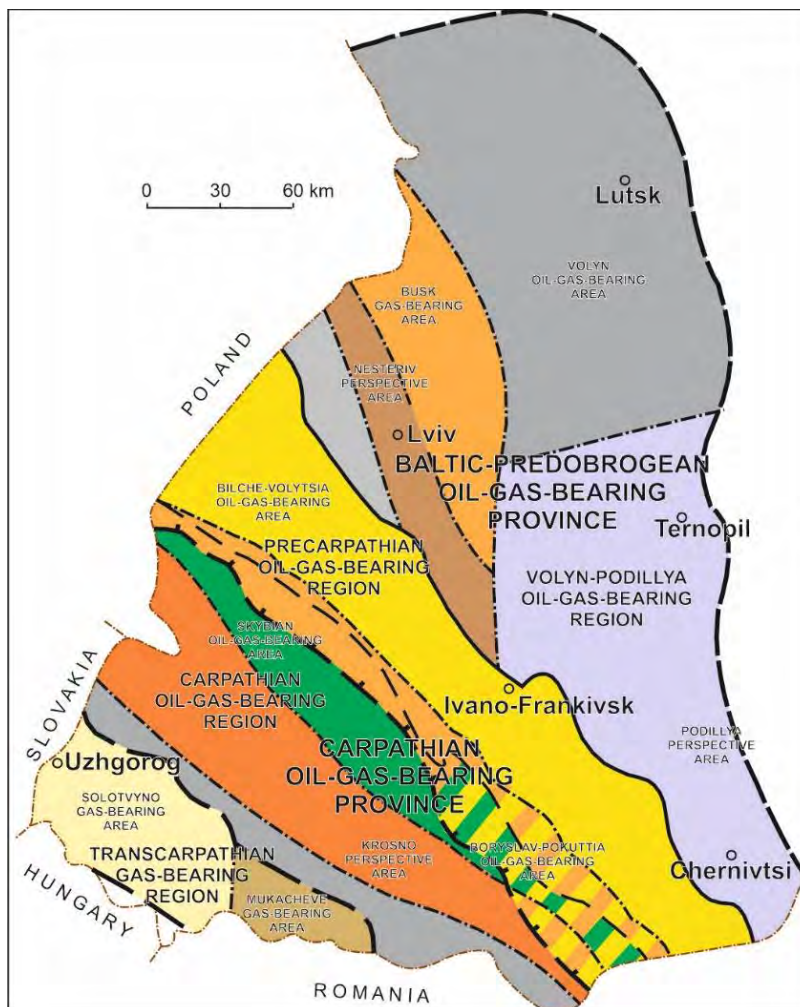


Fig. 1. Scheme of oil-gas-geological zoning of western Ukraine [16]

gas deposits varies from 500 to 1500 m, their thickness - from several tens of meters up to 200 m. The absolute free gas flow rate currently reaches 7 million m³/day [17]. In the Bilche-Volytsia OGBA 72 hydrocarbon fields were explored, most of which are gas fields and only 7 - gas condensate, oil and oil-gas fields.

Data and research methods. Data on hydrogeochemical, geothermal, hydrodynamic parameters of the aquifers, qualitative and quantitative characteristics of water-dissolved and free gases of Bilche-Volytsia OGBA were obtained from the data funds of SE "Lvivgazvydobuvannia" and SE "Zakhidukr-geolo-giia", which were determined during testing of the boreholes (sampling of formation waters, measurements of formation pressures and temperatures, degassing of samplers). The total number of analyzed samples of water-dissolved gases used in this work is 255.

In this work, the following groundwater param-

eters are calculated and used:

Gas saturation of water – the volume of gas, dissolved in a unit of water volume under normal conditions ($P = 760$ mm Hg, $T = 20^{\circ}\text{C}$). Gas saturation is the sum of all water-dissolved gases. The solubility of gases in water depends on the composition of the gas, the pressure of gas and water, temperature and TDS (total dissolved solids) in water. At pressures up to 5 MPa, the solubility of gases is calculating according to Henry's law. In oil and gas hydrogeology, this method is not used due to much higher pressures.

Saturation pressure – the pressure at which all the gas is in a dissolved state. If the formation water pressure is greater than the saturation pressure, the water is able to dissolve an additional amount of gas. If the water pressure is less than the saturation pressure, then part of the gas is released into the free phase and under favourable conditions can form deposits.

Gas saturation coefficient – is equal to the volume of water-dissolved gas divided by its solubility value under appropriate conditions (temperature, pressure, TDS in water) [18].

To determine the solubility of methane (the maximum possible content under certain PT conditions) were used graphs of its solubility, based on experimental studies [19]. First, the solubility of methane in distilled water (S_{dw}) was determined at the appropriate formation pressure and temperature, then the correction coefficient (α) for TDS in water was determined. The general formula is as follows:

$$S = S_{dw}\alpha, \quad (1)$$

This method makes it possible to determine the solubility of methane basing on the same pressure of water and gas. The results of the calculations performed according to this method generally coincide with the methane solubility data calculated [20] based on the equation of state and Pitzer's theory [21].

The diagrams and tables [1] calculated on the basis of experimental data [22, 23] were also used to estimate the solubility of methane in formation waters at different methane pressures, TDS and water temperatures. To present the chemical composition of natural gases, which are the mixtures of several components, the classification by their prevalent components [13] was used.

Results and discussion. Water-dissolved gases of the *Upper Jurassic aquifer* (J_3) were disclosed by the boreholes in the north-western, central and south-eastern parts of the Bilche-Volytsia OGBA and taken in the number of 20 samples.

In the north-western and central parts, water-dissolved gases were found in the depth interval of 1131–3307 m (the Kokhanivka, Nyklovychi, Rudky, Hrushiv, Medenychi, Letnia, and Bohorodchany fields). They had mostly nitrogen-methane composition. The parts of methane were 76-95 % vol. (% of volume), nitrogen – 1-11 % vol., homologues of methane – 0-3 % vol., carbon dioxide – 0.1-3 % vol. There is a regularity of reducing the portions of methane by increasing the amount of nitrogen at a distance from gas deposits and deconsolidated areas of tectonic faults.

In the well intervals far from gas deposits (boreholes Nyklovychi-27, Letnia-41), water-dissolved gases with methane content of 20 and 24 % vol. accordingly, nitrogen – 41 and 51 % vol., carbon dioxide – 37 and 24% vol., homologues – up to 3.16% vol. were discovered.

In the south-eastern part of the Bilche-Volytsia OGBA, water-dissolved gases were sampled in the depth interval of 1595-5421 m at the Krasnoilsk gas field and Lopushna oil field. In the deep reservoirs of the Lopushnya field, the contents of methane are

65-94 % vol., nitrogen – 1-33 % vol., carbon dioxide – 0.3-3.6 % vol., homologues – 0.4-27 % vol. In the borehole Krasnoilsk-1 (the interval of 1570-1620 m, 400 m deeper than the existing gas deposit) water-dissolved gases with a methane content of 52 % vol., nitrogen – 46% vol., carbon dioxide - 1% vol., homologues – 1% vol. were found.

The gas saturation of the waters of the Upper Jurassic aquifer in the borehole Lopushna-8 within the productive horizon was 0.31 m³/m³. In the Krasnoilsk gas field, the gas saturation of the unproductive Upper Jurassic horizon was 0.29 m³/m³.

Water-dissolved gases of the *Upper Cretaceous aquifer* (K_2) were discovered by boreholes in the north-western and south-eastern parts of the Bilche-Volytsia OGBA and tested in the amount of 8 samples.

In the north-western part, water-dissolved gases were disclosed in the depth interval of 1129-2500 m by boreholes of Opary and Uhersko gas fields. They had nitrogen-methane composition. The content of methane was 90-93 % vol., nitrogen – 3.8-9.5% vol., carbon dioxide – 0-2.4% vol., homologues – 0-0.1% vol.

In the south-eastern part, water-dissolved gases were discovered by the boreholes of Kovalivka, Serhii, Lopushna, and Petrivetska areas at depths of 2290-5430 m. The gases had homologues-nitrogen-methane composition. In Kovalivka field (the interval of borehole perforation 2290-2300 m, which is deeper than 400 m from the gas deposit), the content of methane was 70 % vol., nitrogen – 27 % vol., carbon dioxide – 1.6 % vol., homologues were absent. In fact, such composition of water-dissolved gas, probably, can be considered as a background for such depths of the Upper Cretaceous aquifer.

In the deep structures of the Carpathian Fore-deep in the boreholes that did not disclose hydrocarbon deposits (Sergii, Petrivetska areas, depths 5047-5410 m), the contents of water-dissolved methane were 80-81 % vol., nitrogen – 14-18 % vol., carbon dioxide – 0.4-2% vol., homologues – 0.9-2 % vol.

In the boreholes of Lopushna oil field (oil deposits with a gas cap, depth of perforation 4254-5430 m) the contents of methane (depending on the proximity to the deposit) were 80-94% vol., nitrogen – 1-4 % vol., carbon dioxide – 0.2-0.6% vol., homologues – 0.3-18 % vol.

Data on gas saturation of the Upper Cretaceous aquifer are absent.

The Lower Badenian aquifer (N_{1b1}) is sporadically distributed in north-western and south-eastern parts) of the Bilche-Volytsia OGBA. It was studied for the content of water-dissolved gases in the north-western parts by boreholes of the areas of Novosilky, Rudky, and Pivdennograbyńska. The methane content was 86-98 % vol., nitrogen – 2-9.8% vol.,

carbon dioxide – 0.2-4.3% vol., methane homologues – 0-4.2 % vol. There is a clear pattern of methane increasing in the approach to gas deposits. Data on gas saturation of this aquifer are absent.

The Upper Badenian aquifer (N_{1b2}) is widespread in the central and south-eastern parts of the Bilche-Volytsia OGBA. In the central part, the aquifer for the content of water-dissolved gases was tested in the interval of depths of 677-1823 m in the areas of Gai, Kadobno, Hrynivka in the amount of 11 samples. The gases had mainly methane composition: methane – 89-99% vol., nitrogen – 0.6-10 % vol., carbon dioxide – 0.16-0.93 % vol., homologues – 0.11-5.29 % vol.

In the south-eastern part, water-dissolved gases were taken in the amount of 50 samples in the areas of Pylypiv, Debeslavtsi, Kovalivka, Krasnoilsk in the depth interval of 189-2040 m. The gases had also methane, occasionally nitrogen-methane composition. The relative content of methane was 62-99 % vol., nitrogen – 0.4-34 % vol., carbon dioxide – 0.03-2.2 % vol., homologues of methane – 0.06-0.69 % vol. It is also confirmed a clear regularity of methane content increasing in the approach to a gas deposit, as well as an increase in the relative contents of methane homologues with depth.

The lateral distribution of water-dissolved methane in the Upper Badenian aquifer is reflected in the increasing of its relative portion from the East European platform in the direction of the Carpathian deep structures (Fig. 2) with the deepening of the aquifers and increasing of hydrogeological isolation es. The increase of methane portion is due to the decrease of nitrogen and carbon dioxide portions. The high methane contents are also spatially correlated with transverse tectonic faults, which may detect them as ways of vertical migration of water-hydrocarbon mixtures.

The gas saturation of the waters varies in the range of 0.2-1.3 m³/m³, in some cases reaching 6 m³/m³ (Krasnoilsk gas field).

The Lower Sarmatian aquifer (N_{1s1}) is distributed in the north-western and central parts of the Bilche-Volytsia OGBA.

This aquifer was tested for the content of water-dissolved gases in the areas of Dashava, Uhersko, Grudiv, Letnia Medenychi, Grushiv, Dovhiv, Tyniv, Susoliv, Mainychi, Gorodok, Novosilky, Zaluzhany, Pyniany, Sadkovychi, Khidnovychi, Vyshnia, Vyzhomlia, Kokhanivka, Svydnytsia, Bohorodchany in the amount of 141 samples in the interval of depths 310-2445 m.

The gases had mainly methane, occasionally nitrogen-methane composition. The portion content of methane was 69-99 % vol., nitrogen – 0.2-28 % vol., carbon dioxide – 0.1-4 % vol., homologues – 0.03-60 % vol. The gas saturation of waters of the

Vyzhomlia field was 0.20-0.34 m³/m³, the gas saturation was increasing from 0.5 to 2 m³/m³ in the Khidnovychi field with depth and approaching to the deposit.

In the lateral plan of the north-western part of Bilche-Volytsia OGBA, the content of water-dissolved methane spatially clearly correlates with TDS in water (Fig. 3, Fig. 4), the high values of which shows the structures of high hydrogeological isolation. More open hydrogeological structures are characterized by smaller amounts of methane due to increased nitrogen content (Fig. 5).

The statistical analysis of the gas-hydrogeochemical system of the set of aquifers of Bilche-Volytsia OGBA (Table 1) did not reveal the correlations of methane, nitrogen and carbon dioxide either with the depth of the aquifer or with the geochemical characteristics of formation waters. High inverse correlations exist between methane and nitrogen and carbon dioxide. This situation indicates different nature of gases and different ways of gas saturation. Obviously, the spatial-temporal mechanisms of penetration of these gases into water also are different.

The contents of methane homologues are directly correlated with the depth of the aquifer, TDS in water, the contents of Na⁺, Ca²⁺, Cl⁻, Br⁻ ions. The highest amounts of water-dissolved methane homologues are typical for the Jurassic and Cretaceous aquifers of the submerged south-eastern part of the Outer zone of Carpathian Foredeep. In fact, these aquifers are characterized by high values of TDS in water (up to 300 g/dm³) due to high concentrations of Na⁺, Ca²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻ and other ions [25].

These aquifers lie here at depths of 4000-5500 m. The contents of methane homologues in the formation waters which contact with oil or gas deposits (Lopushna oil field) are 6-27% vol. and directly correlate with proximity to the deposit. With the distance from the deposit, and in boreholes that have not opened hydrocarbon deposits, the proportion of methane does not exceed 80 % vol., homologues – 2% vol. However, the nitrogen content here reaches 30 % vol., carbon dioxide – 2 % vol. [26].

According to research [27], the correlation of water-dissolved methane homologues contents with depth in comparison both between individual fields of Bilche-Volytsia OGBA and between deposits within one field is a consequence of vertical gas mixtures migration and their gravitational differentiation on the ways of traps filling.

Statistical pairwise relationships between the components of water-dissolved gas and the depth of the aquifer in the Bilche-Volytsia OGBA also confirm the correlation of depth only with the contents of methane homologues. The linear dependence of the contents of methane homologues with the values of formation pressures and temperatures, which are

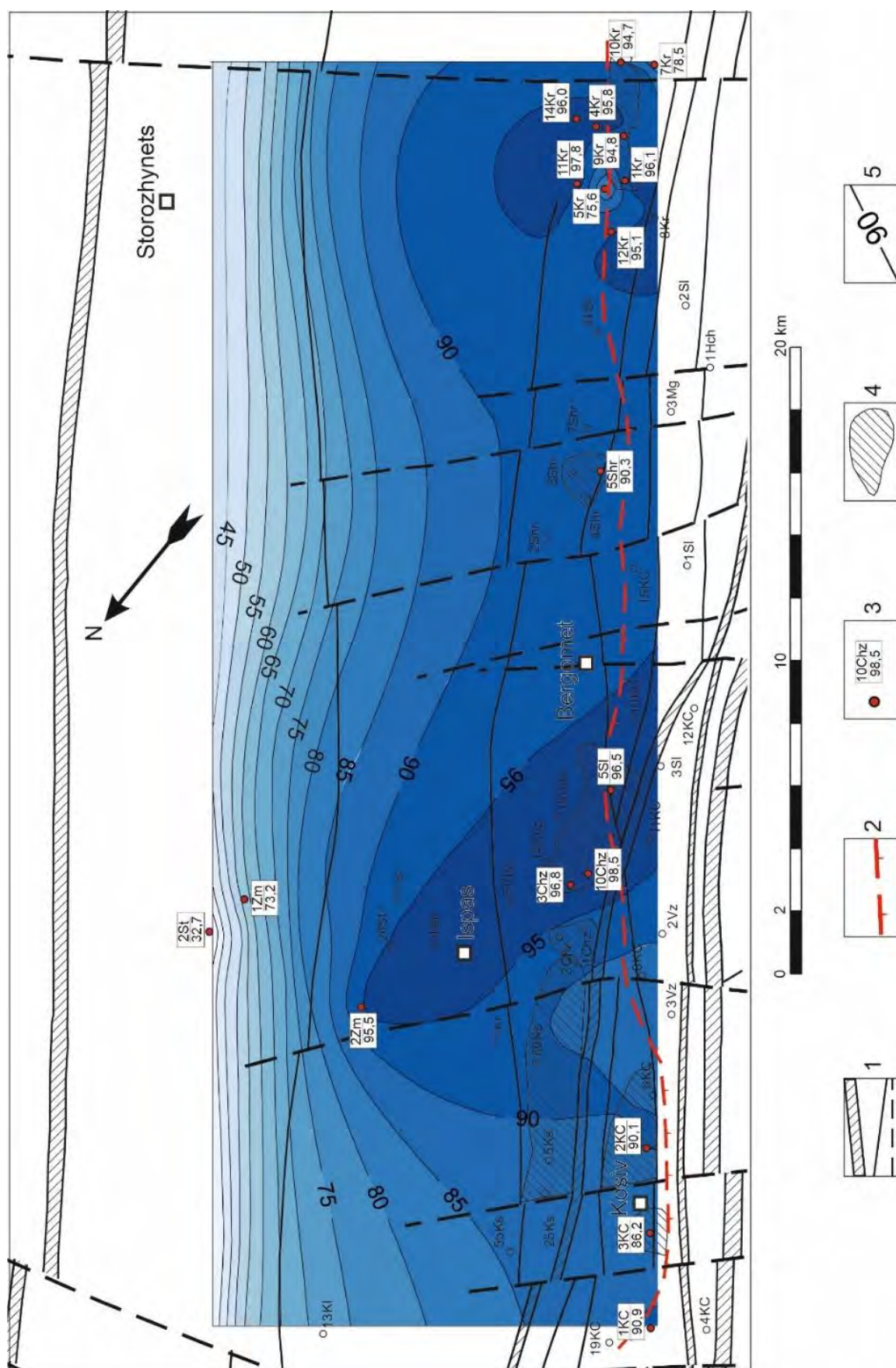


Fig. 2. Map-scheme of the distribution of the water-dissolved methane portion in the aquifer N1b2 of the south-eastern part of the Bilche-Volytsia OGBA (structural basis ([24]): 1 - tectonic faults; 2 - Stebnytsia cover line; 3 - the well, numerator - its name, denominator - the portion of water-dissolved methane, % vol.; 4 - gas deposit; 5 - isoline of the methane portion

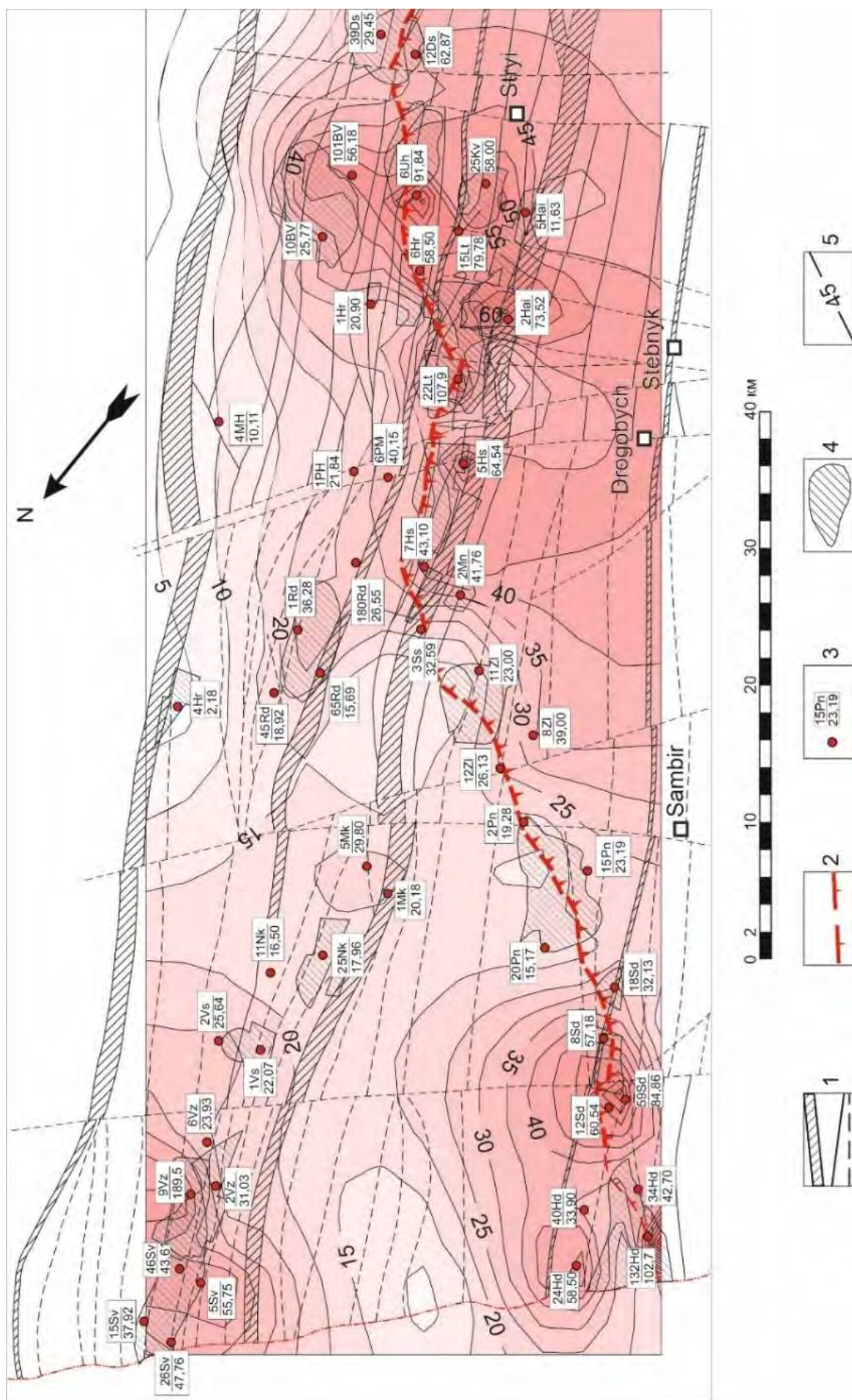


Fig. 4. Map-scheme of TDS values in the waters of the aquifer N_{1S1} of the north-western part of the Bilche-Volytsia OGBA (structural basis [24]):

1 - tectonic faults; 2 - Stebnytsia cover line; 3 - the well, numerator - its name, denominator - TDS in the water, mg/dm³; 4 - gas deposit; 5 - isoline of TDS

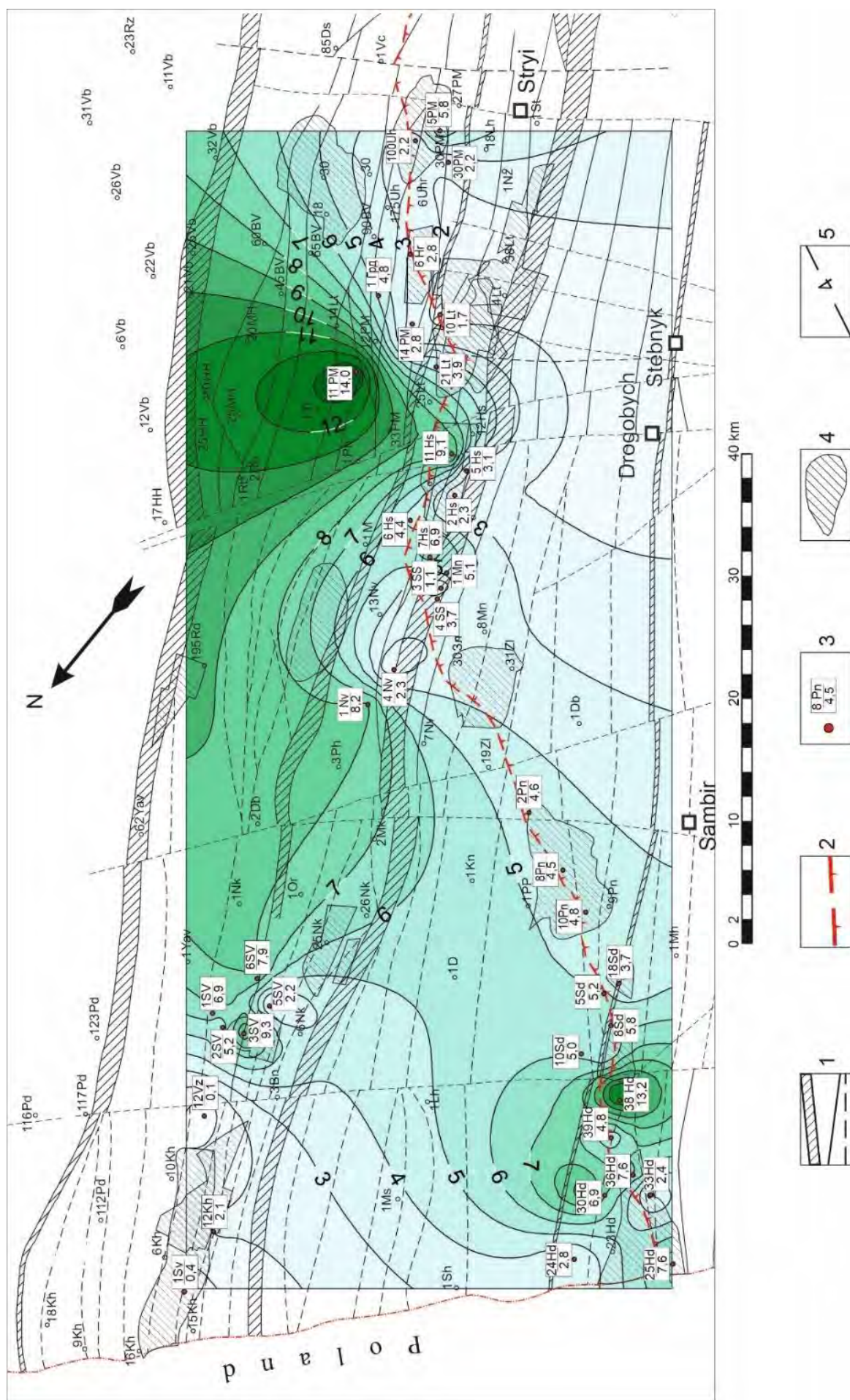


Table 1

Correlation matrix of parameters of the gas-hydrogeochemical system
of the set of aquifers of Bilche-Volytsia OGBA (R threshold value = 0.22, N = 177)

	D*	CH ₄	N ₂	CO ₂	H**	TDS	Na+K	Ca	Mg	NH ₄	Cl	SO ₄	HCO ₃	Br	J	rNa/ rCl
D*	1,00	-0,13	0,03	0,10	0,58	0,71	0,71	0,73	0,27	0,32	0,71	0,04	0,17	0,33	0,04	-0,01
CH ₄	-0,13	1,00	-0,95	-0,72	-0,11	-0,16	-0,15	-0,16	-0,15	-0,08	-0,16	-0,06	0,11	-0,15	-0,02	0,12
N ₂	0,03	-0,95	1,00	0,53	-0,02	0,10	0,09	0,12	0,14	0,05	0,11	0,06	-0,13	0,08	0,04	-0,12
CO ₂	0,10	-0,72	0,53	1,00	0,08	0,04	0,04	0,00	0,09	0,12	0,04	0,08	-0,05	0,03	-0,04	-0,06
H**	0,58	-0,11	-0,02	0,08	1,00	0,56	0,57	0,55	0,12	0,14	0,56	-0,01	-0,03	0,26	-0,04	-0,11
TDS	0,71	-0,16	0,10	0,04	0,56	1,00	0,99	0,92	0,63	0,51	1,00	0,16	-0,25	0,63	0,22	-0,47
Na+K	0,71	-0,15	0,09	0,04	0,57	0,99	1,00	0,88	0,58	0,48	0,99	0,12	-0,25	0,65	0,26	-0,46
Ca	0,73	-0,16	0,12	0,00	0,55	0,92	0,88	1,00	0,55	0,49	0,93	0,03	-0,22	0,44	0,06	-0,45
Mg	0,27	-0,15	0,14	0,09	0,12	0,63	0,58	0,55	1,00	0,56	0,62	0,70	-0,27	0,49	0,14	-0,48
NH ₄	0,32	-0,08	0,05	0,12	0,14	0,51	0,48	0,49	0,56	1,00	0,51	0,24	-0,18	0,30	-0,05	-0,43
Cl	0,71	-0,16	0,11	0,04	0,56	1,00	0,99	0,93	0,62	0,51	1,00	0,13	-0,27	0,63	0,22	-0,49
SO ₄	0,04	-0,06	0,06	0,08	-0,01	0,16	0,12	0,03	0,70	0,24	0,13	1,00	-0,08	0,13	-0,01	-0,05
HCO ₃	0,17	0,11	-0,13	-0,05	-0,03	-0,25	-0,25	-0,22	-0,27	-0,18	-0,27	-0,08	1,00	-0,23	-0,14	0,65
Br	0,33	-0,15	0,08	0,03	0,26	0,63	0,65	0,44	0,49	0,30	0,63	0,13	-0,23	1,00	0,58	-0,39
J	0,04	-0,02	0,04	-0,04	-0,04	0,22	0,26	0,06	0,14	-0,05	0,22	-0,01	-0,14	0,58	1,00	-0,09
rNa/ rCl	-0,01	0,12	-0,12	-0,06	-0,11	-0,47	-0,46	-0,45	-0,48	-0,43	-0,49	-0,05	0,65	-0,39	-0,09	1,00

*D - depth; **H - methane homologues

generally functions of the depth of the aquifer, has been recognized. There are no clear dependences of gas saturation on the depth, pressure and temperature of aquifers.

The growing of gas saturation of deep groundwaters in the Bilche-Volytsia OGBA is primarily due to the increase of the methane content, which is confirmed by a clear linear relationship between these parameters. At the same time, clear inverse linear dependences of water gas saturation with rNa/rCl values and sulfate contents in waters are displayed. It is known that reduced values of rNa/rCl and sulfates in water indicate a closed hydrodynamic system, which is most favourable for the preservation of hydrocarbon accumulations [5].

The distribution of free gas contents with the depth of the gas deposits in the Bilche-Volytsia OGBA reflects the predominance of methane, the amount of which is 90-99% vol. in the range of depths of 300-2000 m. In the interval of depths of 4000-5000 m its contents decrease to 65-90% vol. by increasing the contents of its homologues to 30% vol. The contents of nitrogen and carbon dioxide do not change significantly with depth increasing.

The coefficient Ar·100/N₂, proposed Savchenko [28] to determine the portion of "non-air" nitrogen, in most samples of water-dissolved gases is less than or close to 2.68 (for fresh water in surface conditions it is 2.68). Moreover, the distribution of this

coefficient values does not correlate with the depth of gas-saturated aquifers. At the same time, the values of Ar·100/N₂ are quite closely inversely correlated with the values of rNa/rCl, the reduced values of which reflect long-term ion exchange processes between waters and water-bearing rocks in conditions of stagnant hydrodynamic regime.

Taking into account that the main amount of argon in gases of air origin, we can talk about the enrichment of the deep groundwaters of the Bilche-Volytsia OGBA with nitrogen of non-air origin. The source of nitrogen in water of the stagnant hydrodynamic regime areas is considered to be organic matter of rocks, bound nitrogen of rocks released during metamorphism, nitrogen of deep genesis [29,30].

Conclusions. 1. Nitrogen-methane composition of water-dissolved gases of the Upper Jurassic and Upper Cretaceous aquifers in combination with specific geochemical characteristics of groundwater of the north-western and central parts of the Bilche-Volytsia OGBA indicate the open hydrodynamic conditions, which, in general, are unfavourable for the formation and preservation of hydrocarbon deposits. Only within certain local closed structures there is a possibility to preserve the deposits.

2. In deep-submerged reservoirs of the south-eastern part of this area, water-dissolved gases of the Upper Jurassic and Upper Cretaceous aquifers are characterized by high contents of methane homo-

logues, the portions of which increase with approaching to oil deposits (Lopushna field). Also, when approaching the deposits, the gas saturation of the waters increases.

Unproductive aquifers are characterized by low gas saturation and high nitrogen content.

3. In the Upper Badenian aquifer, water-dissolved gases are mainly methane, occasionally nitrogen-methane. A clear regularity in the growth of methane contents as it approaches the gas deposit, as well as an increase in the relative contents of methane homologues with depth.

The lateral distribution of water-dissolved methane is presented in the growth of its portions from the West and East European platforms in the direction of the sub-submerge of the Carpathians, which is due to an increase in the degree of hydrogeological closure of structures. Increased methane contents also spatially tend to transverse tectonic faults, which determines their role in the vertical migration of water-hydrocarbon mixtures.

4. Water-dissolved gases of the highly productive Lower Sarmatian aquifer are mainly methane, occasionally nitrogen-methane. The gas saturation of the waters directly correlates with the proximity to gas deposits.

Laterally, the portion of water-dissolved methane is directly correlated with TDS of water, the high values of which accordingly reflect the structures of a high degree of hydrogeological stagnation.

5. Statistical analysis of the system of dissolved gases of the Bilche-Volytsia OGBA revealed high inverse correlations between methane and nitrogen, methane and carbon dioxide, which indicates their different sources of origin and spatio-temporal mechanisms of water saturation with these gases.

6. Deep hydrodynamically closed aquifers of the Bilche-Volytsia OGBA often are marked by high nitrogen contents of non-air origin. Its source can be rock organic matter, bound rock nitrogen released during metamorphism, nitrogen of deep genesis.

Bibliography

1. Корценштейн В.Н. Растворенные газы подземной гидросферы Земли [Текст] / В.Н. Корценштейн. – М.: Недра, 1984. – 230 с.
2. Соколов В.А. Геохимия газов земной коры и атмосферы [Текст] / В.А. Соколов. – М.: Недра, 1966. – 291.
3. Зингер А.С. Газогидрохимические критерии оценки нефтегазоносности локальных структур [Текст] / А.С. Зингер. – Саратов: Изд-во Сарат. Унив-та, 1966. – 457 с.
4. Матусевич В.М. Нефтегазовая гидрогеология. В 2 ч. Ч.1. Теоретические основы нефтегазовой гидрогеологии: учебное пособие [Текст] / В.М. Матусевич, Л.А. Ковяткина. – Тюмень: Тюмень ГНГУ, 2010. – 116 с.
5. Карцев А.А. Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений [Текст] / А.А. Карцев. – М.: Недра, 1972. – 280 с.
6. Shengfei Qin. Geochemical evidence of water-soluble gas accumulation in the Weiyuan gas field, Sichuan Basin [Text] / Qin Shengfei, Zhou Guoxiao, Li Wei, Hou Yaohua, Lü Fang // Natural Gas Industry. – 2016. – 3: 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.ngib.2016.02.004>
7. Shengfei Qin. Carbon isotopic composition of water-soluble gases and their geological significance in the Sichuan Basin [Text] / Qin Shengfei // Petroleum Exploration and Development. – 2012. – 39: 335–342. [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(12\)60049-4](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(12)60049-4)
8. Cramer B. Methane released from groundwater: the source of natural gas accumulations in northern West Siberia [Text] / B. Cramer, H.S. Poelchau, P. Gerling, N.V. Lopatin, R. Littke // Marine and Petroleum Geology. – 1999. – 16: 225–245. [https://doi.org/10.1016/S0264-8172\(98\)00085-3](https://doi.org/10.1016/S0264-8172(98)00085-3)
9. Колодій І.В. Прогнозування локалізації вуглеводневих скупчень Причорноморського водонапірного басейну за гідрогеохімічними показниками [Текст] / І.В. Колодій // Вісник Харківського національного університету. – 2014. – № 41. – С. 32–36.
10. Колодій Іванна. Прогнозна оцінка газоносності нижньокрейдового теригенного комплексу Каркінітсько-Північнокримського прогину (за газогідрогеохімічними показниками) [Текст] / Іванна Колодій, Галина Медвідь // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2019. – № 3 (180). – С.90–100. <https://doi.org/10.15407/ggcm2019.03.090>
11. Лихоманова И.Н. Газовая составляющая пластовых вод Внешней зоны Предкарпатского прогиба [Текст] / И.Н. Лихоманова, Е.Н. Шапарин, А.Н. Ищенко // Геология и геохимия горючих ископаемых. – 1977. – № 49. – С. 90–96.
12. Шабо З.В. О перспективах газоносности глубоких горизонтов Предкарпатского прогиба по изотопному составу углерода [Текст] / З.В. Шабо, Г.П. Мамчур // Геологический журнал. – 1984. – Т. 44. – С.50–57.
13. Колодій В.В. Вільні та водорозчинені гази Карпатської нафтогазононої провінції [Текст] / В.В. Колодій // Геологія і геохімія горючих копалин. – 1998. – № 102. – С. 53–63.
14. Павлюх Оксана. Особливості геологічної будови та формування покладів газу в зовнішній зоні передкарпатського прогину [Текст] / Оксана Павлюх // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2009. – № 3–4 (148–149). – С. 31–43.
15. Маєвський Б.Й. Генезис вуглеводнів і формування їх покладів як основа прогнозування нафтогазоносності глибокозанурених горизонтів осадових басейнів [Текст] / Б.Й. Маєвський, С.С. Куровець – <https://www.sworld.com.ua/simpoz6>. – Секція –13. Географія і геологія. – 2016.

16. Атлас родовищ нафти і газу: у 6 томах. – Т. 4. Західний нафтогазоносний регіон [Текст] / під ред. М. М. Іванюти] – Львів : Центр Європи, 1998. – 328 с.
17. Суярко В.Г. Прогнозування, пошук та розвідка родовищ вуглеводнів: Підручник [Текст] / В.Г. Суярко. – Харків: Фоліо, 2015. – 296 с. – <http://dspace.univer.kharkov.ua/handle/123456789/14280>.
18. Колодій В.В. Нафтогазова гідрогеологія. Підручник для ВНЗ [Текст] / В.В. Колодій, І.В. Колодій, Б.Й. Маєвський. – Івано-Франківськ: Факел, 2009. – 148 с.
19. Намиот А.Ю. Растворимость газов в воде под давлением [Текст] / А.Ю. Намиот, М.М. Бондарева – М.: Гостоптехиздат, 1963. – 148 с.
20. Duan Zh. The prediction of methane solubility in natural waters to high ionic strength from 0 to 250°C and from 0 to 1600 bar [Text] / Zh. Duan, N. Möller, J. Greenberg, J.H. Weare // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 1992. – 56: 1451–1460. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(92\)90215-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(92)90215-5)
21. Pitzer K. S. Thermodynamics of electrolytes: I. Theoretical basis and general equations [Text] / K.S. Pitzer // *The Journal of Physical Chemistry*. – 1973. – 77: 268–271. <http://dx.doi.org/10.1021/j100621a026>.
22. Султанов Р.Г. Растворимость метана в воде при повышенных температурах и давлениях [Текст] / Р.Г. Султанов, В.Г. Скрипка, А.Ю. Намиот // Газовая промышленность. – 1972. – № 5. – С. 6–7.
23. Намиот А.Ю. Влияние растворенной в воде соли на растворимость метана при температурах от 50 до 350 °С [Текст] / А.Ю. Намиот, В.Г. Скрипка, К.Д. Ашмян // Геохимия. – 1979. – № 1. – С. 147–148.
24. Карпатська нафтогазоносна провінція [Текст] / В.В. Колодій, Г.Ю. Бойко, Л.Т. Бойчевська [та ін.] – Львів–Київ : Укр. вид. центр”, 2004. – 390 с.
25. Гарасимчук В.Ю. Гідрогеохімічні особливості Лопушнянського нафтового родовища (піднасув Покутсько-Буковинських Карпат) [Текст] / В.Ю. Гарасимчук // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2001. – № 3. – С. 77–87.
26. Гарасимчук В. Ю. Водорозчинені та вільні гази південно-східної частини Зовнішньої зони Передкарпатського прогину [Текст] / В.Ю. Гарасимчук // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2003. – № 1. – С. 50–63.
27. Гарасимчук В. Ю. Газогідрогеохімічні критерії нафтоносності автохтону південно-східної частини Передкарпатського прогину [Текст] / В.Ю. Гарасимчук, Н.З. Величко // Сучасні проблеми геологічної науки. – К.: НАН України, Інститут геологічних наук. – 2003. – С. 129–132.
28. Савченко В.П. Методика направленных поисков газовых месторождений [Текст] / В.П. Савченко // Тр. ВНИИ. – Т. 13. – Вып. 42/50. – 1968. – С. 5–55.
29. Карцев А. А. Теоретические основы нефтегазовой гидрогеологии [Текст] / А.А. Карцев, Ю.П. Гаттенберг, Л.М. Зорькин, В.В. Колодий, Е.В. Стадник, А.Н. Воронов, В.М. Матусевич, Л.Н. Капченко. – М.: Недра, 1992. – 206 с.
30. Зорькин Л. М. Нефтегазопроисковая гидрогеология [Текст] / Л.М. Зорькин, М.И. Суббота, Е.В. Стадник. – М.: Недра, 1982. – 216 с.

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

References

1. Kortsenshteyn, V.N. 1984. Dissolved gases of the Earth's underground hydrosphere [Rastvorennnye gazy podzemnoy gidrosfery Zemli]. Nedra, Moscow, 230.
2. Sokolov, V. A. 1966. Geochemistry of gases of the earth's crust and atmosphere [Geokhimiya gazov zemnoy kory i atmosfery]. Nedra, Moscow, 291.
3. Zinger, A.S., 1966. Gas-hydrochemical criteria for assessing the oil and gas-bearing of local structures [Gazogidrokhimicheskie kriterii otsenki neftegazonosnosti lokalnykh struktur]. Izdatelstvo Saratovskogo universiteta, Saratov, 457.
4. Matusevich, V.M., Kovyatkina, L. A., 2010. Theoretical foundations of oil and gas hydrogeology [Teoreticheskie osnovy neftegazovoy gidrogeologii]. TyumenGNGU, Tyumen, 116.
5. Kartsev, A.A., 1972. Hydrogeology of oil and gas fields [Gidrogeologiya neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy]. Nedra, Moscow, 280.
6. Shengfei, Q., Guoxiao, Z., Wei, L., Yaohua, H., Fang, L., 2016. Geochemical evidence of water-soluble gas accumulation in the Weiyuan gas field, Sichuan Basin. *Natural Gas Industry*, 3: 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.ngib.2016.02.004>.
7. Shengfei, Q., 2012. Carbon isotopic composition of water-soluble gases and their geological significance in the Sichuan Basin. *Petroleum Exploration and Development*. 39: 335–342. [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(12\)60049-4](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(12)60049-4).
8. Cramer, B., Poelchau, H.S., Gerling, P., Lopatin, N.V., Littke, R., 1999. Methane released from groundwater: the source of natural gas accumulations in northern West Siberia. *Marine and Petroleum Geology*, 16: 225–245. [https://doi.org/10.1016/S0264-8172\(98\)00085-3](https://doi.org/10.1016/S0264-8172(98)00085-3).
9. Kolodii, I.V., 2014. Prediction carbohydrate stocks localization of the Black Sea water basin for hydrogeochemical indicators [Prohnozuvannya lokalizatsii vuhlevodnevykh skupchen Prychornomorskoho vodonapirnoho baseinu za hidroheokhimichnymi pokaznykamy] (in Ukrainian with English summary). *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 41: 32–36.
10. Kolodiy I., Medvid H., 2019. Forecast estimation of oil and gas reserves of lower cretaceous sediments in Karkinit-Northern Crimean Deep (by gas-hydrogeochemical indicators) [Prohnozna otsinka hazonosnosti nyzhnokreidovoho

- teryhennoho kompleksu Karkinitisko-Pivnichnokrymskoho prohynu (za hazohidroheokhimichnymy pokaznykamy)]. *Geology & Geochemistry of Combustible Minerals*, 2 (103): 90–100. <https://doi.org/10.15407/ggcm2019.03.090>.
11. Likhomanova, I.N., Shaparin, Ye.N., Ishchenko, A.N., 1977. The gas component of the formation waters of the Outer zone of the Ciscarpathian Depression [Gazovaya sostavlyayushchaya plastovykh vod Vneshney zony Predkarpatskogo progiba]. *Geologiya i geokhimiya goryuchikh iskopaemykh*, 49: 90–96.
 12. Shabo, Z.V., Mamchur, G.P., 1984. On the prospects for gas content of deep horizons of the Pre-Carpathian Depression in terms of carbon isotopic composition [O perspektivakh gazonosnosti glubokikh gorizontov Predkarpatskogo progiba po izotopnomu sostavu ugleroda]. *Geologicheskii zhurnal*, 44: 50–57.
 13. Kolodii, V.V., 1998. Free and water-dissolved gases of the Carpathian oil and gas province [Vilni ta vodorozchyneni hazy Karpatskoi naftohazonosnoi provintsii]. *Heolohiia i heokhimiia horiuchykh kopalyn*, 102: 53–63.
 14. Pavliukh, O., 2009. Features of the geological structure and formation of gas deposits in the Outer zone of the Pre-Carpathian Depression [Osoblyvosti heolohichnoi budovy ta formuvannia pokladiv hazu v Zovnishnii zoni Peredkarpatskoho prohynu]. *Heolohiia i heokhimiia horiuchykh kopalyn*, 3–4 (148–149): 31–43.
 15. Maievskiy, B.I., Kurovets, S.S., 2016. Genesis of hydrocarbons and formation of their deposits as a basis for forecasting oil and gas potential of deep submerged horizons of sedimentary basin [Henezys vuhlevodniv i formuvannia yikh pokladiv yak osnova prohnouzuvannia naftohazonosnosti hlybokozanurenykh horyzontiv osadovykh baseiniv]. <https://www.sworld.com.ua/simpoz>. – Sektsiia –13. Heohrafiia i heolohiia
 16. Atlas of oil and gas fields of Ukraine (ed. Ivanyuta M.M.), 1998. [Atlas naftovykh i hazovykh rodovyshch Ukrainy]. Center of Europe, Lviv, 328.
 17. Suyarko, V.G., 2015. Forecasting, search and exploration of hydrocarbon deposits [Prohnouzuvannia, poshuk ta rozvidka rodovyshch vuhlevodniv]. *Folio*, Kharkiv, 296. – <http://dspace.univer.kharkov.ua/handle/123456789/14280>.
 18. Kolodii, V.V., Kolodii, I.V., Maievskiy, B.I. 2009. Oil and gas hydrogeology [Naftohazova hidroheolohiia]. *Fakel*, Ivano-Frankivsk, 148.
 19. Namiot, A.Yu., Bondareva, M.M., 1963. Solubility of gases in water under pressure [Rastvorimost gazov v vode pod davleniem]. *Gostoptekhizdat*, Moscow, 148.
 20. Duan, Zh., Möller, N., Greenberg, J., Weare, J.H., 1992. The prediction of methane solubility in natural waters to high ionic strength from 0 to 250°C and from 0 to 1600 bar. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56: 1451–1460. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(92\)90215-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(92)90215-5).
 21. Pitzer, K. S., 1973. Thermodynamics of electrolytes: I. Theoretical basis and general equations / *The Journal of Physical Chemistry*, 77: 268–217. <http://dx.doi.org/10.1021/j100621a026>.
 22. Sultanov, R.G., Skripka, V.G., Namiot, A.Yu., 1972. Solubility of methane in water at elevated temperatures and pressures [Rastvorimost metana v vode pri povyshennykh temperaturakh i davleniyakh]. *Gazovaya promyshlennost*, 5: 6–7.
 23. Namiot, A.Yu., Skripka, V.G., Ashmyan, K.D., 1979. Influence of salt dissolved in water on methane solubility at temperatures from 50 to 350 °C [Vliyanie rastvorennoy v vode soli na rastvorimost metana pri temperaturakh ot 50 do 350 °C]. *Geokhimiya*, 1: 147–148.
 24. Kolodii, V.V., Boiko, H.Yu., Boichevska, L.T. et al., 2004. Carpathian oil and gas province [Karpatska naftohazonosna provintsii]. *Ukrainskyi vydavnychiy tsentr*, Lviv–Kyiv, 390.
 25. Harasymchuk, V.Yu., 2001. Hydrogeochemical features of the Lopushna oil field (sub-basin of the Pokutia-Bukovyna Carpathians) [Hidroheokhimichni osoblyvosti Lopushnianskoho naftovoho rodovyshcha (pidnasuv Pokutsko-Bukovynskykh Karpat)]. *Heolohiia i heokhimiia horiuchykh kopalyn*, 3: 77–87.
 26. Harasymchuk, V.Yu., 2003. Water-dissolved and free gases of the south-eastern part of the Outer Zone of the Pre-Carpathian Deep [Vodorozchyneni ta vilni hazy pivdenno-skhidnoi chastyny Zovnishnoi zony Peredkarpatskoho prohynu]. *Heolohiia i heokhimiia horiuchykh kopalyn*, 1: 50–63.
 27. Harasymchuk, V.Yu., Velychko, N.Z., 2003. Gas-hydrogeochemical criteria of oil-bearing of the autochthonous of the south-eastern part of the Pre-Carpathian Deep [Hazohidroheokhimichni kryterii naftonosnosti avtokhtonu pivdenno-skhidnoi chastyny Peredkarpatskoho prohynu]. In: *Suchasni problemy heolohichnoi nauky*: 129–132. *Institut heolohichnykh nauk*, Kyiv.
 28. Savchenko, V.P., 1968. Methodology for directed prospecting for gas fields [Metodika napravlennykh poiskov gazovykh mestorozhdeniy]. *Trudy VNII*, 13: 5–55.
 29. Kartsev, A.A., Gattenberg, Yu.P., Zorkin, L.M., Kolodiy, V.V., Stadnik, Ye.V., Voronov, A.N., Matusevich, V.M., Kapchenko, L.N., 1992. Theoretical foundations of oil and gas hydrogeology [Teoreticheskie osnovy neftegazovoy gidrogeologii]. *Nedra*, Moscow, 206.
 30. Zorkin, L.M., Subbota, M.I., Stadnik, Ye.V., 1982. Oil and gas prospecting hydrogeology [Neftegazoposkovaya gidrogeologiya]. *Nedra*, Moscow, 216.

Газо-гидрогеохимические условия Бильче-Волицкого нефтегазоносного района (Предкарпатский прогиб, Украина)

Василий Юрьевич Гарасимчук¹,

к. геол. н., ст. науч. сотр. лаборатории проблем геоэкологии,

¹Институт геологии и геохимии горючих полезных ископаемых НАН Украины,
ул. Научная, 3а, г. Львов, 79060, Украина;

Галина Богдановна Медвидь¹,

к. геол. н., рук. лаборатории проблем геоэкологии;

Татьяна Васильевна Соловей²,

д. геогр. н., профессор,

²Польский геологический институт – Национальный научно-исследовательский институт,
ул. Раковецкая, 4, 00-975 Варшава, Польша

Бильче-Волицкий нефтегазоносный район (НГР) является крупнейшим по запасам углеводородов в Карпатской нефтегазоносной провинции Украины. Здесь открыто 72 месторождения газа и газового конденсата и 3 месторождения нефти. Растворенные в воде газы в разведывательной нефтегазовой гидрогеологии являются основными критериями нефтегазового потенциала. Их количественные и качественные характеристики позволяют изучить условия образования и сохранения месторождений углеводородов и определить перспективные районы поиска. Целью исследования было установить вертикальную и латеральную газо-гидрогеохимическую зональность Бильче-Волицкого НГР, оценить роль растворенных в воде газов в формировании газовых месторождений с перспективой прогнозирования новых залежей углеводородов. Методы исследования базировались на интерпретации компонентного состава водорастворенных газов, расчета и интерпретации газнасыщения воды, давления насыщения, коэффициента насыщения воды газом. Для определения растворимости метана были использованы графики на основе экспериментальных исследований и расчетов с научных публикаций. Исходные данные по гидрогеохимическим, геотермическим, гидродинамическим параметрам водоносных горизонтов, качественным и количественным характеристикам, растворенных в воде и свободных газов Бильче-Волицкого НГР были определены при испытании скважин. Результаты исследований показали, что частицы растворенного в воде метана увеличиваются со стороны Западно- и Восточноевропейской платформ в направлении погружения Карпат, что является следствием более высокой степени гидрогеологической закрытости структур. Установлено, что растворенный в воде метан, азот и углекислый газ имеют различные источники происхождения и различные пространственно-временные механизмы насыщения воды. Гидродинамически закрытые структуры (благоприятные для образования и сохранения месторождений углеводородов) характеризуются высоким относительным и абсолютным содержанием растворенного метана. Повышенное содержание метана также пространственно тяготеет к зонам поперечных тектонических разломов, что указывает на их роль в вертикальном транспортировании водно-углеводородных смесей.

Ключевые слова: Бильче-Волицкий нефтегазоносный район, водорастворенные газы, газонасыщенность воды.

Газо-гідрогеохімічні умови Більче-Волицького нафтогазоносного району (Передкарпатський прогин, Україна)

Василь Юрійович Гарасимчук¹,

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

¹Інститут геології та геохімії горючих корисних копалин НАН України,
вул. Наукова, 3а, м. Львів, 79060, Україна;

Галина Богданівна Медвідь¹,

к. геол. н., керівник лабораторії проблем геоєкології;

Тетяна Василівна Соловей²,

д. геогр. н., професор, ²Польський геологічний інститут – Національний науково-дослідний інститут,
вул. Раковецька, 4, 00-975 Варшава, Польща

Більче-Волицький нафтогазоносний район (НГР) є найбільшим за запасами вуглеводнів у Карпатській нафтогазоносній провінції України. Тут відкрито 72 родовища газу та газового конденсату та 3 родовища нафти. Розчинені у воді газу в розвідувальній нафтогазовій гідрогеології є основними критеріями нафтогазового потенціалу. Їх кількісні та якісні характеристики дозволяють вивчити умови утворення та збереження родовищ вуглеводнів та визначити перспективні райони пошуку. Метою дослідження було виявити вертикальну та латеральну газо-гідрогеохімічну зональність Більче-Волицького НГР, оцінити роль розчинених у воді газів у формуванні газових родовищ з перспективою прогнозування нових покладів вуглеводнів. Методи дослідження базувалися на інтерпретації компонентного складу водорозчинених газів, розрахунку та інтерпретації газонасичення

води, тиску насичення, коефіцієнта насичення води газом. Для визначення розчинності метану були використані графіки на основі експериментальних досліджень та розрахунків з наукових публікацій. Початкові дані щодо гідрогеохімічних, геотермічних, гідродинамічних параметрів водоносних горизонтів, якісних та кількісних характеристик розчинених у воді та вільних газів Більче-Волицького НГР були визначені під час випробування свердловин. Результати досліджень показали, що частки розчиненого у воді метану збільшуються зі сторони Західно- та Східноєвропейської платформ у напрямку занурення Карпат, що є наслідком більш високого ступеня гідрогеологічної закритості структур. Встановлено, що розчинений у воді метан, азот та вуглекислий газ мають різні джерела походження та різні просторово-часові механізми насичення води. Гідродинамічно замкнуті структури (сприятливі для утворення та збереження родовищ вуглеводнів) характеризуються високим відносним та абсолютним вмістом розчиненого метану. Підвищений вміст метану також просторово тяжіє до зон поперечних тектонічних розломів, що вказує на їх роль у вертикальному транспортуванні водно-вуглеводневих сумішей.

Ключові слова: *Більче-Волицький нафтогазоносний район, водорозчинені гази, газонасиченість води.*

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 16 серпня 2021 р.

Прийнята 2 вересня 2021 р.

Вапнисті водорості та форамініфери нижнього карбону середньої частини центральної приосьової зони Дніпровсько-Донецької западини (Україна)

Анастасія Дмитрівна Гусарова¹,

інженер, ¹УкрНДІгаз, АТ «Укргазвидобування»,

e-mail: an.shomina@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-8659-0440>;

Андрій В'ячеславович Матвеев²,

д. геол. н., доцент, зав. кафедри геології,

²Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,

пл. Свободи, 4, м. Харків, 61002, Україна,

e-mail: mathwey@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-2600-6529>

Досліджено розріз, розкритий розвідувальною свердловиною 203 Березівською, представлений переважно карбонатними, а також піщаними та глинистими породами нижньої частини верхньовізейського під'ярусу (тульський горизонт) та верхньої частини нижньовізейського під'ярусу (бобриківський горизонт). Дана мікрофаціальна характеристика карбонатних відкладів та асоціації форамініфер та вапнистих водоростей з відкладів візейського ярусу приосьової зони Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ). Описана асоціація форамініфер, представлена індивідами 24 родів та асоціація альгофлори, представлена 35 видами, які відносяться до 25 родів, в тому числі 3 види вапнистих водоростей, які описані вперше для ДДЗ: *Atractyloopsis* cf. *cumberlandensis*, *Nanopora undata* та *Exvotarissella maponi*. Викоїні асоціації альгофлори характеризують зону *Palaeoberesella lahuseni* – *Exvotarissella index* – *Nanopora woodi*, яка була зкорельована з форамініферовими зонами *Uralodiscus rotundus* и *Paraarchaediscus koktjubensis*. Пізньовізейська мікрофауна та альгофлора, у порівнянні з ранньовізейською, стає таксономічно збідною. В пізньовізейських карбонатних відкладах з'являються численні представники архедісцид. Проведено порівняльний аналіз асоціацій водоростей ДДЗ з одновіковими асоціаціями відкритого Донбасу, Уралу, Східно-Європейської платформи, Бельгії та Франції. Присутність в асоціації вапнистих водоростей нижньовізейського під'ярусу крупних форм багрянок пов'язана з переважанням глинистих вапняків до мергелів серед карбонатних відкладів. Морські умови пізнього візе були більш мілководними, із достатнім освітленням для розвитку таксономічно різноманітної асоціації зелених сифонокладових водоростей. Мікрофаціальні особливості карбонатних відкладів, дозволили зробити припущення про виділення регіонального стратиграфічного маркеру – спікуловий пакстоун, який є характерним для XIII мікрофауністичного горизонту ДДЗ. Описано 3 види вапнистих водоростей, що зустрінуті вперше на території ДДЗ. Зображення форамініфер та вапнистих водоростей приведені у 8 палеонтологічних таблицях.

Ключові слова: вапнисті водорості, форамініфери, карбонатні мікрофіції, нижній карбон, візейський ярус, Дніпровсько-Донецька западина.

Як цитувати: Гусарова А. Д. Вапнисті водорості та форамініфери нижнього карбону середньої частини центральної приосьової зони Дніпровсько-Донецької западини (Україна) / А. Д. Гусарова, А. В. Матвеев // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2021. – Вип. 55. – С. 52-71. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-04>

In cites: Gusarova A. D., Matveyev A. V. (2021). Lower Carboniferous calcareous algae and foraminifera of the middle part of the central paraxial zone of the Dono-Dnieper Depression (Ukraine). Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (55), 52-71. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-04> [in Ukrainian]

Вступ. На сьогоднішній день границя верхньовізейського та нижньовізейського під'ярусів Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) залишається дискусійною. Не дивлячись на те, що мікропалеонтологічне та літологічне дослідження відкладів раннього карбону ДДЗ проводилось тривалий час та з високим ступенем детальності, багато питань залишаються невирішеними.

Стратиграфічне розчленування та кореляція проводилися за форамініферами, при цьому увага численним, різноманітним за систематичним складом асоціаціям вапнистих водоростей майже не приділялась. Втім, на прикладі Уралу Р. М. Івановою [10] доведено, що в межах одного басейну седиментації зональне розчленування за вапнистими водоростями є більш точним та детальним. Також існують водоростеві зони, які

можна використовувати для міжрегіональної кореляції.

Форамініферові асоціації, особливо кінця раннього-пізнього візе, стають практично евригалінними та еврифаціальними. Альгофлора ж цього віку більш фаціально диференційована, що дає додаткову інформацію про палеоекологічні обставини та можливість чітко простежувати палеозміни басейну.

У зв'язку з цим, обробка нових даних буріння, а також повторне дослідження накопиченого матеріалу, є необхідними мірами для отримання повної та цілісної стратиграфічної та палеоекологічної картини басейну седиментації.

Аналіз попередніх публікацій. Першими вивчення карбонових форамініфер ДДЗ почали Н. Є. Бражнікова і М. Ф. Манукалова, а також Л. Г.

Даін і М. І. Сосніна. В післявоєнні роки фораміні-фери з кернавого матеріалу візейського ярусу вивчалися Н. Є. Бражніковою разом з М. О. Карповою та П. Д. Потієвською. Перша спроба побудови загальної форамініферової схеми для всього розрізу карбону Донецького басейну була запропонована в доповіді Д. Є. Айзенверга, Н. Є. Бражнікової, Н. П. Василюк та інших на VIII Міжнародному карбонівому конгресі в Москві в 1975 р. «Разрез карбона Донбасса как эталонный разрез каменноугольной системы» (1988). Границя візейського та турнейського ярусів за форамініферами детально досліджувалася М. В. Вдовенко (1992). З кінця 50-х років ранньокарбонівими форамініферами займалися також Л. Ф. Ростовцева (1967) та О. А. Зав'ялова (1959).

Асоціації вапнистих водоростей візейських відкладів ДДЗ були описані в низці робіт О. І. Берченко (1985, 1994, 1996, 1997, 2005, 2009, 2013), О. А. Сухова (2004, 2005, 2007, 2009, 2012, 2016) та В. І. Єфіменко (1994, 2005, 2008).

Вперше дані про вапнисті водорості візе Донбасу були опубліковані в роботі «Стратотипи региональных стратиграфических подразделений нижнего карбона (турнейский и визейский ярусы)», у якій О. І. Берченко (1992) подано список з 47 видів синьозелених, зелених та червоних водоростей, та наведено їх стратиграфічне поширення.

О. А. Суховим проводилася порівняльна характеристика комплексів вапнистих водоростей Доно-Дніпровського прогину з одновіковими асоціаціями Уралу та Сибіру, за даними досліджень Р. М. Іванової та О. М. Богуш (1990, 1992). За результатами довготривалих досліджень в 2013 році О. І. Берченко та О. А. Суховим було видано монографію, в якій вперше для цього регіону описано вапнисті водорості візе – 43 роди і 71 вид, з яких 1 рід і 3 види – нові. Наведено стратиграфічне поширення водоростей і виділено 4 комплекси [3].

За даними багаторічних досліджень Р. М. Івановою (2016) було виділено 6 водоростевих біозон для карбону Уралу та 8 «зональних комплексів» водоростей в нижньокам'яновугільних відкладах Сибіру та Північного Сходу Росії. Також було виділено акмезони для відкладів турнейського, візейського та серпуховського ярусів, які відповідають періоду максимального розвитку конкретного виду чи групи видів.

Дослідження вапнистих водоростей Львівсько-Волинського басейну проводилися А. А. Муромцевою (1989).

Вапнисті водорості одновікових відкладів інших регіонів вивчалися Б. Маме (В. Mamet) (1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1978, 1981, 1985, 1987, 1992, 1995, 2002, 2006), Д. Вашаром

(D. Vachard) (1974, 1976, 1977, 1991) та С. Скопським (S. Skompski) (1986, 1987, 1996).

Більш ранні роботи були присвячені, в більшій мірі, стратиграфічному розчленуванню свердловин та мікропалеонтологічній кореляції в межах родовищ та окремих структур ДДЗ, пізніше роботи почали набувати більш палеонтологічного характеру, не приймаючи до уваги кореляційний потенціал альгофлори.

Проаналізувавши використану літературу, а також площу перекриття території ДДЗ в цих джерелах, можна зробити висновок, що найбільш досліджена турнейсько-візейська товща в прибортових зонах ДДЗ, а приосьова зона досліджена значно гірше. Це пов'язане, перш за все, із глибоким заляганням візейських порід в цій зоні, а також, іноді, непідтвердженою відсутністю турнейських відкладів в конкретному розрізі. А оскільки на теперішній час проводиться активне закладання та буріння глибоких свердловин на приосьових родовищах, інформація про мікропалеонтологічний та мікрофаціальний склад відібраного кернавого матеріалу буде актуальною.

В роботі нами було проведено стратиграфічне розчленування за форамініферами згідно з останніми схемами [13], а за вапнистими водоростями – на підставі виділених для карбону Уралу зон [10].

Матеріали та методи. Мікрофосилії досліджені в шліфах, вироблених з кернавого матеріалу розвідувальної свердловини 203 Березівського газоконденсатного родовища, яке розташоване на межі Харківської та Полтавської областей України (рис. 1). Керновий матеріал представлений наступними інтервалами:

- керна №1 – 5878,00-5892,00 м; представлений вапняком сірим до темно-сірого, глинистим, в верхній частині шару до мергелю, нижче спостерігається шар аргіліту темно-сірого до чорного, алевритистого, під ними залягає пісковик сірий, тонкозернистий до середньозернистого, з великою кількістю тонких прошарків аргіліту глинистого;
- керна №2 – 6017,10-6031,10 м; представлений мергелем темно-сірим глинистим з прошарками до вапняку глинистого та аргіліту вапняковистого, по шару зустрічаються світло-сірі ділянки, збагачені крупним органічним детритом;
- керна №3 – 6031,20-6042,30 м; представлений вапняком темно-сірим, глинистим до мергелю, зустрічаються світло-сірі ділянки, збагачені органічним детритом різного розміру (уламки черепашок брахіопод досягають 2,5 см);
- керна №4 – 6090,10-6093,85 м. представлений темно-сірим вапняком з численними

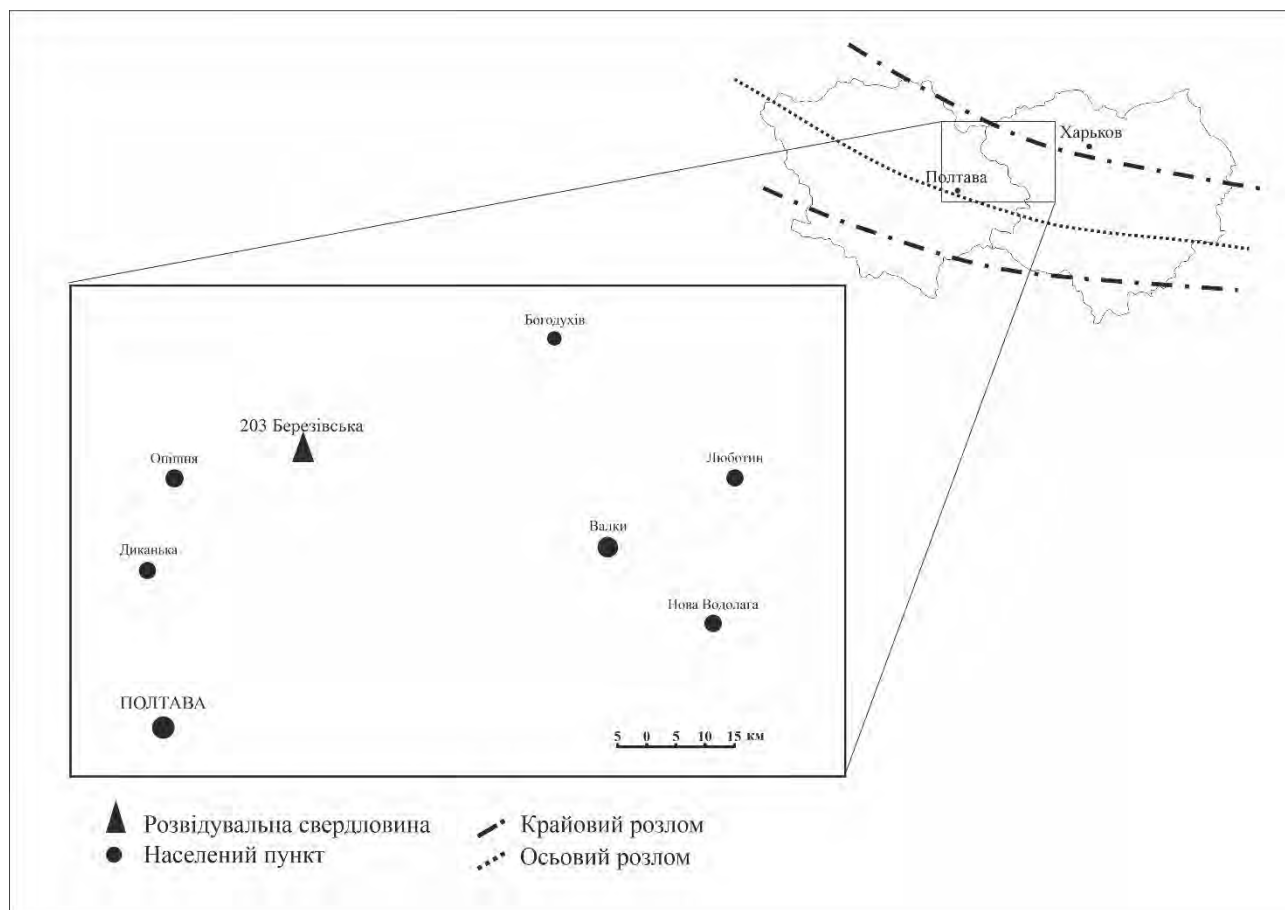


Рис. 1. Схема розташування дослідженої свердловини приосьової зони Дніпровсько-Донецької западини.
Fig. 1. Layout at the studied well in the axial zone of the Dnieper-Donetsk Depression

світло-сірими плямами та прошарками, збагаченими у великій кількості органоменим детритом, в нижній частині керну спостерігається 5 см прошарок темно-сірого тонкодрібнозернистого пісковика.

З кернового матеріалу були точково відібрані зразки карбонатних порід. В результаті було отримано 61 шліф, орієнтований за нашаруванням осаду, та 42 додаткових шліфа, орієнтованих перпендикулярно нашаруванню осаду. Дослідження проводилося за допомогою поляризаційного мікроскопа МИН-8. Фотографування проводилося за допомогою фотоапарату Canon EOS 40D. Фотоапарат встановлювався на мікроскоп за допомогою універсальної фотонасадки в окулярну трубку. Фотографування організмів проводилося із використанням об'єктиву мікроскопа x9, а загальних мікрофаціальних фотографій – з використанням об'єктиву мікроскопа x3.5.

Результати та їх обговорення.

Літологія. Карбонатні відклади візейської товщі, розкриті свердловиною 203 Березівською, представлені вапняками сірими до темно-сірих, з невеликими світло-сірими прошарками, що збагачені крупним органоменим детритом, глинистими до мергелю.

В результаті проведення детального мікроф-

аціального аналізу було виділено низку різностей візейських вапняків. Класифікація, використана автором, є синтезом структурно-генетичної [17] та седиментаційної [18] класифікацій. У верхній частині розрізу переважають пак-, грейн-пакстоуни, що вказує на нормальні умови осадонакопичення та розвиток збідненої морської фауни. З середньої частини розрізу зустрічаються світлі прошарки біокластичних вакстоунів, що вказує на дещо обмежену циркуляцію вод [16]. В інтервалі керну №1 відмічено великий відсотковий вміст біоорганічного детриту. Значну роль за кількістю індивідів відіграють зелені водорості, а також форамініфери паратурамініди. В даному інтервалі виділено:

А. Детритово-водоростевий пак-вакстоун (рис. 2 А);

В. Форамініферово-детритовий вак-пакстоун (рис. 2 В);

С. Водоростево-детритовий вак-пакстоун (рис. 2 С).

В верхній частині інтервалу керну №2 спостерігається спікуловий пакстоун (рис. 2 D), нижче порода представлена кристалічним мергелистим біокластичним флаут-вакстоуном (рис. 2 Е) та вакстоуном (рис. 2 F). З глибиною розмір та різноманіття біокластів помітно збільшується.

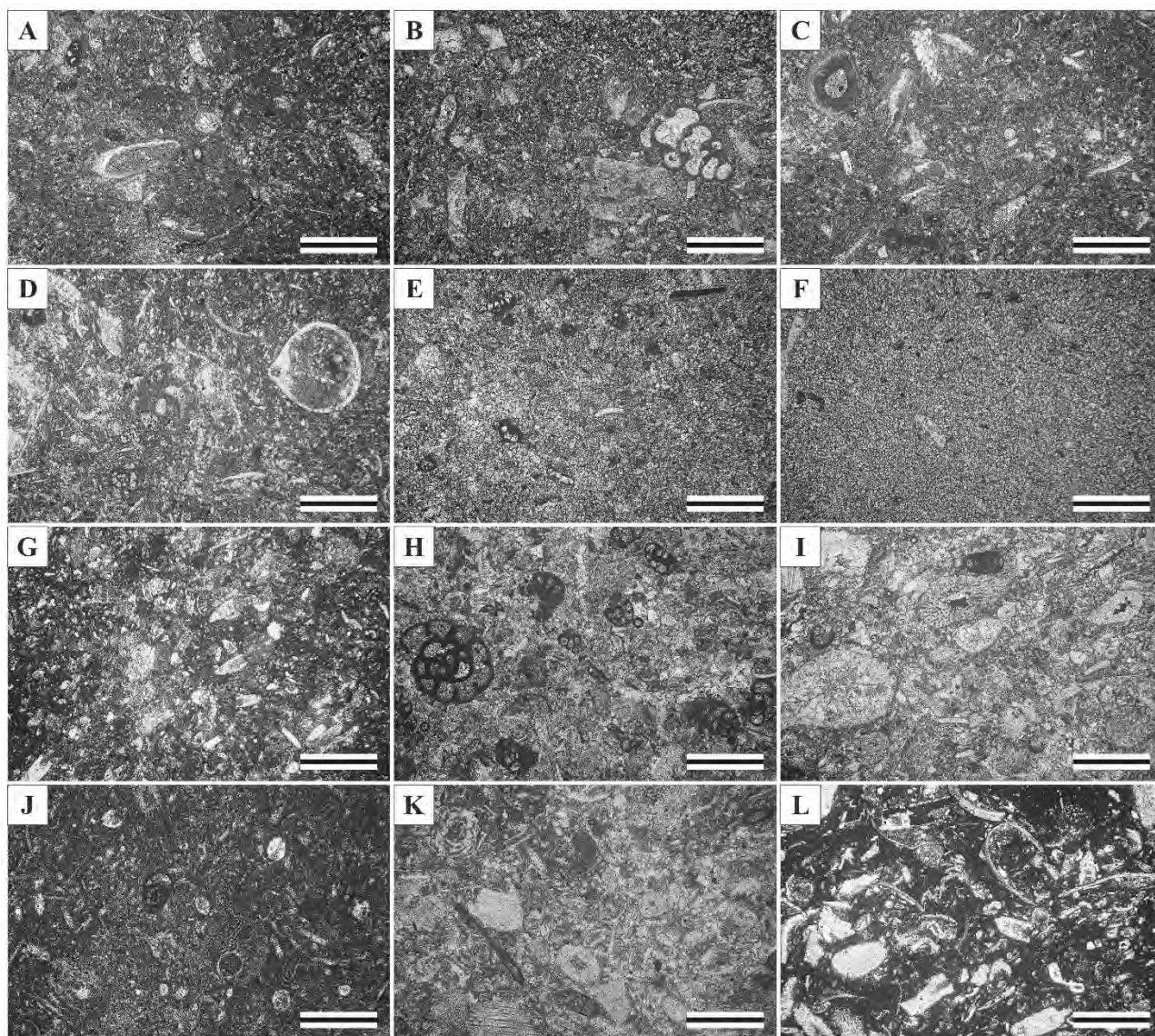


Рис. 2. Мікрофаціальні типи вапняків. Мірило – 1 мм. А – детритово-водоростевий пак-вакстоун (кern №1, глибина відбору 5879,72 м); В – форамініферово-детритовий вак-пакстоун (кern №1, глибина відбору 5880,30 м); С – водоростево-детритовий вак-пакстоун (кern №1, глибина відбору 5880,72 м); D – спікуловий пакстоун (кern №2, глибина відбору 6018,20 м); E – детритовий флаут-вакстоун (кern №2, глибина відбору 6025,50 м); F – детритовий вакстоун (кern №2, глибина відбору 6030,45 м); G – форамініферово-детритовий вак-пакстоун (кern №3, глибина відбору 6034,58 м); H – детритово-форамініферовий пак-грейнстоун (кern №3, глибина відбору 6035,61 м); I – водоростевий пакстоун (кern №3, глибина відбору 6036,56 м); J – водоростевий вак-пакстоун (кern №3, глибина відбору 6041,38 м); K – водоростево-детритовий пакстоун (кern №4, глибина відбору 6090,40 м); L – водоростево-детритовий пакстоун (кern №4, глибина відбору 6091,28 м).

Fig. 2. Microfacial types of limestones. Scale – 1 mm: A – detrital-algal pack-wackestone (core №1, sampling depth 5879,72 m); B – foraminifera-detrital wacke-packstone (core №1, sampling depth 5880,30 m); C – algal-detrital wacke-packstone (core №1, sampling depth 5880,72 m); D – sponge-spicules packstone (core №2, sampling depth 6018,20 m); E – detrital float- wackestone (core №2, sampling depth 6025,50 m); F – detrital wackestone (core №2, sampling depth 6030,45 m); G – foraminifera-detrital wacke-packstone (core №3, sampling depth 6034,58 m); H – detrital-foraminifera pack-grainstone (core №3, sampling depth 6035,61 m); I – algal packstone (core №3, sampling depth 6036,56 m); J – algal wacke-packstone (core №3, sampling depth 6041,38 m); K – algal-detrital packstone (core №4, sampling depth 6090,40 m); L – algal-detrital packstone (core №4, sampling depth 6091,28 m)

Вапнисті породи кернів №3 та №4 різко відрізняються переважанням пакстоунів зі значною

частиною крупного органічного детриту. Форамініферово-детритовий вак-пакстоун (рис. 2 G)

верхньої частини інтервалу керну №3 змінюється детритово-форамініферовим крупночерепашковим пак-грейнстоуном (рис. 2 Н).

Слід звернути увагу на спікуловий пакстоун з керну №2, з глибини 6018,20 м. Дана мікрофаціальна різність була простежена [3] у відкладах XIII мікрофауни стичного горизонту (МФГ) ДДЗ і може бути використана в якості регіонального стратиграфічного маркеру. Необхідним є уточнення, що спікулові вапняки та спікуліти простежуються не тільки в межах даного МФГ. Проте саме для XIII МФГ вони простежені авторами і на Скиданівському родовищі приосьової зони ДДЗ, а також О.І. Берченко [5] в Срібненській депресії ДДЗ, В.В. Огарем (2012) на Західно-Левенцівській, Багатойській площах та в окремих свердловинах Ливенської площі південної прибортової зони ДДЗ.

Описані відклади накопичувалися в умовах відкритої карбонатної платформи [16] з нормальними морськими умовами. Далі стає помітною присутність крупних форм червоних водоростей. Порооди, відповідно, переходять в водоростеві пакстоун (рис. 2. І) та вак-пакстоун (рис. 2. Ј). Карбонатні породи керну №4 представлені світлими водоростево-полідетритовими пакстоунами (рис. 2. К, Л). Біокласти представлені нечисленними черепашками форамініфер, фрагментами ексвотарізел та великою кількістю різноманітного, частково обкошеного біодетриту. Відклади, представлені матеріалами керну №4, накопичувалися в умовах, наближених до краю платформи [16]. Домішка тонковідмученого мікриту опосередковано вказує на рух субстрату з проникненням глинистого карбонатного матеріалу між зерен.

Мікропалеонтологія. Карбонатні відклади візейської товщі, розкриті свердловиною 203 Березівською, містять різноманітний комплекс альгофлори, який представлений 35 видами, що належать 22 родам, а також комплекс форамініфер, представлений індивідами 24 родів (рис. 3). Провідна роль в асоціації мікрофлори належить зеленим сифонокладовим водоростям, по мірі заглиблення з'являються червоні водорості, також збільшується кількість однокамерних форамініфер, асоціації зазнають помітних змін. Нижче вони розділені за номером керну.

Комплекс форамініфер карбонатних відкладів з керну №4 вкрай бідний, представлений в більшості архедісцидами: *Paraarchaediscus koktjubensis* (Rauscher-Chernousova, 1948) та *Lapparentidiscus* sp. Слід звернути увагу на дуже маленький розмір екземплярів та поганий стан збереженості. Перетини різноспрямовані. Також присутні одиничні перетини *Endothyra* sp. Більшість органічних решток, знайдена в даному

інтервалі, представлена фрагментами вапнистих водоростей, в основному зелених сифонокладових та червоних, різного ступеня збереженості. Також відмічається велика кількість представників триби *Exvotarisselleae* Shuisky, 1985. Комплексний аналіз наведених вище даних вказує на належність відкладів керну №4 до низів XIII МФГ ДДЗ.

Вапнисті водорості карбонатних відкладів з керну №3 представлені в більшості зеленими сифонокладовими водоростями та крупними представниками червоних водоростей. Відмінність від асоціації керну №4 полягає в кількісному співвідношенні видів. Сифонокладові водорості представлені різноманітними палеобезилідами: *Crassikamaena aculeata* R. Ivanova, 1990, *C. cf. foraminosa* Brenckle 1985, *Kamaena lata* R. Ivanova, 1988, *K. magna* R. Ivanova, 1988, *Pseudokamaena* sp., *P. boulderensis* Mamet, 1972, *Exvotarissella index* (Ehrenberg et Moeller, 1880). Червоні водорості представлені індивідами з гарно розвиненим крупним талітом: *Fourstonella* sp. и *Epistaheoides* sp. Серед форамініфер за чисельністю переважають дрібні форамініфери типу *Paraarchaediscus koktjubensis*, крупні тетратаксиси та ендотіріди. Також з'являються численні фрагменти *Earlandia vulgaris* (Rauscher-Chernousova et Reitlinger, 1936). Слід звернути увагу на дуже велику кількість паратурамінід: *Diplosphaerina* sp., *Bisphaera irregularis* Birina, 1948, *B. ovoidea* Conil et Lys, 1964, *Pachysphaerina* sp., *Parathuramminites suleimanovi* (Lipina, 1950). Аналіз даних комплексів дозволяє зробити припущення, що відклади з керну №3 відносяться до XIII МФГ ДДЗ, зони MFZ11 Бельгії та Франції (Poty et al., 1988), бобриківського горизонту СЄП та Східно-Уральського субрегіону.

Комплекси форамініфер та вапнистих водоростей карбонатних відкладів з керну №2 бідні, представлені лише декількома представниками з кожного ідентифікованого виду. Форамініфери представлені в більшості архедісцидами, одиничними ендотіроїдеями та тетратаксисами. В інтервалі даного керну продовжують існування *Earlandia vulgaris*, з'являються фрагменти *Earlandia* sp., а також *Consobrinellopsis gibbosa minima* (Lipina, 1948) та *Consobrinellopsis* sp.

Серед водоростей, що зустрінуті в карбонатних відкладах з керну №1, переважають сифонокладові зелені водорості, більшу їх частину становлять різноманітні каменіди різного ступеня збереженості: *Crassikamaena foraminosa* Brenckle 1985, *Kamaena magna*, *Crassikamaena aculeata*, *Kamaena lata*, *Pseudokamaena boulderensis*, *Crassikamaena cf. foraminosa*, *Crassikamaena ex gr. kurganensis* R. Ivanova, 1990,

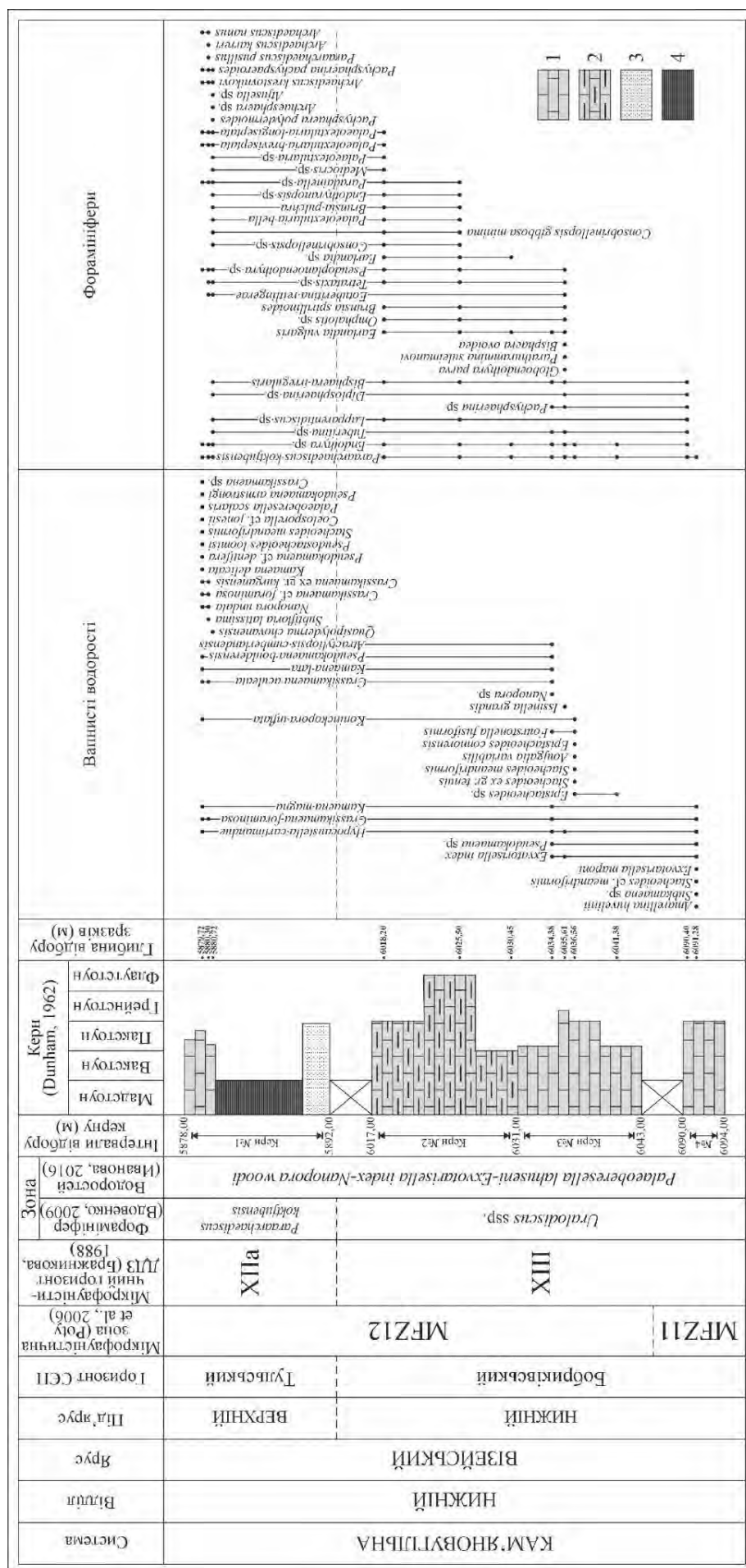


Рис. 3. Поширення вапнистих водоростей та форамініфер у відкладах візейського ярусу розвідувальної свердловини 203 Березівська.

1 – вапняк, 2 – глинистий вапняк до мергелю, 3 – пісковик, 4 – аргіліт.

Fig. 3. Distribution of calcareous algae and foraminifera in sediments of the Visean stage in the exploration well 203 Bereznovskaya.

1 – limestone, 2 – clayey limestone to marl, 3 – sandstone, 4 – argillite

Kamaena delicata Antropov, 1967, *Pseudokamaena* cf. *dentifera* R. Ivanova, 1990. Важливо звернути на це особливу увагу, оскільки дані представники є найбільш характерними для XIII МФГ ДДЗ, а також на повну відсутність характерних для верх-ньовізейських комплексів кальцифоліумів, на фоні чисельного переважання червоних водоростей.

В карбонатних відкладах з керну №1 серед форамініфер переважають дрібні форми, представлені архедісцидами: *Paraarchaediscus koktjubensis* (Rausser-Chernousova, 1948), *Archaediscus krestovnikovi* Rausser-Chernousova, 1948, *Archaediscus karreri* Brady, 1873, *Paraarchaediscus pusillus* (Rausser-Chernousova, 1948), *Archaediscus nanus* (Rausser-Chernousova, 1948), *Lapparentidiscus* sp. Також спостерігається присутність різноманітних паратурамінід: *Diplosphaerina* sp., *Eotuberitina reitlingerae* Miklukho-Maklay, 1958, *Bisphaera irregularis*, *Archaeosphaera* sp., *Tuberitina* sp., *Pachysphaerina pachysphaeroides* Pronina 1968, *Pachysphaera polydermoides* (Conil et Lys), 1964.

Сумісне знаходження архедісцид та палеотекстулярій вказує на відношення даних комплексів до самих низів XIIа МФГ ДДЗ [7].

Візейські відклади, розкриті свердловиною 203 Березівською, формувалися в теплому морському басейні з несуттєвим коливанням солоності. Велика кількість архедісцид вказує на те, що субстрат дна був представлений м'яким мулом, а розвинутий променистий шар архедісцид з керну №4 вказує на найбільш сприятливі умови їх розвитку. У верхній частині розрізу в асоціації вапнистих водоростей за чисельністю індивідів переважають зелені сифонокладові водорості, що вказує на спокійний гідродинамічний режим нижче рівня припливу, а також оптимальну глибину басейну, яка не перевищує 3-5 м. З інтервалу керну №3 продовжує збільшуватися кількість кальцисфер, зменшується кількість сифонокладових, а також починає зростати роль червоних водоростей. Це свідчить про деяке зниження циркуляції вод, а також про незначне заглиблення басейну, до 10 м оптимально. В цілому відклади можна віднести до фації відкритого моря карбонатної платформи (мілководна ундатема), а саме морської затоки з дещо обмеженим водообміном перед зовнішньою межею платформи.

СИСТЕМАТИЧНИЙ ОПИС

Відділ CHLOROPHYTA

Порядок DASYCLADALES Pascher, 1931

DASYCLADACEAE (Kutzing, 1843)

Stizenberger, 1860

Триба Aciculelleae Bassoullet et al., 1979

Під *Atractyliopsis* Pia, 1937

Atractyliopsis cf. *cumberlandensis* Rich, 1974

Табл. IV, фіг. 1-6

1974 *Atractyliopsis cumberlandensis* Rich, p. 367, pl.1, fig. 16-18; pl. 2, fig. 1-9.

1978 *Atractyliopsis cumberlandensis* Rich; Mamet et Roux, p. 74, pl. 3, fig. 7-9.

Опис. Таліт субциліндричний, представлений однією довгою трубкою, прямою чи дещо вигнутою. Стінка слабко кальцинована, дрібнопориста. Вапниста оболонка складена одним простим рядом овоїдальних клітин, розділених тонкими перемичками, які гарно розрізняються за кольором, що примикають одна до одної.

Розміри (мм): спостережуваний зовнішній діаметр таліту – від 0.292 до 0.502, внутрішній – від 0.214 до 0.274, видима довжина таліту – 0.550, товщина стінки – від 0.025 до 0.030 зовнішній діаметр овоїдальних клітин – від 0.027 до 0.029, внутрішній – від 0.022 до 0.023, ширина міжклітинних перемичок – від 0.001 до 0.003.

Порівняння. Нагадує представників роду червоних водоростей *Archaeolithophyllum*, Johnson, 1956. Також може бути сплутаний з представниками роду *Coelosporella* Wood, 1940. Проте в обох випадках його відрізняють рівномірні, впорядковані овальні клітини, які розділені чіткими перемичками.

Зауваження. Видова класифікація представників даного роду заснована в основному на розмірі та співвідношенні овоїдальних клітин. Оскільки матеріалу досі небагато, а зовнішній діаметр овоїдальних клітин менший, ніж усі зафіксовані раніше у представників даного роду, питання точності видового розділення та виділення нового роду на підставі знайдених авторами екземплярів залишається відкритим.

Поширення. верхній турне – нижній серпуків східного Тетису (Марокко, Бельгія, Франція), Північної Америки (Теннессі, Алабама, Альберта), верхній візе – серпуків Львівсько-Волинського вугільного басейну (Україна), Люблинського басейну (Польща).

Матеріал. Один поперечний перетин гарної збереженості, глибина 5879.72 м; один середньої збереженості, 8 фрагментів тангенціальних перетинів, глибина 6034.38 м, свердловина 203 Березівська.

Порядок SIPHONOCCLADALES (Blackman et Tansley) Oltm., 1904

BERESSELLACEAE Maslov et Kulik, 1956

Триба Uraloporelleae Shuysky, 1985

Під *Nanopora* Wood, 1964

Nanopora undata R. Ivanova 1990

Табл. IV, фіг. 7

1988 *Nanopora anglica* Иванова, 1988. Табл. II, фіг. 12–14.

1990 *Nanopora undata* Иванова см. Богуш и др., 1990. С. 113–114, табл. XIII, фиг. 9–11.

Опис. Таліт субциліндричний, слабо зігнутий або прямий, досить великий, нерозгалужений, товстостінний. Стінка складена прозорим світлим кальцитом, пронизана крупними, нерідко звивистими порами, які мають в поздовжньому перетині округлі або еліпсоїдальні обриси. Внутрішня порожнина широка.

Розміри (мм): спостережуваний зовнішній діаметр таліту 0.355–0.465, діаметр внутрішнього простору 0.265–0.323, товщина стінки 0.058–0.084, діаметр пор 0.036–0.051, відстань між ними 0.005–0.013.

Порівняння. Даний вид відрізняється від усіх відомих видів цього роду звивистими порами, від *N. woodi* Berch. – більш крупними розмірами таліту, стінки та пор, від *N. anglica* Wood – товстою стінкою таліту та великими розмірами, від *N. uspensis* R. Ivan. – більш грубими порами та меншим міжпоровим простором (0.005–0.013 проти 0.025–0.030).

Поширення. Відклади зони C_1^a , C_1^d Донбасу, район с. Роднікове (Україна); відклади верхнього турне, візе та серпухів Уралу (Російська Федерація), нижній карбон підняття Менделєєва, полігон 03 (Російська Федерація).

Матеріал. Один поздовжній перетин гарної збереженості, глибина 5879.72 м; один поперечний перетин середнього ступеня збереженості, глибина 5880.30 м, свердловина 203 Березівська. PALAEOBERESELLACEAE Mamet et Roux, 1974

Триба Exvotariselae Shuisky, 1985

Рід Exvotarisella Elliot, 1970

Exvotarisella maponi Elliott, 1970

Табл. VI, fig. 1, 6-8, 11, 13, 16

1969 *Anthracoporellopsis machaevi* Maslov; Pelhate, pp. 67-68, pl. 6, fig. 75.

1969 *Anthracoporella* sp.; Pelhate, p. 63, pl. 6, fig. 73.

1970 *Exvotarisella maponi* sp. n.; Elliott, pp. 446-449, pl. 82, fig. 1-5, pl. 83, fig. 1-5.

1974 *Exvotarisella index* (von Moller); Mamet et Roux (partim), pp. 148-150, pl. 5, fig. 20, 22, 24, pl. 6, fig. 3.

1975 *Anthracoporellopsis index* (von Moller); Termier, Termier et Vachard, p. 81, pl. 5, fig. 1, pl. 10, fig. 5.

1978 *Exvotarisella index* (von Moller); Mamet, Mortelmans et Roux, pp. 359-360, pl. 3, fig. 11.

Опис. Таліт циліндричний, слабо вигнутий або прямий, нерозгалужений, товстостінний. Чітка сегментація відсутня. Стінка одношарова, складена прозорим кальцитом, пронизана спорадично дихотомуючими порами, які в поздовжньому перетині мають еліпсоїдний або округлий обрис. Зовнішня поверхня гладка, без пережимів. Внутрішній простір широкий, сегментована правильними перегородками, вигнутими або коніч-

ними.

Розміри (мм): спостережуваний зовнішній діаметр таліту 0.122–0.146, діаметр внутрішньої порожнини 0.068–0.095, товщина стінки 0.027–0.031, діаметр пор 0.003–0.005, товщина поясків 0.029–0.031, відстань між ними 0.027–0.060.

Порівняння. Виявлені нами екземпляри не відрізняються від типових *Exvotarisella maponi* Elliott. Від близького виду *Exvotarisella index* (Ehrenberg em. Moeller, 1880) відрізняється меншим внутрішнім діаметром поясків, більшою відстанню між поясками, більш тонкою стінкою. У викопному стані легко сплутати з представниками роду *Palaeoberesella* Mamet et Roux, 1974, у зв'язку із схожою трапецієвидною формою поясків в осевих перетинах. Труднощі ідентифікації також виникають в результаті поганої збереженості частин стінки з гарною збереженістю пор. Також від палеоберезел відрізняється більшою кількістю камер, товщиною стінок та розгалуженими порами.

Поширення. Відклади XII-VII мікрофауністичного горизонту Дніпровсько-Донецької западини, відклади зон C_1^{vc} - C_1^{vg} Донбасу (Україна); нижній візе Уралу (Тюменсько-Кустанайський прогин, Російська Федерація); верхній фамен – візе Східного Сибіру (Російська Федерація).

Матеріал. 7 поздовжніх перетинів різного ступеня збереженості, глибина 6091.28 м, свердловина 203 Березівська.

Висновки. В результаті проведених стратиграфічних та літологічних досліджень можна зробити наступні висновки.

Розріз, розкритий розвідувальною свердловиною 203 Березівською, представлений переважно карбонатними, а також піщаними та глинистими породами нижньої частини верхньовізейського під'ярусу (тульський горизонт) та верхньої частини нижньовізейського під'ярусу (бобриківський горизонт).

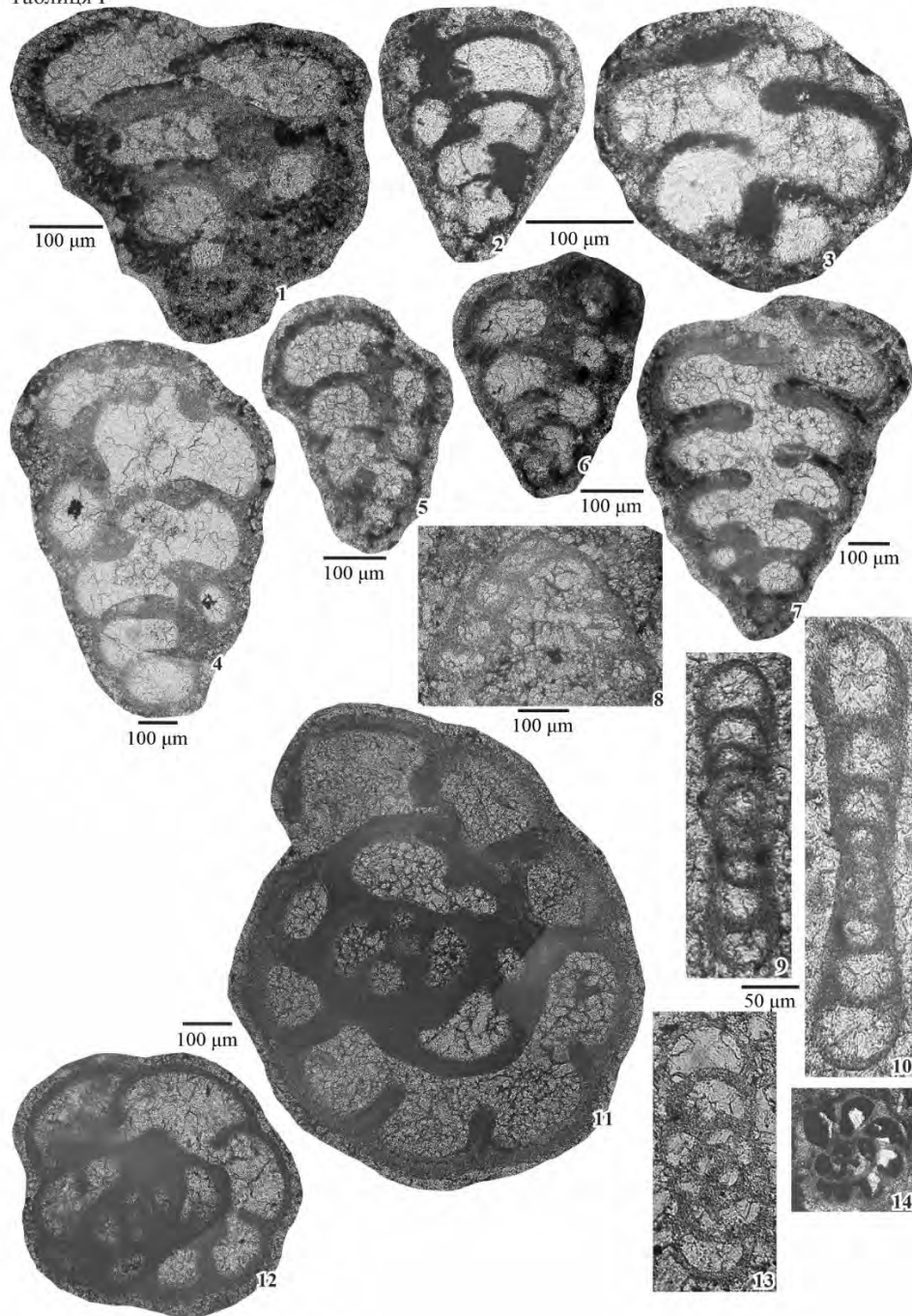
Описана асоціація форамініфер, представлена індивідами 24 родів, асоціація альгофлори, представлена 35 видами, які відносяться до 25 родів, в тому числі 2 види вапнистих водоростей, які описані вперше для ДДЗ: *Atractyloipsis* cf. *cumberlandensis* та *Nanopora undata*.

Пізнєовізейська мікрофауна та альгофлора, у порівнянні з ранньовізейською, стає таксономічно збідненою. В пізнєовізейських карбонатних відкладах з'являються численні представники архедісцид. Слід звернути увагу на *Paraarchaediscus koktjubensis*, як зональну форму тульського горизонту.

Ранньовізейська асоціація вапнистих водоростей приосової зони ДДЗ помітно відрізняється від одновікової асоціації зони відкритого Донбасу відсутністю таксономічно різноманітних

Свердловина 203 Березівська, візейський ярус

Таблиця I



Фіг. 1. *Palaeotextularia bella* Lipina, 1948, поздовжній перетин, глибина 5880,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.

Фіг. 2. *Consobrinellopsis* sp., поздовжній перетин, глибина 5879,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.

Фіг. 3. *Consobrinellopsis gibbosa minima* (Lipina, 1948), поздовжній перетин, глибина 5879,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.

Фіг. 4, 7. *Palaeotextularia brevisseptata* Lipina, 1948, 4 – поздовжній перетин, глибина 5880,30 м, інтервал 5878,00-5892,00 м; 7 – поздовжній перетин, глибина 5880,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.

Фіг. 5-6. *Palaeotextularia longiseptata* Lipina, 1948, поздовжній перетин, глибина 5880,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.

Фіг. 8. *Tetrataxis regularis* Brazhnikova, 1956, косий осьовий перетин, глибина 5880,30 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.

Фіг. 9. *Brunsia pulchra* Mikhailov, 1939, осьовий перетин, глибина 5879,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.

Фіг. 10. *Lapparentidiscus* sp., осьовий перетин, глибина 5880,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.

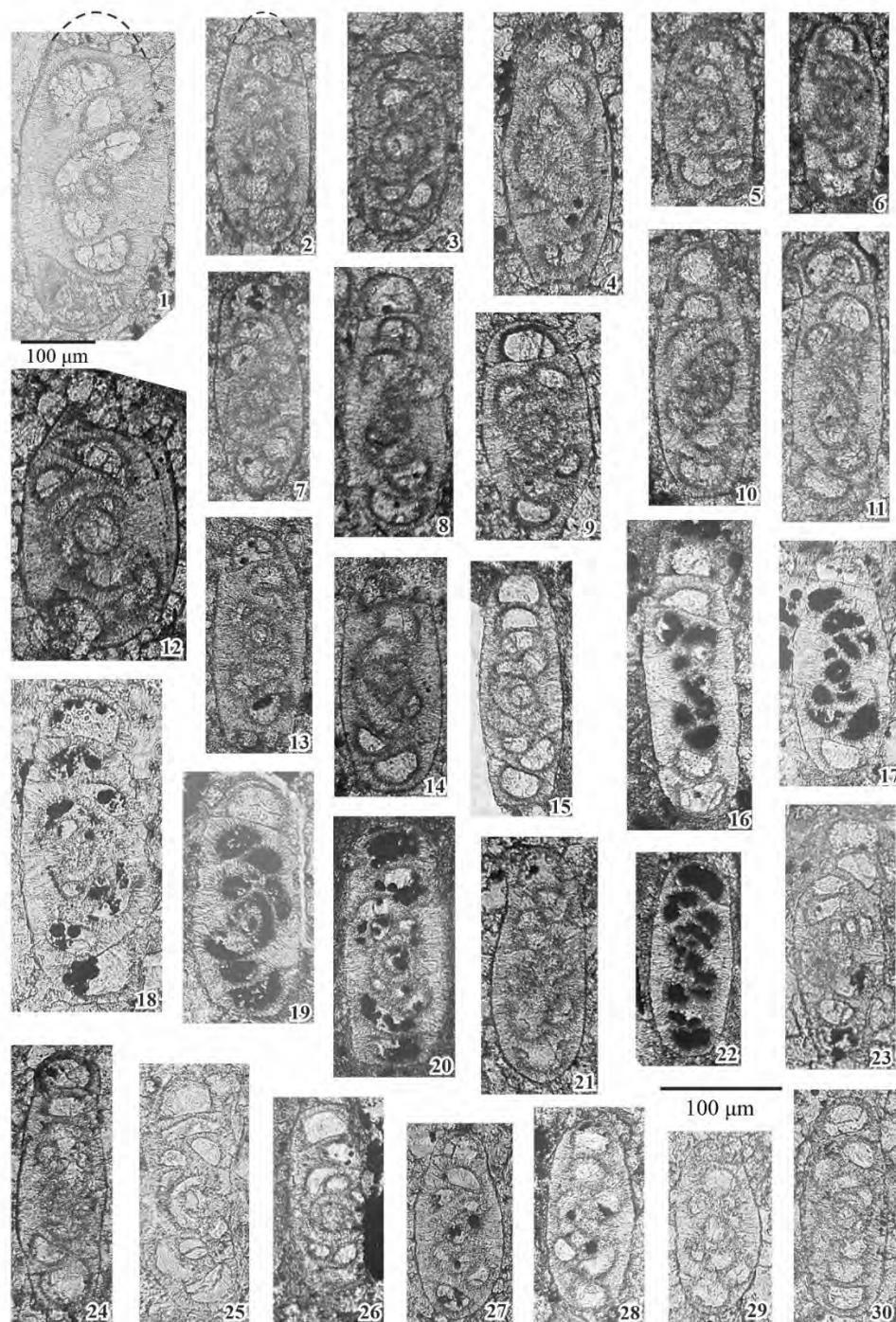
Фіг. 11. *Omphalotis* sp., медіанний перетин, глибина 6035,61 м, інтервал 6031,20-6042,30 м.

Фіг. 12. *Globoendothyra* sp., медіанний перетин, глибина 6035,61 м, інтервал 6031,20-6042,30 м.

Фіг. 13. *Pseudoplanoendothyra* sp., осьовий перетин, глибина 5880,30 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.

Фіг. 14. *Globoendothyra ukrainica* (Vdovenko), 1967, медіанний перетин, глибина 5879,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м

Таблиця II



Фіг. 1, 12. *Archaediscus karreri* Brady, 1873, 1 – осьовий перетин, глибина 5880,30 м, інтервал 5878,00-5892,00 м, осьовий перетин, глибина 5880,30 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.

Фіг. 5-6. *Paraarchaediscus pusillus* (Rauser-Chernousova, 1948), осьовий перетин, глибина 5880,30 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.

Фіг. 8, 10-11, 14, 21. *Paraarchaediscus koktjubensis* (Rauser-Chernousova, 1948), 8 – осьовий перетин, глибина 5880,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м; 10-11 – осьовий перетин, глибина 5880,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м; 14 – осьовий перетин, глибина 5880,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м; 21 – осьовий перетин, глибина 5880,30 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.

Фіг. 2-4, 7, 9, 13, 15-20, 23-26, 30. *Archaediscus krestovnikovi* Rauser-Chernousova, 1948, 2-4, 7 – осьовий перетин, глибина 5880,30 м, інтервал 5878,00-5892,00 м; 9 – осьовий перетин, глибина 5880,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м; 13 – осьовий перетин, глибина 5880,30 м, інтервал 5878,00-5892,00 м; 15-20 – осьовий перетин, глибина 5879,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м; 22-23 – осьовий перетин, глибина 5879,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м; 24 – осьовий перетин, глибина 5880,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м; 25-26 – осьовий перетин, глибина 5879,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м; 30 – осьовий перетин, глибина 5880,30 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.

Фіг. 27-29. *Archaediscus nanus* (Rauser-Chernousova, 1948), 27-28 – осьовий перетин, глибина 5879,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м, 29 – осьовий перетин, глибина 5880,30 м, інтервал 5878,00-5892,00 м

Таблиця III

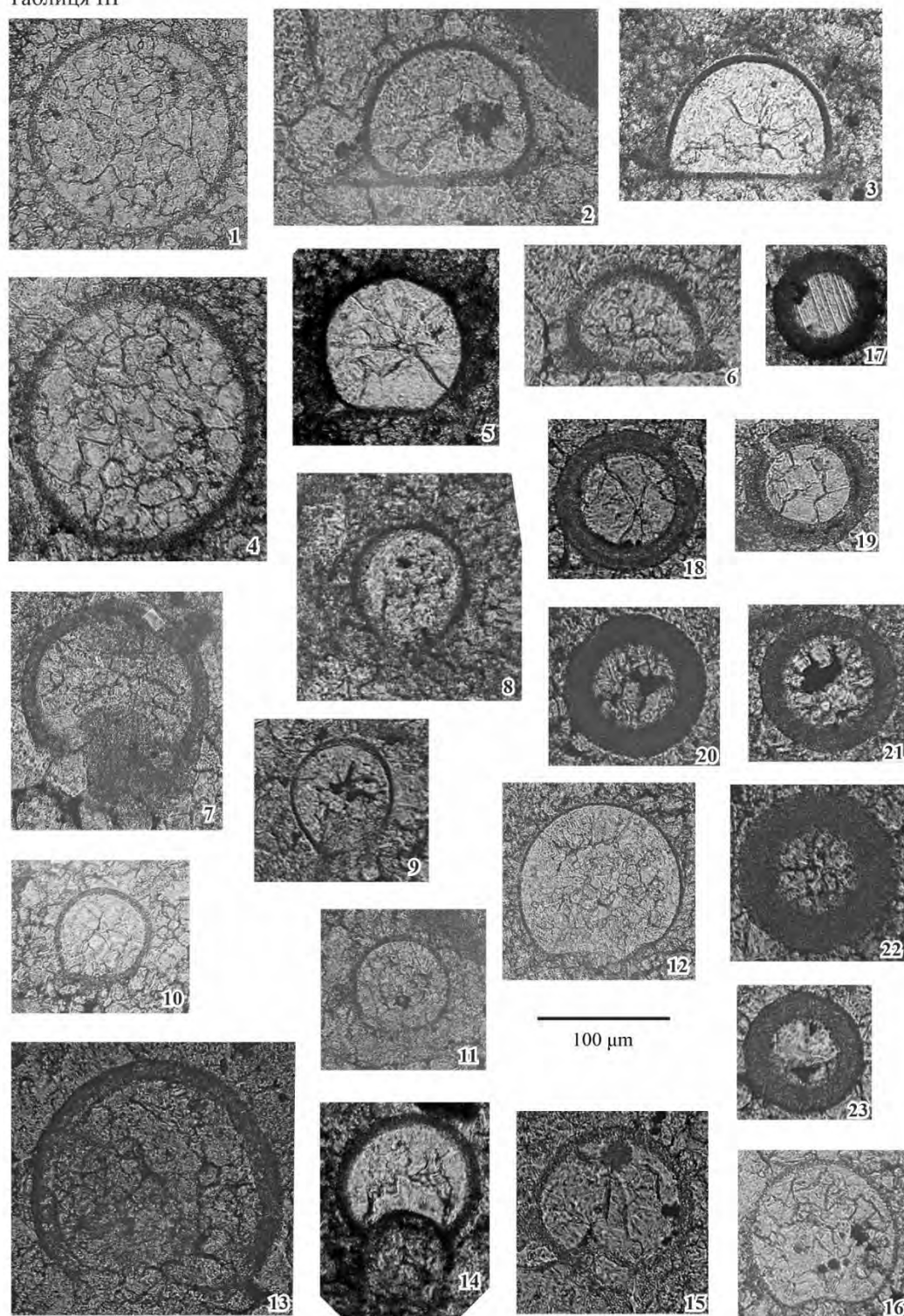


Fig. 1, 13. *Bisphaera irregularis* Birina, 1948. 1 – глибина 5880,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м; 13 – глибина 6035,61 м, інтервал 6031,20-6042,30 м.

Fig. 2-3, 6, 14. *Eotuberitina reitlingerae* Miklukho-Maklay, 1958, 2 – глибина 6035,61 м, інтервал 6031,20-6042,30 м; 3 – глибина 5880,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м; 6 – глибина 6035,61 м, інтервал 6031,20-6042,30 м; 14 – глибина 5880,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.

Fig. 4. *Archaesphaera* sp., глибина 5880,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.

Fig. 5. *Umbella chanxhei* Conil et Lys, 1964, глибина 5880,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.

Fig. 7-11, 15. *Umbella* sp., глибина 6035,61 м, інтервал 6031,20-6042,30 м.

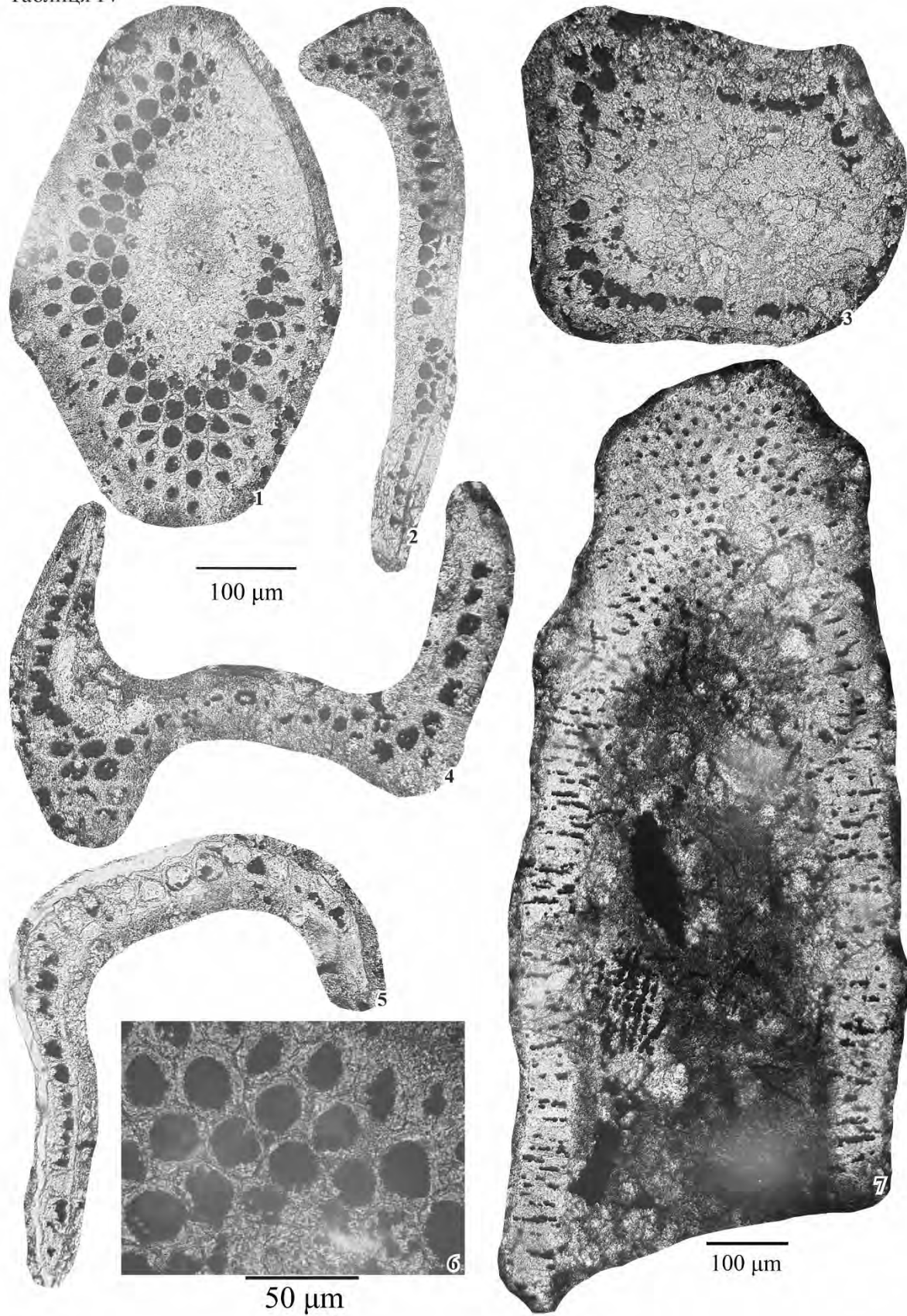
Fig. 12, 16. *Diplosphaerina* sp., 12 – глибина 6035,61 м 16 – глибина 5880,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.

Fig. 17. *Pachysphaera polydermoides* (Conil et Lys), 1964, глибина 5880,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.

Fig. 18-19. *Quasipolyderma chovanensis* (Reitlinger, 1957). 18 – глибина 6035,61 м, інтервал 6031,20-6042,30 м; 19 – глибина 5880,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.

Fig. 20-23. *Pachysphaerina pachysphaeroides* Pronina 1968, глибина 6035,61 м, інтервал 6031,20-6042,30 м

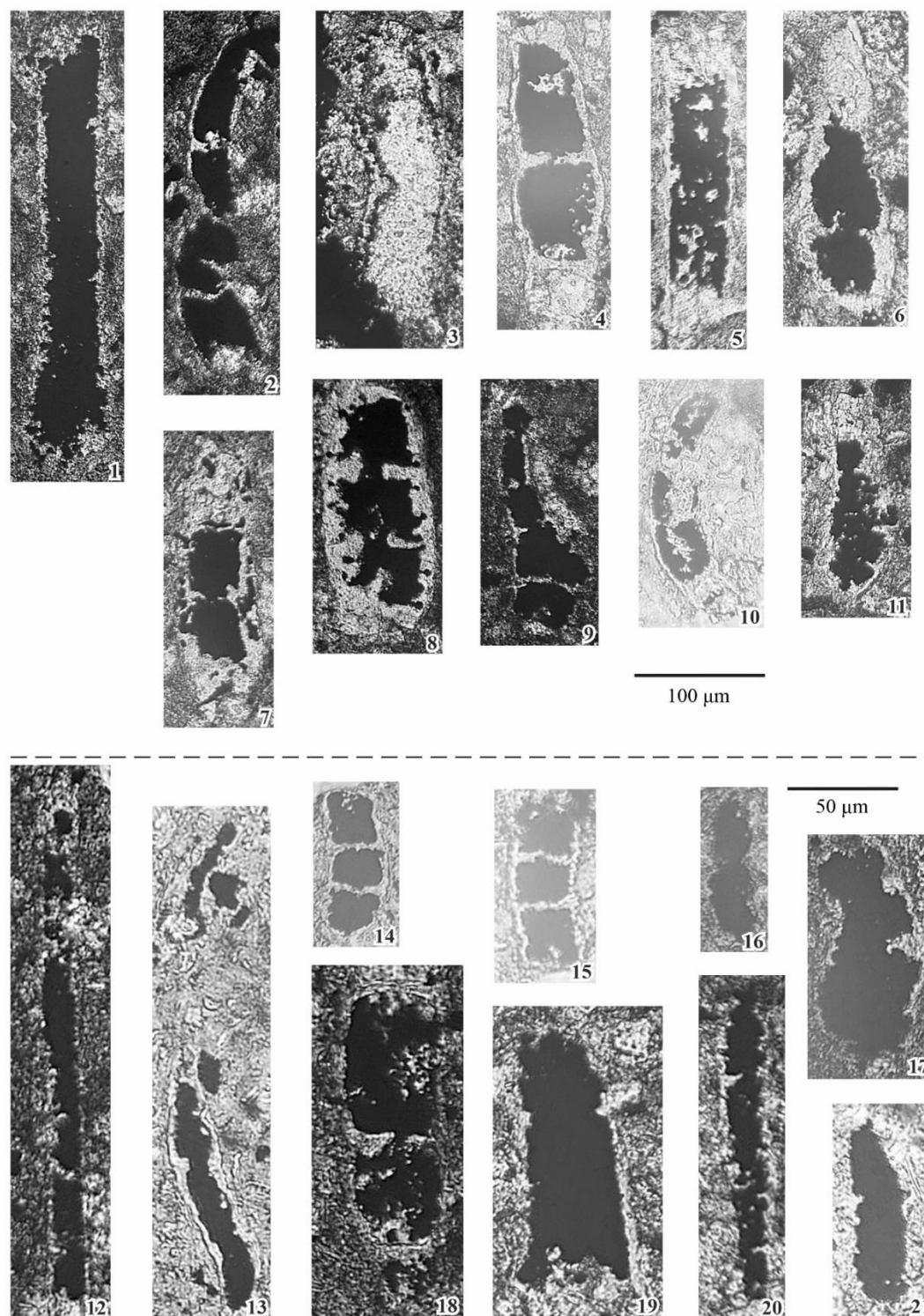
Таблиця IV



Фиг. 1-6. *Atractyliopsis cumberlandensis* Rich, 1974, 2 – глибина 6034,38 м 3-6 – глибина 5879,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.

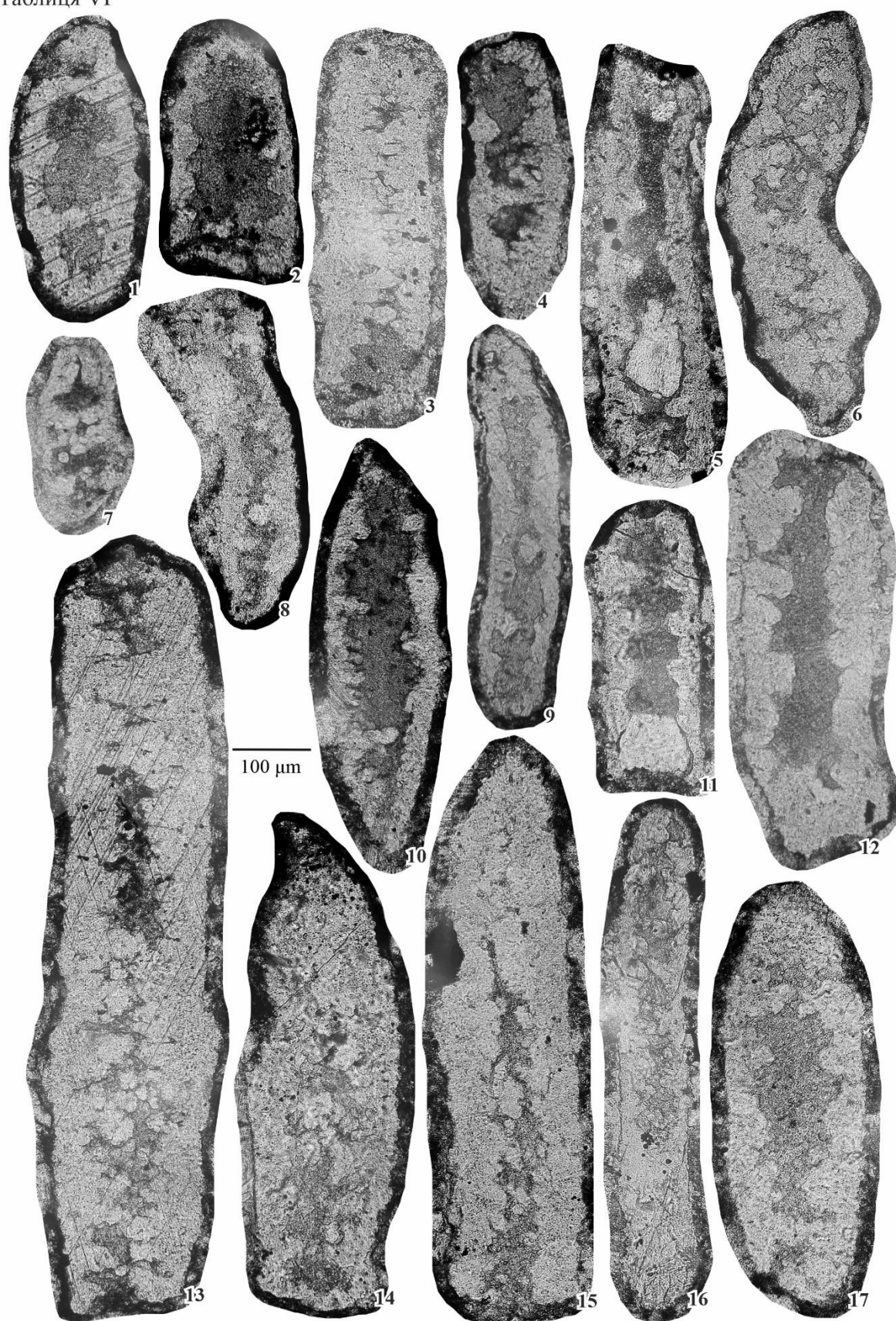
Фиг. 7. *Nanopora undata* R. Ivanova, 1990, поздовжній перетин, глибина 5879,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м

Таблиця V



- Fig. 1, 5. *Crassikamaena aculeata* R. Ivanova, 1990, глибина 5879,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.
 Fig. 2, 9-11. *Kamaena lata* R. Ivanova, 1988, глибина 5879,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.
 Fig. 4, 6, 7. *Kamaena magna* R. Ivanova, 1988, глибина 5879,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.
 Fig. 8. *Crassikamaena* ex gr. *kurganensis* R. Ivanova, 1990, глибина 5879,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.
 Fig. 12. *Palaeoberesella scalaris* R. Ivanova, 1988, глибина 5879,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.
 Fig. 12, 20. *Pseudokamaena* sp., глибина 5879,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.
 Fig. 3, 13. *Crassikamaena foraminosa* Brenckle 1985, глибина 5879,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.
 Fig. 14-15. *Kamaena delicata* Antropov, 1967, глибина 5879,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.
 Fig. 16. *Pseudokamaena boulderensis* Mamet, 1972, глибина 5879,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.
 Fig. 17-18. *Pseudokamaena* cf. *dentifera* R. Ivanova, 1990, глибина 5879,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.
 Fig. 19. *Crassikamaena* sp., глибина 5879,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м.
 Fig. 21. *Pseudokamaena armstrongi* Mamet, 1972, глибина 5879,72 м, інтервал 5878,00-5892,00 м

Таблиця VI



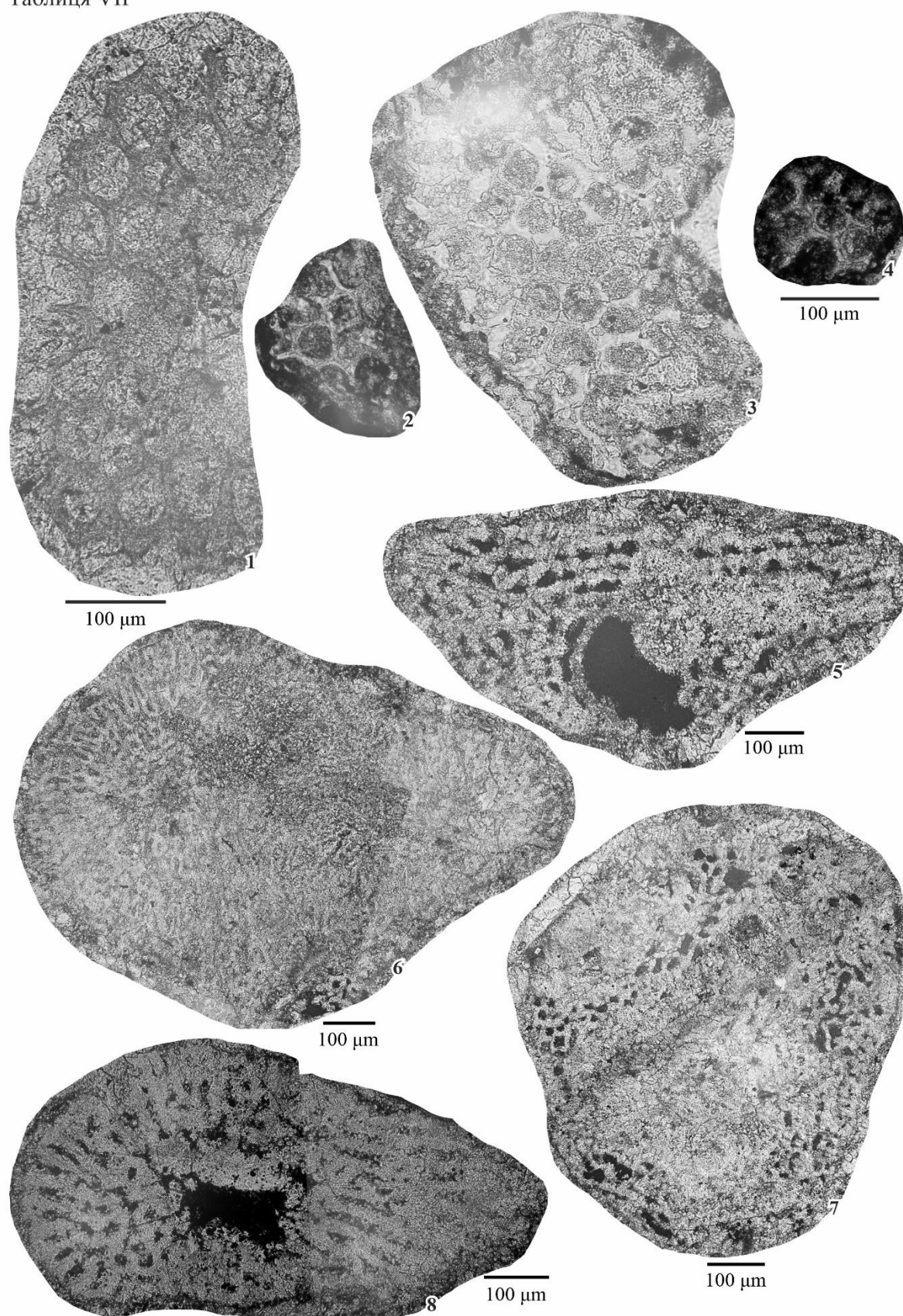
Фиг. 1, 6-8, 11, 13, 16. *Exvotarisella maponi* Elliott, 1970a, глибина 6091,28 м, інтервал 6090,1-6093,85 м.

Фиг. 2-5, 9, 12, 15, 17. *Exvotarisella index* (Ehrenberg em. Moeller, 1880), глибина 6091,28 м, інтервал 6090,1-6093,85 м.

Фиг. 10. *Crassikamaena* cf. *foraminosa* Brenckle 1985, глибина 6091,28 м, інтервал 6090,1-6093,85 м.

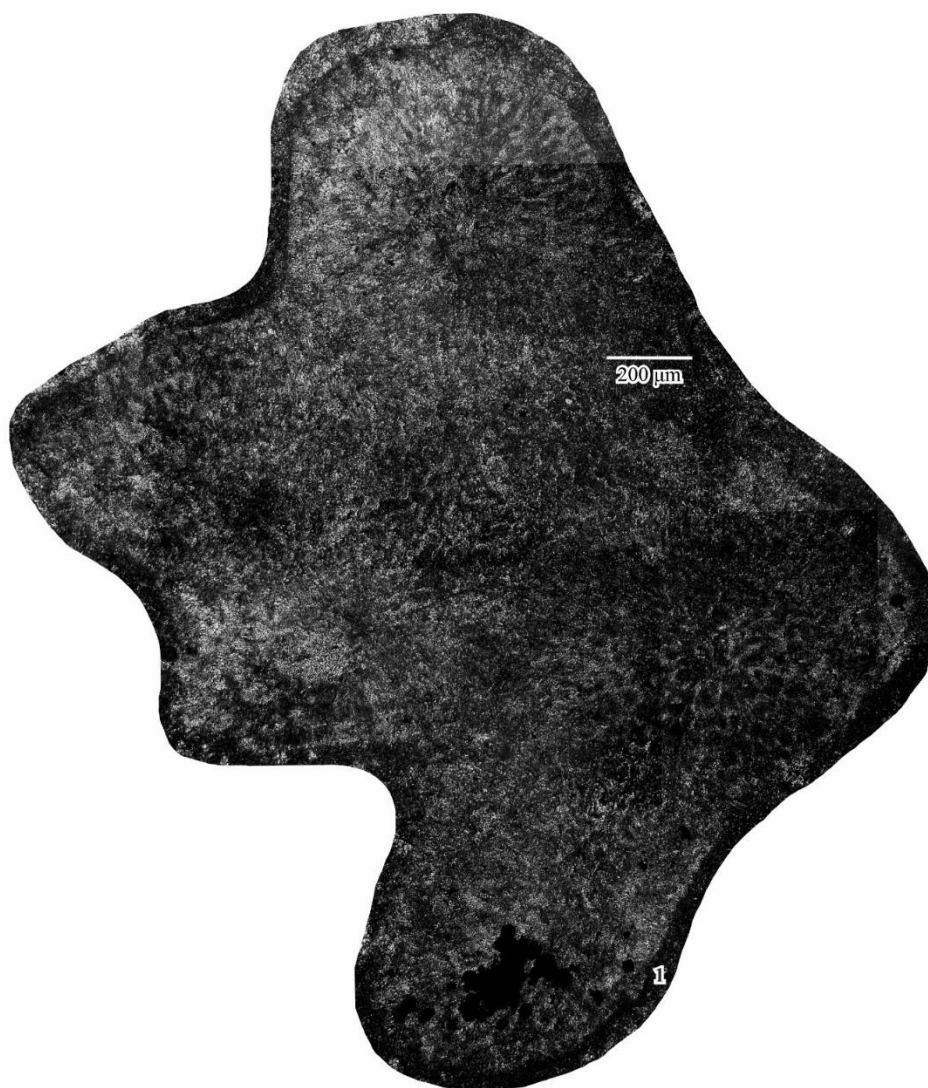
Фиг. 14. *Amarellina huvelinii* Mamet, 1995, глибина 6091,28 м, інтервал 6090,1-6093,85 м

Таблиця VII



- Fig. 1-4. *Koninckopora* cf. *inflata* Koninck, 1842, глибина 6091,28 м, інтервал 6090,1-6093,85 м.
Fig. 5 *Aoujgalia variabilis* Term. et Term., 1950, глибина 6036,56 м, інтервал 6031,20-6042,30 м.
Fig. 6. *Epistacheoides connorensis* Mamet et Rudloff, 1972, глибина 6036,56 м, інтервал 6031,20-6042,30 м.
Fig. 7. *Stacheoides* ex gr. *tenuis* Petryk et Mamet, 1972, глибина 6036,56 м, інтервал 6031,20-6042,30 м.
Fig. 8. *Stacheoides meandriiformis* Mamet et Rudloff, 1972, глибина 6036,56 м, інтервал 6031,20-6042,30 м

Таблиця VIII

Фіг. 1. *Epistacheoides* sp. (ex gr. *connorensis* ?), глибина 6041,38 м, інтервал 6031,20-6042,30 м

палеоберезелід [15], а також більшою кількістю крупних талітів представників червоних водоростей.

Присутність в асоціації вапнистих водоростей нижньовізейського під'ярусу крупних форм багрянок пов'язана з переважанням глинистих вапняків до мергелів серед карбонатних відкладів. Морські умови пізнього візе були більш мілководними, із достатнім освітленням для розвитку таксономічно різноманітної асоціації зелених сифонокладових водоростей.

Мікрофаціальні дослідження карбонатних

відкладів, розкритих свердловиною 203 Березівська, дозволили зробити припущення про виділення регіонального стратиграфічного маркеру, що має в ряді випадків, гарний кореляційний потенціал на території ДДЗ, а саме спікуловий пакстоун, який є характерним для XIII МФГ ДДЗ.

Подяка. Автори щиро вдячні к.г.-м.н. Р. М. Івановій (ИГГ УрО РАН), к.г.-м.н. О. Л. Зайцевій (МГУ) та д.г.-м.н. О. І. Кулагіній (ИГ УФИЦ РАН) за консультації та рекомендації при написанні цієї статті.

Список використаної літератури

1. Берченко, О.И. Биостратиграфическое расчленение и корреляция нижнекаменноугольных отложений Днепровско-Донецкой впадины по водорослям [Текст] / О.И. Берченко // Геологічний журнал. – 1997. – № 12. – С. 40-45.

2. Берченко, О.И. Значение известковых водорослей для биостратиграфического расчленения раннекаменноугольных отложений ДДВ впадины [Текст] / О.И. Берченко // Біостратиграфічні дослідження при пошуках корисних копалин України: Збірник наукових праць ІГН НАН України. – Київ, 1996. – С. 15-16.
3. Берченко, О.И. Известковые водоросли визейских отложений Доно-Днепровского прогиба [Текст] / О.И.Берченко, О.А.Сухов. – Киев: Наукова думка, 2013. – 165 с.
4. Берченко, О.И. Изменение состава известковых водорослей в отложениях турнейского и визейского ярусов Днепровско-Донецкой впадины [Текст] / О.И. Берченко, В.И. Єфіменко // Біосфери геологічного минулого України: Збірник наук. праць ІГН НАН України. – Київ, 1994. – С. 31-32.
5. Берченко, О.И. Микрофацциальный анализ и водорослевая характеристика визейских известняков Сребненского прогиба Днепровско-Донецкой впадины [Текст] / О.И. Берченко // Ископаемые организмы и стратиграфия осадочного чехла Украины. – Киев: Наукова думка, 1985. – С. 41-45.
6. Вдовенко, М.В. Стратотипы региональных стратиграфических подразделений нижнего карбона Доно-Днепровского прогиба (турнейский и визейский ярусы) [Текст] / М.В. Вдовенко, О.И. Берченко, В.И. Полежаев. – Киев, 1992. – 52 с.
7. Геология и нефтегазоносность Днепровско-Донецкой впадины. Стратиграфия [Текст] / Д.Е.Айзенберг, О.И.Берченко, Н.Е. Бражникова та ін. – Киев: Наукова думка, 1988. – 147 с.
8. Єфіменко, В.І. Палеонтологічне обґрунтування біостратиграфічного поділу нижнього карбону зони зчленування Доно-Дніпровського прогину з південним схилом Воронежської антеклизі [Текст] / В.І. Єфіменко, В.В. Огар // Біостратиграфічні основи побудови стратиграфічних схем фанерозою України: Збірник наукових праць ІГН НАН України. Київ, 2008. – С.38-48.
9. Завьялова, Е.А. О фораминиферах турнейского яруса Львовской мульды [Текст] / Е.А. Завьялова // Тр. УкрНИИГРИ. – 1959. – Вып. 1. – С. 174-179.
10. Иванова, Р.М. Водоросли и стратиграфия нижнего визе Боровской подзоны Тюменско-Кустанайского прогиба мульды [Текст] / Р.М. Иванова // Ежегодник-2016, Труды ИГГ УрО РАН. – 2017. – 164. – С. 9-14.
11. Иванова, Р.М. Известковые водоросли карбона Урала [Текст] / Р.М. Иванова. – Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. – 244 с.
12. Микрофаунистические маркирующие горизонты каменноугольных и пермских отложений Днепровско-Донецкой впадины [Текст] / Н.Е.Бражникова, Г.И.Вакарчук, М.В.Вдовенко та ін. – Киев: Наукова думка, 1967. – 234 с.
13. Стратиграфія верхнього протерозою та фанерозою України: у 2 т. Т. 1. Стратиграфія верхнього протерозою, палеозою та мезозою України [Текст] / відп.ред. П.Ф. Гожик. – Київ: Логос, 2013. – 638 с.
14. Стратотипи регіональних стратиграфічних підрозділів карбону і нижньої пермі Доно-Дніпровського прогину [Текст] / В.І. Полетаєв, М.В. Вдовенко, О.К. Щоголев, та ін. . – Київ: Логос, 2011. – 236 с.
15. Сухов, О.А. Порівняльна характеристика візейських водоростевих комплексів Донбасу та суміжних територій [Текст] / О.А. Сухов // Тектоніка і стратиграфія. – 2012. – 39. – С. 57-64.
16. Уилсон, Дж.Л. Карбонатные фашии в геологической истории. Перевод с английского [Текст] / Дж.Л. Уилсон. – Москва: Недра, 1980. – 463 с.
17. Фролов, В.Т. Литология. Книга 2: Учебное пособие [Текст] / В.Т. Фролов. – Москва: Издательство МГУ, 1993. – 43 с.
18. Dunham, R.J. Classification of carbonate rocks according to depositional texture: Classification of carbonate rocks [Текст] / R.J. Dunham // Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. – 1962. – 1. – P. 108-121.
19. Mamet, B. Algues Devono-Carboniferes de L'Australie [Текст] / B. Mamet, A. Roux // Rev. Micropaleontologie. – 1983. – 6 (2) . – P. 63-131.
20. Mamet, B. Carboniferous calcareous algae [Текст] / B. Mamet // Calcaerous algae and stromatolites. – 1991. – P. 370-451.
21. Mamet, B. Dasycladacees Devoniennes et Carboniferes de la Tethys Occidentale [Текст] / B. Mamet, A. Roux // Rev. Espanola de Micropaleontologia. – 1975. – V, VII (2). – P. 245-295.
22. Okuyucu C. Refinements in biostratigraphy of the foraminiferal zone MFZ11 (late early Viséan, Mississippian) in the Cebeciköy Limestone (İstanbul Terrane, NW Turkey) and palaeogeographic implications [Текст] / C. Okuyucu, D. Vachard, Concuoglu M. Cemal // Bull. Geosciences. – 2013. – 88(3). – P. 621-645. <http://doi.org/10.3140/bull.geosci.1387>
23. Skompski S. Stratigraphic position and facies significance of the limestone bands in the subsurface Carboniferous succession of the Lublin Upland [Текст] / S. Skompski // Acta geologica Polonica. – 1996. – 46 (3-4) . – P. 171-268.
24. Vachard D. Parathuramminides et Moravamminides (microproblematica) de l'Emsien supérieur de la Formation Moniello (Cordilleras Cantabriques, Espagne) [Текст] / D. Vachard // Rev. Paléobiol. – 1991. – 10 (2). – P. 255-299.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Известковые водоросли и фораминиферы нижнего карбона средней части центральной приосевой зоны Днепровско-Донецкой впадины (Украина)

Анастасия Дмитриевна Гусарова¹,

инженер, ¹УкрНИИГаз, АО «Укргаздобыча», Гимназическая наб., 20, г. Харьков, 61010, Украина;

Андрей Вячеславович Матвеев²,

д. геол. н., доцент, зав. кафедры геологии,

²Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина,

пл. Свободы, 4, г. Харьков, 61002, Украина

Исследован разрез, вскрытый разведочной скважиной 203 Березовской, представленный преимущественно карбонатными, а также песчаными и глинистыми породами нижней части верхневизейского подъяруса (тульский горизонт) и верхней части нижневизейского подъяруса (бобриковский горизонт). Дана микрофациальная характеристика карбонатных отложений и ассоциации фораминифер и известковых водорослей из отложений визейского яруса приосевой зоны Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ). Описанная ассоциация фораминифер, представлена индивидами 24 родов и ассоциация альгофлоры, представленная 35 видами, относящихся к 25 родам, в том числе 2 вида известковых водорослей, которые описаны впервые для ДДВ: *Atractyliopsis* cf. *Cumberlandensis*, *Nanopora undata* и *Exvotarisella maponi*. Ископаемые ассоциации альгофлоры характеризует зону *Palaeoberesella lahuseni* - *Exvotarisella index* - *Nanopora woodi*, которая была скореллирована с фораминиферовыми зонами *Uralodiscus rotundus* и *Paraarchaediscus koktjubensis*. Поздневизейская микрофауна и альгофлора, по сравнению с ранневизейской, становится таксономической обедненной. В поздневизейских карбонатных отложениях появляются многочисленные представители архедисцид. Проведен сравнительный анализ ассоциаций водорослей ДДВ с одновозрастными ассоциациями открытого Донбасса, Урала, Восточно-Европейской платформы, Бельгии и Франции. Присутствие в ассоциации известковых водорослей нижневизейского подъяруса крупных форм багрянок связано с преобладанием глинистых известняков в мергелей среди карбонатных отложений. Морские условия позднего визе были более мелководными, с достаточным освещением для развития таксономически разнообразной ассоциации зеленых сифонокладовых водорослей. Микрофациальные особенности карбонатных отложений, позволили предположить о выделении регионального стратиграфического маркера – спикулового пакстоуна, который является характерным для XIII микрофаунистического горизонта ДДВ. Описаны 3 вида известковых водорослей, встречены впервые на территории ДДВ. Изображение фораминифер и известковых водорослей приведены на 8 палеонтологических таблицах.

Ключевые слова: известковые водоросли, фораминиферы, карбонатные микрофауны, нижний карбон, визейский ярус, Днепровско-Донецкая впадина.

Lower Carboniferous calcareous algae and foraminifera of the middle part of the central paraxial zone of the Dono-Dnieper Depression (Ukraine)

Anastasiia Gusarova¹,

¹Research institute "UkrNDIGas", JSC UkrGasVydobuvannya, Kharkiv, 61010, Ukraine;

Andriy Matveyev²,

Doctor of Science (Geology), Associate Professor, Head of the Department of Geology,

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

ABSTRACT

Introduction. Today, the boundary of the Upper Visean and Lower Visean substage of the Dnieper-Donetsk Basin (DDB) remains controversial. The characteristic of associations of foraminifera and calcareous algae of Lower Carboniferous deposits in axial zone of the DDB were investigated.

Analysis of previous publications. The Tournaisian-Visean stage is most studied in the riparian zones of the DDB, and the axial zone is much less studied. This is due to the deep occurrence of Visean rocks in this area, as well as, sometimes, the lack of Tournaisian deposits in a particular section.

Materials and methods. The microfacies of carbonate rocks on the core materials of the borehole 203 Beriziv'ska. The algaeflora fossil associations characterizes the algae zone *Palaeoberesella lahuseni* – *Exvotarisella index* – *Nanopora woodi*, which was compared with foraminifera zones *Uralodiscus rotundus* and *Paraarchaediscus koktjubensis*.

Results and discussion. Lithology. The upper part of the section is dominated by pack-, gran-packstones, which indicates the normal conditions of sedimentation and the development of depleted marine fauna. From the middle part of the section there are light layers of bioclastic waxstones, which indicates limited water circulation. In the lower part there is a high percentage of bioorganic detritus. Green algae and foraminifera parataraminides play a significant role in the number of individuals.

Micropaleontology. Describes the association of foraminifera, represented by individuals of 24 genera, the association of algae, represented by 35 species belonging to 25 genera, including 3 species of calcareous algae, which are described for the first time for DDB: *Atractyliopsis* cf. *cumberlandensis*, *Nanopora undata* and *Exvotarissella maponi*.

Conclusions. A comparative analysis of the algae associations described in the paper with the coeval associations of the Urals, East European Platform (Russian Platform), Belgium, France and Lviv-Volyn basin. The foraminifera and algae representation is given at the 8 paleontological plates.

As a result of stratigraphical and lithological studies, the following conclusions can be drawn.

1. The section of Berezhivska well is represented mainly by carbonate, as well as sand and clay rocks of the lower part of the Upper Visean substage (Tulian horizon) and the upper part of the Lower Visean substage (Bobrikovskian horizon).

2. Microfacial analysis revealed a number of rocks in Visean limestones. The upper part of the section is dominated by pack-, gran-packstones, which indicates the normal conditions of sedimentation and the development of depleted marine fauna. From the middle part of the section there are light layers of bioclastic waxstones, which indicates limited water circulation. In the lower part there is a high percentage of bioorganic detritus. Green algae and foraminifera parataraminides play a significant role in the number of individuals.

These deposits accumulated in the conditions of an open carbonate platform with normal sea conditions. Even lower there are large forms of red algae. The rocks turn into algae packstone and wackstone. Bioclastic material are represented by a few foraminiferal shells, fragments of exotarizel and a large number of various, partially rolled, biotritite. These deposits accumulated in conditions close to the edge of the platform

3. Describes the association of foraminifera, represented by individuals of 24 genera, the association of algae, represented by 35 species belonging to 25 genera, including 3 species of calcareous algae, which are described for the first time for DDB: *Atractyliopsis* cf. *cumberlandensis*, *Nanopora undata* and *Exvotarissella maponi*.

The large number of archaedicides from the core №4 indicates that the bottom substrate was represented by soft silt, and their developed radiant layer indicates the most favourable conditions for their development. In the upper part of the section in the association of calcareous algae the number of individuals is dominated by green siphonocladian algae, which indicates a calm hydrodynamic regime below the tidal level, as well as the optimal depth of the basin, which does not exceed 3-5 m.

4. Microfauna and algae of Late Visean, in comparison with the Early Visean, becomes taxonomically impoverished. Numerous archaedicides appear in the Late Visean carbonate deposits. Attention should be paid to *Paraarchaediscus koktjubensis* as a zonal form of the Tulian horizon.

5. The Early Visean Association of calcareous algae of the axial zone of the DDD differs markedly from the single age association of the open Donbass by the absence of taxonomically diverse paleoberezelides, as well as a large number of large thallites of red algae.

Keywords: calcareous algae, foraminifera, calcareous microfacies, Lower Carboniferous, Visean stage, Dnieper-Donetz Basin.

References

1. Aisenverg D.E., Berchenko O.I., Brazhnikova N.E., Vdovenko M.V., Vinnichenko L.V., Vinnichenko L.G., Voronova M.A., Vysochanskii I.V., Gorak S.V., Gorbunov V.S., Zashimovich V.J., Ivannikov A.V., Kozitskaya R.I., Kononenko L.P., Kotlyar O.E., Kulichenko V.G., Lipnik E.S., Lukin A.E., Makarenko D.E., Makridina L.V., Nemirovskaya T.I., Onuphrichin S.V., Permyakov V.V., Poletaev V.I., Savron E.B., Stanislavskii F.A., Sterlin B.P., Tkachenko R.J., Ustinovskii J.B., Khristoforova T.F., Shelkopyas V.N., Shchegolev A.K., Yamnichenko I.M. (1988). *Geologiya i neftegazonosnost' Dneprovsko-Donetskoi vpadiny. Stratigrafiya* [Geology, oil and gas content of the Dnieper-Donetsk depression. Stratigraphy]. Kiev: Naukova dumka, 147 [in Russian]
2. Berchenko O.I. (1985) *Mikrofacial'nyi analiz i vodoroslevaya kharakteristika vizeiskikh izvestnyakov Srebnenskogo progiba Dneprovsko-Donetskoi vpadiny* [Microfacial analysis and algal characteristics of the Visean limestones of the Srebnensky trough of the Dnieper-Donetsk Depression.]. *Iskopaemye organizmy i stratigrafiya osadochnogo chekhla Ukrainy*. Kiev: Naukova dumka, 41-45 [in Russian]
3. Berchenko O.I., Efimenko V.I. (1994). *Izmenenie sostava izvestkovykh vodoroslei v otlozheniyakh turneiskogo i vizeiskogo yarusev Dneprovsko-Donetskoi vpadiny* [Changes in the composition of calcareous algae in the deposits of the Tournaisian and Visean stages of the Dnieper-Donetsk depression.]. *Biosfery geologichnogo mynulogo Ukrainy: Zbirnyk naukovykh prats IGAN NAN Ukrainy*. Kyiv, 31-32 [in Russian]
4. Berchenko O.I. (1996). *Znachenie izvestkovykh vodoroslei dlya biostratigraficheskogo raschleneniya rannekamennougol'nykh otlozhenii DDV* [Significance of calcareous algae for biostratigraphic dissection of Early Carboniferous sediments of the Dnieper-Donetsk depression.]. *Biostratigrafichni doslidzhennya pry poshukakh korysnykh kopalin Ukrainy: Zbirnyk naukovykh prats IGAN NAN Ukrainy*. Kyiv, 15-16 [in Russian]
5. Berchenko O.I. (1997). *Biostratigraficheskoe raschlenenie i korrelyatsiya nizhnnekamennougol'nykh otlozhenii Dneprovsko-Donetskoi vpadiny po vodoroslyam* [Biostratigraphic subdivision and correlation of the Lower Carboniferous deposits of the Dnieper-Donetsk depression by algae.]. *Geologichnyi zhurnal*. 12, 40-45 [in Russian]
6. Berchenko O.I., Sukhov O.A. (2013). *Izvestkovye vodorosli vizeiskikh otlozhenii Dono-Dneprovskogo progiba* [Visean calcareous algae of the Dono-Dnieper Depression]. Kiev: Naukova Dumka, 165 [in Russian]
7. Brazhnikova N.E., Vakarchuk G.I., Vdovenko M.V., Vinnichenko L.V., Karpova M.A., Kolomiez J.I., Potievskaya P.D., Rostovceva L.F., Shevchenko G.D. (1967). *Mikrofaunisticheskie markiruyushchie gorizonty ka-*

- mennougol'nykh i permskikh otlozhenii Dneprovsko-Donetskoi vpadiny [Mikrofaunistic marker-horizons from the carboniferous and Permian deposits of the Dnieper-Donets depression]. Kiev: Naukova Dumka, 224 [in Russian]*
8. Vdovenko M.V., Berchenko O.I., Poletaev V.I. (1992). *Stratotipy regional'nykh stratigraficheskikh podrazdelenii nizhnego karbona Dono-Dneprovskogo progiba (urneiskii i vizeiskii yarusy) [Stratotypes of regional stratigraphic units of the Lower Carboniferous of the Dono-Dnieper Depression (Tournaisian and Visean stages)]. Kiev, 52 [in Russian]*
 9. Zavyalova E.A. (1959). *O foraminiferakh turneiskogo yarusa L'vovskoi mul'dy [Tournaisian foraminifers of Lvov-trough]. Trudy UkrNIGRI. 1, 174-179 [in Russian]*
 10. Ivanova R.M. (2013). *Izvestkovye vodorosli karbona Urala [Calcareous algae of the Carboniferous of the Urals.]. Ekaterinburg: RIO UrO RAN, 244 [in Russian]*
 11. Ivanova R.M. (2017). *Vodorosli i stratigrafiya nizhnego vize Borovskoi podzony Tyumensko-Kustanaiskogo progiba [Algae and stratigraphy of the Lower Visean of the Borovsk subzone of the Tyumen-Kustanai Depression.]. Ezhegodnik-2016. Trudy IGG UrO RAN, 164, 9-14 [in Russian]*
 12. Wilson J.L. (1980). *Karbonatnye fatsii v geologicheskoi istorii. Perevod s angliiskogo [Carbonate facies in geologic history]. Moskva: Nedra, 463 [in Russian]*
 13. Frolov V.T. (1993). *Litologiya. Kniga 2: Uchebnoe posobie [Lithology. Book 2: Manual]. Moskva: Izdatel'stvo MGU, 43 [in Russian]*
 14. Efimenko V.I., Ogar V.V. (2008). *Paleontologichne obgruntuvannya biostratygrafichnogo podilu nyzhnyogo karbonu zony zchlenuvannya Dono-Dniprovskogo progynu z pivdennym skhylom Voronez'koi anteklizy [Paleontological substantiation of the biostratigraphic division of the Lower Carboniferous zone of the joint of the Don-Dnieper depression with the southern slope of the Voronezh antecline]. Biostratygrafichni osnovy pobudovy stratygrafichnykh skhem fanerozoju Ukrainy: Zbirnyk naukovykh prats IGN NAN Ukrainy. Kyiv, 38-48 [in Ukrainian]*
 15. Poletaev V.I., Vdovenko M.V., Shchogolev O.K., Boyarina N.I., Makarov I.A. (2011). *Stratotipy regional'nykh stratygrafichnykh pidrozdiliv karbonu i nyzhnyoi permi Dono-Dneprovskogo progynu [Stratotypes of regional stratigraphic divisions of the Carboniferous and Lower Permian of the Don-Dnieper Depression.]. Kyiv: Logos, 236 [in Ukrainian]*
 16. *Stratigraphia Verhnogo proterozoju ta Phanerozoju Ukrainy (2013). [Stratigraphy of Upper Proterozoic and Phanerozoic of Ukraine]. Kyiv: Logos, 638 [in Ukrainian]*
 17. Sukhov O.A. (2012). *Porivnyal'na kharakterystyka vizeiskykh vodorostevykh kompleksiv Donbasu ta sumizhnykh terytorii [Comparative characteristics of the Visean algae complexes of the Donets Basin and adjacent territories.]. Tektonika i stratygrafia. 39. Kyiv, 57-64 [in Ukrainian]*
 18. Dunham R.J. (1962). *Classification of carbonate rocks according to depositional texture: Classification of carbonate rocks. Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 1. 108-121.*
 19. Mamet B., Roux A. (1983). *Algues Devono-Carboniferes de L'Australie. Revue de Micropaleontologie, 6(2), 63-131.*
 20. Mamet B., Roux A. (1975). *Dasycladacees Devoniennes et Carboniferes de la Tethys Occidentale. Revista Espanola de Micropaleontologia, V, VII (2), 245-295.*
 21. Mamet B. (1991). *Carboniferous calcareous algae. Calcaerous algae and stromatolites. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 370-451.*
 22. Okuyucu C., Vachard D., Cemal Concuoglu M. (2013). *Refinements in biostratigraphy of the foraminiferal zone MFZ11 (late early Viséan, Mississippian) in the Cebeciköy Limestone (İstanbul Terrane, NW Turkey) and palaeogeographic implications. Bulletin of Geosciences, 88(3), 621-645. <http://doi.org/10.3140/bull.geosci.1387>*
 23. Skompski S. (1996). *Stratigraphic position and facies significance of the limestone bands in the subsurface Carboniferous succession of the Lublin Upland. Acta geologica Polonica, 46 (3-4), 171-268.*
 24. Vachard D. (1991). *Parathuramminides et Moravamminides (microproblematica) de l'Emsien supérieur de la Formation Moniello (Cordilleras Cantabriques, Espagne). Rev. Paléobiol, 10 (2), 255-299.*

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 25 May 2021

Accepted 6 June 2021

Нові знахідки решток кам'яновугільних цефалопод на території України

Віталій Сергійович Дернов,

аспірант, відділ стратиграфії і палеонтології палеозойських відкладів,
Інститут геологічних наук НАН України, вул. Олеся Гончара, 55-б, м. Київ, 01054, Україна,
e-mail: vitalydernov@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-5873-394X>

Відклади кам'яновугільної системи широко поширені на території України. В них часто зустрічаються рештки головоногих молюсків, які, тим не менш, вивчені недостатньо. Цефалоподи мають велике значення для розмежування і кореляції відкладів карбону, а також для реконструкцій умов їх накопичення. З цієї причини вивчення головоногих молюсків є дуже актуальним. В різних місцях Північної і Центральної України в моренних відкладах зустрічаються вапнякові валуни з рештками кам'яновугільної фауни, в тому числі цефалопод. Транспортування і перевідкладення фосилій материковими льодами відноситься до льодовикового типу перевідкладення скам'янілостей з давніших в більш молоді осади. Льодовикове перевідкладення відбувається як у вигляді окремих фосилій, так і у вигляді блоків породи різних розмірів. З вапнякових валунів у складі морени дніпровського зледеніння, що відслонюється на горі Пивиха біля смт Градизьк Полтавської області, нами визначено наступні цефалоподи: *Culullus* sp., *Antonoceras balaschovi* Shimansky, *Pseudostenopoceras* sp. і *Liroceras* sp. Результати їх вивчення підтвердили висновки В.В. Огара і В.І. Полтаєва щодо пізньовізейсько-серпуховського віку вапняків, що складають валуни. Корінним джерелом даних вапняків є південне крило Московської синеклізи (переважно Калузька і Тульська області РФ). Крім того, деякі валуни на Пивисі містять рештки ендocerид і ранньопалеозойських трилобітів, тому інше джерело корінних порід розташовувалося, поза всякими сумнівами, на території Прибалтики (Естонія) і Ленінградської області РФ. З нижнього карбону Дніпровсько-Донецької западини визначена ортоцериди *Brachycycloceras scalare* (Archiac et Verneuil). Цей вид широко поширений у візейсько-наміурських відкладах Західної Європи. Встановлено присутність у відкладах нижнього карбону Південного Донбасу решток актиноцерид (*Rayonoceras* sp. із верхів візейського ярусу). Нові дані дозволили розширити систематичне різноманіття ранньокам'яновугільних цефалопод Донбасу і Дніпровсько-Донецької западини.

Ключові слова: кам'яновугільна система, цефалоподи, льодовикові валуни, дніпровське зледеніння, Донбас, Пивиха.

Як цитувати: Дернов В. С. Нові знахідки решток кам'яновугільних цефалопод на території України / В. С. Дернов // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2021. – Вип. 55. – С. 72-81. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-05>

In cites: Demov V. S. (2021). New finds of the Carboniferous cephalopods on the territory of Ukraine. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (55), 72-81. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-05> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. Відклади кам'яновугільної системи беруть участь в геологічній будові значної частини території України. На жаль, рівень вивченості карбону різних куточків нашої держави не однаковий. Як результат, головоногі молюски, рештки яких встановлені в кам'яновугільних відкладах Донбасу [1-5, 11], Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) [5], Львівського палеозойського прогину [19], Білорівницької структури [13] та Переддобрудзьського палеозойського прогину [12], досліджені нерівномірно. На даний момент порівняно детально вивчені лише кам'яновугільні цефалоподи Донецького басейну.

В руках автора є невелика колекція решток цефалопод, що складається зі зборів Д.Є. Айзенверга (Інститут геологічних наук НАНУ, Київ) і краєзнавця І.А. Чернікова (музей «Історія Градизька від заплави Дніпра до Кременчуцького водосховища», сел. Градизьк, Полтавська область). Скам'янілості походять з нижнього карбону Дніпровсько-Донецької западини і Південного Донбасу (збори Д.Є. Айзенверга), а також з льодовикових валунів морени дніпровського зледе-

ніння, що відслонюються на горі Пивиха в околицях смт Градизьк (збори І.А. Чернікова).

Головоногі молюски мають велике значення для розмежування і кореляції відкладів карбону, а також для реконструкції умов їх накопичення [4]. З цієї причини їх вивчення має велике наукове значення. Як зазначив В.В. Огар [28], вивчення фосилій з ератичних валунів надає важливу інформацію для визначення джерела уламкового матеріалу морен четвертинних зледенінь. З цієї причини вивчення алохтонних решток кам'яновугільних цефалопод є досить актуальним.

Історія вивчення. Ранньокам'яновугільні цефалоподи Донбасу і ДДЗ вивчені недостатньо. На даний момент з нижнього карбону ДДЗ визначено декілька видів амоноїдів і одну форму наутиліди [5]. Із нижньокам'яновугільних (переважно верхньосерпуховських) відкладів Донбасу вивчені численні амоноїдеї [1, 2]. Наутилоїдеї відомі лише із відкладів самарської світи (нижній серпухов). Звідси нами описано новий вид наутилід *Gzheloceras aisenvergi* Dernov, 2021. Історія вивчення решток кам'яновугільної фауни з льодовикових валунів, які трапляються в різних

місцях на території Придніпров'я, представлена в роботі В.В. Огара [28], тому тут ми не будемо зупинятися на цьому питанні.

Потрібно відзначити повідомлення К.Й. Новик [9] про знахідку в моренних відкладах, що відслонюються біля м. Прилуки (Чернігівська область), валуна глинистого сланцю з рештками середньокам'яновугільних наземних рослин *Neuropteris ovata* (Hoffmann) і *Calamites* cf. *undulatus* Sternberg. На думку К.Й. Новик, дані флороносні породи потрапили в морену внаслідок розмиву відкладів Роменського куполу, розташованого недалеко від Прилук. Таким чином, на нашу думку, потрібно враховувати цю обставину при визначенні джерела кам'яновугільних

фосилій і механізму їх потрапляння в гляціальні осади.

Матеріал, методика і територія досліджень. Вивчена колекція нижньокам'яновугільних цефалопод з карбону ДДз і Південного Донбасу (IGSU-9) зберігається у відділі стратиграфії і палеонтології палеозойських відкладів Інституту геологічних наук НАН України (Київ). Матеріал з Пивихи експонується в музеї «Історія Градизька від заплави Дніпра до Кременчуцького водосховища». Вивчені зразки походять з наступних місцезнаходжень (рис. 1).

1. Донецька область, Кальміуський район, район м. Докучаєвськ, свердловина № 51, глибина 88,0 м. Візейські темно-сірі, щільні, дрібнок-

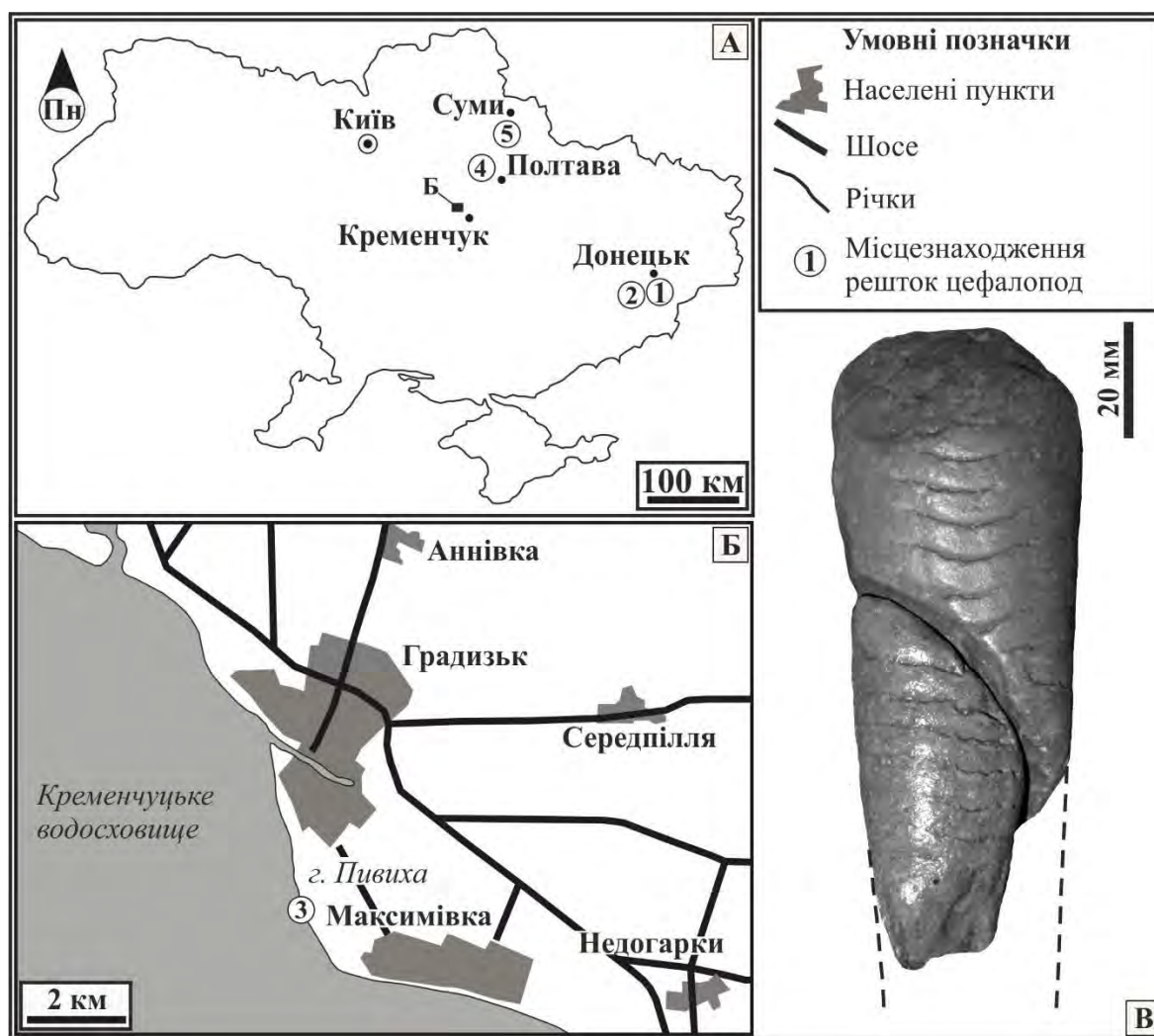


Рис. 1. Географічне положення місцезнаходжень решток цефалопод (фіг. А, Б) та ядро черепашки актиноцерида *Antonoceras balaschovi* Shimansky (вентральна; фіг. В) із валунів г. Пивиха (б/н).

Fig. 1. Geographical situation of the cephalopod remains localities (figs. A, B) and the steinkern of the actinocerid *Antonoceras balaschovi* Shimansky (ventral view; fig. B) from the boulders of Pyvykha Hill (without number)

ристалічні вапняки. Тут виявлено рештки ортоцерид (екз. № IGSU-9/10), якість збереження яких не дозволяє визначити навіть роду їх приналежність. Проте, з огляду на низький рі-

вень знань щодо візейських головоногих молюсків Донбасу, дані знахідки заслуговують згадки.

2. Донецька область, Кальміуський район, околиці хут. Грабове на р. Кальміус. У вапняку

В₈¹ межівської світи (верхи візейського ярусу) виявлено фрагмент черепашки актиноцерида *Rayonnoceras* sp. (екз. № IGSU-9/8).

3. Полтавська область, Глобинський район, околиці смт Градизьк, гора Пивиха. Моренні валуни, що складені вапняками світло-сірими і сірувато-жовтими, афанітовими, доломітизованими і зкременілими. В даних вапняках знайдено рештки хететид, коралів, брахіопод, гастропод, криноїдей і риб [3, 10, 28]. За даними В.І. Полетаєва і В.В. Огара [10, 28], рештки брахіопод, хететид і коралів дозволяють датувати згадані вапняки пізнім візе-серпуховом.

Нами з даного місцезнаходження встановлено неідентифіковані ортоцерида, онкоцерида *Culullus* sp. (екз. № OP004), актиноцерида *Antonoceras balaschovi* Shimansky (б/н), наутиліди *Pseudostenopoceras* sp. (б/н) і *Liroceras* sp. (б/н).

4. Полтавська область, Лубенський район, с. Губське, свердловина Губська-2 (гл. 4740,0-

4745,0 м). В чорних щільних аргілітах ймовірно верхнього візе знайдено фрагмент черепашки ортоцерида *Brachycycloceras scalare* (Archiac et Verneuil) (екз. № IGSU-9/7), а також рештки невизначеної амоноїдеї.

5. Сумська область, Охтирський район, с. Бугрувате, свердловина Бугроватівська-160 (глибини-на 3650,0-3654,0 м). В чорних щільних аргілітах із рештками брахіопод і пелеципод (вік – приблизно пізній візе) знайдено фрагмент черепашки ортоцерида *Brachycycloceras scalare* (Archiac et Verneuil) (екз. № IGSU-9/6). Тут же виявлено фрагмент черепашки невизначеної амоноїдеї.

Результати та обговорення. Кам'яновугільні наутилоїдеї Московської синеклізи, звідки, як показано в роботах [10, 28] походять льодовикові вапнякові валуни і галька гори Пивиха, вивчаються з початку XIX століття. Важливими роботами, присвяченими вивченню підмосковних

Таблиця 1

Родовий склад неаманоїдних цефалопод раннього карбону Московської синеклізи (за даними робіт [7, 16, 17, 33])

Підкреслено наутилоїдеї, що відомі із ератичних валунів г. Пивиха

Серпуховський ярус	<i>Pseudorthoceras</i> , <i>Calchasiceras</i> , <i>Endolobus</i> , <i>Temnocheilus</i> , <i>Lophoceras</i> , <i>Rineceras</i> , <i>Stroboceras</i> , <i>Domatoceras</i> , <i>Liroceras</i> , <i>Peripetoceras</i> , <i>Loxoceras</i> , <i>Rayonnoceras</i> , <i>Linter</i> .
Візейський ярус	<i>Cycloceras</i> , <i>Leuroceras</i> , <i>Stroboceras</i> , <i>Thoracoceras</i> , <i>Cornuella</i> , <i>Navis</i> , <i>Poterioceras</i> , <i>Calchasiceras</i> , <i>Acanthonautilus</i> , <i>Tylonautilus</i> , ? <i>Endolobus</i> , <i>Lophoceras</i> , <i>Rineceras</i> , <i>Domatoceras</i> , <i>Liroceras</i> , <i>Ephippioceras</i> , <i>Loxoceras</i> , <i>Antonoceras</i> , <i>Mstikhinoceras</i> , <i>Rayonnoceras</i> , <i>Linter</i> .
Турнейський ярус	<i>Cycloceras</i> , <i>Poterioceras</i> , <i>Culullus</i> , ? <i>Edaphoceras</i> , <i>Rineceras</i> , <i>Loxoceras</i> , <i>Psiaoceras</i> , <i>Antonoceras</i> .

наутилоїдей карбону, є дві монографії М.К. Цвєтаєвої [14, 15]. Найбільш істотний внесок у вивчення ранньокам'яновугільних неаманоїдних цефалопод Підмосков'я зробив В.М. Шиманський, який в ряді статей і монографій [16, 17, 33] показав їх систематичне різноманіття і палеобіогеографічні особливості. В таблиці 1 представлено родовий склад комплексів неаманоїдних цефалопод нижнього карбону Московської синеклізи.

***Antonoceras balaschovi* Shimansky, 1957** (рис. 1, фіг. В). Даний вид відомий з верхньовізейських (окських) відкладів Московської синеклізи [17]. Ймовірно цей же вид знайдений на р. Подчерем (Республіка Комі, РФ) [17].

***Culullus* sp.** (рис. 2, фіг. 2). Єдиний представник роду *Culullus* Shimansky, 1968 (*C. shatense* Shimansky, 1968) відомий, за даними В.М. Шиманського [17], виключно із турнейських (упинських) відкладів Підмосков'я (рис. 3). Можливо, стратиграфічна прив'язка матеріалу є не зовсім коректною, оскільки по річці Шатт, звідки похо-

дить єдиний екземпляр монотипного роду *Culullus*, поширені відклади візейського ярусу. Так як згаданий рід слабо вивчений і його стратиграфічне поширення не з'ясоване, до інтерпретації знахідок решток його представників потрібно ставитися дуже обережно.

***Pseudostenopoceras* sp.** Під *Pseudostenopoceras* Shimansky, 1967 відомий із серпуховського ярусу Південного Уралу (*P. lenticulare* Shimansky, 1967), Нової Землі (*P. boreum* Shimansky, 1996) [18] і Центрального Казахстану (*P. sp.*) [16], московського ярусу Московської синеклізи (*P. Rouillieri* (Koninck, 1878); *P. solare* Shimansky, 1967) [16] і Донбасу (*P. solare* Shimansky, 1967) [4].

***Liroceras* sp.** Рештки представників роду *Liroceras* Teichert, 1940 широко поширені в карбон-пермських відкладах. Ареал роду включає Західну Європу, Донбас, Європейську частину Росії, Урал, Азію та Північну Америку [16]. Із візейсько-серпуховських відкладів Московської синеклізи описано два представника даного роду: *Liroceras fornicatum* Shimansky, 1967 та *L.*

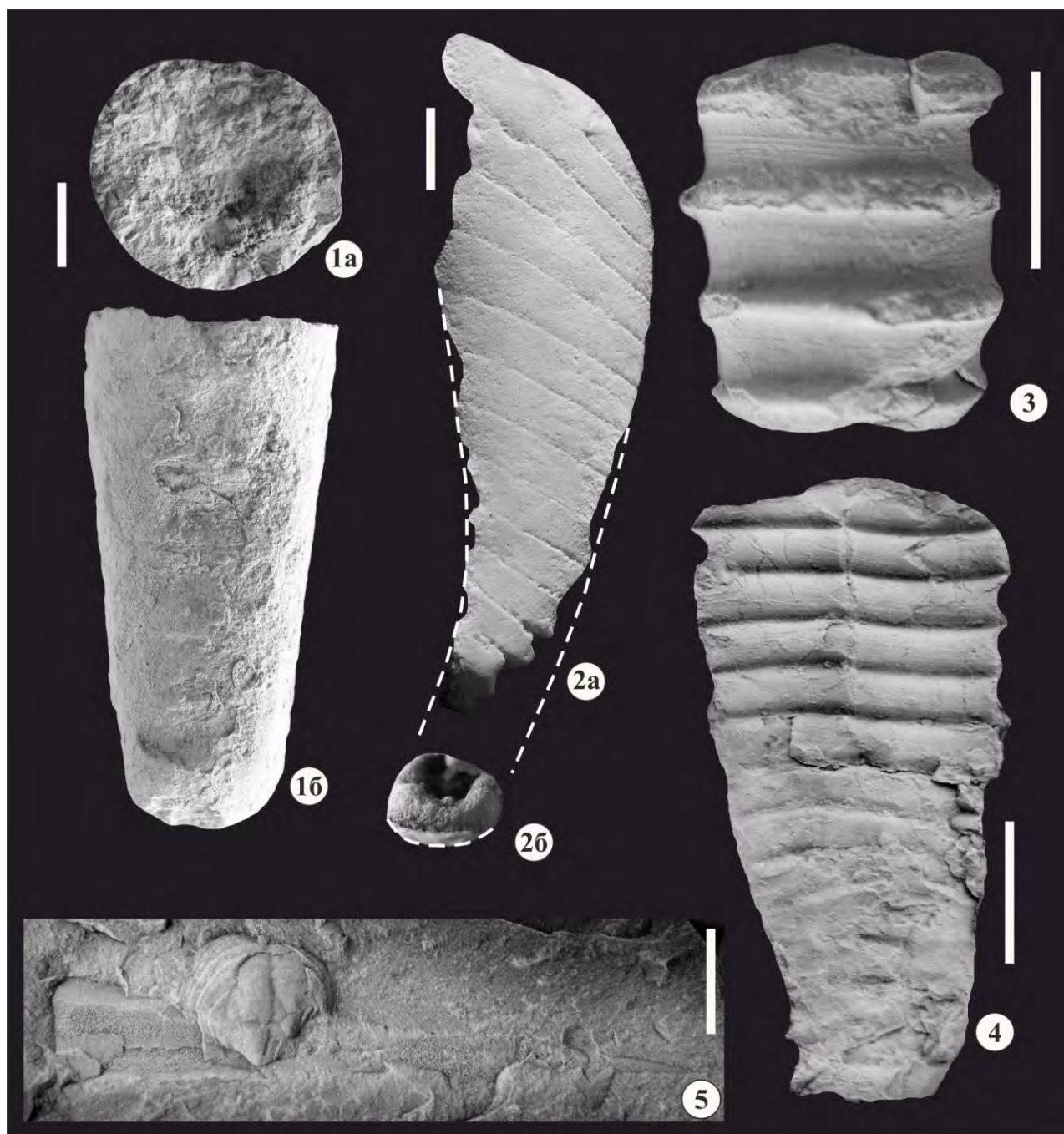


Рис. 2. Рештки цефалопод із кам'яновугільних відкладів Донбасу і ДДз, а також морени дніпровського зледеніння (гора Пивиха).

Фіг. 1. Фрагмент черепашки *Rayonnoceras* sp.: 1a – зі сторонни перегородки, 1b – вентрально. Фіг. 2. Ядро черепашки *Culullus* sp.: 2a – латерально, 2b – зі сторонни перегородки. Фіг. 3, 4. Фрагменти черепашок *Brachycycloceras scalare* (Archiac et Verneuil). Фіг. 5. Черепашка невизначеної ортоцериди. Довжина масштабних відрізків – 10 мм.

Fig. 2. Cephalopod remains from Carboniferous of the Donetsk Basin and Don-Dnipro Downwarp, as well as moraines of the Dnipro glacial maximum (Pyvykha Hill). 1. Fragment of the conch of *Rayonnoceras* sp.: 1a – apertural view, 1b – ventral view. 2. The steinkern of *Culullus* sp.: 2a – lateral view, 2b – apertural view. 3, 4. Fragments of the conchs of *Brachycycloceras scalare* (Archiac et Verneuil). 5. Shell of indeterminate orthocerid. Scale bars are 10 mm

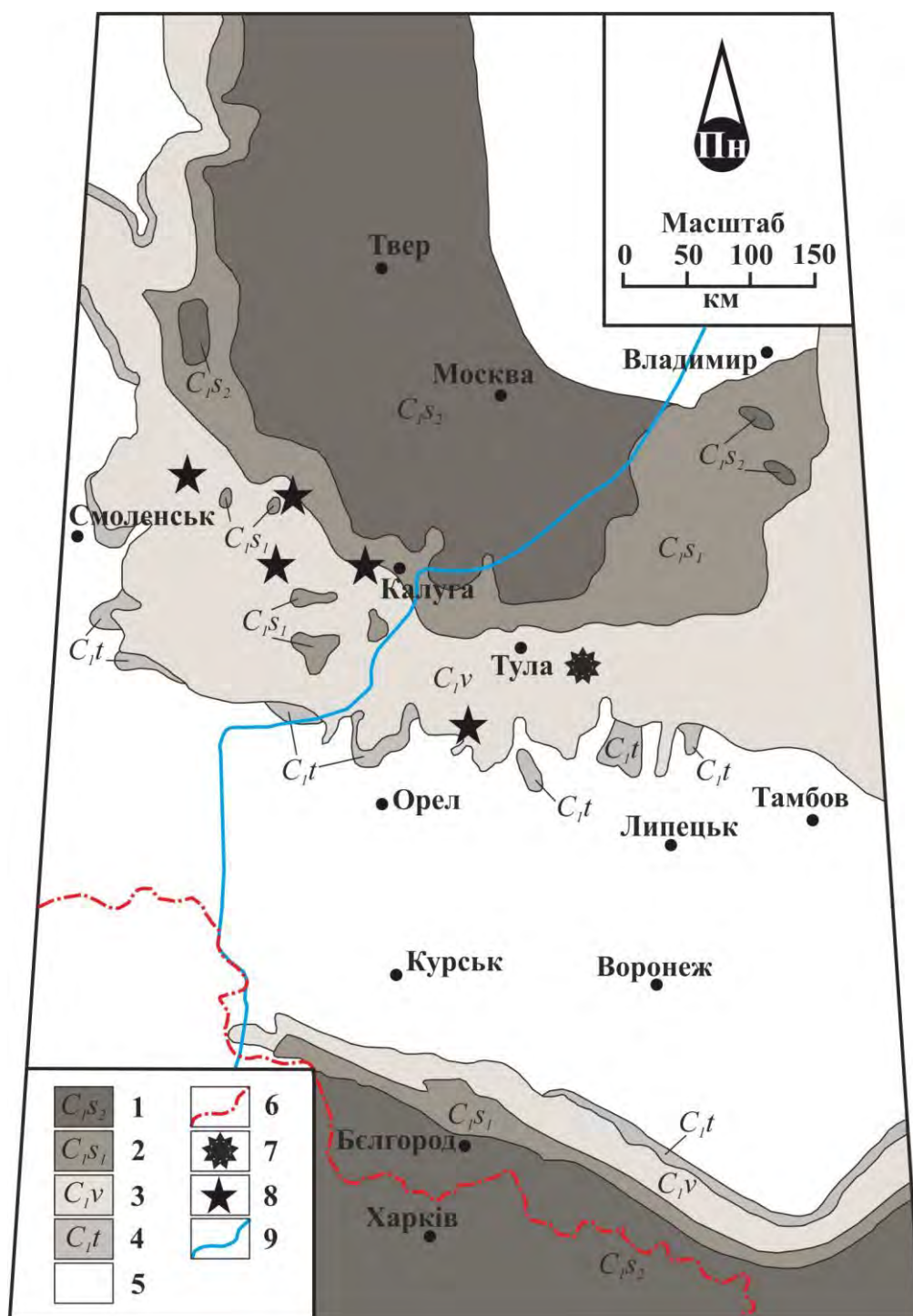


Рис. 3. Поширення нижньокам'яновугільних відкладів на території Воронежської антеклізи і Московської синеклізи (зі знятим покривом більш молодих відкладів).

Умовні позначення: 1 – верхній серпухов, 2 – нижній серпухов, 3 – візе, 4 – турне, 5 – девон, 6 – державний кордон України, 7 – місце знахідки роду *Culullus* [17], 8 – місця знахідок решток *Antonoceras balaschovi* Shimansky [17], 9 – південна межа дніпровського зледеніння. Картосхему складено за даними робіт [6, 17, 28].

Fig. 3. Lower Carboniferous sediments on the territory of the Voronezh Anticline and Moscow Syncline (with removed cover of younger sediments). Legend: 1 – Upper Serpukhovian, 2 – Lower Serpukhovian, 3 – Viséan, 4 – Tournaisian, 5 – Devonian, 6 – Ukraine state border, 7 – type locality of the genus *Culullus* [17], 8 – localities of *Antonoceras balaschovi* Shimansky [17], 9 – the southern limit of the Dnipro glacial maximum. After [6, 17, 28]

excentricum (Eichwald, 1857). Вивчена наутіліда морфологічно ближче до другого виду (відомий із серпуховських відкладів). Проте, погана збереженість скам'янілості не дозволяє впевнено визначити її видову належність.

***Rayonnoceras* sp.** (рис. 2, фіг. 1). Актиноцериди роду *Rayonnoceras* Croneis, 1926 були дуже широко поширеними в ранньокам'яновугільних палеоакваторіях на місці сучасної Північної Америки, Західної Європи, Європейської частини Росії і Китаю [17]. Раніше актиноцериди в карбоні Донецького басейну відомі не були.

Brachycycloceras scalare (Archiac et Verneuil, 1842) (рис. 2, фіг. 3, 4). Даний вид відомий із наміюру Бельгії [22], візе Чехії [29] і Польщі [36], а також нижнього карбону Німеччини [31].

Палеогеографічне значення нових знахідок решток цефалопод. Транспортування і перевідкладення фосилій материковими льодами відноситься до льодовикового типу перевідкладення скам'янілостей з давніших осадов в більш молоді [20]. Льодовикове перевідкладення відбувається як у вигляді окремих фосилій, так і у вигляді блоків породи різних розмірів. Іноді масиви перевідкладених порід можуть досягати значних розмірів. У четвертинних відкладах Східної Польщі на площі 1 км² розташований алохтонний блок келовейських глин, потужністю 4 м. Припускається, що масив порід був перенесений льодовиком на південь на кілька сотень кілометрів [20].

Фосилії різного віку з ератичних валунів вивчаються в Європі здавна [32]. Наприклад, льодовикові валуни з юрськими коралами та скафоподами [23, 30], ордовіцькими та мезокайнозойськими іхнофосиліями [21], кембрійською, ордовіцькою та мезокайнозойською мікро- та макрофауною [8, 25, 26, 27, 32, 34, 35], палеогеновою флорою [34] та пізньокрейдовими хребетними [8, 24] відомі на території Польщі, Німеччини та Скандинавії.

Географічне походження порід, що складають льодовикові валуни Півних, як зазначається в роботі [28], можна визначити за допомогою вивчення фосилій, що містяться в породах. Як вже зазначалося вище, вік корінних відкладів визначено переважно як ранньосерпуховський (таруський-стешовський горизонти) і, можливо, пізньовізейський (окський надгоризонт) [10, 28]. Результати вивчення головоногих молюсків цілком узгоджуються з даними висновками. Недостатньо вивчений рід *Culullus*, опис якого базу-

ється всього на одному екземплярі ядра черепашки [17], не можна використовувати при пошуці джерела крупного уламкового матеріалу морени.

Судячи з усього, льодовикові валуни, що містять кам'яновугільну фауну, походять з території Південного Підмосков'я (переважно з Калузької і Тульської областей РФ – рис. 3). Крім того, деякі валуни на Півнісі містять рештки ендочерид і ранньопалеозойських трилобітів, тому друге джерело корінних порід розташовувалося, поза всякими сумнівами, на території Прибалтики (Естонія і Ленінградська область РФ).

Знахідки на території ДДЗ виду *Brachycycloceras scalare* (Archiac et Verneuil) і космополітного роду *Rayonnoceras* в Донбасі, свідчать про вільні зв'язки ранньокам'яновугільних акваторій на місці сучасної Східної і Північно-Східної України як з близько розташованими регіонами, так і географічно віддаленими.

Висновки. Скам'янілості з ератичних валунів четвертинних зледенінь Європи вивчаються здавна. В Україні подібні дослідження розпочалися порівняно нещодавно. З льодовикових валунів морени дніпровського зледеніння гори Півних визначено карбонів неамоноїдні цефалоподи *Culullus* sp., *Antonoceras balaschovi* Shimansky, *Pseudostenopoceras* sp. і *Liroceras* sp. Вивчення знахідок решток цефалопод в ератичних валунах дніпровського зледеніння дозволило підтвердити висновки В.В. Огара та В.І. Полетаєва щодо географічного положення джерела уламкового матеріалу та віку корінних порід.

З нижнього карбону Дніпровсько-Донецької западини та Південного Донбасу визначено ортоцерида *Brachycycloceras scalare* (Archiac et Verneuil) та актиноцерида *Rayonnoceras* sp. Актиноцериди вперше відзначені в карбоні Донбасу. Ці знахідки свідчать про вільний обмін фаунами ранньокам'яновугільних акваторій на місці сучасної Східної і Північно-Східної України і інших регіонів світу.

Результати досліджень розширили систематичне різноманіття ранньокам'яновугільних цефалопод Донбасу і Дніпровсько-Донецької западини.

Подяки. Автор висловлює щирі вдячність краєзнавцю І.А. Чернікову (сміт Градизьк, Полтавська область) за можливість ознайомитися з колекцією решток викопної фауни з гори Півних. За численні консультації в ході дослідження я вдячний докт. геол.-мін. наук В.І. Полетаєву (ІГН НАНУ, Київ).

Список використаної літератури

1. Айзенберг Д.Е., Астахова Т.В., Попов А.В. Первые находки гониатитов в отложениях свит C_1^1 (А) и C_1^3 (С) Донецкого бассейна [Текст] / Д.Е. Айзенберг, Т.В. Астахова, А.В. Попов // Геологический журнал. – 1979. – Т. 39. – № 6. – С. 32-40.

2. Астахова Т.В. Гониатиты [Текст] / Т.В. Астахова // Верхнесерпуховский подъярус Донецкого бассейна. – Киев: Наукова думка, 1983. – С.115-123.
3. Дернов В.С. Новые находки остатков головоногих моллюсков в каменноугольных отложениях Украины [Текст] / В.С. Дернов // Палеонтологічні дослідження Доно-Дніпровського прогину. Матеріали міжнародної наукової конференції та XXXIX сесії Палеонтологічного товариства України. – Київ, 2019. – С. 26-27.
4. Дернов В.С., Крисак О.С. Новые находки остатков цефалопод в отложениях московского яруса (средний карбон) Донецкого бассейна [Текст] / В.С. Дернов, О.С. Крисак // Проблемы обґрунтування регіональних стратонів фанерозою України. Матеріали XXXVII сесії Палеонтологічного товариства НАН України. – Київ, 2016. – С. 37-39.
5. Кузина Л.Ф., Полетаев В.И. Новые визейские аммоноидеи Донбасса и Днепровско-Донецкой впадины [Текст] / Л.Ф. Кузина, В.И. Полетаев // Палеонтологический журнал. – 1991. – № 3. – С. 35-45.
6. Махлина М.Х. Нижний карбон Московской синеклизы и Воронежской антеклизы [Текст] / М.Х. Махлина, М.В. Вдовенко, А.С. Алексеев, Т.В. Бышева, Л.М. Донакова, В.Е. Жулитова, Л.И. Кононова, Н.И. Умнова, Е.М. Шик. – Москва: Наука, 1993. – 221 с.
7. Морозов П.Е. Новые находки головоногих моллюсков из каменноугольных отложений Подмоскovie [Текст] / П.Е. Морозов // Палеонтологическая характеристика стратотипических и опорных разрезов карбона Московской синеклизы. – Москва: Издательство МГУ, 1984. – С. 132-140.
8. Мычко Э.В. Янтарный край: страницы ископаемой летописи [Текст] / Э.В. Мычко // Природа. – 2019. – № 3. – С. 47-57. <https://doi.org/10.7868/S0032874X19030074>
9. Новик Е.О. К вопросу о стратиграфии и литологии каменноугольных отложений Роменского района [Текст] / Е.О. Новик // Материалы по нефтеносности Днепровско-Донецкой впадины. – 1941. – Вып. 1. – С. 201-213.
10. Огар В.В. Про рештки викопної фауни карбону у моренних відкладах району гори Пивиха [Текст] / В.В. Огар, В.І. Полетаєв // Палеонтологічні дослідження Доно-Дніпровського прогину. Матеріали міжнародної наукової конференції та XXXIX сесії Палеонтологічного товариства НАНУ. – Київ, 2019. – С. 92-93.
11. Попов А.В. Каменноугольные аммоноидеи Донбасса и их стратиграфическое значение [Текст] / А.В. Попов. – Ленинград: Недра, 1979. – 119 с.
12. Тетерюк В.К. Геологический возраст угленосных отложений Преддобруджинского палеозойского прогиба [Текст] / В.К. Тетерюк // Новые данные по стратиграфии и фауне фанерозою Украины. Киев: Наукова думка. – 1982. – С. 155-160.
13. Фуртес В.В. Биостратиграфия проблематичных осадочных толщ Украины [Текст] / В.В. Фуртес, Е.А. Асеева, Л.Б. Зайцева // Теоретичні та прикладні аспекти сучасної біостратиграфії фанерозою України. – Київ, 2003. – С. 211-214.
14. Цветаева М. Головоногие верхнего яруса среднерусского каменноугольного известняка [Текст] / М. Цветаева // Труды Геологического комитета. – 1888. – Т. V. – № 3. – 58 с.
15. Цветаева М. Наутилиды и аммоны нижнего отдела среднерусского каменноугольного известняка [Текст] / М. Цветаева // Труды Геологического комитета. – 1898. – Т. VIII. – № 4. – 46 с.
16. Шиманский В.Н. Каменноугольные Nautilida [Текст] / В.Н. Шиманский. – Москва: Наука, 1967. – 260 с.
17. Шиманский В.Н. Каменноугольные Orthoceratida, Oncoceratida, Actinoceratida и Bactritida [Текст] / В.Н. Шиманский. – Москва: Наука, 1968. – 150 с.
18. Шиманский В.Н. Каменноугольные неаммоноидные головоногие моллюски Новой Земли [Текст] / В.Н. Шиманский // Палеонтологический журнал. – 1996. – № 4. – С. 24-29.
19. Шульга В.Ф. О фауне неаммоноидных головоногих из карбона Львовско-Волынского угольного бассейна [Текст] / В.Ф. Шульга, В.Н. Шиманский // Доклады Академии Наук Украины. – 1994. – № 4. – С.111-115.
20. Янин Б.Т. 1983. Основы тафономии. Москва: Недра, 184 с.
21. Chrzastek A. Trace fossils from the Baltoscandian erratic boulders in SW Poland [Text] / A. Chrzastek, K. Pluta // Annales Societatis Geologorum Poloniae. – 2017. – Vol. 87. – Pp. 229-257. <https://doi.org/10.14241/asgp.2017.014>
22. Demanet F. Faune et stratigraphie de l'etage Namurien de la Belgique [Text] / F. Demanet // Mémoires du Musée royal d'histoire naturelle de Belgique. – 1941. – No 97. – Pp. 1-327.
23. Engeser T. Scaphopods from Middle Liassic erratic boulders of northern Germany; with a review on Liassic Scaphopoda [Text] / T. Engeser, F. Riedel // Scripta Geologica. – 1992. – Vol. 99. – Pp. 35-55.
24. Foth C. First evidence of Elasmosauridae (Reptilia: Sauropterygia) in an erratic boulder of Campanian age originating from southern Sweden or the adjacent Baltic Sea area [Text] / C. Foth, J. Kalbe, R. Kautz // Zitteliana. 2011. – 51. – Pp. 285-290.
25. Górka H. Late Caradoc and early Ludlow Radiolaria from Baltic erratic boulders [Text] / H. Górka // Acta Palaeontologica Polonica. – 1994. – Vol. 39. – No. 2. – Pp. 169-179.
26. Lehmann J. Aptian and Albian (Early Cretaceous) ammonites from glacial erratics of the Hamburg area, North Germany [Text] / J. Lehmann // Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie. 2013. – Vol. 270. – Pp. 69–82. <https://doi.org/10.1127/0077-7749/2013/0359>
27. Malinky J.M. Hyolitha from the Early Paleozoic glacial erratic boulders (Geschiebe) of Germany and Poland [Text] / J.M. Malinky // Fossil Record. – 2007. – Vol. 10. No. 2. – Pp. 71-90. <https://doi.org/10.1002/mmng.200600020>

28. Ohar V. Carboniferous fauna from erratics in the Hradyzk area (Poltava region, Ukraine): paleo-ice streams indicator of the Dnipro glacial maximum [Text] / V. Ohar // *Historical Biology*. – 2021. – Vol. 33 (1). 78-87. <https://doi.org/10.1080/08912963.2019.1710835>
29. Patteisky K. Die Geologie und Fossilführung der mährisch-schlesischen Dachschiefer- und Grauwackenformation [Text] / K. Patteisky. – Opava: Naturwissenschaftliche Verein, 1929. – 354 p.
30. Roniewicz E. Aragonitic Jurassic corals from erratic boulders on the South Baltic coast [Text] / E. Roniewicz // *Annales Societatis Geologorum Poloniae*. – 1984. – Vol. 54. – Pp. 65-77.
31. Schmidt H. Orthocone Cephalopoden aus dem deutschen Unterkarbon [Text] / H. Schmidt // *Paläontologische Zeitschrift*. – 1956. – Vol. 30. – No 3-4. – Pp. 41-68.
32. Sendino C. An exceptionally preserved conulariid from Ordovician erratics of Northern European Lowlands [Text] / C. Sendino, M.M. Bochmann // *Paläontologische Zeitschrift*. – 2021. – Vol. 95. – Pp. 75-84. <https://doi.org/10.1007/s12542-020-00534-7>
33. Shimanskiy V.N. New early carboniferous nonammonoid cephalopods from the Moscow region [Text] / V.N. Shimanskiy, A.A. Shkolin // *Paleontological Journal*. – 1994. – No. 28 (1A). – P. 134-142.
34. Smelror M. Paleogene fossils in erratic blocks from Averøy and Frei, Nordmøre, Norway [Text] / M. Smelror, Å. Ossó // *Norges geologiske undersøkelse Bulletin*. – 2016. – 455. – Pp. 1-10.
35. Weidner T. Glacial erratic boulders from Jutland, Denmark, feature an uppermost lower Cambrian fauna of the Lingulid Sandstone Member of Vøstergutland, Sweden [Text] / T. Weidner, G. Geyer, J.O. Ebbestad, V. von Seckendorff // *Bulletin of the Geological Society of Denmark*. – 2015. – Vol. 63. – Pp. 59-86. <https://doi.org/10.37570/bgdsd-2015-63-06>
36. Zakowa H. Nowe stanowisko fauny górnowiązeńskiej z Walbrzycha Miasta [Text] / H. Zakowa // *Kwartalnik Geologiczny*. – 1960. – T. 4. – No 3. – Pp. 619-632.

Новые находки остатков каменноугольных цефалопод на территории Украины

Виталий Сергеевич Дернов,

аспирант, отдел стратиграфии и палеонтологии палеозойских отложений,
Институт геологических наук НАН Украины, ул. Олеся Гончара, 55-б, г. Киев, 01054, Украина

Отложения каменноугольной системы широко распространены на территории Украины. В данных отложениях часто встречаются остатки головоногих моллюсков. Они, тем не менее, изучены недостаточно. Цефалоподы имеют большое значение для расчленения и сопоставления отложений карбона, а также для реконструкции условий их накопления. По этой причине изучение головоногих моллюсков является весьма актуальным. В разных местах Северной и Центральной Украины в моренных отложениях встречаются валуны известняков с остатками каменноугольной фауны, в том числе цефалопод. Транспортировка и переотложение фоссилий материковыми льдами относится к ледниковому типу переотложения окаменелостей из более древних в более молодые осадки. Ледниковое переотложение происходит как в виде отдельных фоссилий, так и в виде блоков породы различных размеров. Из известняковых валунов морены днепровского оледенения, обнажающейся на г. Пивиха возле пос. Градижск Полтавской области, нами определены следующие цефалоподы: *Culullus* sp., *Antonoceras balaschovi* Shimansky, *Pseudostenopoceras* sp. и *Liroceras* sp. Результаты их изучения подтвердили выводы В.В. Огаря и В.И. Полетаева о поздневизейско-серпуховском возрасте известняков, слагающих валуны. Коренным источником данных известняков является южное крыло Московской синеклизы (преимущественно Калужская и Тульская области РФ). Кроме того, некоторые валуны на Пивихе заключают остатки эндоцерид и раннепалеозойских трилобитов, поэтому второй источник коренных пород располагался, вне всяких сомнений, на территории Прибалтики (Эстония) и Ленинградской области РФ. Из нижнего карбона Днепровско-Донецкой впадины определена ортоцерида *Brachycycloceras scalare* (Archiac et Verneuil). Этот вид широко распространен в визейско-намюрских отложениях Западной Европы. Установлено присутствие в нижнем карбоне Южного Донбасса остатков актиноцерид (*Rayonopoceras* sp. из верхов визейского яруса). Новые данные позволили расширить систематическое разнообразие раннекаменноугольных цефалопод Донбасса и Днепровско-Донецкой впадины.

Ключевые слова: каменноугольная система, цефалоподы, ледниковые валуны, днепровское оледенение, Донбасс, Пивиха.

New finds of the Carboniferous cephalopods on the territory of Ukraine

Vitaly Dernov,

PhD Student, Department of Stratigraphy and Paleontology of the Paleozoic sediments,
Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine,
55-b Oles Honchar St., Kyiv, 01054, Ukraine

ABSTRACT

Formulation of the problem. Carboniferous sediments are widespread in Ukraine. Cephalopods remains are not rare in these deposits. However, they are poorly studied. Cephalopods have great importance for the dismemberment and correlation of Carboniferous sediments, as well as for paleogeographic reconstructions. For this reason, their study is very relevant.

The history of the study. Mississippian cephalopods of the Donets Basin and Don-Dnipro Downwarp are poorly studied. At the moment, few ammonoids and one nautilid have been determined from the Mississippian of the Don-Dnipro Downwarp. Numerous Mississippian ammonoids are known from the Donets Basin. Nautilids are known only from the Samara Formation (Lower Serpukhovian).

Material and research methods. This article is based on the results of a study of Mississippian cephalopods collection from the Donets Basin (Ukraine: Grabove Village and Dokuchayivs'k in the south of the Donetsk Region) and the Don-Dnipro Downwarp (Ukraine: Sumy and Poltava Regions, Bugrovate and Gubs'ke Villages). In addition, allochthonous remains of cephalopods from the moraine of the Dnipro glacial maximum were studied (Ukraine: Poltava Region, Pyvykha Hill nearby Hradyzk Town).

Statement of the main material. Orthocerids, oncocerid *Culullus* sp., actinocerid *Antonoceras balaschovi* Shimansky, nautilids *Pseudostenopoceras* sp. and *Liroceras* sp. have identified from the limestone boulders in the moraine of the Dnipro glacial maximum (Hradyzk). The age of these limestones from the Late Viséan to Serpukhovian.

The geographical origin of the limestone debris can be determined by studying the fossils in these rocks. The results of the study of chaetetids and corals (Victor Ohar), brachiopods (Vladystav Poletaev) and cephalopods (author) show that the source of the limestone boulders with Carboniferous fossils situated in the southern part of the Moscow Syncline.

Fragments of conchs of the orthocerids *Brachycycloceras scalare* (Archiac et Verneuil) are occurred in the black mudstones of the Upper Viséan opened by the boreholes Bugrovativ's'ka-160 (depth is 3650.0-3654.0 metres; Bugrovate Village, Okhtyrka District, Sumy Region) and Gubs'ka-2 (depth is 4740.0-4745.0 metres; Gubs'ke Village, Lubny District, Poltava Region). This species is known from the Namurian of Belgium, Viséan of the Czech Republic and Poland and Mississippian of Germany. The collection also contains a fragment of a large conch of actinocerid *Rayonnoceras* sp. This specimen comes from the limestone B₈¹ of the Mezha Formation (Upper Viséan) exposed in the vicinity of the Grabove Village on the Kalmius River (Donetsk Region). This genus is very widespread in the Mississippian sediments of North America, Western Europe, European part of Russia and China. Previously actinocerids in the Carboniferous of the Donets Basin were not known.

Fragments of conchs of indeterminate orthocerids find in the dark gray fine-crystalline Viséan limestones (Dokuchayivs'k, borehole no. 51, depth is 88.0 metres).

Conclusions. The study of new finds of Carboniferous cephalopod remains in Ukraine allowed us to confirm the approximate location of the source of the clastic material of the Dnipro glacial maximum moraine. In addition, expand the systematic diversity of the Mississippian cephalopods of the Donets Basin and Don-Dnipro Downwarp.

Keywords: Carboniferous, cephalopods, glacial boulders, Dnipro glacial maximum, Donets Basins, Pyvykha Hill.

References

1. Aisenverg D.E., Astakhova T.V., Popov A.V. (1979). The first finds of goniatites in the sediments of the formations C₁¹ (A) and C₁³ (C) of the Donets Basin. *Geological Journal*. 39(6). 32-40.
2. Astakhova T.V. (1983). Goniatids. Upper Serpukhovian Substage of the Donets Basin. Kiev, *Naukova Dumka*. 115-123.
3. Dernov V.S. New finds of cephalopod remains in Carboniferous of Ukraine. *Paleontological study of Don-Dnipro Downwarp (materials of conference)*. Kyiv, 2019. 26-27.
4. Dernov V.S., Krisak O.S. (2016). New finds of cephalopod remains in sediments of the Moscovian (Middle Carboniferous) of the Donets Basin. *Problem of justification of regional stratons of the Phanerozoic of Ukraine (materials of conference)*. Kyiv. 37-39.
5. Kuzina L.F., Poletaev V.I. (1991). New Viséan ammonoids of the Donets Basin and Dnipro-Donets Depression. *Paleontological Journal*. 3. 35-45.
6. Makhlina M.Kh., Vdovenko M.V., Alekseev A.S. et al. (1993). Lower Carboniferous of the Moscow Syncline and Voronezh Antecline. Moscow. *Nauka*. 221.
7. Morozov P.E. (1984). New finds of cephalopods in Carboniferous of the Moscow Region. *Paleontological characteristic of stratotypic and supporting Carboniferous sections of the Moscow syncline*. Moscow. Publishing House of Moscow State University. 132-140.

8. Mychko E.V. (2019). Pages of the fossil record of the Amberland. *Priroda*. 3. 47-57. <https://doi.org/10.7868/S0032874X19030074>
9. Novik E.O. (1941). To the question of stratigraphy and lithology of Carboniferous of the Romny District. *Materials on the petroleum potential of the Don-Dnipro Downwarp*. 1. 201-213.
10. Ohar V.V., Poletaev V.I. (2019). On the remains of the Carboniferous fauna at the moraine of the Pyvykha Hill. *Palaeontological study of the Don-Dnipro Depression (materials of conference)*. Kyiv. 24-25.
11. Popov A.V. (1979). Carboniferous ammonoids of the Donets Basin and their stratigraphic significance. *Leningrad. Nedra*. 119.
12. Teteryuk V.K. (1982). Geological age of coal-bearing sediments of the Preddobrudzhinsky Paleozoic Downwarp. *New data on the stratigraphy and fauna of the Phanerozoic of Ukraine*. Kiev. Naukova Dumka. 155-160.
13. Furtes V.V., Aseyeva E.A., Zaitseva L.B. (2003). Biostratigraphy of problematic sedimentary strata of Ukraine. *Theoretical and applied aspects of the current biostratigraphy of the Phanerozoic of Ukraine*. Kyiv. 211-214.
14. Tsvetayeva M. (1888). Cephalopods of the upper stage of Central Russian Carboniferous limestone. *Proceedings of the Geological Committee*. V(3). 58.
15. Tsvetayeva M. (1898). Nautilids and ammonoids of the lower part of Central Russian Carboniferous Limestone. *Proceedings of the Geological Committee*. VIII(4). 46.
16. Shimansky V.N. (1967). Carboniferous Nautilida. Moscow, Nauka, 260.
17. Shimansky V.N. (1968). Carboniferous Orthoceratida, Oncoceratida, Actinoceratida and Bactritida. Moscow, Nauka, 150.
18. Shimansky V.N. (1996). Carboniferous non-ammonoid cephalopods of the Novaya Zemlya. *Paleontological Journal*. 4, 24-29.
19. Shulga V.F., Shimansky V.N. (1994). On the fauna of non-ammonoid cephalopods from the Carboniferous of the Lviv-Volyn coal basin. *Reports of the Academy of Sciences of Ukraine*. 4. 111-115.
20. Yanin B.T. (1983). *Fundamentals of taphonomy*. Moscow: Nedra, 184 p.
21. Chrzastek A., Pluta K. (2017). Trace fossils from the Baltoscandian erratic boulders in SW Poland. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*. 87. 229-257. <https://doi.org/10.14241/asgp.2017.014>
22. Demanet F. (1941). Faune et stratigraphie de l'etage Namurien de la Belgique. *Mémoires du Musée royal d'histoire naturelle de Belgique*. 97. 1-327.
23. Engeser T., Riedel F. (1992). Scaphopods from Middle Liassic erratic boulders of northern Germany; with a review on Liassic Scaphopoda. *Scripta Geologica*. 99. 35-55.
24. Foth C., Kalbe J., Kautz R. (2011). First evidence of Elasmosauridae (Reptilia: Sauropterygia) in an erratic boulder of Campanian age originating from southern Sweden or the adjacent Baltic Sea area. *Zitteliana*. 51. 285-290.
25. Górka H. (1994). Late Caradoc and early Ludlow Radiolaria from Baltic erratic boulders. *Acta Palaeontologica Polonica*. 39 (2). 169-179.
26. Lehmann J. (2013). Aptian and Albian (Early Cretaceous) ammonites from glacial erratics of the Hamburg area, North Germany. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*. 270. 69-82. <https://doi.org/10.1127/0077-7749/2013/0359>
27. Malinky J.M. (2007). Hyolitha from the Early Paleozoic glacial erratic boulders (Geschiebe) of Germany and Poland. *Fossil Record*. 10 (2). 71-90. <https://doi.org/10.1002/mmng.200600020>
28. Ohar V. (2021). Carboniferous fauna from erratics in the Hradzyk area (Poltava region, Ukraine): paleo-ice streams indicator of the Dnipro glacial maximum. *Historical Biology*. 33 (1). 78-87. <https://doi.org/10.1080/08912963.2019.1710835>
29. Patteisky K. (1929). Die Geologie und Fossilführung der mährisch-schlesischen Dachschiefer- und Grauwackenformation. *Opava: Naturwissenschaftliche Verein*, 354.
30. Roniewicz E. (1984). Aragonitic Jurassic corals from erratic boulders on the South Baltic coast. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*. 154. 65-77.
31. Schmidt H. (1956). Orthocone Cephalopoden aus dem deutschen Unterkarbon. *Paläontologische Zeitschrift*. 30. 3-4. 41-68.
32. Sendino C., Bochmann M.M. (2021). An exceptionally preserved conulariid from Ordovician erratics of Northern European Lowlands. *Paläontologische Zeitschrift*. 95. 75-84. <https://doi.org/10.1007/s12542-020-00534-7>
33. Shimansky V.N., Shkolin A.A. (1994). New early carboniferous nonammonoid cephalopods from the Moscow region. *Paleontological Journal*. 28 (1A). 134-142.
34. Smelror M., Ossó Á. (2016). Paleogene fossils in erratic blocks from Averøy and Frei, Nordmøre, Norway. *Norges geologiske undersøkelser Bulletin*. 455. 1-10.
35. Weidner T., Geyer G., Ebbestad J.O., von Seckendorff V. (2015). Glacial erratic boulders from Jutland, Denmark, feature an uppermost lower Cambrian fauna of the Lingulid Sandstone Member of Vøstergutland, Sweden. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*. 63. 59-86. <https://doi.org/10.37570/bgsd-2015-63-06>
36. Zakowa H. (1960). Nowe stanowisko fauny górnowizeńskiej z Wałbrzycha Miasta. *Kwartalnik Geologiczny*. 4(3). 619-632.

Quality Assessment of Underground Water Resources in the Northeast of Sabzevar

Mohammad Ibrahim Fazel Valipour¹,

PhD (Petrology-Geology), Assistant Professor, Department of Geology,

¹Islamic Azad University, Mashhad Branch,

Ostad Yusofi St., Emamieh Blvd., GhasemAbad, Mashhad, P.O. Box 91735-413, Iran,

e-mail: dr.ef.valipour@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1968-0678>;

Hengameh Erfanian Kaseb¹,

PhD (Sedimentology-Geology), Adjunct Professor, Department of Geology,

corresponding author, e-mail: hg.erfanian@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1325-2269>

ABSTRACT

Introduction. In semi- arid and arid countries in which groundwaters are the main supplier of water, monitoring of water quality is of vital significance. To better manage water resources, therefore, investigation of water quality utilized for drinking, agricultural and industrial purposes sounds compulsory.

The purpose of article. The aim of this study was to investigation the factors in fluencing the evolutionary process of groundwater resources and hydrogeochemical characteristics of groundwater resources in the northeast of Sabzevar.

The research methods. Given the geological formation, water yield and condition of the region's water resources, a total of 10 underground water resources were surveyed in respect of quality. In this regard, physical parameters e.g. PH, Electric Conductivity (EC) and Total Dissolved Solids (TDS) were measured in the sampled solution by multimeter. The hydrochemical analysis of data was implemented in laboratory and by inductive Plasma method and by statistical analysis and the modeling process were conducted by the SPSS, Chemistry and AqQA suites.

The results of research. According to Scholler diagram, that most of water samples are categorized in good and acceptable class. According to the drawn Wilcox diagram, the samples are in C_2S_2 , C_2S_4 , C_3S_2 and C_3S_4 classes. Most samples agriculturally unsuitable with high salinity. According to the water quality index (GQI), the water resources of the study area are in poor to acceptable category. Spatial study showed that the catchment area of water resources located in volcanic rocks, conglomerates and gravels, due to the lower impact of these rocks on water salinity, has caused the outflow of water of appropriate quality from these areas. In the western part of the region, due to the presence of marl and evaporation -detrital deposits, the value of this index is low and water is of poor quality. In other parts of the region, the water quality index (GQI), increases and water has a better quality.

The type of geological formation around the basin is one of the important factors in the evolution of water resources. Chemical weathering of different rocks with natural waters produces different cations and anions. The water-rock reaction and weathering of minerals, is the main factor in changing the quality of groundwater chemistry in the region. Chemical analysis of water entering the aquifer of region showed that the sources of ions entering the region were affected by the lithology of rocks and sediments that were exposed to weathering for a long time, hence, as the region water, due to the passage of the detrital evaporation formation of the third period and marl, have dissolved them and increased the ratio of $Cl+SO_4>HCO_3$. The results showed that the presence of rocks and minerals of carbonate such as limestone, dolomite and calcite, sandstone and silicate such as volcanic rocks in the water passage has caused the scenarios of $Ca>CO_3$ and $Ca + Mg>CO_3$.

Conclusions. Results revealed that drinking water resources are decent in most of the sites, exclusive of the resources that place in detrital-evaporate deposits. Meanwhile, the water is hypersaline and indecent for agricultural purpose. To the east, however, salinity plummets and is decent for agricultural purpose. The concentration of bicarbonate as the most abundant anion in the entire resources is higher than the global health standard and dissolution of carbonate rocks like limestones and dolomites play a role in this manner. The concentration of nitrate in the entire resources is lower than the global standard. Their concentration in the area is owing to agricultural activities and circulated water. Water resources emplaced in volcanics, conglomerate and gravels are of less concentration in respect of salts content and quality of water is higher. The young detrital-evaporate deposits in the west have augmented the concentration of ions as per the Ground Quality Index (GQI) and zonation maps, and where upon, water quality in this portion is poor.

Keywords: Sabzevar, Northeast of Iran, Geological formation, Water quality, Binalood zone.

In cites: Mohammad Ibrahim Fazel Valipour, Hengameh Erfanian Kaseb. (2021). Quality Assessment of Underground Water Resources in the Northeast of Sabzevar. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (55), 82-93. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-06>

Introduction

In semi-arid and arid countries in which groundwaters are the main supplier of water, monitoring of water quality is of vital significance (Sener et al., 2017; Kawo and Karuppannan, 2018, Khano-ranga and Khalid, 2018). Burgeoning population globally, on the other hand, has given rise to a great-

er demand for water for household, agricultural and industrial sectors, leading to over-exploitation of water resources (Heydari et al., 2012).

To better manage water resources, therefore, investigation of water quality utilised for drinking, agricultural and industrial purposes sounds compulsory. One of the major resources are springs and

qanats which outline differing discharge rates given geological formations and precipitation (Javadi et al., 2019). The water resources are formed through the discharge of aquifer into impervious layers in a ridge-and-ravine topography, emerging in permeable sediments like gravels, sandstones and conglomerates which overlie the impermeable sedimentary formations. The severe reduction in rainfall have rendered not only the quality, but also the quantity of water vulnerable by anthropogenic activities. Nowadays, groundwater in rural areas have been known as the main and reliable source of potable water supply, whilst some problems in quality have tarnished the reliability reputation of the sources. Variation in water quality could be owing to interaction between rocks and water, evaporation and fluctuations in concentration considering the amount of precipitation and presence of anthropogenic controls like agricultural activities and industrial effluent.

Groundwater reacts chemically with a variety of solid phases e.g. sediments and aquifer's bedrock en route from recharge to discharge zone. Such reactions are invariable as per the chemical character of water, geological formations and settlement duration of water (Sarkar et al., 2007).

Monitoring of chemical composition of water could help forefend imminent dangers jeopardising human's health and maintain societies' hygiene. Numerous workers have engaged international criteria like those by the WHO, base diagrams like that of Scholler's (Scholler, 1955) and a wide assortment of quality indices as tools to categorise potable water (Ketata-Rpkhani et al., 2011, Jerome and Pius, 2010; Kishore and Hanumantharao, 2010) in their collected works.

Extensive studies have, by far, been undertaken on this issue in domestic and international scales, from which we can refer to those fundamental ones that have perceptibly assisted us to learn about this trend. The most outstanding of the studies are: Investigation of evaporite precipitations (Hardie, 1968), Convulsion of brines in enclosed basins (Hardie and Eugster, 1970), Sedimentologic and geochemical properties and hydrogeochemical provenance of brines (Spenser et al., 1990), Upheaval of important groundwaters at playas (Rosen, 1994; Erfanian Kaseb et al., 2020), Heydrogeochemical investigations of water in Dasht-e-Jajarm (Javanbakht et al., 2020), Ardak region in Mashhad (Fazel valipour et al., 2021), Siahoo Basin in Bandar Abbas (Gholamdokht Bandari et al., 2018), Karstic springs in Ajabshir (Sarai Tabrizi et al., 2021).

To project qualitative variation in water resources, other phenomena in the target area shall be statistically investigated (Rabah et al., 2011). Besides the cited matters, the quality of water resources in a region hinges upon the existing ions

which their number is commonly reduced by lithology and their own evolutionary cycle (Jones and Decampo, 2014).

The early chemical properties of waters being delivered to enclosed basins is affected by the lithology and the sediments being weathered and by the duration over which groundwaters remain inside the rocks of basin (Hardie and Eugster, 1970; Jones and Decampo, 2014). Familiarity with enclosed basins is indispensable in assimilating the chemistry of waters. Surface and underground waters supply the ions that precipitate as salts at basin. Acidic waters would cause chemical weathering of surface rocks of the watershed. The chemical weathering of variant rocks by natural waters would generate a vaudeville of anions and cations (Erfanian Kaseb et al., 2020).

Given the fact that water of the aquifer in Sabzevar's north is used for drinking, agricultural and industrial purposes, the environmental characteristics of water and the effect of lithology on water quality have been taken into account on this study.

Geology of the study area

The studied groundwaters are located in a mountainous area of equitable to semi-arid climate, coordinating 58°- 58° 30' E and 36° 30' -37°N in the NE of Sabzevar township in Khorasan-e-Razavi Province. The Sabzevar-Quchan trunk road is amongst the most important means of transportation in this region. The annual precipitation amounts to 276mm. The highest elevation is 2529m and the lowest 1150m above sea level. Winters are fairly cold and summers are equitable to warm (Fig. 1).

Structurally speaking, it is a portion of the Binalood Zone, and lithologically, however, the geological formations are variegated. Most of the exposed rocks are the Cenozoic volcanics of Miocene age which are predominantly of pyroclastic lava variety. Within them lie volcanic rocks of Plio-Quaternary age as domes and dykes. Deposits of shallow marine facies also exist that transform into continental sediments which are of the Cenozoic age and belong with E₂ and E₃ series. The series consist of shale, sandstone, conglomerate, limestone, dolomite, marly shale and chalk. The youngest sediments are detrital evaporites that have formed adjacent to the Kaalshur River. The limestone outcrops of Lower Cretaceous of Mesozoic Era are witnessed as dislocated huge boulders in the NE of the area. Such formations have, somehow, cropped out overlying the Plio- Quaternary pyroclastic sediments and also underlying them unconformably which is an indicator to post Plio- Quaternary tectonism (Fig. 2).

Methodology

Some 10 samples were grabbed from the springs, wells and qanats so as to investigate the groundwater quality in 2020 (Fig. 2). Over the sam-

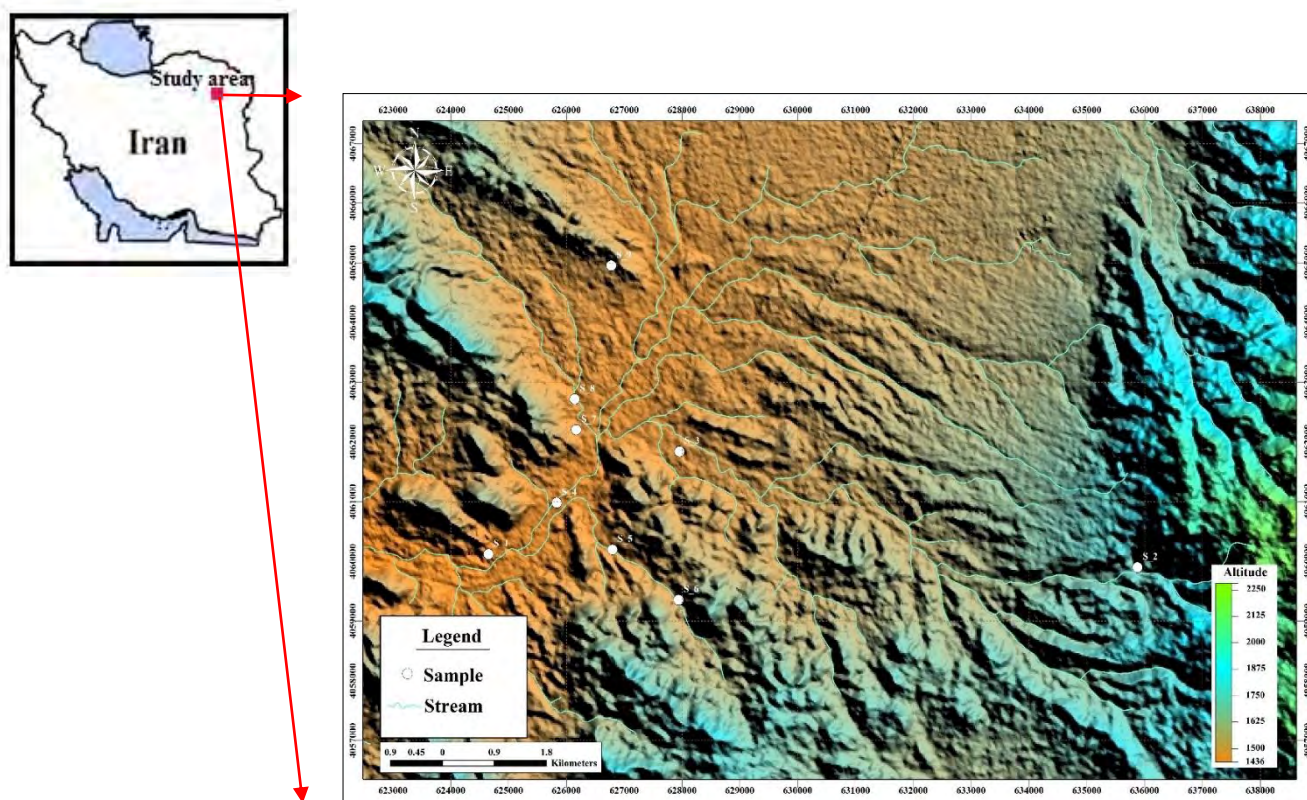


Fig. 1. The location of study area

pling process, the sampling bottles were thoroughly washed and one sample was grabbed from each site. Physical parameters like PH, EC and TDS were measured by an Extech multimetre at the sampling site. To forefend any settlement of heavy metals, the pH value of samples was reduced to 2 by adding thick HNO_3 . The samples were then transferred to the chemical laboratory of Mashad Azad University at a temperature of 4°C where the hardness and alkalinity of water samples were measured by means of the Titration technique using the EDTA (di amine tetra acetic acid). The samples were subsequently transferred to the IMPRC to undertake the inductive Plasma Analysis. The statistical analyses were conducted on the Chemistry, SPSS22 and AqQA suites. To study the quality of potable water, Scholler's diagram and for agricultural purposes, the Wilcox's were engaged. The qualitative classification was, ultimately, implemented utilising the GQI and effective parameters were analysed. The index entails weighing and combining of 10 qualitative parameters for potable water i.e. Cl, Na, Ca, Hardness, Acidity, Bicarbonate, Sulphate, Nitrate, Mg and the TDS. This approach encompasses the spatial variation of measurements, and multi-stage conversions of groundwater quality data as ranking of groundwater quality index by means of generating concentration maps for each parameter of point data and through the interpolation method. The data are subsequently calculated utilising the normalised difference index as follows:

$$C = (X' - X) / (X' + X) \quad)1($$

Where the X' is the calculated concentration in each cell on the primary map and X is its optimum standard (WHO). The calculation procedure is conducted through the measuring of the contamination index (the ratio between the measured concentration of contaminant and maximum acceptable amount of contaminant) ranging from 1 through -1 for each cell and, ultimately, through the conversion of contamination index to a ranking map ranging between 1-10 (rank 1 connotes the least and 10 the highest level of groundwater effect).

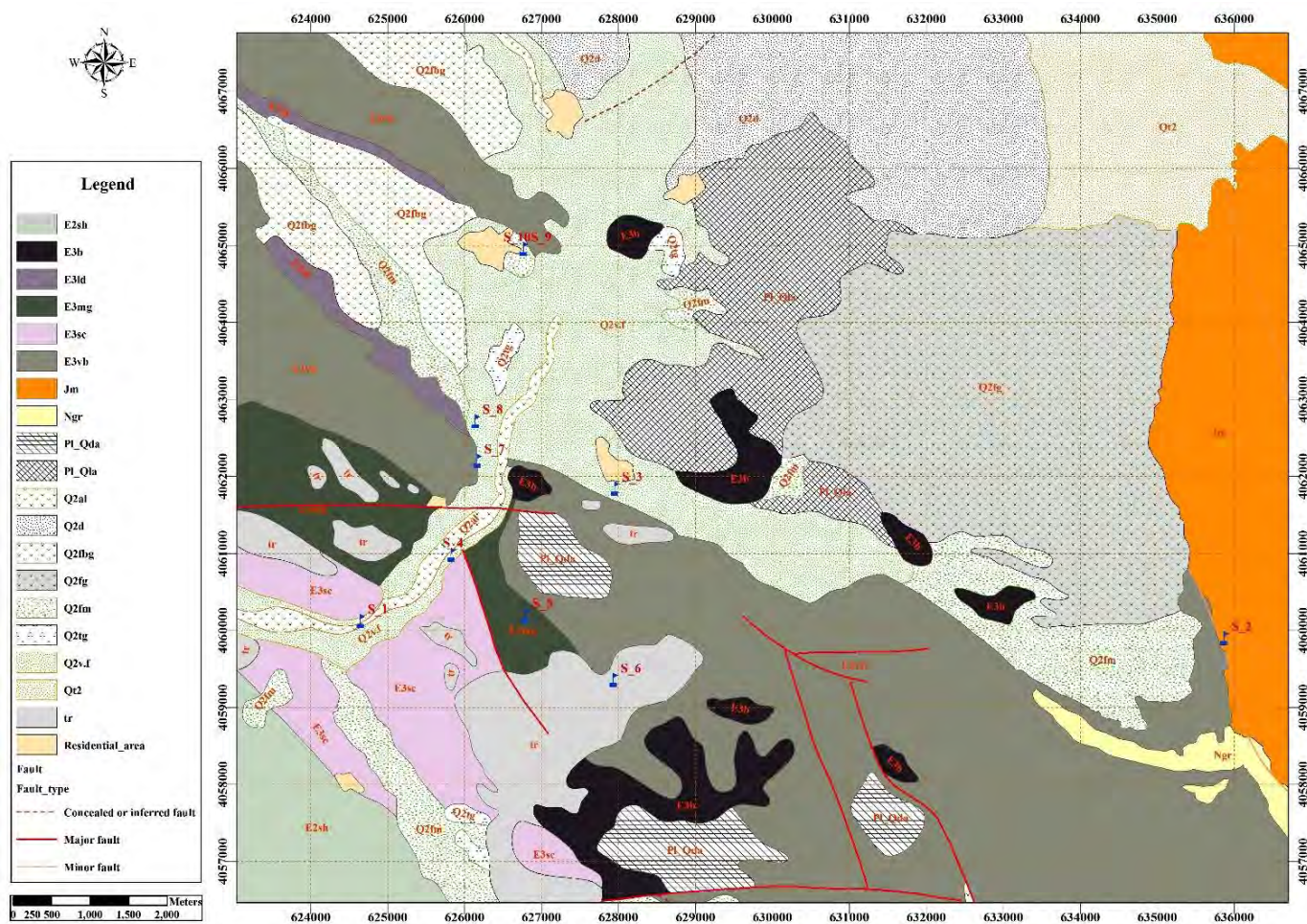
To rank the concentration of cited elements from 1-10, the formula below is applied)Babiker et al., 2007)

$$r = 0.5 C^2 + 4.5 C + 5 \quad)2($$

Where C represents the concentration index for each cell and r shows the related rank. The GQI is obtained by formula 03:

$$\text{GQI} = 100 - (r_1 w_1 + r_2 w_2 + \dots + r_n w_n / N) \quad)3($$

Where r is the value/ amount of ranking map of range 1-10, W is the relative weight of the parameters and N is the total number of utilised parameters on the analyses (Alexander et al., 2017). Table-01 demonstrates the categories of potable water quality as per the represented quality index (Babiker et al., 2007).



GEO_UNIT

First_DESCRIPTION

E2sh

Dark gray to violet shale with sandstone at the base

E3b

Dark gray olivin trachybasalt, pyroxen basalt. andesitic basalt as lava flows or dikes

E3ld

Light gray cherty limestone and dolomite

E3mg

Light green gypsiferous silty, marly shale with intercalations of gypsum, sandstone, tuffite and limestone

E3sc

Red alternations of sandstone and shale with conglomerate and tuff intercalations

E3vb

Dark greenish to reddish gray vesiculated spilitic basalt

Jm

Dolomite, limestone, partly dolomitized, cream, gray

Ngr

Marl, sandy marl, sandstone and conglomerate, consoidate, partly gypsiferous, light red_orange

Pl_Qda

Light gray dacitic andesite, quartz trachyandesite as domes and thick lava

Pl_Qla

Light gray lahar, volcanic conglomerate with acidic pyroclastics

Q2al

Recent alluvium

Q2d

Silt and sand with lenses of gravel forms alluvial plane (dasht)

Q2fbg

Cobble_bulder gravel, unconsolidated and uplifted, forms highest (oldest) level fans

Q2fg

Gravel unconsolidated and uplifted, forms intermediated level fans

Q2fm

Mud, silt and sand, forms lowest(youngest)level fans

Q2tg

Gravel unconsolidated and uplifted, forms intermediated terraces

Q2v.f

Silty clay, silt and sand, with gravel packets forms filled valley

Q2

Terraces and young gravel fans

Residential_area

tr

Gray quartz trachyandesitic to trachyandesitic dikes

Fig. 2. Geological map and selected groundwater resources in the region

Results and discussion

Given the physio-chemical and geological conditions governing the groundwaters, numerous variables play role in the quality of groundwater, all of which may not usually be analysed (Lucassen, 2004; Kumar and Dua, 2009). Juxtaposing the anions and

cations in the samples, the most frequent ones were distinguished and compared with the world standards (Table 2). The dominant anion in the whole samples were bicarbonate, whilst the least abundant was nitrate ion. The dominant cations were Na in most of the samples and the least was K.

Table 1

The classification of drinking water quality based on quality index (Babiker et al., 2007)

GQI	Quality
91-100	Suitable
71-90	Acceptable
51-70	Medium
26-50	Poor
0-25	Low

Table 2

The analysis and physical parameters of groundwater resources in the region (mg/L)

Station	X	Y	TDS (mg/L)	PH	EC	Alkal	TH	Na	Ca	Mg	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃
S1	58 25 42	36 40 43	1083	8.09	1602	80	16	113	59.7	21.4	2.17	235	115	81	30
S2	58 31 14	36 40 30	321	7.66	482	90	270	51	49.7	16.4	2.59	175	70	33	30
S3	58 25 56	36 41 37	666	7.83	953	96	233	36	47.9	12.3	1.76	165	62	21	19
S4	58 24 30	36 41 10	191	8.07	273	350	469	1376	254	141.5	36.16	400	790	1950	31
S5	58 25 08	36 40 44	994	8.21	1150	72	410	184	59.6	30.1	3.84	330	180	168	25
S6	58 25 54	36 40 16	470	8.31	679	54	310	118	48.3	20.7	1.72	240	182	62	28
S7	58 24 44	36 41 50	298	7.70	479	70	116	108	14.6	6.4	2.72	170	60	44	25
S8	58 24 43	36 42 06	342	7.75	480	320	410	1218	203.7	123.1	7.43	380	1070	1400	41
S9	58 25 10	36 43 19	750	7.77	548	96	233	114	20.8	7.3	1.89	190	78	30	26
S10	58 24 57	46 43 23	306	7.5	448	92	300	200	18.2	7.4	2.33	195	76	36	25
WHO			500	7-8.5			150	200	75	50	12	150	250	250	50

Table 3

The classification of water quality for agricultural

SAR	Water quality for agriculture	Water class	Station
17.75	High salinity-inappropriate	C3S4	S1
8.87	Low salinity-appropriate	C2S2	S2
6.56	Salinity-acceptable	C3S2	S3
97.85	High salinity-inappropriate	C2S4	S4
27.47	High salinity-inappropriate	C3S4	S5
20.09	High salinity-inappropriate	C2S4	S6
33.33	High salinity-inappropriate	C2S4	S7
95.28	High salinity-inappropriate	C2S4	S8
30.41	High salinity-inappropriate	C2S4	S9
32.70	High salinity-inappropriate	C2S4	S10

Quality of water resources. To assess the present quality of gr resources used to supply potable water, the Scholler's diagram (Scholler, 1955) was adopted. This is a semi-logarithm illustrating the concentration of major ions in mg/L. The diagram also categories Na, Cl, sulphate, TDS and hardness as per chemical parameters as good, acceptable, average, inappropriate, totally unpleasant and indecent for drinking (Asgharimoghadam et al., 2015). Hen-

ce, given the qualitative samplings as per Figure. 3, it can be concluded that the quality of water in the area ranks good to acceptable, exclusive of samples 4 and 8 whose quality is totally unpleasant owing to being extracted from evaporate-detrital facies adjacent to the Kaal River.

The Wilcox diagram was applied to assess the quality of water used in agricultural purposes (Wilcox, 1995). It studies the classification of water us-

age as per the EC or Electric conductivity and the SAR or Sodium Adsorption and can be applied to categorise the water rate at the study area up to 16 differing ranks. The finest quality is C1S1 and the worst is C4S4 whose application is in agricultural and irrigation (Asadzadeh et al., 2017). Table. 3 illustrates the classification of water used in agriculture. Assessing the results obtained from the local resources connotes average to high salinity and alkalinity. This could be construed as presence of evapo-

rite formations. Because of the remarkable difference in Na concentrations in a number of samples, they are absent on the Wilcox diagram. Hence, 10% of the samples fall into C2S2, 60% into C2S4, 10% into C2S2 and 20% into C2S4 class. Consequently, the entire samples are pondered inappropriate for agricultural except for and S2 and S3 (Fig. 4).

The achieved analyses and depiction of zonation maps (Fig. 5) revealed that the concentration of Ca, Mg, Na, sulphate, Cl and TDS indicate a decrea-

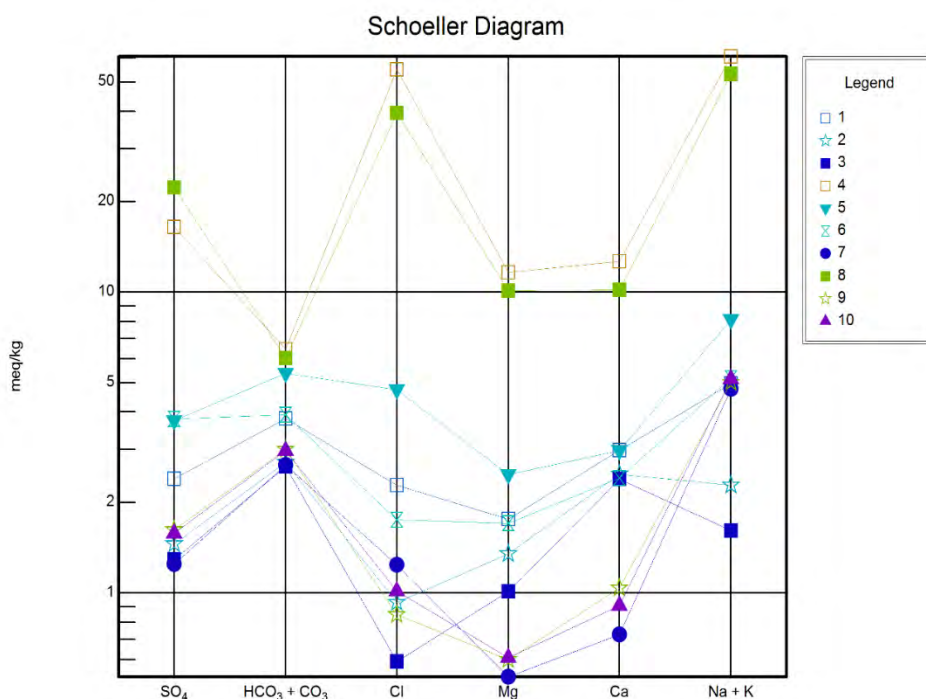


Fig. 3. The analysis of the exploitation situation based on Schoeller diagram

sed concentration of these ions everywhere in the area exclusive of the western portion, and water quality is good. Presence of dolomite and limestone formations, of young detrital-evaporite deposits whose presence has given rise to the concentration of TDS, of marly shales and density of joints and fissures whose presence has boosted dissolution and vulnerability of formations in the western portion all would help augment ions' concentration and deteriorate the quality of water as a result. Propagation of volcanic rocks like basalt, andesite and dacite, and trachy-andesite dykes in the area's south and south-east, a conglomerate formations in the south-west and presence of gravel within the deposits of the northern portion have all lessened the concentration of ions, boosting water quality.

The quality of the study area's resources ranks poor to acceptable as per the GQI (Table 1). Spatially investigating, it was revealed that the watershed of water resources which has been hosted by volcanic and conglomerate rocks and by coarse-grained gravels has helped release of water of good quality all owing to the insignificant influence of these for-

mations on the salinity of water. The GQI is low in the west, however, owing to the presence of limestone, dolomite, marl and detrital-evaporite deposits and, consequently, water quality is poor and the index is low. Notwithstanding, the GQI shows rise in the rest of the area and the water has a better quality (Fig. 6).

Effect of lithology on water resources. Combination of water resources with the rocks in the periphery of the basin hinges upon their reaction with water and water characteristics and (Decampo, 2014).

The rock type of geological formations surrounding the basin is one of the significant factors in the quality of water resources. Chemical weathering of different rocks due to reaction with inflowing waters would generate variable anions and cations which disturbs the primary $\text{HCO}_3/\text{Ca}+\text{Mg}$ in solution (Fig. 7).

Geological data (Fig. 2) revealed that the quality of water resources corresponds with the lithology which consists silicates, carbonates and sulphates. Hydrogeochemical studies demonstrate that bicar-

bonates, as anions, are dominant and exceed the global standard in the entire samples. Dissolution of limestones and dolomites play an elemental role in the abundance of bicarbonate ion in water. Dissolu-

tion within the gypsum beds and young detrital-evaporite deposits in the west of Abdullah-e-Giv Village has released the sulphate anion into water. Given the fact that the origin of Cl anion in ground-

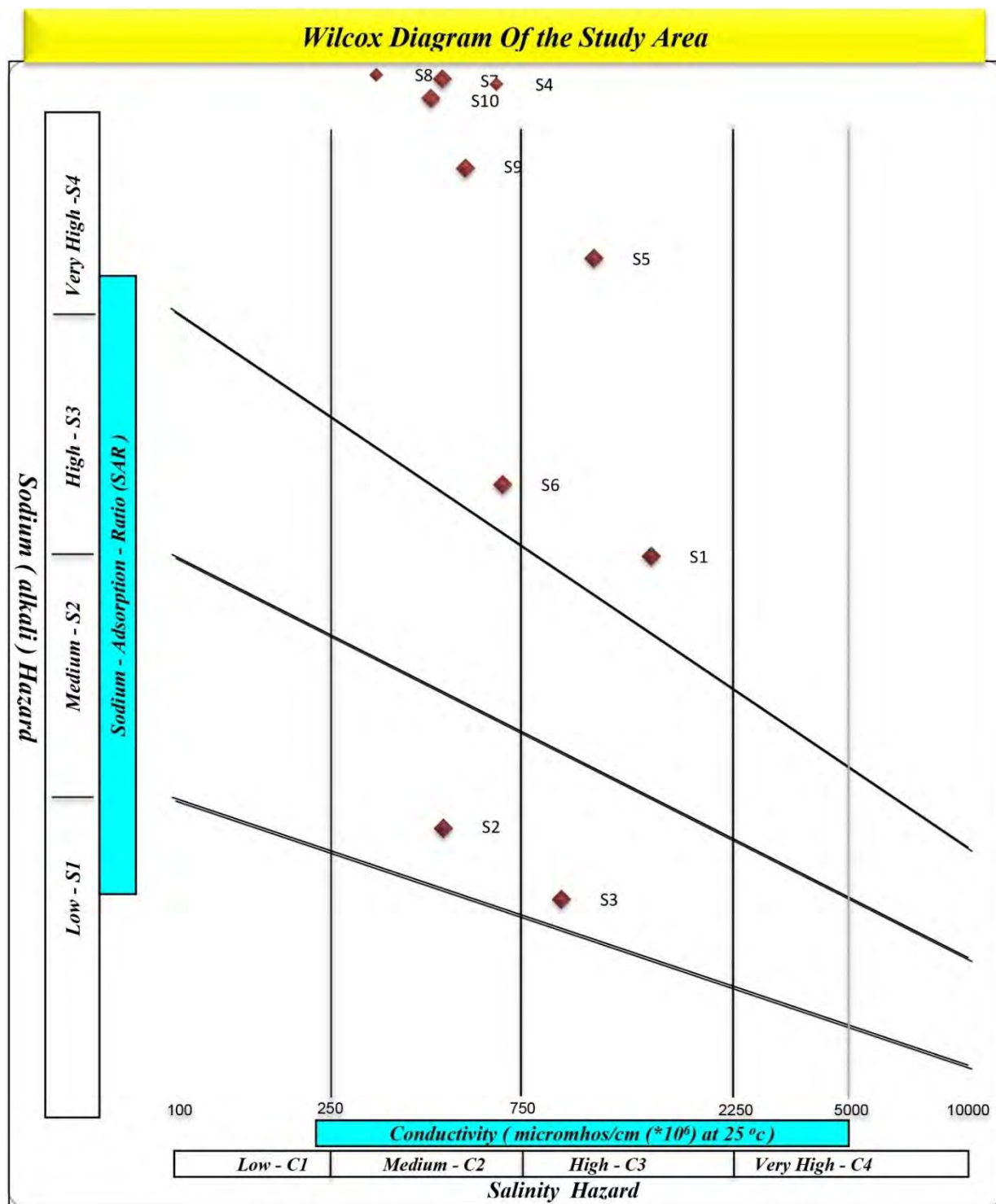


Fig. 4. The analysis of the exploitation situation based on Wilcox

water resources is atmosphere and its concentration is highly diluted with the lost water, hence, the assessment of its concentration is pivotal. The Cl in waters has resulted from the dissolution of evaporite deposits and weathering of shale formations (Anonymous, 2010). Nitrate is known as one of the most

significant anions of water and its presence maybe as a result of leaching/ washing by streams, breakdown of organic material and anthropogenic activities e.g. municipal effluent and usage of chemical and natural fertilisers. The minimum and maximum concentration of nitrate is 19 and 41 mg/L, respectively.

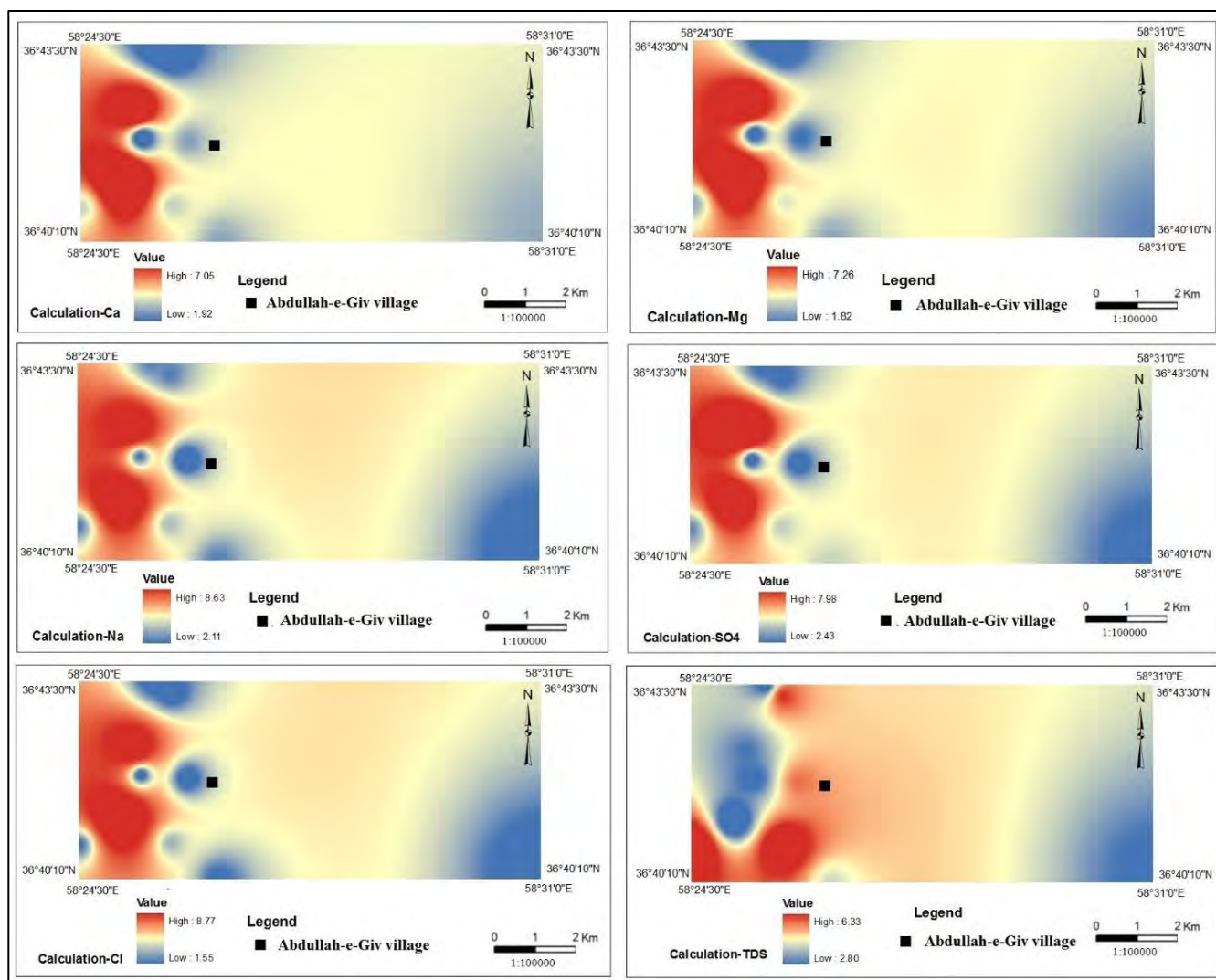


Fig. 5. The distribution of ion concentrations and TDS of groundwater sources in region

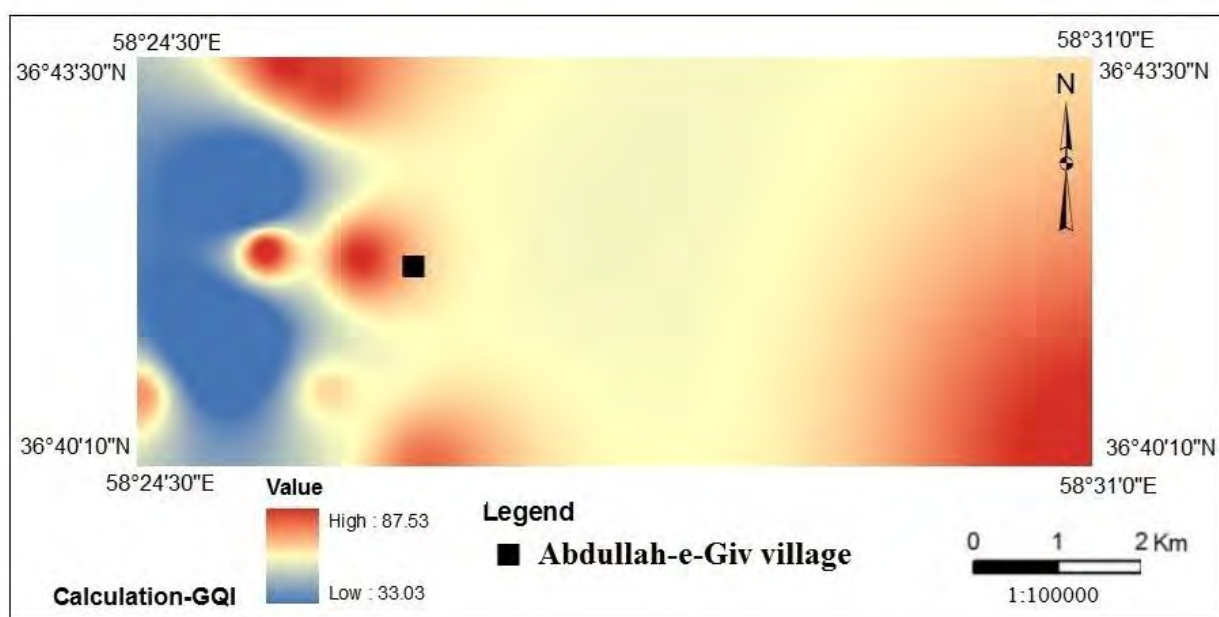


Fig. 6. Zoning map of GQI of groundwater in region

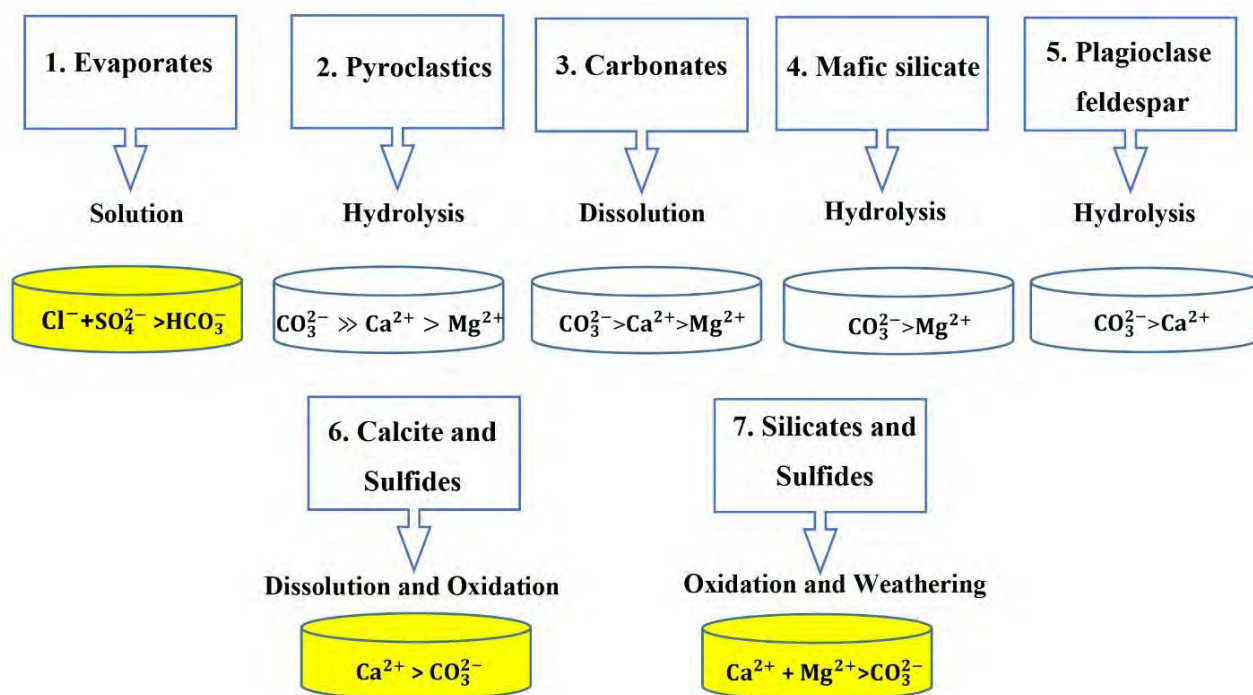


Fig. 7. The relationship between the origin and composition (Jones and Decampo, 2014)

vely. Given the fact that the concentration of nitrate ion is below the global standard in the entire samples, however, the major reason behind the rise in nitrate concentration in water resources lying in the downstream of farmlands and homesteads could be leaching of nitrate. In other sense, the aquifer is fed by the nitrate-bearing waters circulated from the agricultural use.

Na shows the highest concentration amongst the cations in water resources. Apart from halite (NaCl), the main origins of Na are seawater, rainfall, hydrothermal springs, brines, Na-bearing silicates (albite), nepheline and rare Na-bearing minerals such as sodium carbonate Al – (Khashmon et al. 2017). The shale formations in the area may convert clay minerals to each another, releasing variety of ions like Na. Furthermore, presence of Na-bearing silicates (albite) in volcanic rocks has played a role in releasing Na. The most perceptible origins for Ca and Mg cations in groundwaters, are limestones and dolomites, Ca-bearing silicates as well as groundwater of great salinity (TDS > 500 mg/lit) through which these ions have entered the water resources. The water is in close contact with limestones of high Ca content and low SiO_2 (Cohen, 2003; White and Drake, 1993). Their pH is commonly alkaline (Duarte et al., 2020). The waters that are in contact with dolomite are analogous to calcerous waters, whilst their content of Ca and Mg is the same in molar values. Release of Ca from Ca-bearing silicates in basalts and also dissolution of non-carbonate for-

mations like gypsum beds have played a role in the liberation of Ca.

Conclusion

Groundwaters are one of the most important resources of water. The quality of groundwater resources in Abdullah-e-Giv area in the SW of Guchan township was studied. Given the lithology and water abstraction statues, a total of 10 groundwater resources of decent position were opted and assessed. Results revealed that drinking water resources are decent in most of the sites, exclusive of the resources that place in detrital-evaporite deposits. Meanwhile, the water is hypersaline and indecent for agricultural purpose. To the east, however, salinity plummets and is decent for agricultural purpose.

The dissolution of calcerous and dolomite factors has played the most pivotal role in the release of Ca and Mg cations in water, with Na as the most abundant cation in the water originated from shaly formations.

The concentration of bicarbonate as the most abundant anion in the entire resources is higher than the global health standard and dissolution of carbonate rocks like limestones and dolomites play a role in this manner. The dissolution of interbedded gypsum is influential in the release of sulphate ion, and dissolution of young evaporite and detrital deposits, and shale formations have had a role in the release of Cl. Water resources emplaced in volcanics, conglomerates and gravels are of less concentra-

tion in respect of salts content and quality of water is higher.

The concentration of nitrate in the entire resources is lower than the global standard. Their concentration in the area is owing to agricultural activi-

ties and circulated water.

The young detrital-evaporite deposits in the west have augmented the concentration of ions as per the GQI and zonation maps, and whereupon, water quality in this portion is poor.

References

- Alexander, A.C., Ndambuki, J., Salim, R., and Manda, A. (2017). Assessment of spatial variation of groundwater quality in a mining basin. *J. Suistain*, 9(5), 823.
- Al-Khashman, O.A., Alnawafleh, H.M., Jrai, A.M.A., Ala A.H. (2017). Monitoring and assessing of spring water quality in southwestern basin of Jordan. *J. Modern Hydrol.* 7(4), 331-349.
- Anonymous. (2010). Consistent information of Zanjan wastewater treatment plant. Zanjan Water and Wastewater Company, [in Persian]. Available at: <http://www.znabfa.ir>
- Asadzadeh, F., Shakiba, S., Kaki, M. (2017). Evaluation of groundwater quality trend for agricultural usage in Ajabshir Plain. *New Find. Appl. Geol.*, 11(21), 114-124 [in Persian].
- Asgharimoghadam, A., Javanmard, Z., Vadiati, M., Najib, M. (2015). Evaluating the quality of Mehraban plain groundwater resources using GQI and FGQI methods. *Hydrogeomorph.*, 1(2), 79-98.
- Babiker, I.S., Mohamed, M., Hiyama, T. (2007). Assessing groundwater quality using GIS. *Water Resources Management*, 21, 699-715.
- Cohen, A.S. (2003). *Paleolimnology: the history and evolution of Lake systems*. Oxford University Press, UK.
- Duarte C.M., Rostad A., Michoud G., Barozzi A., Merlino G., Delgado- Huertas A., Hession B.C., Mallon F.L., Affif A., M., Daffonchio D. (2020). Discovery of Affif, the shallowest and southernmost brine pool reported in the Red Sea. *Sci. Rep.*, 10, 910-919.
- Erfanian Kaseb H., Torshizian H.A., Jahani D., Javanbakht M., Kohansal Ghadimvand N. (2020). Effects of lithological and evolutionary processes on geochemical changes of Shahrokht-Yazdan Playa brines (east of Iran-west of Afghanistan). *Arabian Journal of Geosciences*, 13(20), 1070. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05897-4>
- Gholamdokht Bandari, M., Rezaee, P., Gholamdokht Bandari, Z. (2018). Assessment of the hydrogeochemical quality of underground in the Siahoo region, northeast of Bandar Abbas. *Iran. J. Health Environ.* 11(1), 97-110 [in Persian].
- Hardie, L.A. (1968). The origin of the recent non marine evaporate deposit of Saline Valley: California. *Geochem. et Cosmochem. Acta*, 32, 1279-1301.
- Hardie, L.A. and Eugster H.P. (1970). The evolution of closed basin brines. *Mineral. Soc. Amer. Spec.*, 3, 273-290.
- Heydari M., Bidgoli H.N. (2012). Chemical Analysis of drinking water of Kashan District. *Central Iran. Journal of World Applied Sciences*, 16(6). 799-805, [in Persian].
- Javadi, S., Moghaddam, H.K., Roozbahani, R. (2019). Determining springs protection areas by combining an analytical model and vulnerability index. *Catena*, 182, 104167 [in Persian].
- Javanbakht, M., Asadi, V., Dabiri, R. (2020). Evaluation of hydrogeochemical characteristics and evolutionary process of groundwater in Jajarm Plain, northeastern Iran. *Environ. Water Eng.* 6(3), 206-218. DOI: <https://doi.org/10.22034/jewe.2020.232598.1366>
- Jermo, C., Pius, A. (2010). Evaluation of water quality index and its impact on the quality of life in an industrial area in Bangalore. *South India. American. Journal of Scientific and industrial research.* 1(3), 595-603. DOI: <https://doi.org/10.5251/ajsir.2010.1.3.595.603>
- Jones B. F., Deocampo D. M. (2014). Geochemistry of saline lakes. *Treatise Geochem.* 7, 437-469.
- Kawo, N.S., Karuppannan, S. (2018). Groundwater quality assessment using water quality index and GIS technique in Modjo River Basir Central Ethiopia. *Journal of African Earth Sciences*, 147, 300-311. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2018.06.034>
- Ketata-Rokbani, M., Gueddari, M., Bouhlila, R. (2011). Use of geographical information system and water quality index to assess groundwater quality in EL Khir at deep aquifer (Enfidha, Tunisian Sahel). *Iranica. Journal of Energy and Environment.* 2(2), 133-144.
- Khanoranga, A., Khalid, S. (2018). An assessment of groundwater quality for irrigation and drinking purposes around brick kilns in the districts of Balochistan province, Pakistan, through water quality index and multivariate statistical approaches. *Journal of Geochemical Exploration*, 197, 14-26. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2018.11.007>
- Kishore, M., Hanumantharao, Y. (2010). Assessment of water pollution in Tipparthy Revenue Sub-Division, Nalgonda (District). *Andhra Pradesh. India. Journal of Chemistry*, 7(S1), S587-S593. DOI: <https://doi.org/10.1155/2010/482539>
- Kumar, A., Dua, A. (2009). Water quality index for assessment of water quality of river Ravi at Mahdopour (India) *J. Environ. Sci.* 8(1), 49-57.
- Lucassen, E. (2004). High groundwater nitrate concentrations inhibit eutrophication of sulphate-rich freshwater Wetlands, 67(2), 249-267.
- Rabah, F.K.J., Ghabayen, S.M., Salha, A.A. (2011). Effect of GIS interpolation techniques on the accuracy of the spatial representation of groundwater monitoring data in Gaza strip. *J. Environ. Sci. Technol.*, 4, 579-601.

25. Rosen, M.R. (1994). *The importance of groundwater in playa, a review of playa classifications and the sedimentology and hydrology of playas*. Geol. Soc. Amer., 289, 1-18.
26. Sarai Tabrizi, M., Khardan Moghadam, H., Karimi, F. (2021). *Studing the quality of pollution of the karst spring based on exploitation and natural features in Ajabshir study area*. Environ. Water Eng., 7(1), 88-102. DOI: <https://doi.org/10.22034/jewe.2020.251839.1438>
27. Sarkar, D., Datta, R., Hannigan, R. (2007). *Concepts and applications in environmental geochemistry*. Vol. 5. Elsevier's science and Technology Rights Department in Oxford, UK.
28. Schoeller, H. (1955). *Terres et eaux (Paris- Algiers)*, UNESCO series, Paris, 4-11.
29. Sener, S., Sener, E., Davas, A. (2017). *Evaluation of water quality using water quality index(WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey)*. Journal of Science of the Total Environment, 584, 131-144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.102>
30. Spencer, R.J., Lowenstein, T.K., Casas, E., Penxci, Z. (1990). *Origin of potash salts and brines in the Qaidam Basin, China*, Geochem. Soc. Spec. Publ., 2, 395-402.
31. White, K., Drake, N. (1993). *Mapping the distribution and abundance of gypsum in south central Tunisia from Landsat Thematic Mapper data: Geomorphol*, 37, 309-325.
32. WHO (World Health Organization) (2011). *Guidelines for drinking- water quality [electronic resource]: incorporating 1 st and 2nd addenda, v.1, Recommendations, 3rd ed.* WHO, Geneva, 515.
33. Wilcox, L.V. (1955). *Classification and Use Irrigation Waters*, US DA, Circular 969, Washington.

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Оценка качества подземных водных ресурсов на северо-востоке Сабзевара

Мохаммад Ибрагим Фазель Валинур¹,

к. геол. н., доцент кафедры геологии,

¹Исламский университет Азада, Мешхедский филиал,

ул. Остад Юсофи, бульвар Эмамие, Гасемабад, Мешхед, а/я 91735-413, Иран;

Хенгаме Эрфанян Касеб¹,

к. геол. н., адъюнкт-профессор кафедры геологии

Введение. В полусухих и засушливых странах, в которых подземные воды являются основным поставщиком воды, мониторинг качества воды имеет жизненно важное значение. Таким образом, для лучшего управления водными ресурсами исследование качества воды, используемой для питьевых, сельскохозяйственных и промышленных целей, является обязательным.

Цель статьи. Целью данного исследования было изучение факторов, влияющих на процесс эволюции ресурсов подземных вод и гидрогеохимические характеристики ресурсов подземных вод на северо-востоке Сабзевара.

Методы исследования. С учетом геологического строения, водоотдачи и состояния водных ресурсов области, было обследовано на предмет качества 10 видов запасов подземных вод. В связи с этим физические параметры, например, Ph, электропроводность (ЕС) и общее количество растворенных твердых веществ (TDS) измеряли в отобранном растворе с помощью мультиметра. Гидрохимический анализ данных осуществлялся в лабораторных условиях методом индукционной плазмы и методом статистического анализа, а также моделирования в пакетах SPSS, Chemistry и AqQA.

Результаты исследования. Согласно диаграмме Шоллера, большинство проб воды относятся к хорошему и приемлемому классу. Согласно нарисованной диаграмме Уилкокса, образцы относятся к классам C2S2, C2S4, C3S2 и C3S4. Большинство образцов агрономически непригодны из-за высокого засоления. По индексу качества воды (ИКВ) водные ресурсы исследуемой территории находятся в категории от плохого до приемлемого. Пространственное исследование показало, что водосбор водных ресурсов, расположенных в вулканических породах, конгломератах и галечниках, в силу меньшего влияния этих пород на минерализацию воды, обусловил отток воды соответствующего качества с этих территорий. В западной части области из-за наличия мергелевых и эвапорито-обломочных отложений значение этого показателя низкое, а вода плохого качества. В других частях региона индекс качества воды (ИКВ) увеличивается, и вода имеет лучшее качество.

Тип геологической формации вокруг бассейна является одним из важных факторов эволюции водных ресурсов. Химическое выветривание различных горных пород природными водами приводит к образованию различных катионов и анионов. Реакция вода-порода и выветривание минералов являются основным фактором изменения качества химического состава подземных вод в регионе. Химический анализ воды, поступающей в водоносный горизонт района, показал, что на источники поступления ионов в регион повлияла литология горных пород и отложений, которые длительное время подвергались выветриванию. Следовательно, воды региона при прохождении обломочных эвапоритовых образований третичного периода и мергелей, растворили их и повысили соотношение $Cl+SO_4 > HCO_3$. Результаты показали, что наличие горных пород и карбонатных минералов, таких как известняк, доломит и кальцит, песчаник и силикаты, вулканических пород, в водотоке вызвало сценарии $Ca > CO_3$ и $Ca + Mg > CO_3$.

Выводы. Результаты показали, что ресурсы питьевой воды на большинстве участков приличные, за исключением ресурсов, находящихся в обломочно-эвапоритовых отложениях. Поэтому вода очень соленая и не-

пригодна для сільськогосподарських нужд. Однак к востоку солоність різко падає і підходить для сільськогосподарських цілей. Концентрація бікарбоната, як найбільш розповсюдженого компонента, во всіх ресурсах вище, ніж глобальний санітарний стандарт, і розчинення карбонатних порід, таких як известняки і доломіти, грає роль в цьому. Концентрація нітратів во всіх ресурсах нижче мирового стандарту. Їх концентрація в районі зв'язана з сільськогосподарською діяльністю і оборотним водопостачанням. Водні ресурси, залягані в вулканітах, конгломератах і гравіях, мають меншу концентрацію по вмісту солей і більш високу якість води. Молоді детритно-евапоритові відкладення на заході мають підвищену концентрацію іонів по індексу якості ґрунту (GQI) і картам районування, при цьому якість води в цій частині залишає бажати кращого.

Ключові слова: Сабзевар, північний схід Ірану, геологічне утворення, якість води, Біналудська зона.

Оцінка якості підземних водних ресурсів на північному сході Сабзевару

Мохаммад Ібрагім Фазель Валіур¹,

к. геол. н., доцент кафедри геології,

¹Ісламський університет Азада, Мешхедська філія,

вул. Остад Юсофі, бульвар Емамів, ГасемАбад, Мешхед, а/с 91735-413, Іран;

Хенгаме Ерфанян Касеб¹,

к. геол. н., ад'юнкт-професор кафедри геології

Вступ. У напівзасушливих та посушливих країнах, в яких підземні води є основним постачальником води, моніторинг якості води має життєво важливе значення. Таким чином, для кращого управління водними ресурсами дослідження якості води, що використовується для питних, сільськогосподарських та промислових цілей, є обов'язковим.

Мета статті. Метою даного дослідження було вивчення факторів, що впливають на процес еволюції ресурсів підземних вод та гідрогеохімічні характеристики ресурсів підземних вод на північному сході Сабзевара.

Методи дослідження. З урахуванням геологічної будови, водовіддачі та стану водних ресурсів області, було обстежено щодо якості 10 видів запасів підземних вод. У зв'язку з цим фізичні параметри, наприклад, Rh, електропровідність (ЕС) і загальна кількість розчинених твердих речовин (TDS) вимірювали у відібраному розчині за допомогою мультиметра. Гідрохімічний аналіз даних здійснювався в лабораторних умовах методом індукційної плазми та методом статистичного аналізу, а також моделювання у пакетах SPSS, Chemistry та AqQA.

Результати дослідження. Згідно з діаграмою Шолера, більшість проб води відносяться до хорошого та прийнятного класу. Згідно з намальованою діаграмою Вілкокса, зразки відносяться до класів C2S2, C2S4, C3S2 та C3S4. Більшість зразків агрономічно непридатні через високе засолення. За індексом якості води (IKB) водні ресурси досліджуваної території перебувають у категорії від поганого до прийнятного. Просторове дослідження показало, що водозбір водних ресурсів, розташованих у вулканічних породах, конгломератах і галечниках, через менший вплив цих порід на мінералізацію води, зумовив відтік води відповідної якості з цих територій. У західній частині області через наявність мергелевих та евапорито-уламкових відкладень значення цього показника низьке, а вода – поганої якості. В інших частинах регіону індекс якості води (IKB) збільшується, і вода має кращу якість.

Тип геологічної формації навколо басейну є одним з важливих факторів еволюції водних ресурсів. Хімічне вивітрювання різних гірських порід природними водами призводить до утворення різних катіонів та аніонів. Реакція вода-порода та вивітрювання мінералів є основним фактором зміни якості хімічного складу підземних вод у регіоні. Хімічний аналіз води, що надходить у водоносний горизонт району, показав, що на джерела надходження іонів у регіон вплинула літологія гірських порід та відкладень, які тривалий час зазнавали вивітрювання. Отже, води регіону під час проходження уламкових евапоритових утворень третинного періоду та мергелів, розчинили їх і підвищили співвідношення $Cl+SO_4 > HCO_3$. Результати показали, що наявність гірських порід та карбонатних мінералів, таких як вапняк, доломіт та кальцит, піщаник та силікати, вулканічних порід, у водотоку викликало сценарії $Ca > CO_3$ та $Ca+Mg > CO_3$.

Висновки. Результати показали, що ресурси питної води на більшості ділянок пристойні, за винятком ресурсів, що знаходяться в уламково-евапоритових відкладеннях. Тому вода дуже солоната та непридатна для сільськогосподарських потреб. Однак на схід солоність різко падає і підходить для сільськогосподарських цілей. Концентрація бікарбонату, як найбільш поширеного компонента, у всіх ресурсах вища, ніж глобальний санітарний стандарт, і розчинення карбонатних порід, таких як вапняки та доломіти, відіграє роль у цьому. Концентрація нітратів у всіх ресурсах нижча за світовий стандарт. Їх концентрація в районі пов'язана з сільськогосподарською діяльністю та оборотним водопостачанням. Водні ресурси, закладені в вулканітах, конгломератах і гравіях, мають меншу концентрацію за вмістом солей і більш високу якість води. Молоді детритно-евапоритові відкладення на заході мають підвищену концентрацію іонів за індексом якості ґрунту (GQI) та картами районування, при цьому якість води в цій частині залишає бажати кращого.

Ключові слова: Сабзевар, північний схід Ірану, геологічне утворення, якість води, Біналудська зона.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 26 листопада 2021 р.

Прийнята 29 листопада 2021 р.

Вплив структури мінерального адсорбенту на детритизацію водних розчинів

Олександр Васильович Пушкар'юв¹,

д. геол. н., старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник,

¹ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»,

пр-т Акад. Палладіна, 34-а, м. Київ, 03142, Україна,

e-mail: pushkarevigns@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4382-8620>;

Ірина Михайлівна Севрук¹,

к. геол. н., старший науковий співробітник,

e-mail: irina_mihalovna@ukr.net, WoS Researcher ID AAC-6140-2020;

Долін Віталій Вікторович¹,

молодший науковий співробітник,

e-mail: dolinvitaliy@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1962-9277>

Оцінена адсорбція тритію з водного розчину та ефект фракціонування ізотопів водню у стаціонарній системі «НТО-мінеральна речовина». Пояснений механізм затримки тритію в структурі природних адсорбентів (гібсит, гіпс, воластоніт та у гідроксиді кальцію). Найменша загальна здатність до вилучення тритію з водного розчину визначена у воластоніті (34,5 %), найбільша – у гібситі (38,7 %). Тритій, вилучений із тритійованої води розподіляється у мінеральній речовині між різними структурними позиціями – з найменшою енергією зв'язку у молекулярній формі НТО в поверхнево-адсорбованій вологі (1 фракція), із дещо більшою – у міжшаровій воді (2 фракція), та найбільшою в іонній формі –ОТ у структурних позиціях мінерального адсорбенту (3 фракція). В гібситі у поверхнево адсорбованій формі затримується до 39% від загальної кількості тритію, вилученого із водного розчину. Переважна затримка біля мінеральної поверхні поляризованих молекул НТО ніж молекул Н₂О обумовлює ефект фракціонування ізотопів водню ($\alpha = 1,14$). Обмін між ОН-групами структурних АІ-гідроксильних шарів мінералу і ОТ-групами тритійованої води призводить до закріплення у цій формі до 55% тритію. Найбільша частина тритію (60,3%), вилученого гіпсом із водного розчину накопичується у поверхнево адсорбованій формі за механізмом міжфазового молекулярного НТО → Н₂О обміну з коефіцієнтом фракціонування $\alpha = 1,04$. Міцніша фіксація тритію відбувається в структурі мінералу (до 36%) з коефіцієнтом фракціонування $\alpha = 1,07$. Внаслідок наявності у воластоніті спутано-волокнистої мікротекстури, значна частина тритію, поглинутого за час експерименту з розчину тритійованої води була зафіксована у поверхнево адсорбованій формі (61,3%, коефіцієнт фракціонування $\alpha = 1,03$). Інша частина тритію (36,4%, $\alpha = 1,06$) зв'язується у ОТ-групах, які утворюються при гідролізі іонів кальцію при контакті воластоніту з водою. Гідроксиди кальцію при його контакті із тритійованою водою супроводжується зменшенням питомої активності тритію у водній фазі з фракціонуванням ізотопів водню ($\alpha = 1,23$) при утворенні гідроксильних груп.

Ключові слова: тритій, водень, важкі ізотопи водню, гіпс, гібсит, воластоніт, адсорбція, фракціонування.

Як цитувати: Пушкар'юв О. В. Вплив структури мінерального адсорбенту на детритизацію водних розчинів / О. В. Пушкар'юв, І. М. Севрук, В. В. Долін // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2021. – Вип. 55. – С. 94-106. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-07>

In cites: Pushkarov O. V., Sevruk I. M., Dolin V. V. (2021). Influence of the structure of a mineral adsorbent on the detritization of aqueous solutions. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (55), 94-106. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-07> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. Утворений у ядерному реакторі тритій частково викидається в атмосферу та, головним чином, скидається в гідросферу. Значна частина тритію також надходить в навколишнє середовище в процесі перероблення відпрацьованого ядерного палива. Певний внесок у надходження тритію у водне середовище створюють приповерхневі сховища радіоактивних матеріалів різного походження. За оцінками МАГАТЕ зі зростанням масштабів ядерної енергетики накопичення тритію у навколишньому середовищі, передусім у поверхневій гідросфері, біосфері та підземних водах, збільшуватиметься. Затвердження на рівні Єврокомісії спеціальної дослідницької програми Euratom NFRP-14 «Cross-cutting support to improved knowledge on

tritium management in fission and fusion facilities» свідчить про нагальну необхідність проведення досліджень, щодо запобігання розповсюдження тритію у природно-техногенних біогеосистемах. Важливим завданням щодо захисту навколишнього середовища від тритієвого забруднення є пошук ефективних, простих, доступних, недороговартісних і низькоенергозатратних методів вилучення тритію з великих об'ємів низько- та середньоактивних водних розчинів.

Аналіз попередніх досліджень. Для очищення невеликих об'ємів високоактивних технологічних вод на АЕС застосовується метод ізотопного обміну в системі «водень – вода» (патенти RU 2380144, RU № 2060801, RU № 2525423, RU 2148426). При цьому досягається значний ізотоп-

ний ефект, але дані технології потребують значних енергетичних затрат для переведення забрудненої тритією води в паро-газовий стан (RU № 2295493). Існують також методи ізотопного фракціонування НТО шляхом низькотемпературної ректифікації (патенти RU 2201283, RU 2274607, RU 2400433, США 4799945, RU 2142914), що або потребує значних енергетичних витрат або відбувається з дуже незначним ізотопним ефектом на рівні 1,1 (патенти UA 57558, RU 2010772, RU 2091336).

У світовій практиці досить широко використовуються адсорбенти, утворені на основі природних мінералів. Для очищення води від іонів важких металів, різних солей, нафтопродуктів, фенолу, поверхнево-активних речовин, нітритів, нітратів, фосфатів тощо (патенти RU 2235687, RU 2296718, RU 2085500). Але жоден з цих методів, не розрахований для очищення водних розчинів від тритію.

Нашими попередніми дослідженнями була з'ясована можливість використання шаруватих силікатів та цеоліту для вилучення тритію із водних розчинів [6-13, 15, 16]. На базі отриманих результатів було визначено форми знаходження тритію, поглинутого з водних розчинів шаруватими силікатами структурних типів: 1:1, 2:1 та зі стрічково-канальною структурою, встановлено вплив термічної та хімічної модифікації глинистих мінералів і цеоліту на їх здатність адсорбувати тритій із водних розчинів, розроблено низку композиційних адсорбентів тритію на основі глинистих мінералів та цеоліту (патенти України UA 103033, UA 103050, UA 113348).

Виконані дослідження стосувалися головним чином здатності шаруватих та одного із представників каркасних силікатів до вилучення тритію із водних розчинів. Разом з тим, залишається невирішеною залежність адсорбційних властивостей мінеральних адсорбентів від їх структурних особливостей.

З метою вирішення цієї задачі нами були залучені до експериментальних досліджень міне-

ра-ли іншого складу і структури із класів: гідроксидів, сульфатів та ланцюгових силікатів.

Метою статті – є викладення результатів дослідження впливу структурних особливостей мінеральних адсорбентів на вилучення тритію з протій-третієвої води «НТО» та можливостей використання більш розширеного спектру мінералів в якості таких адсорбентів.

Об'єктом досліджень є процеси ізотопно-водневого обміну в представлених мінералах при їх взаємодії з водними розчинами.

Предметом досліджень є: гібсит ($\text{Al}(\text{OH})_3$) та $\text{Ca}(\text{OH})_2$ із класу гідроксидів, гіпс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) із класу сульфатів, воластоніт $\text{Ca}(\text{SiO}_3)$ із класу ланцюгових силікатів та міжфазовий розподіл тритію унаслідок їх взаємодії з тритійованою водою.

Матеріали та методи. Оцінку можливості розширення спектру природних сорбентів для вилучення тритію із тритійованої води («НТО») виконано на серії експериментів в стаціонарних системах. Для підготовки експериментальних систем використано мінерали гібсит ($\text{Al}(\text{OH})_3$) та $\text{Ca}(\text{OH})_2$ із класу гідроксидів, гіпс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) із класу сульфатів, воластоніт $\text{Ca}(\text{SiO}_3)$ із класу ланцюгових силікатів, оксид кальцію (CaO) та «НТО».

Головною структурною одиницею **гібситу**, який представляє собою аналог октаедричної складової структури монтморилоніту, є шар іонів Al, розміщений між двома шарами кисню [3]. В структурі гібситу катіонами Al зайнято лише 2/3 октаедричних положень, а утворені Al-гідроксильними октаедрами шари розміщуються таким чином, що нижні атоми кисню одного октаедричного шару розміщуються безпосередньо над верхніми атомами кисню іншого октаедричного шару (рис. 1). Одна елементарна комірка гібситу складається із двох таких шарів, вміщує 8 Al-гідроксильних груп та має параметри по осям «a» $\approx 8,64 \text{ \AA}$, «b» $\approx 5,07 \text{ \AA}$ і «c» $\approx 9,72 \text{ \AA}$.

Згідно Бріндлі і Накахірі [18], нагрівання гібситу в інтервалі температур 140-200°C призво-

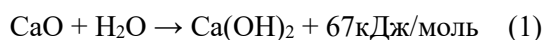


Рис. 1. Структура гібситу [21] / Fig. 1. Structure of hibaite [21]

дить до часткової втрати води з утворенням γ - $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{O}$, в інтервалі температур 220-240°C гібсит перетворюється у безводний глинозем $(\gamma+\gamma)\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$ і за температурою 300°C відбувається остаточне обезводнення вихідного мінералу. Вважалося, що при контакті з тритійованою водою, гібсит за рахунок великої кількості гідроксильних груп зможе адсорбувати тритій з водного розчину.

Включення до експериментальних досліджень гібситу давало можливість дещо визначитися з тими процесами, які ми спостерігали піддаючи термічній обробці зразки монтморилоніту після їх взаємодії з тритійованою водою [6].

Оксид кальцію енергійно реагує з водою з утворенням гідроксиду кальцію та з виділенням значної кількості тепла (1):



Сильні основні властивості гідроксиду кальцію обумовлюють лужну реакцію водного розчину, що з ним контактує. Експерименти з оксидом кальцію дозволяли з'ясувати ступінь можливої адсорбції тритію з тритійованої води в про-

цесі її взаємодії з оксидом кальцію при екзотермічній реакції утворення гідроксиду Ca(OH)_2 в умовах сильно лужного розчину.

Аналогічним завданням було з'ясування можливого ізотопно-водневого обміну та ступеню утримання тритію в мінеральному адсорбенті в експериментальній системі, що складалася із гіпсу – двоводного сірчаного кальцію ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) і «НТО». У шаруватій кристалічній структурі гіпсу два листа аніонних груп $[\text{SO}_4]^{2-}$, тісно пов'язані з іонами Ca^{2+} , які складають подвійні шари (рис.2), орієнтовані вздовж площини (010). Молекули H_2O займають місця між зазначеними подвійними шарами, чим пояснюється досить досконала спайність, характерна для гіпсу. Іони кальцію оточені шістьма кисневими іонами, що належать до груп SO_4 і двома молекулами води, які пов'язують кожний іон Ca з одним іоном кисню в тому ж подвійному шарі та з іншим іоном кисню в сусідньому шарі (рис. 3). Наявність молекул H_2O в різних структурних позиціях гіпсу обумовлювала можливість їх обміну із молекулами НТО з розчину тритійованої води та фіксації тритію у мінеральній субстанції.

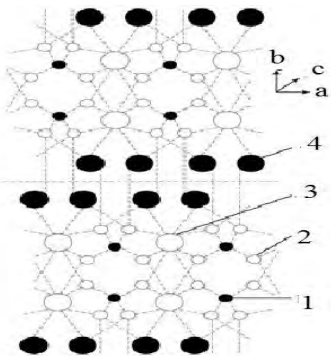


Рис. 2. Кристалічна структура гіпсу: 1 – S^{6+} , 2 – O^{2-} , 3 – Ca^{2+} , 4 – H_2O [4].

Fig. 2. Crystalline structure of gypsum: 1 – S^{6+} , 2 – O^{2-} , 3 – Ca^{2+} , 4 – H_2O [4]

Для порівняльної характеристики процесів, що відбуваються в стаціонарних системах «мінерал+НТО» було створено експериментальну систему із залученням безводного силікату кальцію – **воластоніту** $\text{Ca}(\text{SiO}_3)$, що має ланцюжкову будову (рис. 4).

Ланцюжки, що формуються цими кварцовими чотиригранниками з'єднані по сторонам через кальцій, утворюючи восьмигранники (рис. 5).

Спутано-волокнувата мікротекстура воластоніту (рис. 6) внаслідок великої питомої поверхні голчастих мікрозерен і, відповідно, значного поверхневого адсорбційного потенціалу може забезпечити поглинання мінеральною масою деякої кількості НТО з розчину тритійованої води. При контакті поверхні воластоніту з водою іони кальцію, що знаходяться в його структурі гідро-

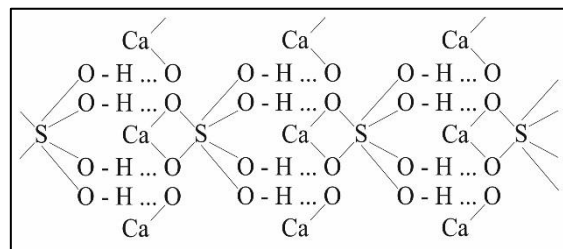


Рис. 3. Схема іонних зв'язків в структурі гіпсу.
Fig. 3. Scheme of ionic bonds in the structure of gypsum

лізуються, утворюючи гідроксид кальцію. Це забезпечує лужність диспергованої маси мінералу, внаслідок чого створюється сильний буферний ефект в кислих розчинах.

Для отримання вихідних даних з метою виявлення та оцінки ступеню ізотопно-водневого фракціонування було створено модельні системи, склад яких наведено в таблиці 1.

Досягнення рівноважного стану в двофазних водно-мінеральних експериментальних системах забезпечувалося стаціонарним режимом в закритому об'ємі при довготривалій взаємодії фаз. Для цього, мінеральна маса поміщалася у скляні посудини та заливалася тритійованою водою, а самі посудини щільно закривалися (рис. 7). Тривалість експериментів складала близько 300 діб.

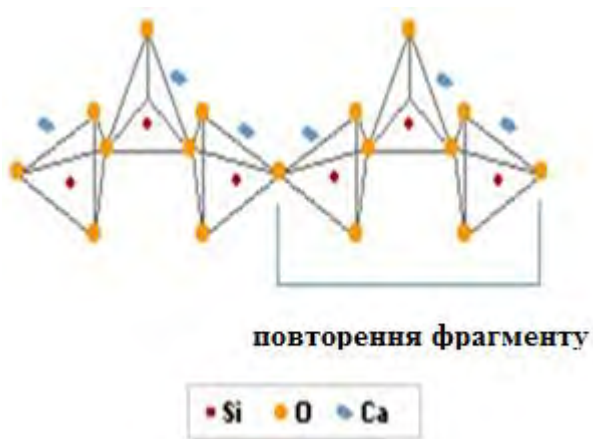


Рис. 4. Ланцюжкове розміщення тетраедрів SiO_2 в структурі воластоніту [19].

Fig. 4. Chain placement of SiO_2 tetrahedra in the structure of wollastonite [19]

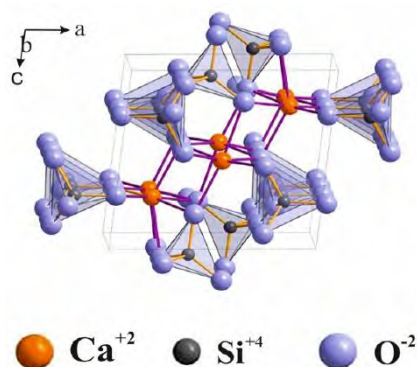


Рис. 5. Структура елементарної комірки воластоніту [20].

Fig. 5. Structure of the elementary cell of wollastonite [20]



Рис. 6. Спутано-волокониста мікротекстура воластоніту. СЕМ, 1700x [19].

Fig. 6. Tangled fibrous microtexture of wollastonite. CEM, 1700s [19]

Таблиця 1

Склад модельних водно-мінеральних систем

	Гібсит	Гіпс	Воластоніт	CaO
Маса мінеральної наважки, г	100	73	100	56
Об'єм НТО, дм^3	300	300	300	500



Рис. 7. Схема стаціонарної експериментальної системи.

Fig. 7. Scheme of a stationary experimental system

Отримання балансових оцінок розподілу тритію між мінеральною та рідкою фазами забезпечувалося закритістю і стаціонарністю експериментальних систем, визначенням питомої активності тритію у водному залишку і в мінеральному середовищі. Після декантації залишкового розчину і зважування із мінеральної субстанції виділялися фракції вологи, що відповідають різним структурним позиціям в досліджуваних мінералах. Визначення розподілу тритію між різними структурними позиціями мінералів виконано з використанням устаткування для термогравіметричного аналізу.

Сутністю цього методу є використання герметичних металевих контейнерів та нагрівального пристрою із контрольованим режимом прогрівання фіксованих наважок мінеральної маси до та після проведення експериментів.

Після закінчення експериментів із фракцій вологи, екстрагованих із мінеральної наважки у відповідному температурному інтервалі, відбиралися проби, з яких готувалися препарати для

подальшого виміру в них питомої активності тритію. Проби залишкового розчину та екстрагованих фракцій вологи профільтовувалися і очищалися від органічних домішок шляхом окислення додаванням в розчин $K_2Cr_2O_7$. Після дистиляції порції проб об'ємом 8 мл змішували із сцинтилятором Hi Sife 3 Wallac у співвідношенні 8:12. Вміст тритію в підготовлених таким чином емульсіях визначався за допомогою рідинного сцинтиляційного β -спектрометра Quantulus 1220 LKW Wallac (свідectvo про державну метрологічну атестацію № 6961 від 17.11.2009). Відносна похибка вимірювання складала $\pm 5\%$.

Виклад основного матеріалу досліджень.

В результаті виконаних експериментальних досліджень було встановлено наступне. Взаємодія тритійованої води з мінеральною субстанцією супроводжувалася зменшенням питомої активності робочого розчину «НТО» і міжфазовим перерозподілом ізотопів водню з накопиченням тритію в мінеральній фазі (таблиця 2).

Серед досліджених мінералів найменша здат-

Таблиця 2

Зниження питомої активності тритію в НТО в експериментальних системах

Система	Вага мінеральної наважки, г	Об'єм «НТО», $дм^3$	Питома активність тритію в розчині над мінералом, $Бк \times дм^{-3}$		Зменшення питомої активності тритію в розчині над мінералом, %
			до експерименту	після експерименту	
Гібсит	100	300	2560	1568	38,7
Гіпс	73	300	2560	1599	37,5
Воластоніт	100	300	2560	1676	34,5
$Ca(OH)_2$	56	500	2560	1646	35,7

ність до вилучення тритію з водного розчину відзначена у воластоніті (34,5 %), а найбільша – у гібситі (38,7 %). За цим показником досліджені мінерали утворюють ряд:

воластоніт < гідроксид кальцію < гіпс < гібсит

Тритій, вилучений з водного розчину розподіляється між різними позиціями в мінеральних адсорбентах згідно їх структурних особливостей. При цьому утворювалися різні за енергією зв'язки, для розриву яких необхідним є енергетичний вплив у температурних інтервалах, визначених за даними, наведеними в [2, 3]. Найменш міцно зв'язаною формою є поверхнево адсорбовані молекули НТО, для екстрагування яких необхідно прогрівання мінеральної маси до температур 110 - 120°C (1 фракція вологи).

Більш міцно зв'язаною формою є міжшарова вода в шаруватих мінералах (гібсит, гіпс) утворена внаслідок молекулярного $HTO \rightarrow H_2O$ обміну. Для видалення такої вологи необхідно

прогрівання мінеральної маси до 250-300°C (2 фракція вологи).

Найбільш надійно відбувається іммобілізація тритію при ізотопно-водневому $OT \rightarrow OH$ заміщенні в структурних позиціях шаруватих силікатів. Екстрагування цієї форми знаходження тритію можливе лише при руйнуванні структурних пакетів шаруватих силікатів, для досягнення чого необхідно прогрівання мінеральної маси до 700 - 1100°C (3 фракція вологи).

Інший температурний режим був необхідний для видалення НТО зі структур гідроксиду кальцію та воластоніту. Утворений в результаті екзотермічної реакції гідроксид кальцію повністю втрачає поглинуту воду при нагріванні в інтервалі температур 510 - 600°C з перетворенням в оксид кальцію. Тобто виділення цієї фракції дозволяє визначитися з ємнісним потенціалом гідроксиду кальцію щодо міцного закріплення молекул НТО в його структурі і розподілом тритію між поверхнево адсорбованою і міцно зв'язаною формами.

У воластоніті, окрім поверхнево адсорбованої води, яка виділяється з мінеральної маси при температурах 100 - 110°C, волога, адсорбована мінералом завдяки його мікрОВОЛОКНИСТІЙ текстурі виділяється при температурі 350°C. При температурі 600°C із воластоніту екстрагується фракція води, утворена при гідролізі іонів кальцію на поверхні структури мінералу.

Кількісну оцінку розподілу тритію, вилученого з водного розчину «НТО» між різними структурними позиціями в досліджених мінералах виконано з використання розрахункового показника – коефіцієнта розподілу Kr_i (%), який обчислюється згідно виразу (1):

$$Kr_i = Q_i \times Q_m^{-1} \times 100 \quad (1)$$

де: Q_m – запас тритію в мінералі, Бк; Q_i – запас тритію в i -й фракції, вилученій у відповідному температурному інтервалі, Бк.

При розподілі тритію між різними структурними позиціями мінералів спостерігалися прояви ізотопно-водневого фракціонування. Для кількісної оцінки цього процесу значення питомої активності, відображені в Бк \times дм⁻³ були перераховані у концентраційні характеристики. Їх розрахунок виконано з використанням виразу, що дозволяє визначити кількості атомів тритію відповідно до питомої активності важкого ізотопу водню у досліджуваній субстанції [17]

$$N = \frac{A}{\lambda}; \quad (\lambda = 0,693 / T_{1/2}) \quad (2)$$

де: N – кількості атомів тритію, що відповідають питомій активності досліджуваної субстанції; A – питома активність тритію, Бк \times дм⁻³; λ = 0,693 / $T_{1/2}$ – константа розпаду тритію; $T_{1/2}$ – період напіврозпаду тритію, сек.

Для визначення питомих кількостей атомів тритію у тритійованій воді та у вилучених із мінеральної фази водних фракціях, вираз (2) було трансформовано у вираз (3):

$$N_{Ti} = A_i \times v_i \times T_{1/2} / (0,693 \times m \times 1000) \quad (3)$$

де: N_{Ti} – питома кількість атомів тритію у вихідній і залишковій після завершення експерименту «НТО» (атом \times мл⁻¹) та у відповідній (i -й) фракції, екстрагованої з 1 г тестового зразку (атом \times г⁻¹); A_i – питома активність тритію у цій фракції, Бк \times дм⁻³; v_i – об'єм i -ої водної фракції, мл; $T_{1/2}$ – період напіврозпаду тритію, сек.; m – маса тестового зразку, г.

Розрахунки коефіцієнтів фракціонування ізотопів водню при взаємодії тритійованої води з мінеральним адсорбентом, виконано за виразом (4) [5]:

$$\alpha = \frac{T_m}{H_m} / \frac{T_w}{H_w} \quad (4)$$

де: α – коефіцієнт фракціонування ізотопів водню, T_m , H_m – концентрація атомів тритію і протію у мінеральній масі, атом \times мл⁻¹; T_w , H_w – концентрація атомів тритію і протію в «НТО», атом \times мл⁻¹ після досягнення рівноважного стану в системі «мінеральний адсорбент – тритійована вода».

Застосування наведеного класичного виразу для розрахунку коефіцієнта фракціонування ізотопів водню вимагає деяких корективів. Це пов'язано з тим, що концентрації протію і тритію у водних фазах експериментальних систем розрізняються на 14 порядків. Тому, в результаті взаємодії «НТО» і мінерального адсорбенту концентрація протію практично не змінюється і величини H_m і H_w залишаються на рівні $6,69 \times 10^{22}$ атомів Н \times мл⁻¹.

Питома активність тритію в адсорбованій воді у вихідному мінералі не перевищувала фонові значення 5 Бк \times дм⁻³ і до початку експерименту увесь тритій в модельних системах знаходився в тритійованій воді. Перерозподіл тритію в системі в цілому і в структурі мінералів зокрема відбувався в процесі взаємодії «НТО» і мінерального адсорбенту. Отже, для обчислення коефіцієнта фракціонування ізотопів водню в структурі мінералу при його взаємодії з тритійованою водою досить взяти до уваги тільки концентрації тритію в мінералі і «НТО», після встановлення рівноважного стану між водною та мінеральною фазами після завершення експерименту. З урахуванням викладеного, вираз (4) трансформовано у вираз (5):

$$\alpha = T_m \times T_w^{-1} \quad (5)$$

Отримані дані проведених досліджень в стаціонарних системах дозволили визначити закономірності розподілу тритію між різними структурними позиціями досліджуваних мінералів і встановити наявність проявів ефекту фракціонування ізотопів водню. Результати визначення частки запасу тритію у водних фракціях екстрагованих з різних структурних позицій мінералів (Kr_i) та розраховані значення коефіцієнтів ізотопно-водневого фракціонування (α) наведено в таблицях 3, 4, 5, 6, та на рис. 8, 9, 10.

Частина тритію, що вилучається гібситом з водного розчину затримується у поверхнево адсорбованій формі ($Kr_i = 39,3$, таблиця 3, рис. 8, фракція 1) за механізмом молекулярного НТО \rightarrow Н₂О обміну. При цьому, внаслідок динамічних адсорбційно-десорбційних процесів на поверхні мінеральних частинок в граничному шарі важчі молекули НТО затримуються з більшою перевагою ніж молекули Н₂О. Одночасно, переважна затримка поляризованих молекул НТО біля поверхні мінеральних частинок гібситу обумов-

лює ефект фракціонування ізотопів водню ($\alpha = 1,14$, фракція 1, таблиця 3, рис. 8).

Наявність в структурі гібситу Al-гідроксильних шарів обумовлювала можливість обміну між OH-групами мінералу і OT-групами тритійованої води. В результаті такого обміну більша частина тритію, поглинутого мінералом з водного розчину затримується в структурних Al-гідроксильних шарах гібситу ($Kr_i = 54,7$, таблиця 3, рис. 8, фракція 2). Видалення цієї форми знаходження тритію зі структури гібситу в інтервалі температур 220-240°C супроводжувалося його перетворенням у безводний глинозем

$(\gamma+\chi)Al_2O_3+3H_2O$. При довготривалій взаємодії «НТО» з вихідним гібситом відбувся рівноважний обмін між OH-групами структури мінералу і OT-групами розчину з коефіцієнтом фракціонування $\alpha = 0,99$ (таблиця 3, рис. 8, фракція 2).

Остаточна і незначна частина тритію, поглинутого гібситом ($Kr_i = 6,0$, таблиця 3, рис. 8, фракція 3) дещо більш міцно затримується в його структурі і виділяється з мінералу при його повному обезводненню. У цій формі ізотопний $H \leftrightarrow T$ обмін мінералом і розчином НТО не відбувається.

Розподіл тритію між різними структурними

Таблиця 3

Розподіл тритію між фракціями вологи з різною енергетикою зв'язку у структурі гібситу

	Температура прогрівання, °C	Об'єм фракції, мл	Питома активність фракції, Бк×дм ⁻³	Qi, Бк	Kr _i , %	Коефіцієнт фракціонування, α
1 фракція	120	10,8	1707	19,9	39,3	1,14
2 фракція	250	17,2	1491	27,7	54,7	0,99
3 фракція	700	27,95	100	3,0	6,0	0,07
Всього:		55,95		50,5	100,0	

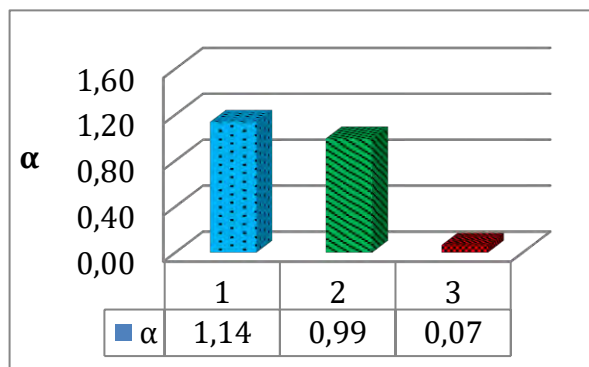
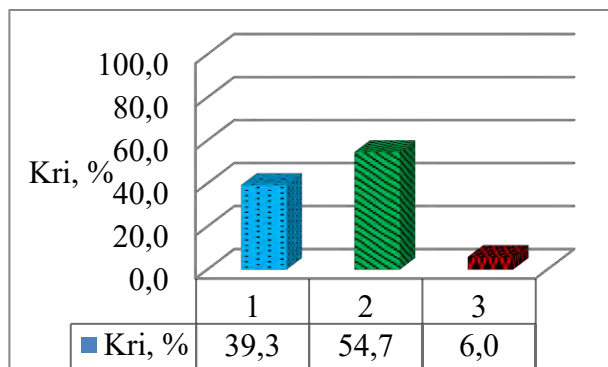


Рис. 8. Розподіл тритію між різними структурними позиціями гібситу (Kr) та коефіцієнти фракціонування ізотопів водню (α)

Fig. 8. Distribution of tritium between different structural positions of hibsrite (Kr) and hydrogen isotope fractionation coefficients (α)

позиціями гіпсу обумовлюється його фізико-хімічними властивостями і визначається енергетикою зв'язку молекул води з кальцієм і сіркою в іонній структурі мінералу (рис. 3). Після довготривалої взаємодії гіпсу з розчином тритійованої води відбулося входження тритію в різні структурні позиції мінералу. В температурному інтервалі 65-115°C з переходом двоводного гіпсу $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ в напівводний гіпс $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ із мінеральної фази вилучається частина тритію, поглинутого гіпсом за механізмом між-фазового молекулярного НТО $\rightarrow H_2O$ обміну ($Kr_i = 60,3$, таблиця 4, рис. 9, фракція 1). Цей процес супроводжувався частковим ефектом фракціонування ізотопів водню ($\alpha = 1,04$, таблиця 4, рис. 9, фракція 1).

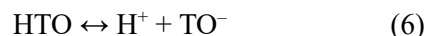
Із заміщенням OH-груп кристалічної решітки гіпсу на OT-групи, при якому закріплюється в мінеральній структурі до 36% поглинутого з розчину тритію продовжувалося часткове ізотопно-водневе фракціонування ($Kr_i = 36,2$, $\alpha = 1,07$, таблиця 4, рис. 9, фракція 2). Ця форма знаходження тритію більш енергетично зв'язана з мінеральною структурою гіпсу і виділяється з наступною фракцією вологи за більш високою температурою прогрівання (до 300 °C) внаслідок перебудови кристалічної решітки напівводного $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ при його подальшому зневодненні.

В структурі остаточно зневодненого при температурах вище 300 гіпсу, перетвореному у нерозчинний безводний ангідрид майже повніс-

тю відсутній водень і, відповідно його важкий ізоотоп – тритій ($Kr_i = 3,5$, $\alpha = 0,8$, таблиця 4, рис. 9, фракція 3).

Внаслідок наявності у воластоніта спутано-волоконистої мікротекстури, значна частина тритію, поглинутого за час експерименту з «НТО» була зафіксована в мінеральній масі у поверхнево адсорбованій формі ($Kr_i = 61,3$, таблиця 5, рис. 10, фракція 1). Інша частина тритію була зв'язана у гідроксильних групах, що утворюються при гідролізі іонів кальцію, що знаходяться на поверхні структури воластоніту при його контакті з водою ($Kr_i = 36,4$, таблиця 5, рис. 10, фракція 2). Фракціонування ізоотопів водню при цьому майже не відбувалося ($\alpha = 1,03$, фракція 1 та $\alpha = 1,06$, фракція 2, таблиця 5, рис. 10). Слід зазначити, що більш енергетично зв'язаних форм знаходження тритію в структурі воластоніту майже не утворювалося ($Kr_i = 2,3$, $\alpha = 0,81$, таблиця 5, рис. 10, фракція 3).

Перетворення CaO у гідроксид при його взаємодії з тритійованою водою супроводжувалося зв'язуванням з кальцієм молекул НТО розчину з формуванням в утвореному з'єднанні гідроксильних груп. При цьому, згідно Рабиновичу і Беллу [1, 14] важкі ізоотопи водню утворюють міцніший ковалентний зв'язок з киснем в порівнянні з протієм. Тому ймовірний процес дисоціації молекул води, які містять змішані ізоотопи водню при утворенні гідроксиду кальцію може переважно йти за схемою (6):



Як наслідок, при екзотермічній реакції утворення Ca(OH)_2 разом зі зв'язуванням водних молекул із оксидом кальцію, можливим є деякий ізоотопно-водневий зсув з проявами ізоотопного фракціонування. Відомо, що при заміні протію на дейтерій в сполуках з OH -групою енергія розриву водневих зв'язків збільшується приблизно

Таблиця 4

Розподіл тритію між фракціями вологи з різною енергетикою зв'язку у структурі гіпсу

	Температура прогрівання, °C	Об'єм фракції, мл	Питома активність фракції, Бк×дм ⁻³	Qi, Бк	Kr _i , %	коефіцієнт фракціонування, α
1 фракція	100	39,1	1615	75,0	60,3	1,04
2 фракція	300	22,6	1676	45,0	36,2	1,07
3 фракція	1100	2,95	1246	4,4	3,5	0,80
Всього:		64,65		124,3	100,0	1,04

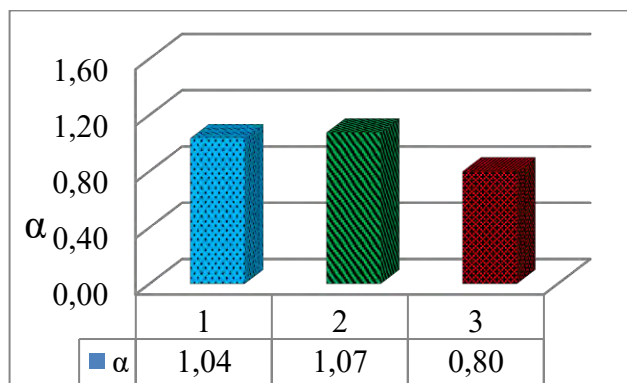
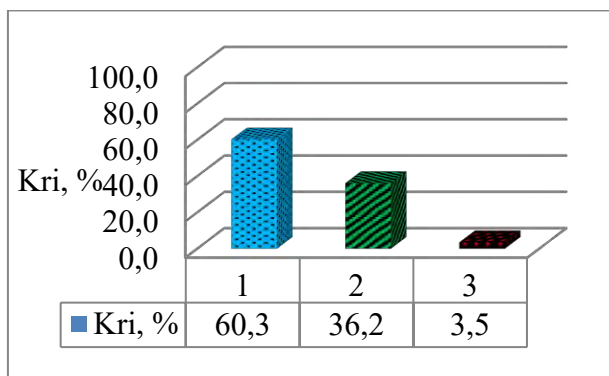


Рис. 9. Розподіл тритію між різними структурними позиціями гіпсу (Kr) та коефіцієнти фракціонування ізоотопів водню (α).

Fig. 9. Distribution of tritium between different structural positions of gypsum (Kr) and hydrogen isotope fractionation coefficients (α)

Таблиця 5

Розподіл тритію між фракціями вологи з різною енергетикою зв'язку у структурі воластоніту

	Температура прогрівання, °C	Об'єм фракції, мл	Питома активність фракції, Бк×дм ⁻³	Qi, Бк	Kr _i , %	коефіцієнт фракціонування, α
1 фракція	110	38,4	1723	66,2	61,3	1,03
2 фракція	350	22,2	1769	39,3	36,4	1,06
3 фракція	600	1,9	1353	2,5	2,3	0,81
Всього:		62,5		108,0	100,0	1,03

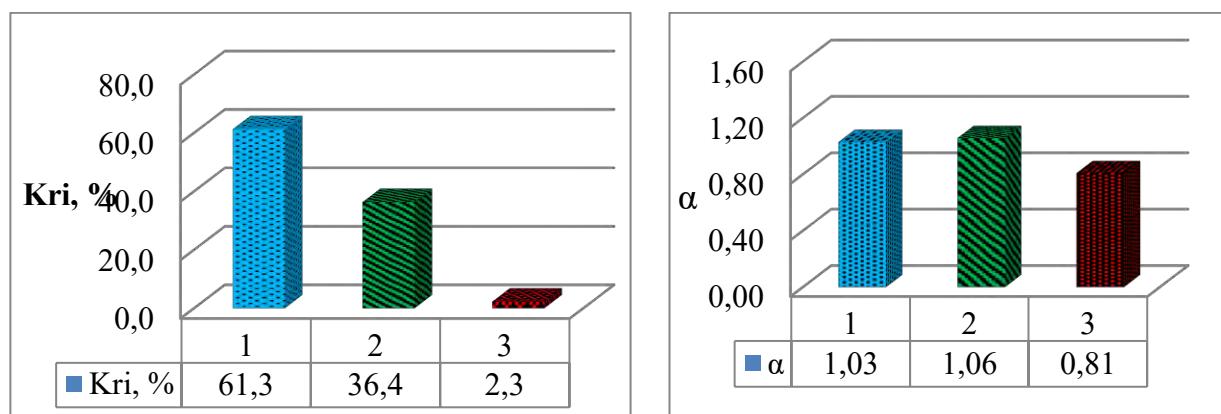


Рис. 10. Розподіл тритію між різними структурними позиціями воластоніту (Kr) та коефіцієнти фракціонування ізотопів водню (α).

Fig. 10. Distribution of tritium between different structural positions of volastonite (Kr) and hydrogen isotope fractionation coefficients (α)

но на 100 кал/моль [14]. У випадку з тритієм завдяки ізотопному ефекту слід очікувати ще більш міцного ковалентного полярного зв'язку О–Т. Дослідження ізотопних ефектів у процесах перенесення протону, виконані Р. Беллом [1], свідчать, що H_2O , D_2O і T_2O мають співставні іонні добутки, а параметри фракціонування ізотопів водню при 25°C, визначені як співвідношення коефіцієнтів дисоціації протію, дейтерію і тритію становлять відповідно: $K^H/K^D=7,47$ і $K^H/K^T=16,4$ (мольних одиниць). Більший ізотопний ефект слід очікувати в екзотермічній реакції утворення гідроксиду кальцію, яка супроводжується виділенням 67 кДж/моль.

В наших експериментах було встановлено,

що в процесі гідроксилації кальцію при його контакті із тритійованою водою зменшується питома активність тритію у водній фазі (таблиця 2) з одночасним фракціонуванням ізотопів водню в гідроксильних групах $Ca(OH)_2$ з коефіцієнтом $\alpha = 1,23$ (таблиця 6).

Висновки. 1. В усіх досліджених системах відбулося зменшення питомої активності тритійованої води внаслідок вилучення тритію мінеральними адсорбентами із водного розчину. При цьому, механізми цього процесу, накопичення та розподілу тритію між різними структурними позиціями досліджених мінералів повністю залежали від їх структури та фізико-хімічних властивостей.

Таблиця 6

Вилучення тритію з розчину тритійованої води при утворенні гідроксиду кальцію

	Температура прогрівання, °C	Об'єм фракції, мл	Питома активність фракції, Бк×дм ⁻³	Qi, Бк	Kr, %	коефіцієнт фракціонування, α
фракція	600	83,65	1587	169,5	100,0	1,23

2. В гібситі за механізмом молекулярного НТО → H_2O обміну у поверхнево адсорбованій формі затримується до 39% вилученого з тритійованої води тритію ($Kr_1 = 39,3$, фракція 1). Внаслідок динамічних адсорбційно-десорбційних процесів на поверхні мінеральних частинок в граничному шарі важчі молекули НТО затримуються з більшою перевагою ніж молекули H_2O , що обумовлює ефект фракціонування ізотопів водню $\alpha = 1,14$.

3. Розподіл тритію між різними структурними позиціями гіпсу обумовлюється його фізико-хімічними властивостями і визначається енергетикою зв'язку молекул води з кальцієм і сіркою в іонній структурі мінералу. З найменшою енергетикою в мінералі зв'язана гідратна вода, яка ви-

діляється з двоводного гіпсу при перетворенні його в напівводну форму в інтервалі температур 65 - 115°C. В цій вологій вміщується до 60% поглинутого мінералом тритію ($Kr_1 = 60,3$, фракція 1) та відмічається слабке фракціонування ізотопів водню з коефіцієнтом фракціонування $\alpha = 1,04$. Внаслідок заміщення ОН-груп кристалічної решітки гіпсу на ОТ-групи в мінеральній структурі закріплюється до 36% поглинутого з розчину тритію з частковим ізотопно-водневим фракціонуванням ($Kr_1 = 36,2$, $\alpha = 1,07$, фракція 2). У більш енергетично зв'язаних формах тритій в гіпсі майже не накопичується і фракціонування ізотопів водню не відбувається (див. таблицю 4, рис. 10, $Kr_1 = 3,5$, $\alpha = 0,8$, фракція 3).

4. Наявність у воластоніту спутано-волоки-

стої мікротекстури забезпечує можливість вилучення тритію з тритійованої води і фіксації молекул НТО в мінеральній масі у поверхнево адсорбованій формі. Дещо міцніше відбувається зв'язування тритію в процесі гідроксилації атомів кальцію при контакті поверхні воластоніту з тритійованою водою.

5. Реакція гідроксилації СаО при його взаємодії з тритійованою водою супроводжується переважним зв'язуванням з кальцієм ОТ-груп, утворених при дисоціації молекул НТО, оскільки важкі ізотопи водню утворюють більш міцний ковалентний зв'язок з киснем ніж з протієм. Внаслідок цього при утворенні гідроксиду кальцію в середовищі тритійованої води відбувається фракціонування ізотопів водню з коефіцієнтом $\alpha = 1,23$.

6. Виконані експериментальні дослідження дозволили визначити ступінь впливу структурних і фізико-хімічних особливостей мінеральних адсорбентів на їх здатність вилучати тритій із водних розчинів та з'ясувати деякі аспекти механізму міжфазового ізотопно-водневого обміну у водно-мінеральних системах.

7. Отримані нові наукові результати, щодо впливу структурних і фізико-хімічних властивостей мінеральних адсорбентів на їх здатність вилучати тритій із водних розчинів та нові дані, щодо особливостей механізму міжфазового ізотопно-водневого обміну у водно-мінеральних системах забезпечують, із залученням результатів наших попередніх досліджень, можливість більш ефективної розробки методів детритизації водних розчинів.

Список використаної літератури

1. Белл, Р. Протон в химии [Текст] / Р. Белл. – М.: Мир, 1977. – 384 с.
2. Дир У.А. Пороодообразующие минералы / У.А. Дир, Дж. Зусман, Р.А. Хауи // Москва: Мир – 1965. – Т. 3. Листовые силикаты. – 318 с.
3. Дир У.А. Пороодообразующие минералы / У.А. Дир, Дж. Зусман, Р.А. Хауи // Москва: Мир – 1965. – Т. 5, Несиликатные минералы. – 404 с.
4. Кузьменков М. И. Химическая технология вяжущих веществ. [Електронний ресурс] / М. И. Кузьменков, О. Е. Хотянович // Мінськ, 2008. Режим доступу: <https://studopedia.info/5-77070.html>
5. Несмеянов, А.Н. Радиохимия [Текст] / А.Н. Несмеянов. – М.: Химия, 1972. – 591 с.
6. Пушкарев А. В. Адсорбция трития из водных растворов термически обработанными глинистыми минералами [Текст] / А. В. Пушкарев, И. М. Руденко, В. В. Скрипкин // Вісник КНУ ім. Тараса Шевченка. Серія: Геологія. – 2015. – № 71. – С. 43–48. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.71.07>
7. Пушкарьов О. В. Сепіоліт-цеолітові композити, як потенційні водопроникні бар'єри [Текст] / О. В. Пушкарьов, І. М. Руденко, В. В. (мол.) Долін, В. М. Приймаченко // Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища – 2014. – № 23. – С. 75–84.
8. Пушкарьов О. Активация азотной та гуминовыми кислотами алюмосиликатов для улучшения адсорбции трития из водных растворов [Текст] / О. Пушкарьов, І. Руденко, О. Зубко, В. Долін // Вісник КНУ ім. Тараса Шевченка. Серія: Геологія – 2019. – № 1 (84). – С. 16–20. DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.84.02>
9. Пушкарьов О.В. Мінеральний адсорбент тритію на основі сапоніту та цеоліту [Текст] / О.В. Пушкарьов, І.М. Руденко, М.В. Кошелєв, В.В. Скрипкін, В.В. Долін (мол.), В.М. Приймаченко // Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища – 2016. – № 25 – С. 38–48.
10. Пушкарьов О.В. Взаємодія тритієвої води з глинистими мінералами [Текст] / О.В. Пушкарьов, В.М. Приймаченко // Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища – 2010. – № 18. – С. 149–158.
11. Пушкарьов О.В. Властивості бентоніто-цеолітових композитів щодо вилучення тритію з тритієвої води [Текст] / О.В. Пушкарьов, В.М. Приймаченко, І.О. Золкін // Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища – 2012. – № 20. – С. 98–108.
12. Пушкарьов О.В. Динаміка накопичення тритію в мінеральному середовищі [Текст] / О.В. Пушкарьов, А.С. Литовченко, Р.О. Пушкарьова, Е.О. Яковлєв // Мінеральні ресурси України – 2003. – № 3. – С. 42–45.
13. Пушкарьов О.В. Вплив термічної обробки палигорськіту на адсорбцію тритію з водних розчинів [Текст] / О.В. Пушкарьов, І.М. Руденко, А.М. Розко, В.В. Долін (мол.) // Мінералогічний журнал – 2018. – № 3 (40). – С. 97–104. DOI: <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.40.03.097>
14. Рабинович, И.Б. Влияние изотопии на физико-химические свойства жидкостей [Текст] / И.Б. Рабинович. – М.: Наука, 1968. – 308 с.
15. Руденко, І.М. Тритієвий індикатор ефективності термомодифікації адсорбційних властивостей кліноптілоліту [Текст] / І.М. Руденко, О.В. Пушкарьов, В.В. Долін (мол.), А.М. Розко, В.В. Долін (мол.), О.В. Зубко, О.Є. Гречановська // Мінералогічний журнал – 2017. – № 2 (39). – С. 64–74. DOI: <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.39.02.064>
16. Руденко, І.М. Фракціонування важких ізотопів водню в системі мінерал – вода. дис. ... канд. геол. наук: 04.00.02. / Руденко Ірина Михайлівна. – К., 2017. – 153 с.
17. Эванс, Э. Тритий и его соединения [Текст] / Э. Эванс. – М.: Атомиздат. 1970. – 312 с.

18. Brindley G. W. X-ray diffraction and gravimetric study of the dehydration reactions of gibbsite [Text] / G. Brindley, M. Nakahira // Zeitschrift fur Kristallographie. – 1959. – № 112. – P. 136–149. DOI: <https://doi.org/10.1524/zkri.1959.112.jg.136>
19. Hare C. H. Mechanisms of Corrosion Protection with Surface Treated Wollastonite Pigments [Text] / C. H. Hare // The Journal of Protective Coatings – 1998. – № 14. – P. 47–82.
20. Safety data for wollastonite. Available online: <https://web.archive.org/web/20070815213541/http://physchem.ox.ac.uk/MSDS/WO/wollastonite.html> (accessed on 14 September 2020).
21. VII - caulinita e haloisita. Available online: https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Figura-4-Estrutura-do-tipo-brucita-A-e-do-tipo-gibbsita-B-com-vista_fig2_292726910 (accessed on 16 September 2020).

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Влияние структуры минерального адсорбента на детритизацию водных растворов

Александр Васильевич Пушкарёв¹,

д. геол. н., ст. н. с., вед. н. с.,

¹ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»,
пр-т Акад. Палладина, 34-а, г. Киев, 03142, Украина;

Ирина Михайловна Севрук¹,

к. геол. н., ст. н. с.;

Долин Виталий Викторович¹,

м. н. с.

Оценена адсорбция трития из водного раствора и эффект фракционирования изотопов водорода в стационарной системе «НТО-минеральное вещество». Объяснен механизм удержания трития в структуре природных адсорбентов (гипс, волластонит и гидроксид кальция). Наименьшая общая способность к извлечению трития из водного раствора отмечена в волластоните (34,5%), наибольшая - в гипсе (38,7%).

Тритий, извлеченный из тритированной воды распределяется в минеральном веществе между различными структурными позициями — с наименьшей энергией связи в молекулярной форме НТО в поверхностно-адсорбированной влаге, с несколько большей — в межслоевой воде и наибольшей в ионной форме OT^- в структурных позициях минерального адсорбента.

В гипсе в поверхностно адсорбированной форме задерживается до 39% от общего количества трития, извлеченного из водного раствора. Большая задержка у минеральной поверхности поляризованных молекул НТО, чем молекул H_2O обуславливает эффект фракционирования изотопов водорода ($\alpha = 1,14$). Обмен между ОН-группами структурных Al-гидроксильных слоев минерала и OT^- -группами тритированной воды приводит к закреплению в этой форме до 55% трития.

Наибольшая часть трития (60,3%), изъятая гипсом из водного раствора, накапливается в поверхностно адсорбированной форме по механизму межфазового молекулярного НТО $\rightarrow \text{H}_2\text{O}$ обмена с коэффициентом фракционирования $\alpha = 1,04$. Прочная фиксация трития происходит в структуре минерала (до 36%) с коэффициентом фракционирования $\alpha = 1,07$.

Вследствие наличия в волластоните спутанно-волокнутой микротекстуры, значительная часть трития, поглощенного из НТО была зафиксирована в поверхностно адсорбированной форме (61,3%, коэффициент фракционирования $\alpha = 1,03$). Остальная часть трития (36,4%, $\alpha = 1,06$) связывается в OT^- -группах, образующихся при гидролизе поверхностных ионов кальция при контакте волластонита с водой.

Гидроксидация оксида кальция при его контакте с тритированной водой сопровождается уменьшением удельной активности трития в водной фазе с фракционированием изотопов водорода ($\alpha = 1,23$) при образовании гидроксильных групп.

Ключевые слова: тритий, водород, тяжелые изотопы водорода, гипс, гипсит, волластонит, адсорбция, фракционирование.

Influence of the structure of a mineral adsorbent on the detritization of aqueous solutions

Oleksandr Pushkarov¹,

DSc (Geology), Senior Research, Leading Researcher,

¹SE "Institute of Environmental Geochemistry of the NAS of Ukraine"

34-a, Acad. Palladin Av., Kyiv, 03142, Ukraine;

Iryna Sevruck¹,

PhD (Geology), Senior Researcher,

Vitaliy Dolin¹,

Junior Researcher

ABSTRACT

Introduction. Formed in a nuclear reactor, tritium is mainly discharged into the hydrosphere. A significant part of tritium also enters the environment during the reprocessing of spent nuclear fuel. Currently, the problem is the development of effective, simple, affordable, inexpensive and low-energy methods for extracting tritium from large volumes of low- and intermediate-level aqueous solutions.

Review of previous publications. At nuclear power plants, it is widely used for the purification of small volumes of highly active process waters by isotopic exchange in the "hydrogen-water" system [patents RU 2380144, RU 2060801, RU 2525423, RU 2148426]. There are methods for isotopic fractionation of HTO by low-temperature rectification, which either requires significant energy consumption or occurs with a very insignificant isotopic effect at the level of 1.1 [patents UA 57558, RU 2010772, RU 2091336]. In world practice, mineral adsorbents are widely used, but there are no developments designed to purify aqueous solutions from tritium. Our previous studies have clarified the possibility of using layered silicates and zeolite for the extraction of tritium from aqueous solutions (patents UA 103033, UA 103050, UA 113348). The ability of other minerals to adsorb tritium from aqueous solutions remains unresolved. In order to solve this problem, we involved in experimental research minerals from the classes of hydroxides, sulfates and chain silicates.

Purpose. The aim of the work is to determine the influence of the structural features of mineral adsorbents on the removal of tritium from proto-tritium water ("HTO") and the possibility of using a more expanded spectrum of minerals as such adsorbents.

Results. Up to 39% of tritium extracted from tritiated water is retained in **hibbsite** in surface adsorbed form. In the boundary layer, heavier HTO molecules are retained with a greater advantage than H₂O molecules ($\alpha = 1.14$). **Gypsum:** due to the substitution of OH groups of the gypsum crystal lattice by OT groups in the mineral structure, up to 36% of the absorbed tritium solution with partial isotope-hydrogen fractionation is fixed. Due to the presence of tangled fibrous microtexture in **wollastonite**, a significant part of tritium absorbed during the experiment from a solution of tritiated water is fixed in a surface adsorbed form (61.3%, fractionation coefficient $\alpha = 1.03$). The reaction of hydroxylation of **CaO** when it interacts with tritiated water is accompanied by a predominant binding to calcium of OT groups formed by the dissociation of HTO molecules because heavy hydrogen isotopes form a stronger covalent bond with oxygen than with protium ($\alpha = 1.23$).

Conclusions. The highest total ability to extract tritium from aqueous solution was observed in hibbsite (38.7%), and the lowest - in wollastonite (34.5%). The obtained new scientific results with the involvement of the results of our previous studies provide an opportunity for more effective development of methods for detritalization of aqueous solutions.

Keywords: tritium, hydrogen, heavy hydrogen isotopes, gypsum, bibbsite, wollastonite, adsorption, fractionation.

References

1. Bell R. (1977). *Proton in chemistry*. Moscow: Mir, 384. [in Russian]
2. Deer W.A., Zisman J., Howie R.A. (1965). *Rock-forming minerals*. Moscow: Mir, 3. Sheet silicates. 318. [in Russian]
3. Deer W.A., Zisman J., Howie R.A. (1965). *Rock-forming minerals*. Mir, Moscow, 5, Nesilikatnye minera., 404. [in Russian]
4. Kuzmenkov M.I., Khotyanovich O.E. (2008). *Chemical technology of binders*. Available at: <https://studopedia.info/5-77070.html> [in Russian]
5. Nesmeyanov A.N. (1972). *Radiochemistry*. Moscow: Chemistry, 591. [in Russian]
6. Pushkarov, O.V., Rudenko, I.M., Skrypkin, V. V. (2016). *Adsorption of tritium from aqueous solutions of treated clay minerals*. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 71, 43-48. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.71.07> [in Russian]
7. Pushkar'ov, O.V., Rudenko, I.M., Dolin, V.V. (Jr.), Pryjmachenko, V.M. (2014). *Sepiolite-zeolite composites as a potential reactivity waterproof barriers*. *Collected scientific papers of Institute of environmental geochemistry*, 23, 75-84. [in Ukrainian]
8. Pushkarev V., Rudenko I., Zubko O., Dolin V. (Jr.) (2019). *Nitrogen and humic acid activation of aluminosilicates for improving the adsorption of tritium from water solutions*, *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology*. 1(84). 16-20. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.84.02> [in Ukrainian]

9. Pushkarov, O.V., Rudenko, I.M., Koshelev, M.V., Skripkin, V.V., Dolin, V.V. (Jr.), Pryimachenko, V.M. (2016). Mineral adsorbent of tritium based on sap-onite and zeolite. *Collected scientific papers of Institute of environmental geochemistry*, 25, 38-48. [in Ukrainian]
10. Pushkrov, O.V., Pryimachenko, V.M. (2010). Interaction between hot and clay minerals. *Collected scientific papers of institute of environmental geo-chemistry*, 18, 149-158. [in Ukrainian]
11. Pushkarov, O.V., Pryimachenko, V.M., Zolkin, I.O. (2012). Bentonite-ceolite composites' properties with respect to tritium extraction from tritium water. *Collected scientific papers of Institute of environmental geochemistry*, 20, 98-108. [in Ukrainian]
12. Pushkarov, O.V., Lytovchenko A.S., Pushkarova, R.O., Yakovliev, E.O. (2003). The dynamics of the accumulation of tritium in the mineral environ-ment. *Mineral resources of Ukraine*, 3, 42-45. [in Ukrainian]
13. Pushkarov O.V., Rudenko, I.M., Rozko A.M., Dolin, V.V. (Jr.) (2018). Influence of the thermal treatment of palygorskite on the adsorption of tritium from water solutions. 40, 3, 97–104. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.40.03.097> [in Ukrainian]
14. Rabinovich I.B. (1968). *Vliyanie izotopii na fiziko-himicheskie svoystva zhidkostey*. Moscow: Nauka, 308. [in Russian]
15. Rudenko, I.M., Pushkarov, O.V., Dolin, V.V. (Jr.), Zubko, O.V., Grechanovskaya E.E. (2017). Tritium indicator of effectiveness of thermomodification of adsorption properties of clinoptilolite. *Miner. J.*, 39 (2), 64–74. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.39.02.064> [in Ukrainian]
16. Rudenko, I.M. (2017). Fractionation of heavy hydrogen isotopes in the "mineral – water" system. PhD thesis. Kyiv. [in Ukrainian]
17. Evans E. (1970). *Tritium and its compounds*. Moscow: Atomizdat. 312. [in Russian]
18. Brindley G. W. and Nakahira M. (1959). X-ray diffraction and gravimetric study of the dehydration reactions of gibbsite. *Zeitschrift fur Kristallographie*, Bd. 112. 136-149. <https://doi.org/10.1524/zkri.1959.112.jg.136>
19. Hare C. H. (1998). Mechanisms of Corrosion Protection with Surface Treated Wollastonite Pigments. *The Journal of Protective Coatings*. 14. 47-82.
20. Safety data for wollastonite. Available at: <https://web.archive.org/web/20070815213541/http://physchem.ox.ac.uk/MSDS/WO/wollastonite.html>
21. Wypych Fernando (2009). VII - caulinita e haloisita. Available at: https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Figura-4-Estrutura-do-tipo-brucita-A-e-do-tipo-gibbsita-B-com-vista_fig2_292726910

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 2 March 2021

Accepted 28 April 2021

Акритархи мезозою України

Олена Андріївна Шевчук¹,

д. геол. н., пров. наук. співроб., в.о. зав. відділом стратиграфії і палеонтології мезозойських відкладів

¹Інституту геологічних наук Національної Академії наук України,

вул. О. Гончара, 55б, м. Київ, 01601, Україна,

e-mail: hshevchuk@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-7221-4540>;

Катерина Володимирівна Іванченко¹,

к. геол. н., наук. співроб. відділу геології антропогену,

e-mail: catherina.ivanchenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6498-5038>

Акритархи вивчаються палінологами у зразках мезозойських відкладів у комплексі з іншими представниками органістичного мікропланктону, насамперед з диноцистами. Вперше на території України у зразках з юрських та крейдових відкладів виявлено акритархи та сконцентровано увагу на такій маловивченій групі для мезозою. Доведено їх певну роль і значення для стратиграфічних та палеоекологічних побудов, вивчено їх видовий склад і вертикальний розподіл у розрізах мезозойських відкладів. Встановлено закономірності розподілу акритарх у одновікових шарах. Акритархи юри та крейди віднесені до 10 родів, що включають 11 видів. Найпоширенішим видом, що зустрічається як і в юрських, так і в крейдових відкладах України є акритархи *Micrhystridium fragile* та *Fromea* sp. Юрські комплекси дещо багатіші за крейдові у плані відсоткового вмісту і представлені, головним чином, *Micrhystridium* spp., *Micrhystridium fragile*, *M. longum*, *Veryhachium brevitrispinum*, *Wilsonastrum* sp., *Baltisphaeridium* sp. Крейдові: *Micrhystridium* spp., *Micrhystridium fragile*, *M. longum*, *Baltisphaeridium breviciliatum*, *B. aff. capillatum*, *B. annelieae*, *B. accinctum*, *Acanthodiacrodium* sp., *Solisphaeridium inaeffectum*, *Comasphaeridium* sp., *Comasphaeridium aff. brachyspinosum*, *Veryhachium* spp., *Veryhachium singulare*, *Leiofusa stoumonensis*, *Fromea* sp., *Ascotomocystis* sp. У практиці українських мікропалеонтологів недооцінена роль такої групи, як акритархи, яка може бути унікальною при палеоекологічних реконструкціях середовища. Аналізуючи юрські і крейдові мікрофосилії, вивчені з мезозойських відкладів з 93 розрізів різних регіонів України, можна сказати, що тенденція зникнення акритарх протягом мезозою простежується слабо. Юрські форми акритарх складають до 5% у комплексі, крейдові – до 4%. В статті наведено фототаблиці зображень юрських та крейдових акритарх.

Ключові слова: акритархи, палінологічні дослідження, мезозой, юрські та крейдові відклади, Україна.

Як цитувати: Шевчук О. А. Акритархи мезозою України / О. А. Шевчук, К. В. Іванченко // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2021. – Вип. 55. – С. 107-116. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-08>

In cites: Shevchuk O. A., Ivanchenko K. V. (2021). Acritarchs of the Mesozoic of Ukraine. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (55), 107-116. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-08> [in Ukrainian]

Вступ. Акритархи є однією з ортостратиграфічних груп мікрофосилій, які широко застосовуються у біостратиграфії протерозою та палеозою [Стратиграфія, 2013]. В мезозойський час відмічається скорочення представників цієї групи, і це пояснюється певними причинами.

Геохронологічне поширення акритарх бере початок з докембрію. Перша спостережувальна адаптивна радіація, що відбулась в тонійському періоді (непротерозой) і є одним з відомих прикладів радіаційної еволюції організмів, що дала поштовх до розвитку представників саме групи акритарх в цей час. Максимальне розповсюдження акритарх спостерігається з раннього кембрію. В подальшому, суттєве скорочення представників цієї групи відбулося у пізньому палеозої. Згодом, після нової адаптивної радіації в юрі, відмічається наступне скорочення акритарх, поряд з масовим вимиранням фітопланктону, в цілому, у пізній крейді.

Постановка проблеми. Серед мезозойських відкладів України юрські та крейдові утворення з палеонтологічної точки зору є одними з най-

більш повно вивченими. Монографічні дослідження і велика кількість статей присвячені таким ортостратиграфічним, для цих систем, групам органічних решток, як амоніти, форамініфери, диноцисти і ін. Достатньо повно вивчені спори і пилок вищих рослин, нанопланктон і ін. В останні роки значна увага приділяється вивченню мікроспонгіофауни та мікрофорамініфер. Успішне використання акритарх та інших органічних решток невизначеного систематичного положення іноземними науковцями дало певні результати для стратиграфії і палеогеографії цілому. Тому, при комплексному вивченні мікрофосилій (паліноморф) юри і крейди нами зосереджено увагу на маловивченій групі для мезозою – акритархи.

Між тим, питання кореляції значно віддалених, в першу чергу різнофасціальних розрізів юрських і крейдових товщ, що вміщують, як правило, різні групи органічних решток, на теперішній час ще недостатньо розроблені.

У мезозойських відкладах акритархи вивчаються палінологами у комплексі з іншими пред-

ставниками органікостінного мікропланктону, насамперед з диноцистами.

В практиці українських мікропалеонтологів недооцінена роль такої групи, як акритархи, яка може бути унікальною при палеоекологічних реконструкціях середовища та важливою для міжрегіональних кореляцій мезозойських відкладів з суміжними та віддаленими територіями.

Історія дослідження акритарх. Перші відомості про акритархи представлені в роботі, що була опублікована в 1862 році W.C.White. Вони були встановлені у відкладах ордовіку, девону і віднесені до діатомових, губок, потім в крейдових відкладах – до дисмідієвих, радіолярій або силікофлагеллят.

W.R. Evitt в 1963 році запропонував для одноклітинних форм назву «акритархи» і включив в цю групу всі генетично різномірні мікрофосилії [Evitt, 1963 a, b].

На початку XX століття розглянуті органічні рештки вивчали A. Eisenack, G. Deflandre, С.Н. Наумова, J. Deunff, Б.Ф. Тимофеев і інші. Тоді головною в дослідженнях була палеобіологічна складова проблеми акритарх: пояснення їх місця в системі органічного світу, розробка принципів класифікації, питання їх палеоекології і ін.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Група акритархи – збірна, її всю розглядають як планктонну, поліфілетичну [Fensome, 1990; Петросьянц і ін. 1990; Stover et al., 1996]. F. Martin припустив, що багато акритарх представляють цисти вимерлих динофлагелатів, без археопілів або ознак стабільної табуляції [Martin, 1993].

Використання акритарх, як зональних у мезо-кайнозой обмежена. Опубліковано небагато зональних зон, в яких використовуються виключно ці мікрофосилії. Ймовірно, це пов'язано з різноманітністю динофлагелат, які зазвичай зустрічаються в тих же палінологічних препаратах. Більш того, більшість мезозойських та кайнозойських динофлагелат морфологічно більш складні, а інтерпретація їх видових видів менш суб'єктивна, ніж у акригарх. Іншим важливим фактором є невеликий розмір (зазвичай менше 30 мкм) більшості мезозойських та кайнозойських акритарх. Однак, акритархи можуть допомогти у визначенні диноцистових зон. D. Habib, S.D. Knapp провели детальне дослідження орнаменту мембрани акритарх. В результаті, авторам вдалось розрізнити дев'ять регіональних біозон за акритархами в крейдових відкладах північно-західної Атлантики [Habib & Knapp, 1982]. За даними досліджень останніх років доведено, що акритархи можна використовувати як зональні індекси і в мезозой, особливо у прибережних і пелагічних районах [Marshall & Partridge 1988; Smelror & Leereveld, 2010].

Доведено, що акритархи відкладались в седиментаційній обстановці, що відповідає їх життю, так як тривале горизонтальне транспортування спричинило б окислення і знищення паліноморф. Є дані, що вулканізм викликає зміни в складі комплексу акритарх в бік його збіднення (А.Л. Рагозіна, 1981). F.H. Gramer провів широтний контроль палеотемператур і силурійських комплексів акритарх [Петросьянц і ін., 1990].

Піонерами серед українських мікропалеонтологів по вивченню акритарх були В.В. Кир'янов [Кир'янов, 1971] і О.О. Асеева [Асеева, 1974]. Вони вивчали акритархи кембрію і верхнього протерозою відповідно. О.О. Асеева виділила сім вендських комплексів акритарх на території України. В.В. Кир'яновим досліджено акритархи докембрію і палеозою, розроблено стратиграфічну схему відкладів кембрію України та виконано їх кореляцію з Сибірською платформою [Кир'янов, 1978; Константиненко, Кир'янов, 2013]. Л.І. Шешегова досліджувала акритархи теригенних фацій силуру і низів девону західних областей України (Волино-Подільської плити) [Шешегова, 1971; 1974].

К.В. Іванченко вивчає акритархи венду Волині [Іванченко, 2007; 2017; 2019].

З мезозойських відкладів України ніхто з дослідників окремо не вивчали групу акритарх. У наукових роботах відмічалось тільки про присутність цих форм при описі палінокомплексів юрського і крейдового часу [Огороднік, 2004; Шевчук, 2016, 2020].

Коротка характеристика групи. Акритархи – це одноклітинні, неколоніальні, органікостінні мікрофосилії з невідомою спорідненістю, що збереглися у вигляді тонких прозорих або непрозорих одно- або двошарових оболонок. Форма цих решток овальна або багатокутня. Вони можуть бути симетричні і асиметричні. Частина зустрінутих оболонок зжаті у якомусь напрямку, що пов'язано з деформацією їх в осаді. Вони бувають гладкі або зернисті. Частіше скульптура поверхні тіла і виростів представлена буграми, сіткою, шипами, ребрами. Гистрихосфероїдальні акритархи мають вирости різної форми, товщини, довжини і будови. На дистальних конусах вирости різної довжини або закриті, або відкриті, частіше дихотомічно розгалужені. Бувають акритархи з оторочками. Всередині оболонки можуть бути включення: внутрішнє тіло, темна пляма. Зазвичай, акритархи мають отвори у вигляді пор, щілиноподібні або неправильні розриви і круглі отвори або піломи. Розміри акритарх коливаються від 1-5000 мк, але в юрський і крейдовий час ці форми маленьких розмірів від 5-7 мкм до 45 мкм. Хімічний склад оболонок – органічна речовина, близька до спорополеніну.

Найчастіше вони складаються з термічно змінених нерозчинних у кислоті сполук вуглецю (кероген). В процесі вивчення багато акритарх переведені в зелені, жовто-зелені, золотисті і інші водорості.

Акритархи мають різний стан збереженості. Вони можуть мати отвір в оболонці за рахунок піритизації, дії бактерій, грибів, слідів росту мінералів. При вмісті сірки в породі більше 10% кристали піриту проникають в стінку оболонки і інколи роблять фальшиву структуру на поверхні. На думку М. Correia критична глибина до якої можуть зберігатися акритархи і інші морські мікрофосилії є 2000-2500 м, поблизу нафтових родовищ вони мають добру збереженість. Знайдені в континентальних відкладах акритархи можуть бути перевідкладеними [Correia, 1969].

Стратиграфічне поширення акритарх – докембрій – нині. Найбільш важливе стратиграфічне значення їх – докембрій – силур, де вони дуже різноманітні і разом з нитчастими водоростями відіграють головну роль в мікробіотах. В більш молодих відкладах – їх чисельність всього декілька родів. Юрські та крейдові акритархи більшого значення набувають для характеристики та відтворення умов осадконакопичення. Фаціальна приуроченість акритарх не викликає сумнівів. Їх пов'язують з відкладами водного генезису, так як вони численні в морських, менше дельтових і озерних відкладах.

Формулювання мети статті. Задачею дослідження було сконцентрувати увагу на такій маловивченій групі для мезозою, як акритари і довести її певну роль і значення для стратиграфічних та палеоекологічних побудов.

Матеріали та методи. Матеріалом досліджень були зразки гірських порід середньо-, верхньоярських та крейдових відкладів, відібрані розрізено з 93 розрізів, але з усіх крупних тектонічних структур України: Пенінської зони Карпат, Волино-Подільської плити, західного та східного схилів Українського щита, Приазовського масиву УЩ, Дніпровсько-Донецької западини, Донбасу, Південноукраїнської моноклінали (Причорноморська западина), Криму, Північноазовського прогину та Азовського валу (українська частина Азовського моря) [Шевчук, 2020].

При детальному палінологічному дослідженні зразків з юрських та крейдових відкладів України були відмічені акритархи. Вони виявились постійним елементом мікрофітофосилій в багатьох препаратах. Відклади юри та крейди описаних територій раніше вже були стратифіковані О.А. Шевчук за результатами палінологічних досліджень (спори, пилок, диноцисти) [Шевчук, 2016; 2020; Шевчук і ін.; 2021; Shevchuk et al., 2013; Shevchuk, Vajda, 2019]. Стратиграфічне

поширення акритарх інтерпретується нами за сукупністю в комплексі з іншими палінологічними рештками та організмами.

У розрізах, що вивчалися, були представлені різні за віком та літологічним складом породи. Тому насиченість відкладів мікрофосиліями була різною. Проводилась первинна обробка порід (мацерація): порода розпушувалась, її карбонатна частина розчинювалась соляною кислотою, вимивалась сифонним способом; наступний етап – заливалась гарячим розчином пірофосфату натрію і відмивалась від коллоїдних глинистих частин, промивалась через кожні 2-3 години дистильованою водою сифонним пристроєм, зливаючи воду до відмітки 2 см над осадам; залишок оброблявся плавиковою кислотою і також промивався сифонним способом, легка фракція відділялась за допомогою центрифуги із застосуванням важкої рідини з питомою вагою 2,0.

Акритархи вивчалися в тимчасових і постійних препаратах. Аналітичні роботи виконувались за допомогою мікроскопу “Ергавал” і МБІ-6 при збільшенні $\times 750$, фотографування проводилось цифровим фотоапаратом для мікрзйомки Konica Minolta Dimagex50 в Інституті геологічних наук НАН України та за допомогою мікроскопу модульного Olympus BX51 в департаменті палеобіології при Національному Музеї Історії природи м. Стокгольм. Зразки мікрофосилій зберігаються у відділі палеонтології і стратиграфії мезозойських відкладів Інституту геологічних наук НАН України.

Основним методом досліджень був палінологічний. При ідентифікації акритарх ми використовували он-лайн каталог [Köljal, 2012].

Виклад основного матеріалу дослідження. Акритархи юри та крейди віднесені до 10 родів, що включають 11 видів. Найпоширенішим видом, що зустрічається як і в юрських, так і в крейдових відкладах України є акритархи *Micrhystridium fragile* (Deflandre, 1947) та *Fromea* sp. Юрські комплекси дещо багатші за крейдові у плані відсоткового вмісту і представлені, головним чином, *Micrhystridium* spp., *Micrhystridium fragile*, *M. longum* (Moczydlowska, 1988), *Veryhachium brevitrspinum* (Staplin, 1961), *Wilsonastrum* sp., *Baltisphaeridium* sp. Крейдові: *Micrhystridium* spp., *Micrhystridium fragile*, *M. longum*, *Baltisphaeridium breviciliatum* ((Staplin, 1961) Downie and Sarjeant, 1965), *B. aff. capillatum* (Jardine, Combaz, 1974), *B. annelieae* ((Kjellström, 1976) Bockelie and Kjellström, 1979), *B. accinctum* ((Loeblich Jr. and Tappan, 1978), *Acanthodiacrodium* sp., *Solisphaeridium inaffectum* (Playford et Dring, 1981), *Comasphaeridium* sp., *Comasphaeridium aff. brachyspinosum* ((Kiryanov, 1974), Moczydlowska et

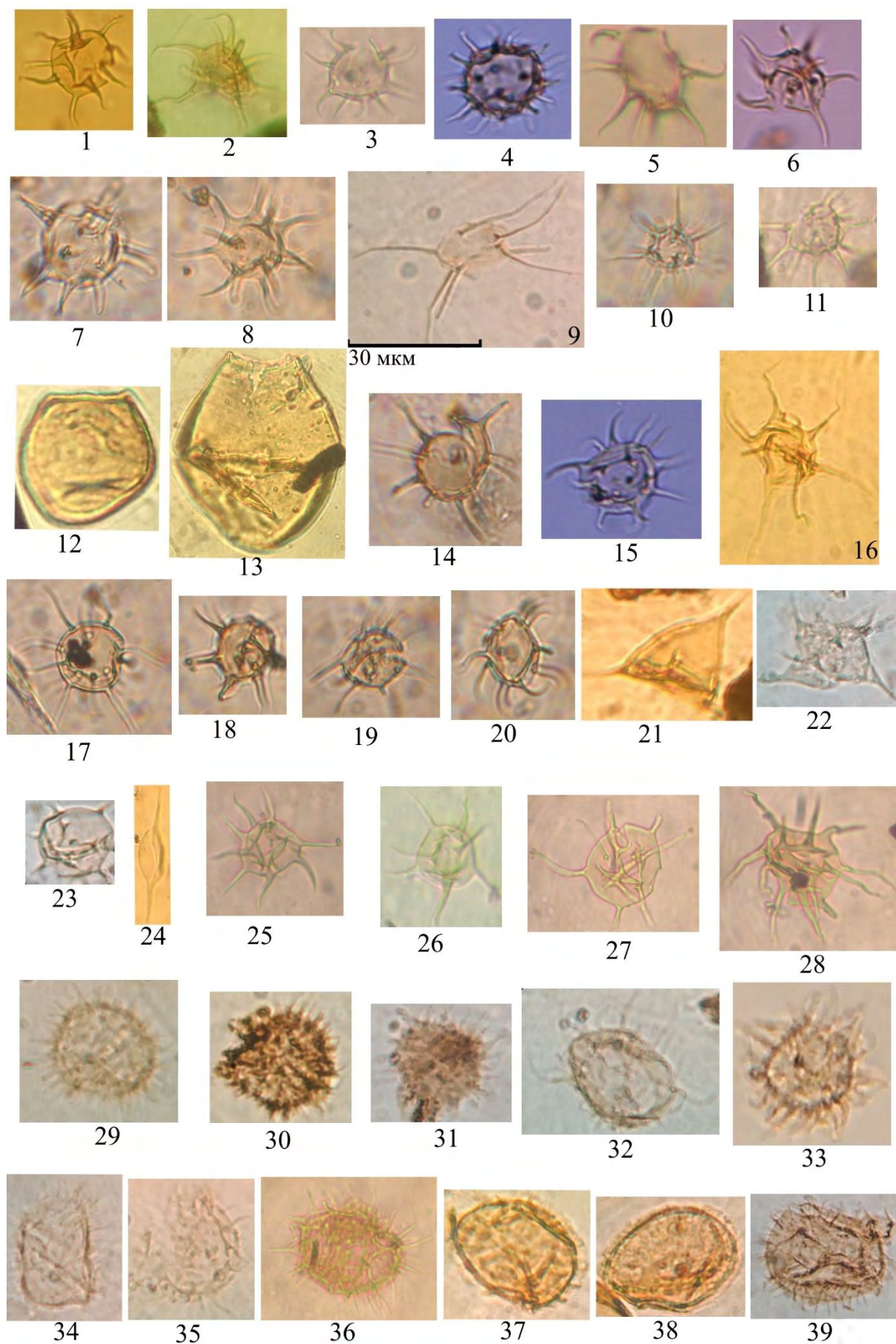


Рис. 1. Акритархи з середньоюрських – крейдових відкладів України.
Fig. 1. Acritarchs from the Middle Jurassic – Cretaceous deposits of Ukraine

Умовні позначення до рис. 1:

Фіг. 1. *Micrhystridium fragile*, св. 33, зр. 14, турон; Фіг. 2. *Micrhystridium fragile*, св. 14, зр. 08164, апт; Фіг. 3. *Micrhystridium fragile*, св. 8562, зр. 081093, келовей; Фіг. 4. *Micrhystridium* sp., св. 8562, зр. 081093, келовей; Фіг. 5-8. *Micrhystridium fragile*, св. 8562, зр. 081093, келовей; Фіг. 9. *Micrhystridium* sp., св. 4606, зр. 5, коньяк; Фіг. 10, 11. *Micrhystridium longum*, 1988, св. 8562, зр. 081093, келовей; Фіг. 12-13. *Fromea* sp., св. 8562, зр. 081093, келовей; Фіг. 14, 15, 17. *Micrhystridium* sp., св. 8562, зр. 081093, келовей; 16. *Veryhachium singulare*, св. 4606, зр. 5, коньяк; Фіг. 18-20. *Micrhystridium fragile*, св. 8562, зр. 081093, келовей; Фіг. 21. *Veryhachium brevitrispinum*, хутір Шевченки, зр. 1а (2), бат; Фіг. 22. *Veryhachium* sp., св. 0121, зр. 16, альб; Фіг. 23. *Solisphaeridium inaffectum*, 1981, св. 0121, зр. 16, альб; Фіг. 24. *Leiofusa stoumonensis*, св. 0121, зр. 16, альб; Фіг. 25-28. *Micrhystridium* sp., св. 14, зр. 08164, апт; Фіг. 29. *Baltisphaeridium* sp., св. 4606, зр. 8, сеноман; Фіг. 30-31. *Baltisphaeridium* sp., св. 4606, зр. 8, сеноман; Фіг. 32. *Baltisphaeridium* aff. *capillatum*, св. 4606, зр. 8, сеноман; Фіг. 33. *Baltisphaeridium accinctum*, св. 4606, зр. 8, сеноман; Фіг. 34. *Comasphaeridium* sp., св. 4606, зр. 8, сеноман; Фіг. 35. *Baltisphaeridium annelieae*, св. 4606, зр. 8, сеноман; Фіг. 36. *Baltisphaeridium* sp., св. 14, зр. 08164, апт; Фіг. 37-38. *Comasphaeridium* aff. *brachyspinosum*, св. 4606, зр. 5, коньяк; Фіг. 39. *Baltisphaeridium breviciliatum*, 11. св. 4606, зр. 5, коньяк.

Legend for Fig. 1:

Fig. 1. *Micrhystridium fragile*, well 33, sample 14, Turonian; Fig. 2. *Micrhystridium fragile*, well 14, sample 08164, Aptian; Fig. 3. *Micrhystridium fragile*, well 8562, sample 081093, Callovian; Fig. 4. *Micrhystridium* sp., well 8562, sample 081093, Callovian; Fig. 5-8. *Micrhystridium fragile*, well 8562, sample 081093, Callovian; Fig. 9. *Micrhystridium* sp., well 4606, sample 5, Coniacian; Fig. 10, 11. *Micrhystridium longum*, well 8562, sample 081093, Callovian; Fig. 12-13. *Fromea* sp., well 8562, sample 081093, Callovian; Fig. 14, 15, 17. *Micrhystridium* sp., well 8562, sample 081093, Callovian; Fig. 16. *Veryhachium singulare*, well 4606, sample 5, Coniacian; Fig. 18-20. *Micrhystridium fragile*, well 8562, sample 081093, Callovian; Fig. 21. *Veryhachium brevitrispinum*, the village of Shevchenki, sample 1a (2), Bathonian; Fig. 22. *Veryhachium* sp., well 0121, sample 16, Albian; Fig. 23. *Solisphaeridium inaffectum*, well 0121, sample 16, Albian; Fig. 24. *Leiofusa stoumonensis*, well 0121, sample 16, Albian; Fig. 25-28. *Micrhystridium* sp., well 14, sample 08164, Aptian; Fig. 29. *Baltisphaeridium* sp., well 4606, sample 8, Cenomanian; Fig. 30-31. *Baltisphaeridium* sp., well 4606, sample 8, Cenomanian; Fig. 32. *Baltisphaeridium* aff. *capillatum*, well 4606, sample 8, Cenomanian; Fig. 33. *Baltisphaeridium accinctum*, well 4606, sample 8, Cenomanian; Fig. 34. *Comasphaeridium* sp., well 4606, sample 8, Cenomanian; Fig. 35. *Baltisphaeridium annelieae*, well 4606, sample 8, Cenomanian; Fig. 36. *Baltisphaeridium* sp., well 14, sample 08164, Aptian; Fig. 37-38. *Comasphaeridium* aff. *brachyspinosum*, well 4606, sample 5, Coniacian; Fig. 39. *Baltisphaeridium breviciliatum*, well 4606, sample 5, Coniacian

Vidal, 1988), *Veryhachium* spp., *Veryhachium singulare* (Firtion, 1952) Burger, 1980), *Leiofusa stoumonensis* (Vanguetaine, 1973), *Fromea* sp., *Ascotomocystis* sp.

Акритархи з середньоюрських – крейдових відкладів України відображені на рис. 1.

Також акритархи можуть бути корисними при палеоекологічних дослідженнях. Наприклад, зіставлення кількості решток мікрофітопланктону (динофіти, акритархи, прازیнофіти) відображає ситуацію морського басейну в певний час геологічної епохи та окремо дослідженої території, що було доведено на практиці при вивченні верхньоюрських відкладів північно-західного Донбасу, ДДЗ та УЩ [Шевчук і ін., 2015; 2019].

Висновки. Кілька дискусійних родів мікрофосилій траплялися в українських зразках протягом мезозою, які можуть бути або акритархи, або динофлагелати. Такі «псевдинофлагелати», як *Fromea* та *Ascotomocystis* розглядаються як акритархи, якщо вони не мають впізнаваних для

динофлагелят особливостей, такі як табуляція, сингулюм, археопіль і ін.

Загалом, тенденція зникнення акритарх протягом мезозою простежується слабо. Аналізуючи юрські і крейдові мікрофосилії, вивчені з мезозойських відкладів з 93 розрізів різних регіонів України, можна сказати, що у паліокомплексах відсотковий вміст досліджених решток досить незначний поряд з іншими представниками органікостінного мікрофітопланктону. Іноді юрські форми акритарх складають до 5% у комплексі, крейдові – до 4%. Однак, видове різноманіття крейдових форм дещо більше, можливо цей факт пояснюється кращим збереженням форм крейдового віку.

Наступним етапом робіт повинно бути вивчення акритарх юрських та крейдових відкладів всіх регіонів України задля цілей загальної картини щодо відтворення палеоекологічних умов території України протягом юрського і крейдового періоду.

Список використаної літератури

1. Асеева, Е.А. Микрофитофоссилии верхнекембрийских отложений Вольно-Подольи и их стратиграфическое значение: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук / Е.А. Асеева. – Киев: Институт геологических наук. 1975. – 24 с.
2. Іванченко, К.В. Мікрофітофосилії вендських відкладів Волині та їх стратиграфічне значення: Автореф... канд. геол. наук. / К.В. Іванченко – Київ. – 2007. – 22 с.
3. Іванченко, К.В. Палеонтологічна характеристика регіонарусів венду України. Ідеї та новації в системі наук про Землю. Збірник матеріалів VII Всеукраїнської молодіжної наукової конференції. [Текст] / К.В. Іванченко. – Київ. – 2017. – С. 64-65.
4. Іванченко, К.В. Микрофоссилии верхневендских отложений Волыни (Украина). [Текст] / К.В. Иванченко. – Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов. Сборник материалов IV международной научно-практической конференции, приуроченной к 1000-летию г. Бреста. – Беларусь, Брест. – 2019. – С. 68-70.
5. Кирьянов, В.В. Стратиграфия и акритархи нижнего кембрия Вольно-Подольи: Автореф... кандидата геолого-минералогических наук / В.В. Кирьянов. – Киев. Институт геологических наук. – 1971. – 28 с.
6. Кирьянов, В.В. Акритархи силура Вольно-Подольи. [Текст] / В.В. Кирьянов. – Киев: Наукова думка. – 1978. – 136 с.
7. Константиненко, Л.І. Кембрійська система. [Текст] / Головний редактор П.Ф. Гожик. – К.: ІГН НАН України. Логос, 2013. – Т.1. – Розділ 3. – С. 155-166.
8. Огороднік, М. Нові знахідки перидінеєвих водоростей у верхньокрейдових відкладах автохтону Покутсько-Буковинських Карпат. [Текст] / М. Огороднік // Палеонт. зб. – 2004. – 36. – С. 79-84.
9. Петросьянц, М.А. Микрофоссилии в геологической практике: их роль в определении обстановок древнего осадконакопления. [Текст] / М.А. Петросьянц, Н.С. Овнатанова, Г.В. Мусина // Итоги науки и техники. Серия Общая геология. – Москва. – 1990. – Том. 27. – 163 с.
10. Стратиграфія верхнього протерозою та фанерозою України. Гол. Ред. П.Ф. Гожик. – Стратиграфія верхнього протерозою, палеозою та мезозою України. – К.: ІГН НАН України. Логос. – 2013. – Т.1. – 637 с.
11. Шевчук, О.А. Келовейські мікрофосилії різного походження як показники клімату та умов осадконакопичення на території центральної України. [Текст] / О.А. Шевчук, Ю.Б. Доротяк, Ю.В. Клименко. – VI Всеукраїнська наукова конференція “Проблеми геології фанерозою України”. – Львів, – 2015. – С. 10-15.
12. Шевчук, О.А. Біостратиграфія середньої юри центральної та східної частини платформної України. [Текст] / О.А. Шевчук // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», випуск 45. – 2016. – С. 86-99. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2016-45-12>
13. Шевчук, О. Особливості мікропалеонтологічної характеристики верхньоярських відкладів та палеогеографія території Кам'янських відслонень (північно-західний Донбас). [Текст] / О. Шевчук, Ю. Доротяк // Палеонтологічний збірник. Львів. – 2019. – № 51. – С. 14-24.
14. Шевчук, О.А. Стратиграфія середньої юри – крейди України за мікрофосиліями: Автореф... доктора геологічних наук. / О.А. Шевчук. Інститут геологічних наук Національна Академія Наук України. – Київ. – 2020. – 44 с. – 4 додатки.
15. Шевчук, О.А. Стратифікація крейдових відкладів розрізу свердловини №29 – Західно-Октябрської (Каркінітсько-Північнокримський прогин) за палеонтологічними даними. [Текст] / О.А. Шевчук, Д. Пустовойтова // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. №3 (93). – 2021. – С. 27-36. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.94.03>
16. Шешегова, Л.И. О некоторых силурийских акритархах Подольи. Водоросли палеозоя и мезозоя Сибири. [Текст] / Л.И. Шешегова. Москва. – 1971. – С. 37-49.
17. Шешегова, Л.И. Акритархи силура и низов девона Подольи. [Текст] / Л.И. Шешегова // Микрофоссилии СССР. – Новосибирск. 1974. – С.36-69.
18. Correia, A. Contribution a la recherche de zones Favorables a la genese du petrole par l'observation microscopique de la matiere organique figure. [Text] / A. Correia // Rev. de l'Inst. Francais Petrol. – 1969. – No 24. – P. 1417-1454.
19. Evitt, W.R. A discussion and proposals concerning fossil dinoflagellates, hystrichospheres, and acritarchs, I; [Text] / W.R. Evitt. – National Academy of Sciences, Washington. – 1963a. – Proceedings, 4. – P. 158-164.
20. Evitt, W.R. A discussion and proposals concerning fossil dinoflagellates, hystrichospheres, and acritarchs, II; [Text] / W.R. Evitt. – National Academy of Sciences, Washington. – 1963b. – Proceedings, 49. – P. 298-302.
21. Fensome, R.A. Acritarchs and fossil prasinophytes: an index to genera, species and infraspecific taxa. [Text] / R.A. Fensome, G.L. Williams, M.S. Barss, J.M. Freeman, J.M. Hill. American Association of Stratigraphic Palynologists Contributions Series, 25, – 1990. – 771 p.
22. Habib, D. Stratigraphic utility of Cretaceous small acritarchs. [Text] / D. Habib, S.D. Knapp // Micropaleontology, 28. – 1982. – P. 335-371, – pl. 1-11.
23. Gurov, E. (2017). Kamenetsk – a new impact structure in the Ukrainian Shield. [Text] / Gurov E., Nikolaenko N., Shevchuk H. and Yamnichenko A. // MAPS- Meteoritics and Planetary Science. – Vol. 52. – Issue 12. – P. 2461-2469. DOI: <https://doi.org/10.1111/maps.12951>

24. Kõljalg, U. Baltic Diversity: Towards transboundary access of nature observation data. *Acritarchs*. [Text] / U. Kõljalg (project manager). Organism group Acritarcha Evitt, 1963. – 2012-2013. – *Paleobiodiversity in Baltoscandia*. <http://fossilid.info/317>
25. Marshall, N.G. The Eocene acritarch *Tritonites* gen. nov. and the age of the Marlin Channel, Gippsland Basin, southeastern Australia; [Text] / N.G. Marshall & A.O. Partridge // *Jell, P.A. & Playford, G. (ed.), Palynological and palaeobotanical studies in honour of Basil E. Balme; Association of Australasian Palaeontologists, Memoir, 5*. 1988. – P. 239-257, – 6 pl.
26. Martin, F. Acritarch review. [Text] / F. Martin // *Biological Reviews*. – 1993. – Vol. 68. – Issue 4. – P. 475-537. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1993.tb01241.x>
27. Shevchuk, O.A. Biostratigraphical dissection of Callovian sediments of the central part of platform of Ukraine. [Text] / O.A. Shevchuk, Yu.B. Dorotyak, Yu.V. Klimenko. – The 5th International scientific conference of young scientists and students «Fundamental and applied geological science: achievements, prospects, problems and ways of their solutions». – Baku, Azerbaijan, – P. 362-364. (in Russian), – 2013. – P. 257-260. (in English).
28. Shevchuk, O.A. Palynology of Jurassic (Bathonian) sediments of Donbas, northeast Ukraine. [Text] / O.A. Shevchuk, S.M. Slater, V. Vajda // *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*. – Vol. 98. – Issue 1. – 2018. – P. 153–164. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12549-017-0310-3>
29. Shevchuk, O. Distribution of characteristic microfossils groups in the deposits of the Jurassic and Cretaceous of Ukraine. [Text] / O. Shevchuk, V. Vajda. // 52nd Annual Meeting AASP-The Palynological Society. – Ghent, Belgium. – 2019. – P. 76.
30. Shevchuk, O.A. Dinocysts in Callovian Deposits of Central Ukrain. [Text] / O.A. Shevchuk. // *International Journal on Algae*, – 2020. – Volume 22. – Issue 3. – P. 279-286. DOI: <https://doi.org/10.1615/interjalgae.v22.i3.70>
31. Shevchuk, O.A. The first Cretaceous megaspores from Ukraine. [Text] / O.A. Shevchuk, S. McLoughlin & V. Vajda. // *Cretaceous Research*. – Volume 118. – 104649. 2021. 13 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2020.104649>.
32. Smelror, M. Dinoflagellate and Acritarch assemblages from the late Bathonian to early Oxfordian of Montagne Crussol, Rhone valley, southern France. [Text] / M. Smelror & H. Leereveld. – 2010. – P. 121-141. <https://doi.org/10.1080/01916122.1989.9989358>
33. Stover, L.E. Mesozoic-Tertiary dinoflagellates, acritarchs and prasinophytes; [Text] / L.E. Stover, H. Brinkhuis, S.P. Damassa, L. de Verteuil, R.J. Helby, E. Monteil, A.D. Partridge, A.J. Powell, J.B. Riding, M. Smelror, G.L. Williams. // *Jansonius, J. McGregor, D.C. (ed.), Palynology: principles and applications; American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation*. – 1996. – Chapter 19. – Vol. 2. – P. 641-750.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Акритархи мезозоя України

Елена Андреевна Шевчук¹,

д. геол. н., вед. н. с., и.о. зав. отдела стратиграфии и палеонтологии мезозойских отложений

¹Института геологических наук Национальной Академии наук Украины,

ул. О. Гончара, 55б, г. Киев, 01601, Украина;

Екатерина Владимировна Иванченко¹,

к. геол. н., н. с. отдела геологии антропогена

Акритархи изучаются палинологами в образцах мезозойских отложений в комплексе с другими представителями органикостенного микропланктона, прежде всего с диноцистами. Впервые на территории Украины в образцах из юрских и меловых отложений обнаружено акритархи и сконцентрировано внимание на такой малоизученной группе для мезозоя. Доказано их определенную роль и значение для стратиграфических и палеоэкологических построений, изучены их видовой состав и вертикальное распределение в разрезах мезозойских отложений. Установлены закономерности распределения акритарх в разновозрастных слоях. Акритархи юры и мела отнесены к 10 родам, включающих 11 видов. Самым распространенным видом, представители которого встречается как в юрских так и в меловых отложениях Украины являются акритархи *Micrhystridium fragile* и *Fromea* sp. Юрские комплексы несколько богаче меловых в плане процентного содержания и представлены, главным образом, *Micrhystridium* spp., *Micrhystridium fragile*, *M. longum*, *Veryhachium brevitrispinum*, *Wilsonastrum* sp., *Baltisphaeridium* sp. Меловые: *Micrhystridium* spp., *Micrhystridium fragile*, *M. longum*, *Baltisphaeridium breviciliatum*, *B. aff. capillatum*, *B. annelieae*, *B. accinctum*, *Acanthodiacrodium* sp., *Solisphaeridium inaffectum*, *Comasphaeridium* sp., *Comasphaeridium aff. brachyspinosum*, *Veryhachium* spp., *Veryhachium singulare*, *Leiofusa stoumonensis*, *Fromea* sp., *Ascostomocystis* sp. В практике украинских микропалеонтологив недооценена роль такой группы, как акритархи, которая может быть уникальной при палеоэкологических реконструкциях среды. Анализируя юрские и меловые микрофосилии, изучены в мезозойских отложениях из 93 разрезов разных регионов Украины, можно сказать, что тенденция исчезновения акритарх на протяжении мезозоя прослеживается слабо. Юрские формы акритарх составляют до 5% в комплексе, меловые - до 4%. В статье приведены фототаблицы изображений юрских и меловых акритарх.

Ключевые слова: акритархи, палинологические исследования, мезозой, юрские и меловые отложения, Украина.

Acritarchs of the Mesozoic of Ukraine

Olena Shevchuk¹,

DSc (Geology), Leading Researcher,

acting head of the Department of Stratigraphy and Paleontology of Mesozoic sediments,

¹Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine,

55b O. Gonchara St., Kyiv, 01601, Ukraine;

Kateryna Ivanchenko¹,

PhD (Geology), Researcher, Department of Quaternary Geology

ABSTRACT

Introduction. Acritarchs are one of the orthostratigraphic groups of microfossils that are widely used in Proterozoic and Paleozoic biostratigraphy. In the Mesozoic period there is a decrease in this group, and this is due to certain reasons.

Formulation of the problem. Acritarchs are studied by palynologists from samples of Mesozoic sediments in combination with other representatives of organic bone microplankton, primarily with dinocysts. In the practice of Ukrainian micropaleontologists, the role of such a group as acritarchs, which may be unique in paleoecological reconstructions of the environment, is underestimated.

History of the study of acritarchs. None of the researchers studied the group of acritarchs in the Mesozoic deposits of Ukraine. In scientific works it was noted only about the presence of these forms in the description of palynological complexes of Jurassic, Cretaceous and other times.

Brief description of the group. Acritarchs are unicellular, non-colonial, organic microfossils.

Formulation of the purpose of the article. The aim of the study was to focus on such a little-studied group for the Mesozoic as acritarchs and to prove its role and significance for stratigraphic and paleoecological constructions.

Materials and methods. The research material was samples of rocks of the Middle, Upper Jurassic and Cretaceous deposits, selected separately from 93 sections, but from all major tectonic structures of Ukraine: Peninsky zone of the Carpathians, Volyn-Podolsk plate, western and eastern slopes of the Ukrainian Shield, Priazovsky array of the Ukrainian shield, Dnieper-Donetsk basin, Donbas, South Ukrainian monocline (Black Sea basin), Crimea, North-Azov depression and Azov shaft (Ukrainian part of the Sea of Azov).

Presentation of the main material of the study. Acritarchs Jurassic and Cretaceous belong to 10 genera, including 11 species. The most common species found in both Jurassic and Cretaceous sediments of Ukraine are acritarchs *Micrhystridium fragile* and *Fromea* sp. Jurassic complexes are slightly richer than chalk in terms of percentage and are represented mainly by *Micrhystridium* spp., *Micrhystridium fragile*, *M. longum*, *Veryhachium brevitrispinum*, *Wilsonasstrum* sp., *Baltisphaeridium* sp. Cretaceous: *Micrhystridium* spp., *Micrhystridium fragile*, *M. longum*, *Baltisphaeridium breviciliatum*, *B. aff. capillatum*, *B. annelieae*, *B. accinctum*, *Acanthodiacrodium* sp., *Solisphaeridium inaffectum*, *Comasphaeridium* sp., *Comasphaeridium aff. brachyspinosum*, *Veryhachium* spp., *Veryhachium singulare*, *Leiofusa stoumonensis*, *Fromea* sp., *Ascotomocystis* sp. The article presents photo tables of images of Jurassic and Cretaceous acritarchs.

Conclusions. For the first time in Ukraine, acritarchs were found in samples from Jurassic and Cretaceous sediments and attention was focused on such a little-studied group for the Mesozoic. Their certain role and significance for stratigraphic and paleoecological constructions are proved, their species composition and vertical distribution in sections of Mesozoic sediments are studied. The regularities of the distribution of acritarchs in the same age layers are established. Analyzing the Jurassic and Cretaceous microfossils studied from Mesozoic sediments from 93 sections of different regions of Ukraine, we can say that the trend of disappearance of acritarchs during the Mesozoic is weakly observed. Jurassic forms of acritarchs are up to 5% in the complex, Cretaceous - up to 4%. The next stage of work should be the study of acritarch Jurassic and Cretaceous deposits of all regions of Ukraine for the purposes of the overall picture of the reproduction of paleoecological conditions in Ukraine during the Jurassic and Cretaceous period.

Keywords: acritarchs, palynological research, Mesozoic, Jurassic and Cretaceous deposits, Ukraine.

References

1. Aseeva, E.A. (1975). *Microfitofossils of the Upper Precambrian deposits of Volyn-Podolia and their stratigraphic significance. Abstract of the dissertation for the degree of candidate of geological and mineralogical sciences. Institute of Geological Sciences. Kyiv, 24. [In Russian].*
2. Ivanchenko, K.V. (2007). *Microphytofossils of Vendian sediments of Volhynia and their stratigraphic significance. Abstract dissertation of the candidate of geological sciences. Kyiv, 22. [In Ukrainian].*
3. Ivanchenko, K.V. (2017). *Paleontological characteristics of the regions of the Vendian Ukraine. Ideas and innovations in the systems of earth sciences. Collection of materials of the VII All-Ukrainian Youth Science Conference. Kyiv, 64-65. [In Ukrainian].*
4. Ivanchenko, K.V. (2019). *Microfossils of Upper Vendian sediments of Volyn (Ukraine). Current issues of Earth sciences: studies of cross-border regions. Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference dedicated to the 1000 th anniversary of Brest. Belarus, Brest, 68-70. [In Russian].*

5. Kiryanov, V.V. (1971). *Stratigraphy and acritarchs of the Lower Cambrian of Volyn-Podolia. Abstract of the dissertation for the degree of candidate of geological and mineralogical sciences. Institute of Geological Sciences. Kyiv, 28. [In Russian].*
6. Kiryanov, V.V. (1978). *Akritarchs of the Silurian Volyn-Podolia. Kyiv. Naukova dumka, 136. [In Russian].*
7. Konstantinenko, L.I. (2013). *The Cambrian system. Section 3. Stratigraphy of the Upper Proterozoic and Phanerozoic of Ukraine in two volumes. Editor-in-Chief P.F. Gozhyk. Kyiv. IGN NAS of Ukraine. Logos, 1. 155-166. [In Ukrainian].*
8. Ogorodnik, M. (2004). *New finds of peridinea algae in the Upper Cretaceous deposits of the autochthonous Pokutsko-Bukovynian Carpathians. Paleontological collection. 36, 79–84. [In Ukrainian].*
9. Petrosyants, M.A., Ovnatanova, N.S., Musina, G.V. (1990). *Microfossils in geological practice: their role in determining the conditions of ancient sedimentation. The results of science and technology. General Geology Series. Moscow, 27, 163. [In Russian].*
10. *Stratigraphy of the Upper Proterozoic and Phanerozoic of Ukraine. (2013) Vol. 1. Stratigraphy of the Upper Proterozoic, Paleozoic and Mesozoic of Ukraine. Chief editor P.F. Gozhik. Kyiv. IGN NAS of Ukraine. Logos, 637. [In Ukrainian].*
11. Shevchuk, O.A., Dorotyak, Yu.B., Klimenko, Yu.V. (2015). *Callovian microfossils of different origin as indicators of climate and sedimentation conditions in central Ukraine. VI All-Ukrainian Scientific Conference "Problems of Geology of the Phanerozoic of Ukraine". Lviv, 10-15. [In Ukrainian].*
12. Shevchuk, O.A. (2016). *Biostratigraphy of the Middle Jurassic of the central and eastern part of platform Ukraine. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (45), 86-99. [In Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2016-45-12>*
13. Shevchuk, O., Dorotyak, Yu. (2019). *Peculiarities of micropaleontological characteristics of Upper Jurassic deposits and paleogeography of the territory of Kamyanska outcrops (north-western Donbass). Paleontological collection. 51, Lviv, 14-24. [In Ukrainian].*
14. Shevchuk, O.A. (2020). *Stratigraphy of the Middle Jurassic - Cretaceous of Ukraine by microfossils. Abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Geological Sciences. Institute of Geological Sciences National Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv, 44. 4 applications. [In Ukrainian].*
15. Shevchuk, O.A., Pustovoitova, D. (2021). *Stratification of Cretaceous deposits of the section № 29 – Zakhidno-Okyabrsk (Karkinitzko-North Crimean trough) by palynological data. Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 3(94), 27-36. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.94.03> [In Ukrainian].*
16. Sheshegova, L.I. (1971). *About some Silurian acritarchs of Podolia. Algae of the Paleozoic and Mesozoic of Siberia. Moscow, 37-49. [In Russian].*
17. Sheshegova, L.I. (1974). *Acritarchs of the Silurian and Lower Devonian Podolia. Microfossils of the USSR. Novosibirsk, 36-69. [In Russian].*
18. Correia, A. (1969). *Contribution a la recherche de zones Favorables a la genese du petrole par l'observation microscopique de la matiere organique figure. Rev. de l'Inst. Francais Petrol. 24, 1417–1454.*
19. Evitt, W.R. (1963a). *A discussion and proposals concerning fossil dinoflagellates, hystrichospheres, and acritarchs, I; National Academy of Sciences, Washington, Proceedings, 49, 158-164.*
20. Evitt, W.R. (1963b). *A discussion and proposals concerning fossil dinoflagellates, hystrichospheres, and acritarchs, II; National Academy of Sciences, Washington, Proceedings, 49, 298-302.*
21. Fensome, R.A., Williams, G.L., Barss, M.S., Freeman, J.M., Hill, J.M. (1990). *Acritarchs and fossil prasinophytes: an index to genera, species and infraspecific taxa. American Association of Stratigraphic Palynologists Contributions Series, 25, 771.*
22. Habib, D. & Knapp, S.D. (1982). *Stratigraphic utility of Cretaceous small acritarchs; Micropaleontology, 28, 335-371, pl. 1-11.*
23. Gurov, E., Nikolaenko, N., Shevchuk, H. and Yamnichenko, A. (2017). *Kamenetsk – a new impact structure in the Ukrainian Shield. MAPS-Meteoritics and Planetary Science, 52, 12, 2461-2469. DOI: <https://doi.org/10.1111/maps.12951>*
24. Kõljalg, U. (project manager). (2012-2013). *Baltic Diversity: Towards transboundary access of nature observation data. Acritarchs. (Organism group Acritarcha Evitt, 1963). Paleobiodiversity in Baltoscandia. <http://fossilid.info/317>*
25. Marshall, N.G. & Partridge, A.O. (1988). *The Eocene acritarch Tritonites gen. nov. and the age of the Marlin Channel, Gippsland Basin, southeastern Australia; in: JELL, P.A. & PLAYFORD, G. (ed.), Palynological and palaeobotanical studies in honour of Basil E. Balme; Association of Australasian Palaeontologists, Memoir, 5, 239-257, 6 pl.*
26. Martin, F. (1993). *Acritarchsa review. Biological Reviews. 68, 4, 475-537. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1993.tb01241.x>*
27. Shevchuk, O.A., Dorotyak, Yu.B., Klimenko, Yu.V. (2013). *Biostratigraphical dissection of Callovian sediments of the central part of platform of Ukraine. The 5th International scientific conference of young scientists and students «Fundamental and applied geological science: achievements, prospects, problems and ways of their solutions». Baku, Azerbaijan, 362-364. [In Russian], 257-260. [In English].*

28. Shevchuk, O.A., Slater, S.M., Vajda, V. (2018). Palynology of Jurassic (Bathonian) sediments of Donbas, northeast Ukraine. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 98, 1, 153-164. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12549-017-0310-3>
29. Shevchuk, O., Vajda, V. (2019). Distribution of characteristic microfossils groups in the deposits of the Jurassic and Cretaceous of Ukraine. 52 nd Annual Meeting AASP-The Palynological Society. Ghent, Belgium, 76.
30. Shevchuk, O.A. (2020). Dinocysts in Callovian Deposits of Central Ukrain. *International Journal on Algae*, 22, 3, 279-286. DOI: <https://doi.org/10.1615/interjalgae.v22.i3.70>
31. Shevchuk, O.A., Mcloughlin, S. & Vajda, V. (2021). The first Cretaceous megaspores from Ukraine. *Cretaceous Research*, 118, 104649, 13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2020.104649>.
32. Smelror, M. & Leereveld, H. (2010). Dinoflagellate and Acritarch assemblages from the late Bathonian to early Oxfordian of Montagne Crussol, Rhone valley, southern France, 121-141.
33. Stover, L.E., Brinkhuis, H., Damassa, S.P., L. de Verteuil, Helby, R.J., Monteil, E., Partridge, A.D., Powell, A.J., Riding, J.B., Smelror, M. & Williams, G.L. (1996). Mesozoic-Tertiary dinoflagellates, acritarchs and prasinophytes; in: Jansonius, J. McGregor, D.C. (ed.), Chapter 19, *Palynology: principles and applications*; American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, 2, 641-750.

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 26 May 2021

Accepted 4 June 2021

ГЕОГРАФІЯ

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-09>

УДК 504.453+004.94

Надійшла 20 січня 2021 р.

Прийнята 27 червня 2021 р.

Технологічні особливості виділення меж водозбірних басейнів засобами ГІС-технологій (на прикладі р. Брусниця)**Руслан Іванович Беспалько¹,**

д. техн. наук, доцент кафедри землевпорядкування та кадастру,

¹Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,

вул. Лесі Українки, 25, м. Чернівці, 58012, Україна,

e-mail: r.bespalko@chnu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-1225-852X>;**Тарас Володимирович Гуцул¹,**

к. техн. наук, асистент кафедри землевпорядкування та кадастру,

e-mail: t.gutsul@chnu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-7192-3289>

Виділення меж водозбірних басейнів – важлива гідрологічна задача, розв'язок якої визначає територію та місце потенційного збору водних мас. Точність та достовірність обробки вихідних просторових даних – запорука одержання якісних похідних морфометричних показників та подальшого моделювання різних явищ, в тому числі територіального аналізу та планування. Поява і розвиток численних ГІС-засобів дозволила суттєво спростити трудомісткість характерну для традиційного розв'язку такої задачі. Проте, різні програмні засоби реалізують різні технологічні підходи до виділення меж водозбірних басейнів. Складність застосовуваних алгоритмів формує чутливість моделей до введених параметрів, порогові значення більшості з яких користувачу пропонується задавати шляхом численних експериментальних спроб. В дослідженні розглянуто найпоширеніші ГІС-засоби з множини існуючих, що підтримують інструменти гідрології – ArcGIS, Global Mapper, SAGA GIS, Surfer. З'ясування принципів роботи гідрологічного інструментарію в різних ГІС-середовищах та застосовуваних алгоритмів було однією із задач дослідження. Для всіх програмних засобів використано однаковий набір вихідних даних, одержаний в результаті векторизації елементів рельєфу фрагменту топографічної карти. Цифрову модель рельєфу підготовлено з урахуванням вимог та особливостей гідрологічно-коректних моделей. Із метою з'ясування впливу роздільної ЦМР на результати, її виконано в трьох варіантах – 10×10 м; 25×25 м; 50×50 м. Результати аналізу порівняно за геометричними просторовими характеристиками та з кількісними даними гідрографічного районування, наведеними на геопорталі «Водні ресурси України». Встановлено переваги та недоліки програмних засобів. Виявлено вплив роздільної здатності вихідної ЦМР на результати моделювання меж водозбірних басейнів. Отримані результати спрямовані на підвищення точності моделювання меж водозбірних басейнів та обчислення похідних гідрографічних параметрів. Вони можуть застосовуватися для генералізації лінійних об'єктів гідрографічної мережі на картографічних зображеннях з метою відповідності ситуації та достатнього рівня деталізації.

Ключові слова: водний кадастр, водозбірна площа, генералізація об'єктів гідрографії, ГІС, річковий басейн, ЦМР, ArcGIS, Global Mapper SAGA GIS, Surfer.

Як цитувати: Беспалько Р. І. Технологічні особливості виділення меж водозбірних басейнів засобами ГІС-технологій (на прикладі р. Брусниця) / Р. І. Беспалько, Т. В. Гуцул // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2021. – Вип. 55. – С. 117-127. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-09>

In cites: Bepalko R., Hutsul T. (2021). Technological features of distribution between river basins using GIS technologies (based on the example of r. Brusnytsya). Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (55), 117-127. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-09> [in Ukrainian]

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями. Слідуючи передовому досвіду європейських країн (INSPIRE), Україна спочатку взяла курс [1], а потім і запровадила з 1 січня 2021 р. Національну інфраструктуру геопросторових даних [2]. Одним із наборів (видів) геопросторових даних є – гідрографія, в тому числі басейни водозбірні (гідрографічні одиниці).

З 1 лютого 2017 р. набув чинності Закон № 1641-VIII щодо впровадження інтегрованих під-

ходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом. В умовах зростання антропогенного впливу для раціонального управління природокористуванням постає потреба пошуку оптимального балансу експлуатації геосистеми, її охорони і перетворення. Задача збалансованості земельного фонду в умовах схилового рельєфу досягається використанням басейнового принципу організації територій землекористувань.

21 грудня 2017 р. Державним агентством водних ресурсів анонсовано геопортал «Водні ресурси України» [3]. Серед переліку наявних

тематичних шарів цього ресурсу доступні райони річкових басейнів та суббасейнів зокрема. Їх виділення здійснено на основі Методики гідрографічного та водогосподарського районування території України [4] відповідно до вимог Водної рамкової директиви Європейського Союзу [5].

Згідно пункту 2.5. Порядку здійснення гідрографічного районування встановлення (виділення) гідрографічних одиниць і визначення їх меж проводиться на основі топографічних карт (масштабу 1:200000 з додатковою деталізацією окремих ділянок кордонів гідрографічних одиниць на картах масштабу 1:50000) і цифрових моделей рельєфу з використанням геоінформаційних технологій [4].

При цьому, зазначена методика не деталізує за якими методами та в яких ГІС-засобах повинно відбуватися цифрове моделювання рельєфу. Тому, ймовірно одержання суттєво різних результатів під час розробки планів управління річковими басейнами, котрі обов'язково повинні включати нанесені на карту межі басейнів та суббасейнів, що відносяться до даного річкового басейну.

Результати структурного аналізу рельєфу дозволяють одержувати гідрологічно-коректні ЦМР, на основі яких може бути визначено мережу потенційних водотоків, здійснено ортотрансформування матеріалів ДЗЗ, заплановано заходи протиерозійного захисту території (компоненти універсального врівноваження змиву ґрунтового покриву – ULSE), сформовано екологічно стійкі агроландшафти, зменшено рівень забруднення водойм, підвищено врожайність сільськогосподарських культур та ін.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ключовим елементом формування поверхневого стоку є рельєф місцевості. Пропонована Карпінським Ю. О. та Лященком А. А. орографічно-триангуляційна модель рельєфу дає змогу вирішити картографічну проблему рельєфної неоднозначності, що дозволяє визначати висоту у будь-якій точці місцевості в межах області визначення, коректну за точністю та морфологією рельєфу [6].

Оскільки поняття рельєфу є поліфункціональним, то в контексті геоморфологічного аспекту сучасні дослідження наведено в [7].

На якість створюваної цифрової моделі, крім застосовуваних методів та підходів значний вплив спричиняють і джерела вихідних даних. Теоретичні та методологічні основи цифрового моделювання рельєфу за фотограмметричними та картографічними даними, які сприяють високоточному моделюванню рельєфу наведено в працях Бурштинської Х. В., зокрема в [8]. Тенденції використання комп'ютерного моделювання

рельєфу з використанням даних ДЗЗ розглядаються в [9] та [10].

Безпосередньо гідрографічним районуванням території України відповідно до вимог Водної рамкової директиви ЄС займалися в 2013 р. вчені Київського національного університету імені Тараса Шевченка та Вінницького національного технічного університету разом з фахівцями Держводагенства України. Авторський колектив: Гребінь В. В., Мокін В. Б., Сташук В. А., Хільчевський В. К., Яцюк М. В., Чунарьов О.В., Крижановський Є. М., Бабчук В. С., Ярошевич О. Є. [11].

Вдосконалення існуючої схеми гідрографічного районування території України за даними ЦМР SRTM HydorSHEDS та ГІС-засобів запропоновано Глоткою Д. В [12].

Басейновому принципу управління водними ресурсами присвячено багато досліджень, зокрема Боровицької А. Г. [13], Кулько А. В, Яремак З. В. та інших.

Аналіз інформаційного наповнення, повноти відомостей, просторової точності зображення та відповідності об'єктів гідрографії на геопорталі «Водні ресурси України» міститься в [14].

Виділення не вирішених частин загальної проблеми. В дослідженні розглядаються лише деякі із множини існуючих ГІС-засобів. Вихідні дані у вигляді аркуша топографічної карти номеклатури М–35–XXXII не задовольняють вимоги щодо актуальності даних та періодичності оновлення відповідних матеріалів. Такий вибір зумовлено їх використанням під час реалізації методики гідрографічного районування, а також їх доступністю в мережі Інтернет. Порогове значення сум напрямків стоку в процесі моделювання меж водозбірної площі басейну р. Брусниця приймалося сталим для всіх ГІС-засобів наведених у табл. 2. Це було пов'язано з виявленням відмінностей серед результатів та коректністю їх порівняння. Спроби з'ясування оптимального значення цього параметру наведено в табл. 1.

Мета статті. Порівняти результати виділення меж водозбірного басейну в ГІС-засобах за однаковими вихідними даними.

Виклад основного матеріалу. Річка Брусниця – гідрографічний об'єкт, в межах Сторожинецького (верхів'я) і Кіцманського районів Чернівецької області. Права притока р. Прут (басейн Дунаю). Згідно відомостей [15] відноситься до класу малих річок. Витік річки розпочинається в районі Прут-Сіретського межиріччя. Загальна довжина становить 26,0 км, а площа басейну – 110 км². Аналогічні показники наводяться в Каталозі річок України 1957 року, де р. Брусниця занесена під № 294 [16].

Досліджуваний об'єкт гідрографії в повному

обсязі потрапляє в межі трапеції номенклатурного аркушу масштабу 1:200000 (М-35-XXVII Черновці), і не містить елементів ділянок державного кордону, а отже не потребує окремої деталізації у вигляді залучення аркушів топографічних карт масштабу 1:50000 [17].

Реєстрацію растрового зображення топографічної карти проведено методом поліномів n -го порядку в світовій геодезичній системі координат WGS-84. Опорними точками використано координати 9 пунктів державної геодезичної мережі, значення яких вибрано з каталогу. Встановлено, що на даному растровому зображенні більша кількість опорних точок не сприяє підвищенню точності реєстрації. Похибка реєстрації растрового зображення не перевищила значення 1 пікселя.

Для створення гідрологічно коректної ЦМР (рис. 1) векторизовано поверхні висот (точкові об'єкти), горизонталі із значенням висот (лінійні об'єкти), водотоки (лінійні об'єкти), обриви (лінійні об'єкти), озера (полігональні об'єкти). Додатково взято до уваги межі території дослідження (полігональний об'єкт) та області, в яких значення висот будуть ігноруватися алгоритмом інтерполяції (полігональні об'єкти). Слід зауважити, що водотоки повинні векторизуватися за напрямком стоку, а обриви – зліва на право (ліва сторона – низька, права – висока).

Враховуючи рекомендації ГІС ArcGIS щодо підвищення точності побудови поверхонь здійснено пакетне перетворення (*BatchProject*) вхідних просторових даних в універсальну поперечну проекцію Меркатора – UTM Zone 35 N.

Під час цифрового моделювання рельєфу область розширення (в комірках) прийнято за замовчуванням рівною – 20. Мінімальні та максимальні значення Z , використані для інтерполяції знаходяться в діапазоні від 180 м до 500 м відповідно до умов рельєфу території. За алгоритмом *ENFORCE* враховано примусове заповнення локальних понижень та областей депресії. Первинний (переважний) тип вхідних даних – горизонталі рельєфу. Максимальне число повторень процесу інтерполяції прийнято за 30. Такий показник видаляє меншу кількість не коректних локальних понижень. Фактор шороховатості – 0, оскільки переважний тип вхідних даних – горизонталі. Фактор шороховатості кривизни профілю прийнято для середньої кривизни в 0,5. Фактор похибки дискретизації встановлено на середньому рівні в 2. Значення вертикальної середньої похибки прийнято за 0. Вважаємо, що використання топографічної карти, як достовірного джерела даних, а також топологічних перевірок векторизації і занесення значень атрибутів мінімізуючим фактором допущення випадкової по-

хибки для висотних даних. Значення параметру «допуск 1», котрий відповідає за точність та щільність висотних точок відносно дренажних характеристик поверхні приймемо пропонованим за замовчуванням для горизонталей – 2,5. Значення параметру «допуск 2», котрий перешкоджає руху стоку через нереально високі бар'єри приймемо пропонованим за замовчуванням для горизонталей – 100.

Найважливішою умовою створення гідрологічно коректної ЦМР та визначення гідрографічних характеристик річок та їх басейнів є визначення лінійних розмірів растрової комірки. В роботі [18], розглянуто алгоритм оцінки впливу розмірів комірки на точність розрахунків. Мінімальне значення розміру комірки a_{min} , при якому в повному обсязі відображаються всі характерні умови рельєфу є величина 0,2 мм в масштабі вихідної карти.

Результати цифрового моделювання експортуємо у вигляді растрового 32-бітного зображення з різними розмірами комірок: 10×10 м, 25×25 м та 50×50 м без стиснення до TIFF формату. Вибір різної роздільної здатності растрового зображення обумовлений спробою з'ясувати її вплив на точність моделювання. На цьому етапі, підготовку вихідних даних вважатимемо завершеною.

Виділення меж водозбірної площі розпочнемо в середовищі найбільш розповсюдженої на сьогодні ГІС – *ArcGIS 10.2*. Для цього, на підготовленому растрі здійснимо заповнення локальних понижень (*Fill*), в яких містяться комірки з невизначеним напрямком стоку. Частина таких об'єктів не пов'язана з природними утвореннями рельєфу, а є своєрідними артефактами, котрі виникають внаслідок роздільної здатності зображення. Створюємо растр напрямку стоку із кожної комірки до найближчої сусідньої вниз по схилу найбільшої крутизни (*Flow Direction*). Оптиміальних результатів при створенні растру напрямку стоку можна досягнути, якщо активувати пункт стік із крайніх комірок спрямований назовні (*Force all edge cells to flow outward*). Обчислимо сумарний стік, як сумарну вагу всіх комірок, впадаючих в кожену комірку вниз по схилу вихідного растру (*Flow Accumulation*). В налаштуваннях сумарного стоку слід передбачити наявність цілих значень в створюваній растровій поверхні та класифікувати результати за двома діапазонами. Сформуємо умову на підставі використання растрів локальних понижень та сумарного стоку (*Con*). Впорядкуємо водотоки за методом Страхлера використовуючи растр водотоків з попередньою умовою та растр сумарного стоку (*Stream Order*). Одержаний результат водотоків перетворимо в просторовий об'єкт вико-

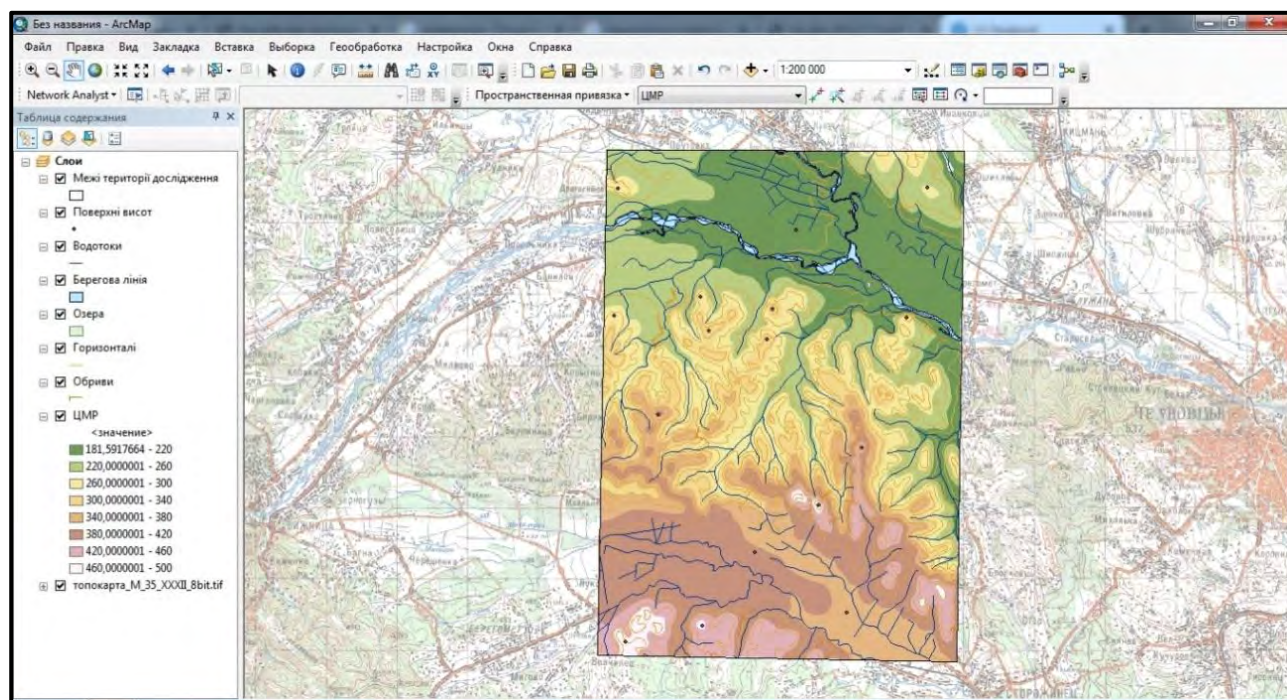


Рис. 1. Гідрологічно коректна ЦМР території дослідження в середовищі ArcGIS (побудовано авторами).

Fig. 1. Hydrologically correct DEM of the study area in the ArcGIS environment

ристовуючи растр водотоків та растр напрямку стоку (*Stream to Feature*). Створюємо растр, який містить контури басейну (*Basin*). Конвертуємо басейни із растрового шару в полігональний векторний. Створюємо точки витоку. Прив'язуємо точки витоку (*Snap Pour Point*). Таким чином, ми вказуємо на пошук комірок з найвищим значенням сумарного стоку в межах величини допуску навколо заданих точок витоку і переміщуємо точку витоку в це положення. Запускаємо інструмент водозбірної області (*Watershed*) та завантажуюмо в нього растр напрямку стоку, а також растр точок витоку. Конвертуємо растрове зображення одержаної водозбірної області в полігональний векторний шар для подальших картометричних операцій.

Під час моделювання річкової мережі та меж водозбірних басейнів необхідно знати не тільки оптимальні значення лінійних розмірів комірок растру, але і порогові значення сум напрямку стоку (k), що суттєво впливають на довжину та кількість об'єктів водотоків. Така задача може бути розв'язана шляхом порівняльного аналізу модельної та топографічної карт заданого масштабу (як візуального пошарового порівняння, так і розрахункових значень сукупної довжини рік в межах будь-якого водозбору) [19].

Для моделювання річкової мережі та водозбірного басейну необхідний підбір оптимальних параметрів, які є поєднанням лінійних розмірів растрового зображення та порогових значень сум напрямків стоку [19]. Останні обмежують дов-

жину та кількість об'єктів водотоків: чим вище порогове значення, тим менша кількість об'єктів водотоків та їх довжина і навпаки. Таким чином, порогове значення є параметром генералізації річкової мережі, при відповідних лінійних розмірах растрового зображення.

В іноземних джерелах [20] мінімальне порогове значення сум напрямків стоку визначається через M значень рядків зображення, N значень стовпців зображення та експериментальну константу C :

$$A_{min} = (M \times N) / C \quad (1)$$

В свою чергу A_{min} не є фіксованою величиною, і може набувати різних значень для растрових поверхонь різної розмірності. В [20] зазначається, що оптимальний A_{min} можна визначити шляхом тривалого тестування методом спроб і помилок. При цьому, важливо коректно розрахувати константне значення C .

Враховуючи результати, одержані в [19] підбір параметру k було розпочато із значення 5000 (табл. 1). За величину фактичної суми прийнято загальну довжину річкової мережі в межах басейну р. Брусниця, виміряну за даними топографічної карти. Підбір оптимальних параметрів проведено для різних комбінацій лінійних розмірів комірок растрового зображення та порогових значень сум напрямків стоку k .

Із табл. 1 можна виявити, що найбільша схожість сум довжин річкової мережі виділених в ГІС Global Mapper та Surfer досягається при

розмірах комірок растра 10×10 м та порогових значеннях сум напрямку стоку понад 8000 та 10000 відповідно. Саме такі параметри генералізації гідрографії відтворюють річкову мережу подібну до зображеної на топографічній карті масштабу 1:200000. Крім того, між значеннями k

та розмірністю комірок a було розраховано коефіцієнти кореляції r та встановлено дуже високий рівень зв'язку (за шкалою Чеддока) у всіх випадках. Таким чином, значення k піддається розрахунку шляхом проведення кількох тестувань і побудовою відповідного графіку.

Таблиця 1 / Table 1

Моделльні значення сум довжин р. Брусниця в межах водозабору і їх відхилення (%) від фактичної суми (84 220 м) при різних розмірах комірок ЦМР та значень параметру k (розраховано авторами).
Model values of the sums of the lengths of the Brusnytsia River within the water intake and their deviations (%) from the actual amount (84,220 m) at different sizes of DEM cells and values of the parameter k

ГІС	Global Mapper						Surfer					
Розмір комірки a ЦМР, м	10×10		25×25		50×50		10×10		25×25		50×50	
Значення k	м	%	м	%	м	%	М	%	м	%	м	%
5000	109200	+30	49660	-41	29140	-65	116900	+39	55850	-34	27520	-67
6000	99720	+18	44580	-47	28060	-67	110700	+31	50400	-40	26290	-69
7000	94850	+13	40950	-51	26290	-69	104900	+25	46890	-44	24320	-71
8000	87800	+4	37350	-56	24230	-71	100400	+19	41950	-50	22020	-74
9000	80250	-5	34220	-59	23610	-72	95860	+14	38990	-54	21140	-75
10000	72670	-14	32560	-61	22220	-74	90570	+8	37130	-56	20040	-76
Коефіцієнт кореляції r	-0,99		-0,99		-0,99		-0,99		-0,99		-0,99	

В середовищі ГІС **Global Mapper 16** виділення меж водозбірних площ (табл. 2) розпочинається із завантаження вихідних даних та вибору функції генерації вододілу (*Generate Watershed*). Значення порогу потоку може задаватися кількістю комірок або площею зони стоку. При цьому, передбачена генералізація об'єктів гідрографічної мережі, де можна відкинути потоки менші за задане значення. Слід зауважити, що враховуючи «Основні положення створення та оновлення топографічних карт...» на картах масштабів 1:50000-1:200000 річки та струмки наносять як правило, довжиною в масштабі карти 1 см та більше [21] (в даному випадку, ценз довжини об'єкта гідрографії – 2 км).

Окремим точковим шаром задаються точки витоку (*Operation at Selected Locations*). Покращення моделювання досягається введенням значення максимальної глибини западин, що будуть заповненні (*Depression Fill Depth*). Роздільна здатність результатів одержаного растрового зображення (*Resolution*) та спосіб його передискретизації (*Resampling*) задаються користувачем.

Виділення меж водозбірної площі в середовищі ГІС **Surfer 16** (табл. 2) полягає у створенні нової карти (*New Map Watershed*) та завантаженні вихідних даних. Виділення файлу поверхні у вікні Contents дозволяє почати налаштування параметрів, які полягають у введенні значення кількості комірок сум порогу стоку (*Threshold*),

додаванні файлу точок витоку (*Pour Point Source*) та застосуванні заповнення западин (*Fill Depressions*). Значення останнього, на відміну від Global Mapper користувач не вводить. Решта налаштувань полягають у зміні стилів ліній водотоків та кольорів заливки виділених басейнів.

Геоінформаційна система **SAGA GIS 2.3.2** (System for Automated Geoscientific Analyses) інсталювалася та використовувалася сумісно з QGIS 3.10.13. Виділення меж водозбірної площі розпочиналося із перепроєціювання (*Warp (reproject)*) вихідних даних в середовищі QGIS в універсальну поперечну проєкцію Меркатора – UTM Zone 35 N. На видозміненому растрі заповнювалися локальні пониження та неточності (*Fill Sinks (Wang & Liu)*). Сумарний стік обчислювався зверху вниз від найвищого до найнижчого значення висот з урахуванням заповненого растру локальних понижень та неточностей за методом D8 (*Flow Accumulation (Top – Down)*). За одержаними даними виділено мережу водотоків (*Channel Network*). В модулі *Upslope Area (interactive)* встановлено точку витоку та одержано растрові зображення водозбірної площі для різних розмірів комірки. В середовищі QGIS перетворено результати у векторні дані (*Polygonize (Raster to Vector)*) та виконано подальші картометричні операції (табл. 2).

Морфометричні характеристики водозборів, крім кількісних показників дають уявлення

про форму, розміри і просторове положення водозбору (рис. 2). До цих характеристик відносять: площу, середню висоту, середній ухил схилів, густота річкової мережі, густота руслової

мережі, площа замкнутих западин, координати гіпсографічної кривої, коефіцієнт каналізування річкової мережі (частково наведено в табл. 2) [22].

Таблиця 2 / Table 2

Порівняння деяких кількісних показників в межах водозбору р. Брусниця в різних ГІС (розраховано авторами).

Comparison of some quantitative indicators within the catchment area of the Brusnytsia River in different GIS

Джерела даних		Параметри порівняння	Розмір комірки a , м	S водозбірної басейну, км^2	Довжина р. Брусниця, км	Річкова сітка в межах басейну, км	Густота річкової сітки, $\text{км}/\text{км}^2$	Відмітка витоку, м	Відмітка гирла, м
Геоінформаційна система	ArcGIS	10×10	129,40	25,41	52,58	0,41	367,6	189,1	
		25×25	129,90	23,11	36,61	0,28	368,3	189,8	
		50×50	125,00	20,92	20,92	0,17	341,2	183,9	
	Global Mapper	10×10	120,40	25,25	108,00	0,90	398,7	189,1	
		25×25	120,30	20,20	49,66	0,41	358,2	190,1	
		50×50	131,50	23,36	29,05	0,22	341,2	184,0	
	Surfer	10×10	129,40	26,58	116,90	0,90	368,1	195,0	
		25×25	129,90	25,06	55,85	0,43	368,6	189,8	
		50×50	127,40	21,69	27,52	0,22	370,5	193,4	
	QGIS & SAGA GIS	10×10	118,00	21,42	47,16	0,40	365,2	193,9	
		25×25	118,60	22,47	37,65	0,32	364,5	193,0	
		50×50	118,50	22,78	33,25	0,28	369,6	192,9	
Топограф. карта М-35-XXVII [25]		11×11	120,40	21,50	83,56	0,69	378,5	189,0	
Геопортал «Державний водний кадастр...» [23]			110,00	26,00	—	0,24	365,0	185,0	

Аналізуючи дані табл. 2 та рис. 2 можна помітити, що значення площі басейну р. Брусниця сформоване засобами ГІС за даними топографічної карти М-35-XXXII у всіх випадках є більшим, ніж наведено в офіційних статистичних виданнях. Величина розходження коливається в діапазоні від 8 км^2 до 25 км^2 , або від 7 % до 15 % від заявленої площі. Загальна конфігурація усіх одержаних форм узагальнено ідентична. Найбільші відмінності виявлено в результатах моделювання за даними SAGA GIS, що пояснюється появою артефактів в рівнинній південно-західній частині. Окрім того, можна помітити тенденцію зміщення північно-східної частини басейну із збільшенням значення розміру комірки, яка безпосередньо пов'язана із ручним встановленням точки витоку (впадання до р. Прут).

Висновки. Правильне встановлення місцеположення та точне нанесення на картографічний матеріал меж водозбірних ділянок водних об'єктів має вирішальний вплив на точність визначення їх площ. В свою чергу, площа водозбору часто є похідною величиною під час визначення інших гідрографічних характеристик, що

обумовлює необхідність їх розрахунку з гранично можливою точністю.

Незважаючи на вивченість використовуваних в ГІС-засобах алгоритмів гідрологічного моделювання, найскладнішим залишається особлива чутливість моделей до введених параметрів.

Здійснено спробу з'ясувати оптимальне значення порогової суми стоку (k) в ГІС засобах Surfer 16 та Global Mapper 16. Побудовано серію водозборів із зміною значення цього параметру. Встановлено кореляційну залежність (дуже високий рівень зв'язку), що полягає у зменшенні довжини та кількості виділених об'єктів водотоків при збільшенні порогового значення суми стоку (k). Таким чином, результати можна використовувати не лише для генералізації об'єктів гідрографічної мережі в межах виділених водозбірних басейнів, а й досягнення потрібного ступеня картографічної відповідності та деталізації залежно від цілей та масштабів досліджень.

З метою виявлення впливу роздільної здатності гідрологічно коректної ЦМР на результати моделювання меж водозбірних площ вихідні дані створено в роздільній здатності: $10 \times 10 \text{ м}$, $25 \times 25 \text{ м}$,


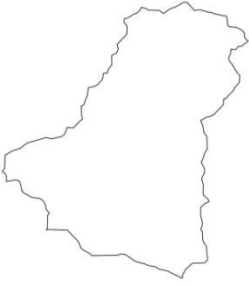






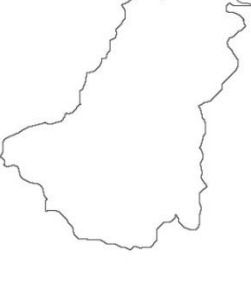



Розмір комірки, м		10×10	25×25	50×50
Геоінформаційна система	ArcGIS			
	Global Mapper			
	Surfer			
	QGIS & SAGA GIS			

Рис. 2. Порівняння форми, розмірів та просторового положення водозбору р. Брусниця в різних ГІС-засобах (одержано авторами).

Fig. 2. Comparison of the shape, size and spatial position of the catchment area of the Brusnytsia River in different GIS tools

50×50 м. Безпосереднього зв'язку не виявлено. Однак, роздільна здатність ЦМР впливає на деталізацію об'єктів гідрографічної мережі. При однаковому параметрі (k), існує лінійна залежність між розміром комірок та загальною довжиною річкової сітки в межах досліджуваних басейнів.

Таким чином, і роздільна здатність ЦМР, і значення порогової суми стоку мають безпосере-

дній вплив на похідні гідрографічні параметри (приміром, густоту річкової сітки).

При намаганні, максимально уніфіковано здійснювати процес виділення меж водозбірних площ в різних ГІС-засобах, виникали відмінності обумовлені їх алгоритмами моделювання та особливостями користувацького інтерфейсу. Слід зауважити, що у всіх випадках для напрямку стоку застосовано метод $D8$. Однак, заповнення ло-

кальних понижень, як і процеси інтерполяції у наведених ГІС-засобах повністю за ідентичними параметрами провести не вдалося.

Перспективи подальших досліджень. Безумовно, актуальність використаної топографічної карти з огляду на період її видання викликає певні сумніви. Окрім цифрових даних, одержаних з топографічних карт актуальним джерелом інформації для створення ЦМР можуть бути дані радарної інтерферометрії (зйомки в радіолокаційному діапазоні).

Наразі, у відкритому доступі знаходяться тільки декілька глобальних цифрових моделей

рельєфу, створених із застосуванням технологій і суттєво відмінних між собою за просторовим охопленням і точністю. Найчастіше використовують ЦМР SRTM C-Band, SRTM X-Band, ASTER GDEM. На офіційних сайтах в специфікаціях програм оприлюднено усереднену точність для континентів, але локально вона може суттєво відрізнятись.

Саме тому, подальші дослідження заплановано проводити в напрямку з'ясування можливості залучення сучасних відкритих наборів висотних даних та точності виділення меж водозбірних басейнів за ними.

Список використаної літератури

1. Красоха А. Уряд затвердив Національну інфраструктуру геопросторових даних [Електронний ресурс] / А. Красоха // Українські національні новини. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: www.unn.com.ua/uk/news/1710130-uryad-zatverdiv-natsionalnu-infrastrukturu-geoprostorovich-danikh.
2. Про національну інфраструктуру геопросторових даних: Закон України від 13 квітня 2020 р. № 554-IX // Відомості Верховної Ради України. – 2020. – № 37. – С. 277.
3. Овчаренко І. В. В Україні запроваджується кадастр поверхневих водних об'єктів [Електронний ресурс] / І. В. Овчаренко // Держводагентство офіційний сайт. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: www.kmu.gov.ua/news/irina-ovcharenko-v-ukrayini-zaprovdzhuyetsya-kadastr-poverhnevih-vodnih-obyektiv.
4. Методика гідрографічного та водогосподарського районування території України відповідно до вимог Водної Рамкової Директиви Європейського Союзу / [В. В. Гребін, В. Б. Мокін, В. А. Сташук та ін.]. – К.: Інтерпрес ЛТД, 2013. – 55 с.
5. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення. – Київ, 2006. – 240 с.
6. Карпінський Ю. О. Орографічно-триангуляційна цифрова модель рельєфу / Ю. О. Карпінський, А. А. Лященко. // Вісник геодезії та картографії. – 2000. – № 3. – С. 28–33.
7. Черваньов І. Г. Флювіальні геоморфосистеми: дослідження й розробки Харківської геоморфологічної школи / І. Г. Черваньов, С. В. Костріков, Б. Н. Воробійов. – Харків: РВВ Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, 2006. – 320 с.
8. Буришинська Х. В. Теоретичні та методологічні основи цифрового моделювання рельєфу за фотограмметричними та картометричними даними: дисертація д-ра. техн. наук: 05.24.02 / Національний ун-т «Львівська політехніка». – Л.: 2003. – 36 с.
9. Шевчук С. А. Уточнення гідрографічних характеристик річок з використанням методів ДЗЗ / С. А. Шевчук, В. І. Вишневський, П. О. Бабій. // Вісник геодезії та картографії. – 2014. – № 5 (92). – С. 29–32.
10. Свідзінська Д. В. Оцінка придатності цифрових моделей висот SRTM та ASTER для цілей гідрологічного геопросторового аналізу / Д. В. Свідзінська. // Міжрегіональний збірник наукових праць «Проблеми безперервної географічної освіти і картографії». – 2014. – №19. – С. 88–92.
11. Хільчевський В. К. Гідрографічне та водогосподарське районування України 2016 р. – реалізація положень ВРД ЄС / В. К. Хільчевський, В. В. Гребін // Гідрологія, гідроклімат гідроекологія. – 2017. – Т. 1 (44). – С. 8–20.
12. Глотка Д. В. Удосконалення карти гідрографічного районування території України на основі SRTM HydroSHEDS / Д. В. Глотка // Фізична географія та геоморфологія. – 2014. – Випуск 3. – С. 112–118.
13. Боровицька А. Г. Правове регулювання ведення державного водного кадастру України : дис. канд. юр. наук : 12.00.06 – земельне право; аграрне право; екологічне право; природоресурсне право / Боровицька А. Г. – Харків, 2016. – 228 с.
14. Біля І. К. Аналіз геопорталу «Водні ресурси України» (на прикладі Чернівецької області) / І. К. Біля. // Часопис картографії. – 2018. – Випуск 18. – С. 25–36.
15. Державний водний кадастр: облік поверхневих водних об'єктів [Електронний ресурс] // Держводагентство. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://geoportal.davr.gov.ua:81>.
16. Швець Г. І. Каталог річок України / Г. І. Швець, Н. І. Дрозд, С. П. Левченко. – Київ: АН УРСР, 1957. – 192 с.
17. Топографические карты [Карты] : М–35–XXXII (Черновцы) / Генеральный штаб, 1970. – 1 к. цв., схем ; 45×42 см.
18. Яковченко С. Г. Создание геоинформационных систем в инженерной гидрологии : дис. д-ра. техн. наук : 25.00.33 – Геоинформатика / Яковченко С. Г. – Барнаул, 2007. – 406 с.
19. Пьянков С. В. Определение оптимальных параметров растровой модели при расчете гидрографических характеристик водных объектов / С. В. Пьянков, В. Г. Калинин. // Материалы Международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС». – 2015. – №21. – С. 282–288.
20. Watershed Segmentation Algorithm Based on Luv Color Space Region Merging for Extracting Slope Hazard Boundaries / M. Zhang, Y. Xue, Y. Ge, J. Zhao. // International Journal of Geo-Information. – 2020. – № 9. – р. 1–17.

21. Основні положення створення та оновлення топографічних карт масштабів 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1 000 000, Наказ Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України № 156 від 31.12.99 р.
22. Руководство по определению гидрографических характеристик картометрическим способом; под ред. Л. А. Чепелкиной. – Ленинград: Гидрометиздат, 1986. – 93 с.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Технологические особенности выделения границ водосборных бассейнов средствами ГИС-технологий (на примере р. Брусница)

Руслан Иванович Беспалько¹,

д. техн. наук, доцент кафедры землеустройства и кадастра,

¹Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича,
ул. Леси Украинки, 25, г. Черновцы, 58012, Украина;

Тарас Владимирович Гуцул¹,

к. техн. наук, ассистент кафедры землеустройства и кадастра

Выделение границ водосборного бассейна – важная гидрологическая задача, решение которой определяет территорию и место потенциального сбора водных масс. Точность и достоверность обработки исходных пространственных данных – залог получения качественных производных морфометрических показателей для последующего моделирования разнообразных явлений, в том числе территориального анализа и планирования. Появление и развитие множества ГИС-средств позволило существенно упростить трудоемкость характерную для традиционного решения рассматриваемой задачи. Однако, разные программные средства реализуют разные технологические подходы к выделению границ водосборных бассейнов. Сложность используемых алгоритмов формирует чувствительность моделей к заданным параметрам, пороговые значения большинства из которых пользователю предлагается определять путем многих экспериментальных попыток. В исследовании рассматриваются самые распространенные ГИС-средства из множества существующих, которые поддерживают инструментарий гидрологии – ArcGIS, Global Mapper, SAGA GIS, Surfer. Выяснение принципов работы гидрологического инструментария в разных ГИС-средах и применяемых алгоритмов было одним из заданий исследования. Для всех программных средств использовано одинаковый набор исходных данных, полученный путем векторизации элементов рельефа фрагмента топографической карты. Цифровую модель рельефа подготовлено с учетом требований и особенностей гидрологически-корректных моделей. С целью выяснения влияния разрешающей способности ЦМР на результаты, ее выполнено в трех вариантах – 10×10 м; 25×25 м; 50×50 м. Результаты анализа сравнивались по геометрическим пространственным характеристикам и количественным данным гидрографического районирования, опубликованным на геопортале «Водные ресурсы Украины». Установлено преимущества и недостатки программных средств. Выявлено влияние разрешающей способности исходной ЦМР на результаты моделирования границ водосборных бассейнов. Полученные результаты направлены на повышение точности моделирования границ водосборных бассейнов и вычисления производных гидрографических параметров. Они могут применяться для генерализации линейных объектов гидрографической сети на картографических изображениях с целью соответствия ситуации и достаточного уровня детализации.

Ключевые слова: водный кадастр, водосборная площадь, генерализация объектов гидрографии, ГИС, речной бассейн, ЦМР, ArcGIS, Global Mapper SAGA GIS, Surfer.

Technological features of distribution between river basins using GIS technologies (based on the example of r. Brusnytsya)

Ruslan Bespalko¹,

DSc (Engineering), Associate Professor, Department of Land Management and Cadastre,

¹Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, 25 Lesi Ukrainky St, Chernivtsi, 58012, Ukraine;

Taras Hutsul¹,

PhD (Engineering), Assistant, Department of Land Management and Cadastre

ABSTRACT

Formulation of the problem. The catchment area and surface runoff volume – morphometric parameters calculated from digital terrain models – are widely used in geographic information analysis of the area. They are attributed to the block of hydrological parameters, where they are basic concepts.

The emergence and widespread usage of GIS tools has greatly simplified this labor-intensive process. However, the complexity of the applied algorithms forms the sensitivity of the models to the entered parameters, the values of most of which are selected by the user through numerous attempts and tests.

The research methodology. The study examines the most common GIS tools from many existing ones that support hydrology tools – ArcGIS, Global Mapper, SAGA GIS, Surfer. Finding out the principles of operation of hydrological tools in different GIS environments and the applied algorithms was one of the goals, the solution of which was revealed in the process of research methodology. The same set of initial data obtained as a result of vectorization of relief elements of a fragment of a topographic map of the research territory is used for all software. The digital terrain model was prepared taking into account the requirements and features of hydrologically correct models. The initial data were checked for topological correctness. In order to determine the influence of separate DEM on the results of the boundaries, its modeling was performed in three versions – 10×10 m; 25×25 m; 50×50 m. According to the same algorithm in each of the GIS tools, the boundaries of the basins were selected. The obtained map metrics were entered into comparative tables, and in some cases were subject to correlation analysis.

As a result of studies. The correct location and accurate plotting of the catchment areas of water bodies on the cartographic material has a decisive influence on the accuracy of determining their areas.

No direct relationship was found between the effect of the DEM resolution on the results of modeling the boundaries of catchment areas.

However, the resolution of the DEM affects the detail of the hydrographic network. It is established that for the same parameter (k), there is a linear relationship between the cell size and the total length of the river network within the studied basins. Despite the study of hydrological modeling algorithms used in GIS tools, the most difficult is the special sensitivity of the models to the entered parameters.

A correlation (very high level of connection) has been established, which consists in reducing the length and number of selected objects of watercourses with increasing the threshold value of the amount of runoff (k).

The scientific novelty. The obtained results are aimed at increasing the accuracy of modeling the boundaries of catchment basins and calculating the derived hydrographic parameters. They can be used to generalize hydrographic network objects within dedicated catchments and to achieve a reasonable degree of cartographic compliance and detail depending on the objectives and scope of research.

The practical significance. Thus, both the resolution of the DEM and the value of the runoff threshold have a direct impact on the derived hydrographic parameters (for example, the density of the river network).

Keywords: water cadastre, catchment area, generalization of hydrographic objects, GIS, river basin, DEM.

References

1. Krasokha A. (2018). Uriad zatverdyyv Natsionalnu infrastrukturu heoprostorovykh danykh [The government approved a national geospatial data infrastructure]. Retrived from: www.unn.com.ua/uk/news/1710130-uryad-zatverdyyv-natsionalnu-infrastrukturu-heoprostorovykh-danykh. [in Ukrainian].
2. Zakon Ukrainy Pro natsionalnu infrastrukturu heoprostorovykh danykh : vid 13 kvitnia 2020 r. № 554-IX [About the national infrastructure of geospatial data]. (2020, April 13). Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy, p. 277 [in Ukrainian].
3. Ovcharenko I. V. (2017). V Ukraini zaprovadzhuietsia kadastr poverkhnevyykh vodnykh ob'ektiv [A cadastre of surface water bodies is being introduced in Ukraine]. Retrived from: www.kmu.gov.ua/news/irina-ovcharenko-v-ukrayini-zaprovadzhuyetsya-kadastr-poverhnevih-vodnih-obyektiv.
4. Hrebin V. V., Mokin V. B., Stashuk V. A. ta in. (2013). Metodyka hidrografichnoho ta vodohospodarskoho raionuvannya terytorii Ukrainy vidpovidno do vymoh Vodnoi Ramkovoї Dyrektyvy Yevropeiskoho Soiuzu [Methodology of hydrographic and water management zoning of the territory of Ukraine in accordance with the requirements of the Water Framework Directive of the European Union]. – Kyiv: Interpres LTD [in Ukrainian].
5. Vodna Ramkova Dyrektyva YeS 2000/60/TeS. Osnovni terminy ta yikh vyznachennia [The EU Water Framework Directive 2000/60 / EU. Basic terms and their definitions]. – Kyiv [in Ukrainian].
6. Karpinskyi Yu. O., Liashchenko A. A. (2000). Orografichno-trianhuliatsiina tsyfrova model rel'iefu [Orographic-triangulation digital relief model]. Visnyk heodezii ta kartohrafii, 3, 28–33 [in Ukrainian].
7. Chervanov I. H., Kostikov S. V., Vorobiov B. N. (2006). Fliuvialni heomorfofossystemy: doslidzhennia y rozrobky Kharkivskoi heomorfolohichnoi shkoly [Fluvial geomorphosystems: research and development of Kharkiv geomorphological school] – Kharkiv [in Ukrainian].
8. Burshtynska Kh. V. (2003) Teoretychni ta metodolohichni osnovy tsyfrovoho modeliuvannia rel'iefu za fotogrammetrychnymi ta kartometrychnymi danymi [Theoretical and methodological bases of digital terrain modeling for photogrammetric and cartometric data]. Extended abstract of Doctor's thesis. Lviv : «Lvivska politekhnika» [in Ukrainian].
9. Shevchuk S. A., Vyshnevskiy V. I., Babii P. O. (2014). Utochnennia hidrografichnykh kharakterystyk richok z vykorystanniam metodiv DZZ [Establishment of hydrographic characteristics of the river using remote sensing methods]. Visnyk heodezii ta kartohrafii, 5 (92) [in Ukrainian].
10. Svidzinska D. V. (2014). Otsinka prydatnosti tsyfrovyykh modelei vysot SRTM ta ASTER dlia tsilei hidrolohiichnoho heoprostorovoho analizu [SRTM and ASTER Digital Elevation Models suitability assessment for the purposes of hydrological geospatial analysis]. Mizhrehionalnyi zbirnyk naukovykh prats «Problemy bezpererвної heohrafichnoi osvity i kartohrafii», 19 [in Ukrainian].

11. Khilchevskyi V. K., Grebin' V. V. (2017). *Hidrohrafichne ta vodohospodarske raionuvannia Ukrainy 2016 r. – realizatsiia polozhen VRD YeS [Hydrographic and hydroeconomic zoning of Ukraine's territory, approved in 2016 – implementation of the WFD provisions]. Hidrolohiia, hidrokhimii i hidroekologii, 1 (44) [in Ukrainian].*
12. Hlotka D. V. (2014). *Udoskonalennia karty hidrohrafichnoho raionuvannia terytorii Ukrainy na osnovi SRTM HydroSHEDS [Improvement of the map of hydrographic zoning of the territory of Ukraine on the basis of SRTM HydroSHEDS]. Fizychna heohrafiia ta heomorfolohiia, 3 [in Ukrainian].*
13. Borovytska A. H. (2016). *Pravove rehuliuвання ведення державного водного кадастру України [Legal regulation of maintenance of the state water cadastre of Ukraine]. Extended abstract of Doctor's thesis. Kharkiv, National University of Law [in Ukrainian].*
14. Bilia I. K. (2018). *Analiz heoportalu «Vodni resursy Ukrainy» (na prykladi Chernivetskoi oblasti) [The analysis of the geportal Water Resources of Ukraine (for example, Chernovtsy region)]. Chasopys kartohrafi, 18 [in Ukrainian].*
15. *Sait Derzhavnoho vodnoho kadastru: oblik poverkhnevyykh vodnykh ob'ektiv [The water cadastre: counting of surface water objects]. geportal.davr.gov.ua. Retrived from: <http://geportal.davr.gov.ua:81>. [in Ukrainian].*
16. Shvets H. I., Drozd N. I., Levchenko S. P (1957). *Kataloh richok Ukrainy [The catalog of rivers of Ukraine]. Kyiv, AN URSSR [in Ukrainian].*
17. *Topografycheskiye karty: M–35–XXXII Chernovtsy (1970). [Topographic maps of Chernovtsy M-35-XXXII]. Moscow, Generalnyi shtab [in Russian].*
18. Iakovchenko S. H. (2007). *Sozdanye heoynformatsyonnykh system v ynzhenernoi hydrolohiy [Creation of geographic information systems in engineering hydrology]. Extended abstract of Doctor's thesis. Barnaul : Institute of Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences [in Russian].*
19. Piankov S. V., Kalynyn V. H. (2015). *Opređenje optimalnykh parametrov rastrovoy modeli pry raschete hidrohrafycheskykh kharakterystyk vodnykh ob'ektov [Determination of optimal parameters of raster models in calculating the hydrographic characteristics of water bodies]. Proceedings of the International conference “InterCarto. InterGIS», 21 [in Russian].*
20. Zhang M., Xue Y., Ge. Y., Zhao J. (2020). *Watershed Segmentation Algorithm Based on Luv Color Space Region Merging for Extracting Slope Hazard Boundaries. International Journal of Geo-Information, 9. Retrived from: <https://doi.org/10.3390/ijgi9040246>.*
21. *Osnovni polozhennia stvorennia ta onovlennia topografichnykh kart masshtabiv 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1 000 000 / Zatv. Nakazom Hol. upr. heodezii, kartohrafi i kadastru Ukrainy № 156 vid 31.12.99 r [in Ukrainian].*
22. Chepelkynaia L. A. (1986). *Rukovodstvo po opredeleniyu hidrohrafycheskykh kharakterystyk kartometrycheskym sposobom [The Guidelines for the determination of hydrographic characteristics by cartometric method]. Leningrad: Hydrometizdat [in Russian].*

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 20 January 2021

Accepted 27 June 2021

Elevation modelling of an area of the Siverskyi Donets riverbed (near Haidary village, Chuguyevskiy district, Kharkiv region)

Kateryna B. Borysenko¹,

PhD (Pedagogical), Associate Professor, Department of Physical Geography and Cartography,

¹V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,

e-mail: k.borysenko@physgeo.com, <http://orcid.org/0000-0002-7435-6857>;

Vladyslav S. Popov¹,

Senior Lecturer, Department of Physical Geography and Cartography,

e-mail: admin@physgeo.com, <http://orcid.org/0000-0002-5960-631X>;

Polina O. Oblogina¹,

Bachelor (Geography), Department of Physical Geography and Cartography,

e-mail: p.oblogina@physgeo.com, <https://orcid.org/0000-0001-5531-6887>

ABSTRACT

Formulation of the problem. The article represents the practical experience of the bottom echo sounding and processing of the data received for digital elevation modelling. The relevance and specificity of using sonar equipment to study the specificity of the morphology of the underwater relief of small hydrological features are covered. The domestic and foreign publications in this area are analysed, and therefore the conclusion of the issue being not studied enough in domestic sources is made.

Methods. The analysis of literature sources on modelling the river network, visualization of relief models. The bathymetric survey data was used to compile a bathymetric map of the river and build a digital elevation model.

The purpose of the article is sharing developer experience in making of digital elevation models of a section of the riverbed on the example of the Siverskyi Donets River (near Haidary village, Chuguyevskiy district, Kharkiv region). Processing of measurement data received as a result of echo sounder surveys. Preservation and recording of general information received to expand the river bottom relief database. Provide an overview of the uses and applications of geoinformation technologies, determine the research prospects based on the developed digital elevation models.

Results. The results of echo sounding and post-processing of the data received using specialized software are presented. The section of the Siverskyi Donets River in the area of the geographical educational and scientific station «Haidary» was chosen as the territory for the hydrographic research (Haidary village, Chuguyevskiy District, Kharkiv region). The field part of the research was conducted using the equipment of the material and technical basis of the Physical Geography and Cartography Department of the V. N. Karazin Kharkiv National University, for instance using the Lawrance Elite 7 TI chartplotter-echosounder with modern scanning modes CHIRP, DownScan, StructureScan.

Scientific novelty and practical significance. The specificity of creating and visualizing in the ReefMaster software package is covered in the article. A model of the bottom of the corresponding section of the Siverskyi Donets River and a depth map, which will allow the future analysis of the dynamics and the prediction of changes of the bed configuration, have been developed on the basis of the field work results. The advantages of using budget equipment and software for performing underwater relief studies of such hydrological objects are formulated. The novelty of the study is not only the use of the methodological foundations of digital modelling, but also the alternative classification approaches for describing the relief and conducting morphostructural analysis based on the GIS technologies.

Keywords: digital elevation model, echo sounder, the Siverskyi Donets, hydrography, bathymetry, map, sonar.

In cites: Borysenko K. B., Popov V. S., Oblogina P. O. (2021). Elevation modelling of an area of the Siverskyi Donets riverbed (near Haidary village, Chuguyevskiy district, Kharkiv region). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (55), 128-140. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-10>

Introduction. Modern hydrography has undergone radical changes in recent years, mainly due to the massive introduction of personal computers, satellite navigation technologies and the creation of new sonar tools based on the digital methods of primary and secondary information processing, as well as data registration in digital form. All this facilitated a radical increase in the amount of hydrographic information, which made it possible to receive data on the underwater relief with almost the same accuracy as topographic methods of land survey provide [21, 2].

Geoinformation technologies are widely used in hydrology, considering the main hydrological

tasks are distinctly spatial. Currently, there are a lot of developed geographic information systems (GIS) and similar applications-driven technologies. In turn, they have different purposes, means for organizing data, and territorial coverage [7].

Relevant researches, developments and research-based technologies of studying the bottom of water areas and various underwater objects (including potentially dangerous ones) by sonar in the ocean, on the shelf and inland waters, are implemented to increase the effectiveness of underwater research, as well as emergency prevention and monitoring of the environmental situation. In this case, technology is understood as a set of software and

hardware resources, as well as a science-based method of their formation and use for researches, including mapping the relief, objects, their parts, studying morphology, recording changes and sizes of landforms, objects, and trends in their dynamics.

Accurate digital elevation models of riverbed are a fundamental instrument of river research. Through the research area has a wealth of hydrological objects, it will be especially appropriate to conduct more fundamental multidimensional bathymetric researches of the Siverskyi Donets River at modern scientific and technical levels, the results of which would be suitable for further practical use.

Formulation of the problem. To build elevation models of river valleys, satellite images are mainly used, which do not contain enough data to build an accurate map of depths, especially of small hydrological objects. Ground-based observations of rivers, lakes, and reservoirs are often of low quality, their automatization faces a lot of different problems, and they also do not provide a complete picture for the researches. So far, almost all the action taken do not solve the problem of increasing the number and improving the quality of hydrological observations. Researches conducted in Ukraine are mainly focused on navigable rivers and use low-cost equipment. So, our goal was to find an effective and reasonably priced method for studying river valleys and riverbeds.

Analysis of recent researches and publications. In the Ukrainian scientific literature, issues concerning river network modelling and data analysis are not covered enough. A significant number of scientific works are dedicated to the problem of relief models visualization, for instance, we can emphasize the work of scientist I. Yu. Vasilicha [3], which considers the issue of the specificity of digital modelling of complex types of relief. The issue is considered more widely in the studies of V. A. Avdeev, R. S. Filatov, V. A. Mukhudinov and V. N. Radionov [1], dedicated to the research of difficulties of spatial mapping of land, Yu. G. Firsov's studies [22], which provide an overview of digital models of the bottom; V. V. Khromykh and O. V. Khromykh's studies [23], dedicated to digital models of relief.

In [15], a method of performing depth soundings works, based on combining the differential method of GPS coordinate determination and the method of radio-controlled echo sounding, is proposed.

To study the dynamics of the relief of the bottom and a number of other practical tasks of hydrology, it is necessary to know the structure of the riverbed, control and take into consideration the modification of its parameters. However, the relief of the bottom of continental bodies of water is not often

displayed on topographic maps, and there is not enough up-to-date information about the depths of rivers and even significant bodies of water. The lack of bottom relief images is explained by the labour-intensive process of making measurements [24, 5].

In the researches by A. J. Kaeser, echo sounder surveys are successfully used in various types of bathymetric, biological, and archaeological researches [27, 28].

A. V. Pogorelov and Zh. A. Dumit in their monograph, present the analysis of the multi-level morphological structure of the basin relief using digital modelling on the example of the Kuban River Basin [17].

The original method of measuring river depth, which can be attributed to hybrid measurement systems, is proposed in the work by F. Bandini and others who used a compact single-beam echo sounder attached to an unmanned aerial vehicle (UAV) [26].

Bathymetric mapping in Ukraine is mainly used for lakes and reservoirs. For instance, within the framework of the project «Danube lakes: sustainable restoration and conservation of the natural state of ecosystems», conducted in 2001-2002, an integrated study and mapping of lakes of the Lower Basin of the Danube River was carried out. The authors performed bathymetric and lithological surveys of the bottom of Lakes Yalpuh and Kuhurlui. Scientists O. M. Trofymchuk, H. Ya. Krasovsky, V. V. Radchuk, V. I. Mokry conduct sonar studies of the lakes of the Shatsk National Natural Park (NNP) on a regular basis [20]. V. O. Martyniuk, S. V. Andriychuk, and I. V. Zubkovich study the modelling of lakes in the Polissia region using bathymetric surveys [13].

In our previous work, we considered bathymetric studies of the Siverskyi Donets River using echo sounder surveys as an object of study for educational needs during practical training [11].

A. I. Honchar regards a set of measures for the development of sonar devices in Ukraine. It includes fundamental and applied hydroacoustic researches, among which the study of bottom relief, the study of the composition and properties of bottom soils, sedimentary rocks, acoustic interaction of the water column and bottom, the creation of geological and acoustic models of particular areas, as well as the creation of echo sound information and analytical technologies, which is interpreted to mean a holistic process of collecting, processing and delivering of information to the consumer [4].

Summing up the above, we can say that this type of research is in demand, up-to-date and forward-looking, but there are not enough works devoted to this particular topic.

Purpose and objectives of the study. The purpose of this work is to present the experience of de-

veloping digital elevation models of a section of the riverbed on the example of the Siverskyi Donets River (near Haidary village, Chuguevskiy district, Kharkiv region). Processing of measurement data received as a result of echo sounder surveys. Preservation and recording of general information received to expand the river bottom relief database. Provide an overview of the uses and applications of geoinformation technologies, determine the research prospects based on the developed digital elevation models.

Presentation of the main material. The Siverskyi Donets is the largest river in eastern Ukraine and at the same time the longest right tributary of the Don. The length of the Siverskyi Donets River within the country is 723 km of the total length (1053 km), and the basin area is 54500 km², which is 55% of the total catchment area. According to the administrative and territorial structure of Ukraine, the territory of this basin is located within Kharkiv, Luhansk and Donetsk regions, and according to the hydrological zoning of the country, it borders by the Dnipro catchment area in the West, and by the Don watershed in the North and East. The Siverskyi Donets basin is located along the southwestern border of the East European Platform, where the foundation surface is complicated by the Donetsk and Black Sea trenches [2].

The Siverskyi Donets riverbed is quite winding. The valley is asymmetrical at a large length and has a complex of accumulative terraces extending along its left slope. The floodplain terrace of the Siverskyi Donets River in Zmiiv city has a width of up to 3 km and is characterized by a flat, sometimes wetland surface with numerous oxbow lakes. In the river valley, a unique natural complex has developed, that includes a wide floodplain of the river with numerous meanders, lakes, swamps and oxbow lakes. The surface of this terrace in the riverbed part is a pile of sandy hills – «mounds», between which there are lakes and wetlands.

The most important modern geological processes are: water erosion – everywhere; landslide formation – on steep river slopes; flooding – in river valleys and on levelled areas of plateaus. Furthermore, the anthropogenic contribution of these processes prevails over the natural one. The Siverskyi Donets basin has a complex geological structure. Ascending neotectonic motions are its special feature. These motions facilitate the cutting of river valleys, the spread of ravines and the activation of erosion processes.

The Right Bank of the Siverskyi Donets is most vulnerable to rock erosion, as it is located on high and steep catchment areas. In these areas, up to three-quarters of the total land area is destroyed by water erosion processes. Wind erosion is also quite

common, especially on sand massifs which are not anchored by vegetation.

Riverbed processes observed on the river include the following: 1) meandering; 2) bottom erosion; 3) bank hydrodynamic scour; 4) siltation, formation of shallows, overgrowth, waterlogging of banks, shallowing of riverbed sections; 4) littering of banks, accumulation of fallen trees, sunken logs, floating garbage [19].

Meandering happens due to the bank hydrodynamic scour on concave sections of the riverbed, moving washed-out soils downstream and causing the sediment of them in curved areas where the current speed slows down. Numerous oxbow lakes, floodplain lakes, swamps that have a characteristic elongated and rounded appearance were formed from the remains of the meanders, and are located mainly along the left-bank part of the floodplain [2].

Bank hydrodynamic scour with their falls, scours and falling trees is a common phenomenon, due to the recent decrease in the intensity of spring floods, scours and destruction of banks has also decreased, but remains significant on the banks which are not anchored. We can observe intense siltation of the riverbed and channels, formation of shallows, overgrowth, waterlogging of the banks along the entire riverbed of the Siverskyi Donets.

For this reason, this area is of particular importance for studying the changes in relief and riverbed processes.

Digital elevation models of the Earth surface, as one of the most important geographical features, are becoming important in geoinformation systems. GIS models are created in three dimensions, and the main part of such models, in addition to latitude and longitude, is also data on altitude [23].

The first experiment on creating digital elevation models (DEM) was conducted during the oldest stages in the development of geoinformatics and automated cartography in the first half of the 1960s [8]. One of the first DEMs of the land was made in 1961 at the Department of cartography of the Military Engineering Academy [14]. 3D colour models of the sea beds, rivers, and other bodies of water surface, and DEMs, on the basis of which they were developed, are the most common means of visualizing and modelling underwater landscapes.

The digital elevation model is the main element of any hydrological model, or basin geographic information system, since it allows to determine a significant number of morphometric and hydrographic characteristics of rivers and their basins: flow direction vectors, thalwegs, watersheds, catchment areas, stream orders, and stream gradients. Furthermore, the accuracy of automatic determination of hydrographic characteristics depends on the nature of the terrain, as well as on the resolution of the DEM.

Using the data of the bottom DEM, it is possible to conduct morphostructural analysis, which is aimed to study the properties of the modern and ancient relief of the Earth surface in order to study its origin and history of development. The advantageous function of bottom DEM data is the ability to calculate all the necessary morphometric data.

Digital elevation models are the foundation of solving a rather broad range of tasks using GIS technologies, the main of which are:

- visualization of relief in two-dimensional and three-dimensional images;
- determination of morphometric characteristics of the relief;
- mapping of steepness and exposition of slopes;
- mapping of the longitudinal and transverse steepness of slopes;
- calculation and visualization of visibility and invisibility zones for one or a system of points;
- calculations of volumes regarding the requested altitude level;
- constructing profiles;
- mapping streamlines;
- extraction of structural lines of relief, including lines of the erosion network, watersheds, and contouring of catchments.

Therefore, there is a need to use the available geological and geomorphological information. However, when digital mapping the bottom relief, its origin, structural features, paleogeographic conditions of formation and modern features of development are almost not taken into account, geophysical, geological, geomorphological and other data are not involved, and their comprehensive analysis is not carried out.

The most important factors impacting the accuracy and quality of bathymetric DEMs are: 1) the data received from the Triangulated Irregular Network vary in the accuracy; 2) problematic of the DEM results interpolation in areas where depth measurements were not carried out; 3) the presence

of artefacts in the DEM, which significantly reduces their quality and limits the possibility of their further use.

River elevation models that continuously represent underwater river topography are useful for hydrological modelling, as well as for their further use. There are two main methods of obtaining data, on which bathymetric DEM systems are based: echo sounding and satellite altimetry. Technological progress in echo sounding and ship navigation systems led to a revolution in depth mapping about three decades ago. Currently, two types of acoustic data are available: single-beam profile survey data and two-dimensional multibeam survey data.

Echo sounder allows visualizing the surfaces of the bottom in quite high definition. Due to the fact, that various sonar devices are available, the capacities to conduct researches on inland waters has significantly enhanced.

There are a large amount of sonar devices that can be used not only for fishing, but also for scientific tasks today.

The development of sonar systems for underwater exploration began in the early 1900s. At the end of the XIX century, the underwater bell was used as an auxiliary instrument for lighthouses or lightvessels as a hazard warning [30].

The Titanic disaster in 1912 caused the use of sound for «echo» underwater, in the same way that bats use sound for air navigation [25].

During the 1960s, a new system that could create two-dimensional images of cross-sectional areas of the bottom emerged. Since then, the side-scan sonar has been widely used for mapping navigation channels, mapping the marine environment, and searching large areas for sunken vessels [27].

The way the echo sounder works is that it sends sound pulses down through the water (Fig. 1), and when these pulses reach objects such as fish, vegetation, or the bottom, they reflect off and return to the surface. The echo sounder measures the time it takes for a sound wave to move down, reach an object, and

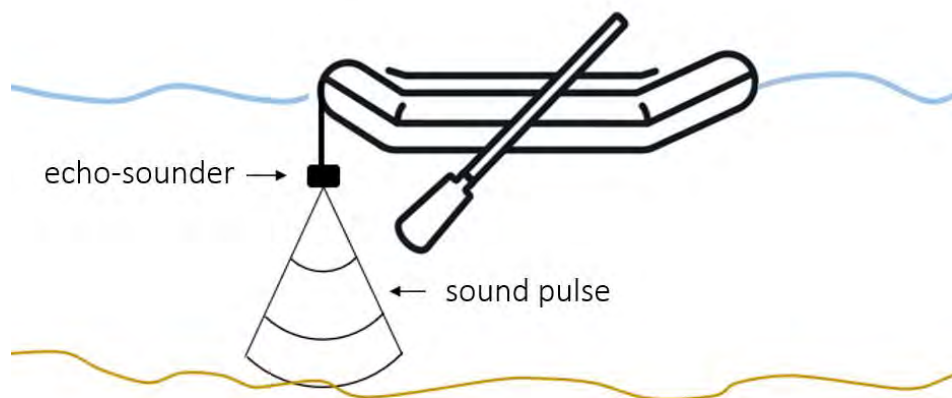


Fig. 1. Scheme of the echo sounder working principle

return. This is the same echolocation system that bats and dolphins use. This information allows the device to estimate the depth at which the detected object is located. It also measures the strength of the feedback pulse – the more solid objects are, the stronger the feedback pulse is [6]. As long as the sound waves move at a speed of about 1600 meters per second in water, echo sounders can send multiple pulses per second. Feedback sound pulses are converted into electrical signals, which are then displayed on the screen, showing the depth and solidity of the bottom and various objects.

During the study of the objects, the following scientific and application-oriented tasks are solved:

- search for objects of synthetic and natural origin, determination of their location, distribution, and building figures showing the location (mapping);
- morphology research, including bathymetric survey of landforms; study of precipitation transfer processes; geological and geotectonic studies;
- archaeological researches;
- engineering and geophysical surveys (preliminary survey of underwater pipelines, cables, oil and gas terminals, trenches);
- survey of engineering sites.

During the weekend expedition on September 18, 2021, at the initiative of the Physical Geography and Cartography Department of the V. N. Karazin Kharkiv National University, the measurement works were carried out to build an elevation model of the Siverskyi Donets River bottom section. The first phase involved bathymetric examination of the river bottom. The survey was performed using the Lowrance Elite 7 Ti. This chartplotter-echosounder is a multifunctional device that allows not only to scan the bottom relief and measure water temperature, but also to create maps of depths.

This device was installed behind on the transom of a small rubber boat, directly in the water and usually slightly below the bottom of the boat. The echo sounder model equipped with a built-in 16-channel GPS/GLONASS, which provides a quite high positioning accuracy and the possibility of additional refinement using WAAS+EGNOS+MSAS data [29].

The main advantages of the echo sounder Lowrance Elite 7 Ti is the availability of CHIRP, DownScan Imagin and StructureScan HD, which provide a complete survey of the bottom of water areas. CHIRP is a compressed pulse of high-intensity that sends a high pulse energy into the water column. A standard sonar sends just one pulse into the water column, which provides a limited report that is affected by many factors and conditions in the aquatic environment. CHIRP technology im-

proves bottom monitoring at higher depths and at higher speeds, it sends a whole beam from low to higher frequencies. This allows to generate images using the full frequency range. The pulse enables a clear and accurate identification of objects that are close to each other, and gives an accurate view of the image. As a result of using this technology, the detailing and accuracy of the image received by the echo sounder significantly increases.

Using the DownScan sonar, the beam is emitted not in the form of a cone, but in a very narrow longitudinal and wide transverse direction. Due to the fact, that the beam is very narrow in the direction of movement of the boat, the resolution of scanning of the DownScan is much higher than that of a classic echo sounder.

The StructureScan HD sonar allows to scan the underwater relief in three different directions, enabling a clear panoramic image of everything under the boat, scan the bottom from the left and right sides of the boat at a depth of up to 100 m. It creates a connected to coordinate sonogram in the form of a bitmap image of the bottom, which allows identifying objects of natural and anthropogenic origin visually.

After the measurement is completed, the results are stored in the memory of the device, and then they are processed on-site.

In most cases, the volume of each echo sounder profile is from 5 to 30 thousand measured values, depending on the frequency and time of recording to a single file. Each value contains information about the coordinates of the survey point, depth, date and time of echo sounding, water surface temperature, shift relative to the previous measurement point, and other supporting information. Only coordinate and depth values are used in the processing process.

3D colour models of the seabeds, rivers, and other bodies of water surface, and DEMs, on which basis they were developed, are the most common means of visualizing and modelling underwater landscapes. Special software is used to create 3D colour models of the bottom surface and DEMs, on which basis they were developed [16].

There are several software packages for creating bathymetric maps, for example: ArcGIS, DrDepth, HumViewer, SASPlanet, Surfer, PyHum and ReefMaster, etc.

The steps of obtaining a bathymetric chart involves converting echo profile data to visualize the results of hydroacoustics sounding. The depth distribution map was made using the ReefMaster software, due to the fact, that this program is one of the most accessible and easy to use. Using it, one can view sonar scanner logs and edit course, as well as create three-dimensional bathymetric maps and side view mosaics [31]. This program allows

collecting sonograms received by the echo sounder into a single hydrographic mosaic and perform its geographical reference. In general, the use of the Lowrance chartplotter-echosounder and the ReefMaster program is sufficient for working in small reservoirs with insignificant depth in order to obtain a high-quality bathymetric map.

The data, that is imported from the echo sounder, is stored as a file with the *.sl2 extension, therefore, the converting for the future use is needed. The advantage of the chosen program is the ability not only to convert, but also to see the map before converting to a two-dimensional visualization form of

the profile. Another feature of this program is the ability to correct data (Fig. 2) if the echo sounder recorded them incorrectly.

At this point, it is possible to record the features of the bottom relief characteristics and determine their coordinates. Analysing the received sonogram, we can conclude that it can be used to detect small objects (Fig. 3), as well as to analyse riverbed processes and structural elements of the bottom relief.

To clarify the shape of the coastline, we used the Google Earth Pro software (Fig. 4). Using the polygon function, the riverbed of the surveyed sec-

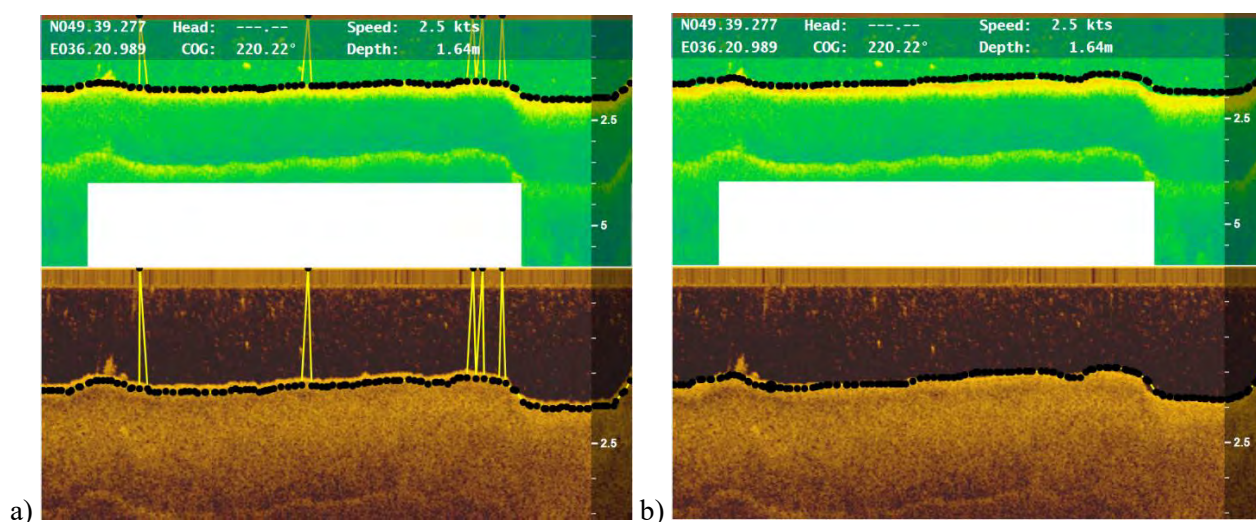


Fig. 2. Editing the echo sounding in the ReefMaster software: a) before editing b) after editing

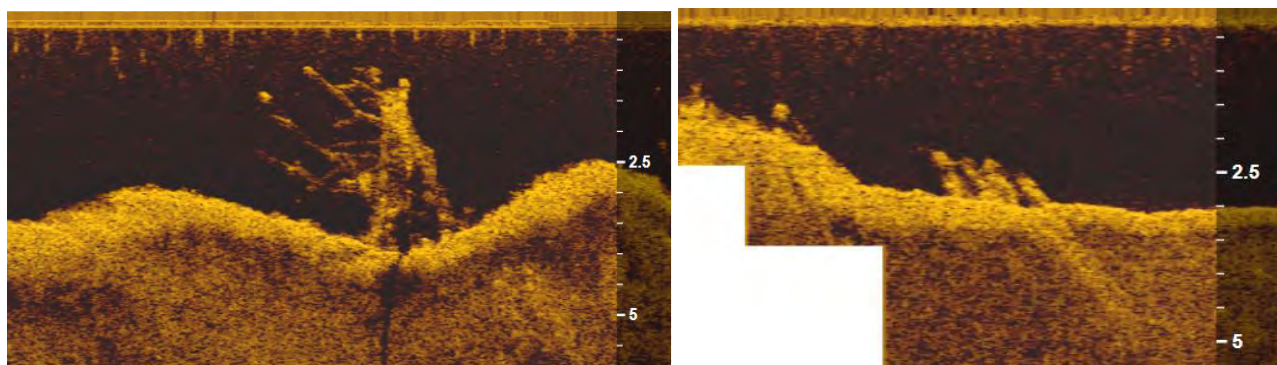


Fig. 3. Objects found using StructureScan

tion of the river was modelled. After that, this layer was saved in the *.kmz extension, which can be directly uploaded to ReefMaster (Fig. 5).

The depth values received using the chartplotter-echosounder are automatically converted into a bathymetric map, where it is possible to see the features of the bottom relief. It is appropriate to compare the results received as a digital map of the bottom relief (Fig. 6.) and the results of multi-year observations, which were obtained using traditional methods, during student practical trainings, as well as the results of scientific researches and expeditions

in the geographical educational and scientific station «Haidary» area.

Unlike a two-dimensional map, three-dimensional elevation models allow seeing with your own eyes and visually assessing the shape and «plasticity» of the relief, boundaries of geomorphological units, and even features of the riverbed structure (Fig. 7) [23].

Specialists, working in various areas of geography and geomorphology, quite widely use digital elevation models, based on regular coordinate grids. The demand for this kind of data is mainly determi-



Fig. 4. Territorial localization of the surveyed section of the Siverskyi Donets River

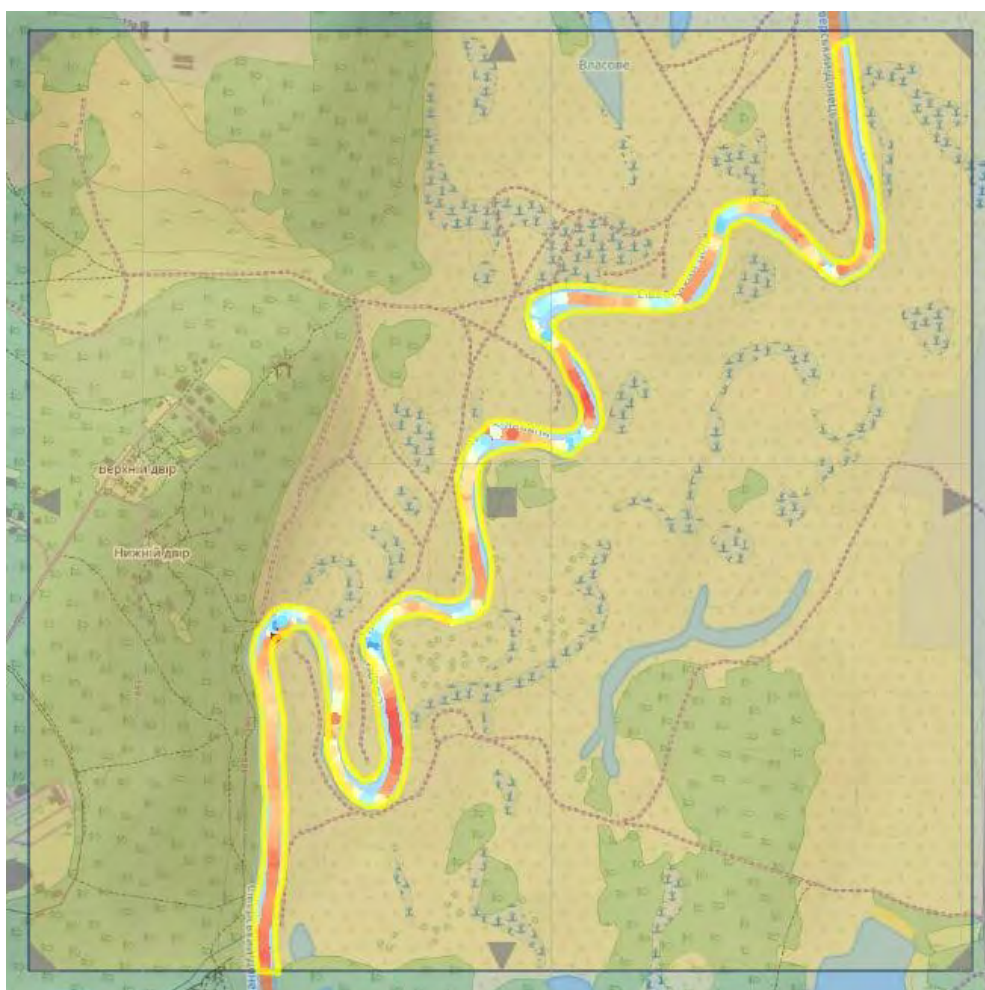


Fig. 5. Clarified coastline of the Siverskyi Donets River

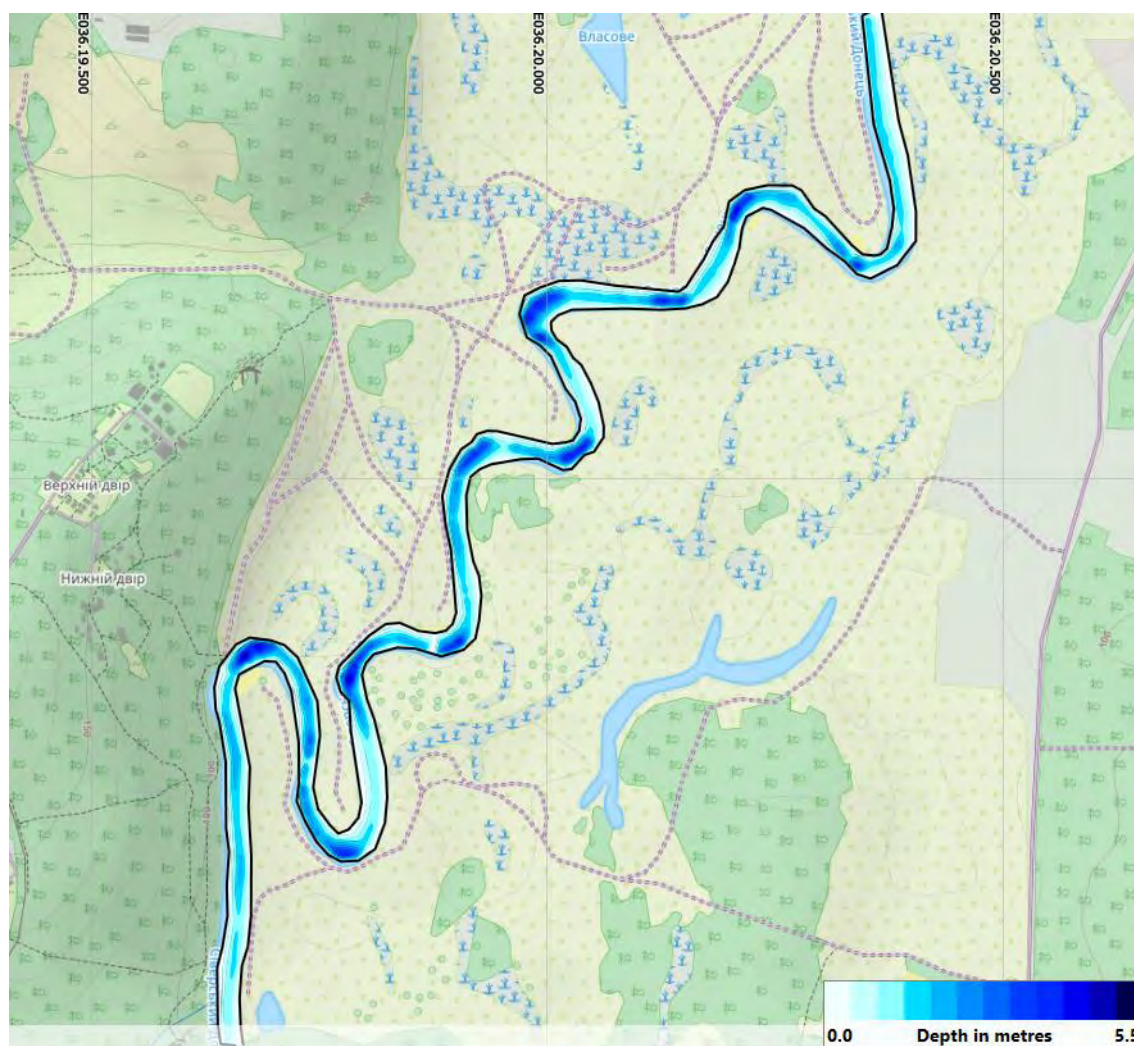


Fig. 6. Digital 2D model of the bottom relief of a section of the Siverskyi Donets River

ned by the increasing availability of these models, the globality of the territory coverage, the ability to use different levels of generalization and the promptness of solving various problems that require a quantitative approach with their help [12].

The digital elevation model displays the bottom relief on the specified scale without losing the initial details, and also makes it possible to build bottom relief profiles with any frequency and in any direction and use morphometric analysis tools in GIS.

Modelling of the bottom relief of large water areas is always carried out with scarce hydrographic survey data, so a balanced and detailed study of the bottom relief should not be expected in the near future.

Algorithms integrated into modern GIS software also allow to calculate several hydrological parameters using DEM (length of runoff lines, drainage area, volume, water consumption), and map algebra tools allow to arbitrarily transform and combine DEM according to the certain rules. For instance, the use of appropriate algorithms helps to calculate important environmental parameters involved in the morphology of the Earth surface [18].

The digital elevation model of the bottom of marine areas is the most important component of the spatial database of geoinformation systems. Data on the properties of the bottom relief are necessary both for solving fundamental problems and for a wide range of applied researches [9].

Conclusions. The relief mapping is one of the constant and relevant problems of cartography. Throughout history, new ways of depicting it have been emerging. They have been developing, improving, and emerging, ranging from perspective to the latest digital methods.

The development of three-dimensional modelling and animation technologies has led to the creation of virtual geo images that combine the characteristics of a map, perspective image, block map, and computer animation. They create an illusion of being present in the real space and the possibility of interactivity.

Based on the results of the expedition conducted near Haidary village, the depth and bottom relief of the Siverskyi Donets were studied using a chartplotter-echosounder. Based on the data recei-

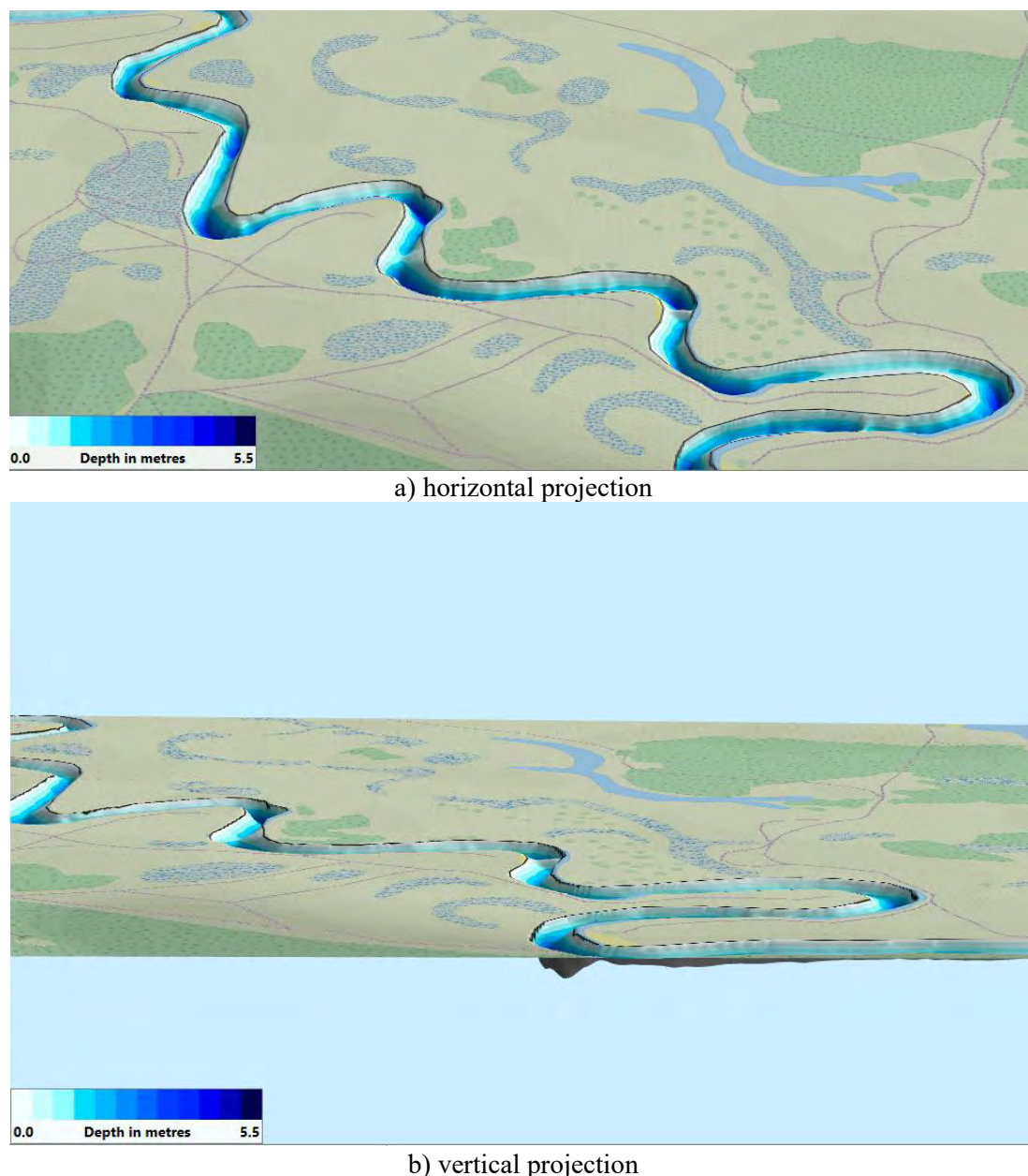


Fig. 7. Digital 3D model of the bottom relief of a section of the Siverskyi Donets River

ved using echo sounding, a bathymetric chart of the river is created. Data from bathymetric surveys and future creation of the DEM allow to assess the dynamics of changes in morphometric indicators of the Siverskyi Donets and analyse the spatial altitude and geological heterogeneity of the relief of the Siverskyi Donets River Basin within the Kharkiv region.

Similar researches can be developed at the interface of a number of disciplines – geomorphology, geology, geophysics, cartography, geoinformatics, acoustics, and mathematical modelling. At the same time, geomorphological studies are the basis for studying the morphology and dynamics of the relief; and geological, geophysical and geomorphological studies determine the genesis, age of the relief and its paleogeographic development; acoustic studies provide data on propagation speed of acoustic sig-

nals; cartographic and geoinformation studies make it possible to form a database, develop algorithms and programs, find solutions to cartographic and geodetic problems, and so on.

The novelty of the study is not only the use of the methodological foundations of digital modelling, but also the alternative classification approaches for describing the relief and conducting morphostructural analysis based on the GIS technologies.

The image of a relief is one of the most relevant problems of cartography, throughout history the forward-looking ways of depicting it have been emerging. The development of three-dimensional modelling and animation technologies has led to the creation of virtual geo images.

To sum up, it can be stated that the main components of the technology of studying the bottom of

water areas and underwater objects by sonar methods are: hydroacoustic means; means of navigation data binding; support equipment, including watercraft, as well as the methodology for developing hardware and software complexes to collect and process information and the methodology for their use to conduct researches. The use of a well-designed science-based methodology for carrying out work and a flexible system for processing the information received sometimes give a greater effect than the use of expensive equipment.

Bottom relief mapping can be attributed to con-

sistently relevant problems of cartography. And the development of modern technologies provides a wide range of opportunities for studying the underwater environment, and the relief, for instance. The creation of the bottom DEM takes hydrographic observations, researches and mapping of the bottom of water areas to a new level, providing efficient and accurate underwater data collection.

Also, in further field studies, a comprehensive survey using UAV is planned to develop a more complete characteristic of the Siverskyi Donets River.

Bibliography

1. Авдеев В. А. О цифровой топографической карте / В. А. Авдеев, Р. С. Мухудинов, В. А. Радионов В. Н. Филатов // *Геодезия и картография*. – 2010. – № 3. – С. 19-22.
2. Васенко О. Г. Сіверський Донець: Водний та екологічний атлас / О. Г. Васенко, А. В. Гриценко, Г. О. Карабаи, П. П. Станкевич та ін. [під ред. А. В. Гриценко, О. Г. Васенко]. – Х.: ВД «Райдер», 2006. – 188 с.
3. Василюх І. Ю. Особливості цифрового моделювання складних типів рельєфу / І. Ю. Василюх // *Геодезія, картографія та аерофотознімання*. – 2007. – Вип. 68. – С. 269-279.
4. Гончар А. І. Концепція розвитку гідроакустики в Україні / А. І. Гончар // *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану): Зб. наук. пр.* – Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України, 2006. – № 3. – С. 5-16.
5. Гофманн-Велленгоф Б. Глобальна система визначення місцеположення (GPS). Теорія і практика / Б. Гофманн-Велленгоф, Г. Ліхтенггер, Д. Коллінз. – Київ: Наук. думка, 1995. – 231 с.
6. Державне Агентство меліорації та рибного господарства України – Режим доступу: <https://darg.gov.ua>
7. Калинин В. Г. Применение геоинформационных технологий в гидрологических исследованиях: монография / В. Г. Калинин, С. В. Пьянков. – Пермь: «Алекс-Пресс», 2010. – 217 с.
8. Капралов Е. Г. Геоинформатика: Учеб. Для студ. Вузов / Е. Г. Капралов, А. В. Кошкарёв, В. С. Тикунов [и др.]; под ред. В. С. Тикунова. – М.: «Академия», 2005. – 480 с.
9. Ковальчук І. П. Автоматизована екологічна класифікація елементів рельєфу та її застосування для вивчення річково-долинних ландшафтів / І. П. Ковальчук, О. С. Мкртчян // *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. – 2008. – Вип. 35. – С. 159-164.
10. Колосков Е. Н. Применение современных гидрографических технологий для изучения рельефа и донного га-зопроявления в северных морях России / Е. Н. Колосков, Ю. Г. Фирсов // *Вестник государственного университета морского и речного флота им. Адмирала С. О. Макарова*. – 2015. – №3 (31). – С. 54-62.
11. Лунячек В. Е. Оптимізація методики гідролого-геоморфологічних досліджень як інструменту формування спеціальних компетентностей сучасного фахівця-географа / В. Е. Лунячек, О. І. Сінна, К. Б. Борисенко, В. С. Попов // *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. – 2019. – Вип. 29. – С. 6-15. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2019-29-01>
12. Мальцев К. А. Использование цифровых моделей рельефа для автоматизированного построения границ водосборов / К. А. Мальцев, О. П. Ермолаев // *Геоморфология*. – 2014. – №1 – С. 45-52. <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2014-1-45-52>
13. Мартинюк В. О. Досвід батиметричного моделювання та ландшафтного картографування озер Поліського регіону України / В. О. Мартинюк, С. В. Андрійчук, І. В. Зубкович // *Географія та екологія: наука і освіта: зб. матеріалів*. – 2020. – С. 116-124 <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-73-0/2.6>
14. Новаковский Б. А. Цифровые модели рельефа реальных и абстрактных геополей / Б. А. Новаковский, С. В. Прасолов, А. И. Прасолова - М.: Научный мир, 2003. – 64 с.
15. Пат. 82812 Україна, МПК (2006) G01S15/00. Спосіб виконання промірних робіт / В. Г. Бурачек, Л. С. Мамонова, С. І. Слабак; заявник та патентовласник Чернігівський державний інститут економіки і управління. – № а2007 08035; заявл. 16.07.2007; опубл. 12.05.2008. Бюл. № 9.
16. Пилипчук Є. Перші результати використання безпілотних авіаційних комплексів FLIRT Cetus для потреб складання та оновлення морських і річкових навігаційних карт / Є. Пилипчук // *Вісник «Держгідрографії»*. – 2020. – № 2 (59). – С. 15-17.
17. Погорелов А. В. Рельеф бассейна р. Кубань: Морфологический анализ / А. В. Погорелов, Ж. А. Думит. – М.: «ГЕОС», 2009. – 220 с.
18. Пронь Т. Порівняльний аналіз програмного забезпечення для створення цифрових моделей рельєфу морського дна / Т. Пронь // *Вісник «Держгідрографії»*. – 2019. – №1 (56). – С. 9-13.
19. Техніко-економічне обґрунтування «Поліпшення гідрологічного режиму та покращення екологічного стану р. Сіверський Донець в Харківській, Донецькій та Луганській областях». Пояснювальна записка. Державний регіональний проектно-вишукувальний інститут «Дніпродіпродгосп». Дніпро. – 2017. – Т.1. – 90 с.

20. Трофимчук О. М. Інформаційно аналітичні технології дослідження озер Шацького НПП / О. М. Трофимчук, Г. Я. Красовський, В. В. Радчук, В. І. Мокрий // Збірник наукових статей. III Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю, Вінниця, 21-24 вересня 2011 р. – Т. 1. – С. 130-133.
21. Фирсов Ю. Г. Основы гидроакустики и использования гидрографических сонаров / Ю. Г. Фирсов. – СПб. : Нестор-История, 2010. – 348 с.
22. Фирсов Ю. Г. Цифровые модели рельефа дна в электронной гидрографии / Ю. Г. Фирсов // Геодезия и картография. – 2008. – № 4. – С. 49-53.
23. Хромых В. В. Цифровые модели рельефа: Учебное пособие / В. В. Хромых, О. В. Хромых. – Томск : «ТМЛ-Пресс», 2007. – 178 с.
24. Чалов Р. С. Русловые исследования / Р. С. Чалов. – М. : Изд-во МГУ, 1995. – 106 с.
25. Ainslie M. A. Principles of Sonar Performance Modeling / M. A. Ainslie // Springer. – 2010. – P. 10. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-87662-5>
26. Bandini F. Technical note: Bathymetry observations of inland water bodies using a tethered single-beam sonar controlled by an unmanned aerial vehicle / F. Bandini, D. Olesen, J. Jakobsen, C. M. M. Kittel, Sh. Wang, M. Garcia, Pe. BauerGottwein // Hydrol. Earth Syst. Sci. – 2018. – V. 22. – P. 4165-4181. <https://doi.org/10.5194/hess-22-4165-2018>.
27. Kaeser A. J. An assessment of deadhead logs and large woody debris using side scan sonar and field surveys in streams of southwest Georgia / A. J. Kaeser, T. L. Litts // Fisheries. – 2008. – № 33 (12). – P. 589-597. <http://dx.doi.org/10.1577/1548-8446-33.12.589>
28. Kaeser A. J. Using low-cost side-scan sonar for benthic mapping throughout the Lower Flint River, Georgia, USA / A. J. Kaeser, T. L. Litts, T. W. Tracy // River Research and Applications. – 2012. – № 29. – P. 634-644. <https://doi.org/10.1002/rra.2556>
29. Lowrance – Режим доступу: <https://www.lowrance.com/en-au/>
30. Neighbors T. Applied Underwater Acoustics: Leif Bjørnø, Elsevier / T. Neighbors, D. Bradley, 2017. – P. 8.
31. ReefMaster Reference Manual V2.0. – Режим доступу: <https://reefmaster.com.au/reference2/index.htm>

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

References

1. Avdeev, V.A., Mukhudinov, R.S., Radionov, V.A., Filatov, V.N. (2010) About digital topographic map. *Geodesy and cartography*, 3, 19-22.
2. Vasenko, O. H., Hrytsenko, A.V., Karabash, H.O., Stankevych P.P. et al. (2006) *Seversky Donets: Water and ecological atlas*. Kharkiv: VD Raider, 188.
3. Vasylykha, I.Yu. (2006) Peculiarities of digital modeling of complex types of relief. *Geodesy, cartography and aerial photography*, 68, 269-279.
4. Honchar, A. I. (2006) The concept of hydroacoustics development in Ukraine. *Hydroacoustic Journal*, 3, 5-16.
5. Hofmann-Vellenhof, B., Likhtenher H., Kollinz, D. (1995) *Global Positioning System (GPS). Theory and practice*. Kyiv: Nauk. dumka, 231.
6. State Agency for Land Reclamation and Fisheries of Ukraine. Available at: <https://darg.gov.ua>
7. Kalinin, V.G., Pyankov S.V. (2010) Application of geoinformation technologies in hydrological research. Perm: «Aleks-Press», 217.
8. Kapralov, E.G., Koshkarev, A.V., Tikunov, V.S. [et al.] (2005) *Geoinformatics*. M., Academy, 480.
9. Kovalchuk, I.P., Mkrtchian O.S. (2008) Automated ecological classification of relief elements and its application for studying river-valley landscapes. *Bulletin of Lviv University. Ser. Geographical*, 35, 159-164.
10. Koloskov, E.N., Firsov, Yu.G. (2015) Application of modern hydrographic technologies to study the relief and bottom gas show in the northern seas of Russia. *Bulletin of the State University of the Navy and River Fleet*. Admiral S.O. Makarov, 3(31), 54-62.
11. Luniachek, V.E., Sinna, O.I., Borysenko K.B., Popov V.S. (2019) Optimization of the method of hydrological and geomorphological research as an instrument in the formation of a modern geographer's special competences. *Problems of continuing geographical education and cartography*, 29, 6-15. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2019-29-01>
12. Mal'tsev K.A., Yermolaev O.P. (2014) Using digital elevation models for automated construction of catchment boundaries. *Geomorfologiya*, 1, 45-52. DOI: <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2014-1-45-52>
13. Martyniuk, V.O., Andriichuk, S.V., Zubkovych I.V. (2020) Experience of bathymetric modeling and landscape mapping of lakes of Polissya region of Ukraine. *Geography and ecology: science and education*. 116-124. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-73-0/2.6>
14. Novakovskiy B. A., Prasolov S. V., Prasolova A. I. (2003) Digital elevation models of real and abstract geofields. *M., Scientific world*, 64.
15. Pat. 82812 Ukraine, IPC (2006) G01S15/00. Method of performing measuring works / V.G. Burachek, L.S. Mamontova, S.I. Slabak; applicant and patent owner Chernihiv State Institute of Economics and Management. - № a2007 08035; declared 16.07.2007; publ. 12.05.2008 Bull. № 9.
16. Pylypchuk Ye. (2020) The first results of the use of FLIRT Cetus unmanned aerial vehicles for the needs of compiling and updating marine and river navigation maps. *Bulletin of the State Hydrography*, 2(59), 15-17.
17. Pogorelov, A.V., Dumit, Zh.A., (2009) The relief of the Kuban river basin: Morphological analysis]. *M., GEOS*, 220.

18. Pron T. (2019) Comparative analysis of software for creating digital models of seabed relief. *Bulletin of the State Hydrography*, 1 (56), 9-13.
19. Tekhniko-ekonomichne obhruntuvannia «Polipshennia hidrolohichnoho rezhymu ta pokrashchennia ekolohichnoho stanu r. Siverskyi Donets v Kharkivskii, Donetskii ta Luhanskii oblastiakh». Poiasniuvanna zapyska. Derzhavnyi rehionalnyi proektno-vyshukovalnyi instytut «Dniprodiprovodhosp». Dnipro.
20. Trofymchuk, O.M., Krasovskiy, H.Ya., Radchuk, V.V., Mokryi V.I. (2011, September 21-24) Information-analytical technologies of research of lakes of Shatsky NNP. 1, 130-133.
21. Firsov, Yu.G. (2010) Basics of hydroacoustics and the use of hydrographic sonars. SPb., Nestor-istoria, 348.
22. Firsov, Yu.G. (2008) Digital underwater topography models in electronic hydrography. *Geodesy and cartography*, 4, 49-53.
23. Khromykh, V.V., Khromykh, O.V. (2007) Digital elevation models. Tomsk, TML-Press, 178.
24. Chalov, R.S. (1995) River channel research. M., MSU, 106.
25. Ainslie M. A. (2010) Principles of Sonar Performance Modeling. Springer, 10. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-87662-5>
26. Bandini, F., Olesen, D., Jakobsen, J., Kittel, C.M.M., Wang, Sh., Garcia, M., BauerGottwein Pe. (2018) Technical note: Bathymetry observations of inland water bodies using a tethered single-beam sonar controlled by an unmanned aerial vehicle *Hydrol. Earth Syst. Sci.* Vol. 22, 4165-4181. <https://doi.org/10.5194/hess-22-4165-2018>.
27. Kaeser, A.J., Litts, T.L. (2008) An assessment of deadhead logs and large woody debris using side scan sonar and field surveys in streams of southwest Georgia. *Fisheries*, 33(12), 589-597. <http://dx.doi.org/10.1577/1548-8446-33.12.589>
28. Kaeser, A.J., Litts, T.L., Tracy, T.W. (2012) Using low-cost side-scan sonar for benthic mapping throughout the Lower Flint River, Georgia, USA. *River Research and Applications*, 29, 634-644. <https://doi.org/10.1002/rra.2556>
29. Lowrance. Available at: <https://www.lowrance.com/en-au/>
30. Neighbors, T., Bradley D. (2017) *Applied Underwater Acoustics: Leif Bjørnø*, Elsevier, 8.
31. ReefMaster Reference Manual V2.0. Available at: <https://reefmaster.com.au/reference2/index.htm>

Моделирование рельефа участка русла реки Северский Донец (в районе села Гайдары Чугуевского района Харьковской области)

Екатерина Борисовна Борисенко¹,

к. пед. н., доцент кафедры физической географии и картографии

¹Харьковского национального университета имени В. Н. Каразина,
пл. Свободы, 4, г. Харьков, 61022, Украина;

Владислав Сергеевич Попов¹,

ст. преп. кафедры физической географии и картографии;

Полина Олеговна Облогина¹,

бакалавр географии кафедры физической географии и картографии

В статье освещен практический опыт эхолотного сканирования дна водоемов, и обработка полученных данных для построения цифровых моделей рельефа. Раскрыта актуальность и особенности использования сонарной техники для изучения особенностей морфологии подводного рельефа небольших гидрологических объектов. Сделан анализ отечественных и зарубежных публикаций в этой сфере, по которым делается заключение о недостаточной разработанности вопроса в отечественных источниках. Представлены результаты эхолотной съемки и пост-обработки полученных данных с помощью специализированного программного обеспечения. В качестве территории гидрографического исследования было выбрано участок реки Северский Донец в районе учебно-научной географической базы «Гайдары» (с. Гайдары Чугуевского района Харьковской области). Полевая часть выполнена на оборудовании материально-технической базы кафедры физической географии и картографии Харьковского национального университета имени В. Н. Каразина, в частности с использованием эхолота-картплоттера Lawrance Elite 7 TI с современными режимами сканирования CHIRP, DownScan, StructureScan. В работе рассматриваются особенности создания и визуализации в программном пакете ReefMaster. По результатам полевых работ разработана модель дна соответствующего участка реки Северский Донец, карту глубин, которые позволят в будущем анализировать динамику и прогнозировать изменения русловой конфигурации. Сформулированы преимущества использования бюджетного оборудования и программного обеспечения для выполнения исследований рельефа дна подобных гидрологических объектов.

Ключевые слова: цифровая модель рельефа, эхолот, Северский Донец, гидрография, батиметрия, карта, сонар.

Моделювання рельєфу ділянки русла річки Сіверський Донець (в районі села Гайдари Чугуївського району Харківської області)

Катерина Борисівна Борисенко¹,

к. пед. н., доцент кафедри фізичної географії та картографії
¹Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна,
м. Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна;

Владислав Сергійович Попов¹,

ст. викл. кафедри фізичної географії та картографії;

Поліна Олегівна Облогіна¹,

бакалавр географії кафедри фізичної географії та картографії

У статті висвітлено практичний досвід ехолотного сканування дна водойм та обробки отриманих даних для побудови цифрових моделей рельєфу. Розкрито актуальність та особливості використання сонарної техніки для вивчення особливостей морфології підводного рельєфу невеликих гідрологічних об'єктів. Зроблено аналіз вітчизняних та зарубіжних публікацій у цій сфері, за яким робиться висновок про недостатню розробленість питання у вітчизняних джерелах. Представлено результати ехолотного знімання та пост-обробки отриманих даних за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. У якості території гідрографічного дослідження було обрано ділянку річки Сіверський Донець у районі навчально-наукової географічної бази «Гайдари» (с. Гайдари Чугуївського району Харківської області). Польову частину виконано на обладнанні матеріально-технічної бази кафедри фізичної географії та картографії Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, зокрема з використанням ехолота-картплотера Lawrance Elite 7 TI з сучасними режимами сканування CHIRP, DownScan, StructureScan. У роботі розглядаються особливості створення та візуалізації у програмному пакеті ReefMaster. За результатами польових робіт розроблено модель дна відповідної ділянки річки Сіверський Донець, карту глибин, що дозволять у майбутньому аналізувати динаміку та прогнозувати зміни руслової конфігурації. Сформульовано переваги використання бюджетного обладнання та програмного забезпечення для виконання досліджень рельєфу дна подібних гідрологічних об'єктів.

Ключові слова: цифрова модель рельєфу, ехолот, Сіверський Донець, гідрографія, батиметрія, карта, сонар.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 12 липня 2021 р.

Прийнята 19 жовтня 2021 р.

Диференціальна та недиференціальна урбанізація в Україні у радянську та пост-радянську еру

Олексій Костянтинівич Гаврилюк,

аспірант кафедри економічної та соціальної географії

Київського національного університету імені Тараса Шевченка,

вул. Володимирська, 64, м. Київ, 01601, Україна;

головний економіст сектору міграційних досліджень

Інституту демографії та соціальних досліджень імені М.В. Птухи НАН України,

бульв. Тараса Шевченка, 60, м. Київ, 01032, Україна;

e-mail: oleksii.havryliuk.ukr@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-7567-0282>

У статті викладено результати тестування моделі диференціальної урбанізації (*the differential urbanization model*) в Україні на основі демографічних даних соціалістичного та пост-соціалістичного часу. Описано емпірично встановлені паттерни диференціальної та недиференціальної урбанізації та розкрито суспільно-географічні умови їхнього формування. З'ясовано, що в Україні протягом шести деkad (1959-2019 рр.) урбанізація мала декілька рестартів у рамках моделі диференціальної урбанізації, які були зумовлені кризовими процесами на території країни (наприклад, світова економічна криза), а також фіксуються кризові паттерни недиференціальної урбанізації, що пов'язані із різким загостренням кризових явищ та процесів (військовий конфлікт, зміна економічної системи). Порівняння отриманих емпіричних результатів із результатами попередніх досліджень підтвердило ряд гіпотез. З одного боку, гіпотезу про недиференціальну урбанізацію в Україні протягом кризових періодів, яка, як і у колишній Естонській РСР, була пов'язана з колапсом Радянського Союзу та переходом від командно-адміністративної до ринкової економіки у 1990-х роках. З іншого боку, за допомогою міграційних показників було підтверджено раніше висунуту гіпотезу про те, що у 2008-2010 рр. в Україні спостерігалась кризова контр-урбанізація в рамках моделі диференціальної урбанізації. Така «кризова еволюція» диференціальної урбанізації в Україні є результатом пертурбаційних соціально-економічних процесів. Міжнародні порівняння траєкторій диференціальної урбанізації вказали на те, що окрім України стадію кризової контр-урбанізації мали й колишня Західна Німеччина та Росія, які пройшли її ще у першій половині ХХ століття. Після початку військової агресії з боку Росії на території України фіксується кризовий паттерн недиференціальної урбанізації.

Ключові слова: урбанізація, радянський та пост-радянський міський розвиток, модель диференціальної урбанізації, паттерни диференціальної та недиференціальної урбанізації, Україна.

Як цитувати: Гаврилюк О. К. Диференціальна та недиференціальна урбанізація в Україні у радянську та пост-радянську еру / О. К. Гаврилюк // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2021. – Вип. 55. – С. 141-158. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-11>

In cites: Havryliuk O. K. (2021). Differential and non-differential urbanization in Ukraine during the soviet and post-soviet era. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (55), 141-158. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-11>

Постановка проблеми та актуальність. На сьогоднішній день, існує низка концептів стадійного розвитку урбосистем різних масштабних рівнів. Але більшість цих моделей міського розвитку створена у західних наукових школах суспільної географії. Ці моделі допомагають ідентифікувати стадії міського розвитку в соціально-економічних та політичних умовах цих країн. Проте, не завжди дані моделі можуть «чисто» ідентифікувати стадії міського розвитку у пост-соціалістичних та пост-радянських країнах, а особливо у їхній попередній добі – соціалістичній чи радянській.

Основною причиною цього є те, що в останні три декади, після революцій, нещадного колапсу та утворення нових політичних систем кінця 1980-х – початку 1990-х років, вони мали транзитний період, який характеризувався переходом від командно-планової до ринкової економічної системи. Такі економічні трансформації позначились на мотиваціях мігрантів, соціально-

культурному, економічному та політичному житті країн і їхніх регіонів. Саме тому, починаючи із 1990-х відбувся бурхливий сплеск тестування концептів, що описують розвиток міських агломерацій (функціональних урбанізованих регіонів або урборегіонів) та інших міських просторових утворень. Такий жвавий інтерес до концептів розвитку урбанізації західного типу (*Western-Type*) триває й понині, але вже з вагомими доопрацюваннями, які враховують досвід процесів урбанізації у пост-соціалістичних країнах.

Починаючи з 1990-х років Україна знаходиться в демографічній кризі, що значно спотворює уявлення дослідників про процеси урбанізації на її території. Адже, якщо просто аналізувати як змінюються частка міського населення у загальній чисельності населення певного регіону та надалі будувати свої висновки лише на такому показнику, то це є хибним з точки зору достовірної оцінки процесів урбанізації в Україні. Тому, **актуальним** є вивчення трендів урбанізації в

Україні крізь призму концептів стадійно-циклічного міського розвитку, а також не менш актуальним є порівняння отриманих результатів зі світовими трендами та кейсами. Виходячи з цих мотивів у даній статті протестована модель диференціальної урбанізації (*the differential urbanization model*) як одна із ключових моделей стадійно-еволюційного розвитку міських систем вищих ієрархічних рівнів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасній геоурбаністиці відомо дуже багато різноманітних процесів міського розвитку територіальних систем: урбанізація, субурбанізація, дезурбанізація, екс-урбанізація, контр-урбанізація, пост-субурбанізація, реурбанізація, кожен з

яких має свої особливі субпроцеси та просторові маркери.

В загальному, урбанізацію трактують як процес просторової концентрації населення [45], який зазвичай вимірюється як відносна зміна частки міського населення у загальній чисельності населення. Однак, через субурбанізацію метрополітенські ареали, а не окремі міста, все частіше стають основними одиницями аналізу при дослідженні перерозподілу населення [17;21;44].

«Урбанізація на масштабному рівні системи розселення населення» означає позитивну взаємозалежність між коефіцієнтом сальдо міграції (*net migration*) і розміром поселень (рис. 1), враховуючи найбільші міста (включаючи їхні метро-



Рис. 1. Взаємозв'язок між міграцією та розміром поселення: (1) урбанізація; (2) контр-урбанізація – за A.J. Fielding [22], (імпортовано за [19], адаптовано та модифіковано за [21]).

Fig. 1. Relationship between migration and settlement size: (1) urbanization; (2) counter-urbanization – by A.J. Fielding [22], (imported by the author for [19], adapted and modified by the author for [21])

політенські ареали) [14;17;19;21;44].

«Урбанізація на масштабному рівні метрополітенських ареалів (ФУР або міська розселенська агломерація)» – це процес, при якому населення в метрополітенському ареалі все більше концентрується у центральних містах (*ядрах*) за рахунок субурбії [19;44;46;47].

«Контр-урбанізація на масштабному рівні системи розселення населення» означає негативну взаємозалежність між коефіцієнтом сальдо міграції і розміром поселення, при цьому великі міста включаючи їхні метрополітенські ареали мають вищі темпи (*авторська примітка – негативного коефіцієнта сальдо міграції*), ніж у поселеннях іншого розміру [14;17;19;21;44].

«Субурбанізація у метрополітенських ареалах (функціональних урборегіонах)» – це процес перерозподілу населення від центральних міст до субурбії [19;44;46;47]. Наприклад, в США у 60–70-ті роки ХХ ст. значна частина населення переїхала із великих міст до передмістя, класична урбанізація змінилась субурбанізацією [7].

Процеси урбанізації, субурбанізації та контр-урбанізації циклічно поєднані у моделі життєвого циклу міста та моделі диференціальної урбанізації [24;25;26;31;35;46;47]. Міграція з села до міста, започаткована індустріалізацією,

призводить до урбанізації: великі міста, як правило, ростуть за рахунок міграції як з передмістя, так і від неметрополітенських ареалів (території за межами метрополітенських ареалів). Але з часом люди починають залишати великі міста. Це спочатку призводить до субурбанізації, а згодом до контр-урбанізації. Домінантні міграційні потоки є результатом «виробничих»/“*productionist*” та «екологічних»/“*environmentalist*” мотивів міграції. Спочатку для мігрантів домінантними є «виробничі» мотиви, наприклад, мігрують, щоб отримати роботу або освіту. Проте з часом баланс зрушується в бік забезпечення більш приємного середовища для життя. У більш бідних країнах з більш молодим населенням домінують «виробничі» мотиви міграції, що сприяє урбанізації. А у більш заможніших країнах з більш старішим населенням «екологічні» мотиви міграції призводять до субурбанізації і контр-урбанізації [25;26;44].

Кілька інших факторів допомагають в зрушеннях у напрямі контр-урбанізації, включаючи зменшення, з часом, потенціалу вибуття населення з сільської місцевості, реструктуризацію економіки та програми регіональної політики [17;44].

Однією з найбільш використовуваних моде-

лей циклічно-стадійний міського розвитку є модель диференціальної урбанізації (*the differential urbanization model*).

Генералізовано, модель диференціальної урбанізації (ДУ) враховує різні аспекти процесів міського розвитку та показує універсальну стадійно-циклічному модель їхнього поєднання. Одним із головних постулатів моделі ДУ є те, що міські ареали різних розмірів слідує універсальному та циклічному досвіду зростання [24;26]. Перший цикл урбанізації складається з трьох основних епох – урбанізації, поляризаційної реверсії та контр-урбанізації (рис. 2). Урбанізація – це позитивний взаємозв'язок між розміром поселення та його темпами росту, коли головне або велике місто (*prime city*) росте найшвидше (рис. 1, рис. 2) [21]. Поляризаційна реверсія є перехідною ланкою від концентрації населення до децентрації, причому регіональні міста (*регіональні метрополії*) користуються найбільшими темпами зростання [42]. Поляризаційна реверсія призводить, насамкінець, до контр-урбанізації, що має негативний взаємозв'язок між розміром поселень та темпом зростання, коли малі міста зростають найшвидше (рис. 1, рис. 2) [21].

Принципи виокремлення стадій представлено на рис. 2. Їхні межі визначаються перетином будь-якої пари кривих; в кожній – свої співвідношення сальдо міграції чи індексів динаміки населення трьох категорій центрів: головних міст, середніх і малих міст (*урбоцентрів*). Пари стадій формують три головні епохи, які детально описувались вище, – 1) урбанізації; 2) поляризаційної реверсії (*polarization reversal*) і 3) контр-урбанізації [6]:

1. Початкова крупноміська стадія урбанізації (*У-I*): швидке зростання великих урбоцентрів за рахунок малих і особливо середніх.

2. Зріла крупноміська стадія (*У-II*): зростання головних урбоцентрів і втрати населення малими досягає свого апогею, але середні теж починають зростати, приваблюючи мігрантів.

3. Початок поляризаційної реверсії (*ПР-III*): по темпах росту лідирують середні урбоцентри, головні стрімко втрачають свою атрактивність, а малі – її нагромаджують.

4. На зрілій стадії середніх міст (*ПР-IV*) вперед рвуться вже малі урбоцентри, проте ще не можуть обійти середні, а індекс головних урбоцентрів стає від'ємним.

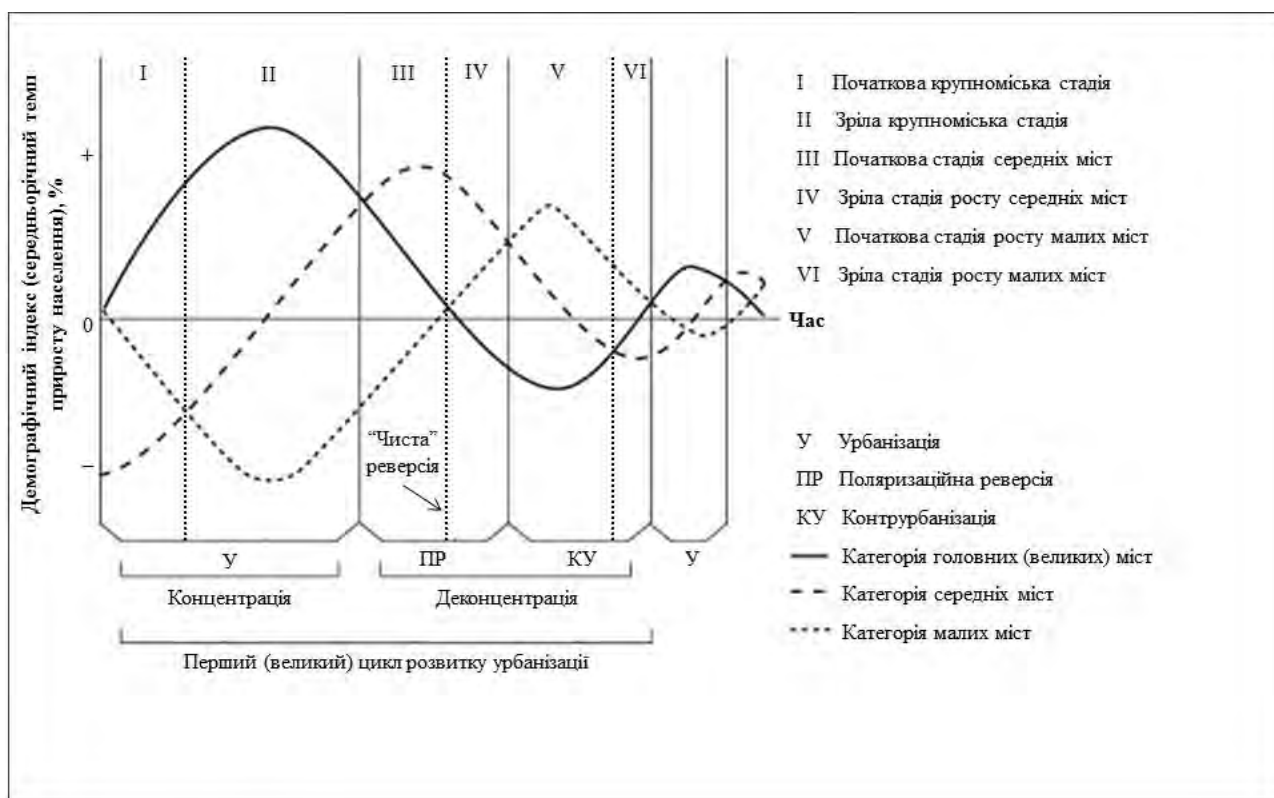


Рис. 2. Стадії моделі диференціальної урбанізації (імпортовано автором за [4] базуючись на [6;19;36]).

Fig. 2. Stages of the differential urbanization model (imported by the author for [4] based on [6;19;36])

5. Контр-урбанізацію відкриває нова стадія росту малих міст (*КУ-I*). Вони ростуть швидше всіх, а середні урбоцентри втрачають міграційну атрактивність; з ними пройшовши нижню точку, зближаються головні урбоцентри.

6. На останній стадії великого циклу (*КУ-VI*) середні урбоцентри відстають від малих і головних, хоча вже не дуже сильно і ненадовго.

Потім все повертається до початкового порядку «головні – середні – малі урбоцентри», або

ж до неоурбанізації. Однак, після кожної неоурбанізації самі стадії з часом стають все коротшими, і розриви в показниках класів урбоцентрів все менше. Тому ре-урбанізація після шостої стадії – не та, що перед першою [6]. Концепт диференціальної урбанізації містить і поняття «чистого» розриву («чиста» реверсія). «Чистий» розрив (рис. 2) трапляється тоді, коли великі міста втрачають населення в абсолютному вираженні через вибуття населення. У цій точці міські ареали середнього розміру демонструють високий рівень прибуття населення, а малі міські ареали починають демонструвати позитивне значення коефіцієнту сальдо міграції. Точка, в якій коефіцієнт сальдо міграції середніх за розміром міських ареалів перевищує рівень великих міських агломерацій є закінченням етапу урбанізації та початком поляризаційної реверсії [24].

Замість балансів міграцій, якщо вони недоступні, для моделі пропонують брати індекси динаміки населення за період, скажімо, в 10 років: різна демографія зрушить тоді всі криві вгору або вниз (населення всюди росте або скрізь убыває), мало впливаючи на їхній вигляд, а значить і на стадії. Визнають, що ці сходинки не завжди виразні, але неодмінно проявляються в зміні тенденцій. Не виключають і особливих збоїв, як у Німеччині до кінця війни, коли люди тікали з міст, від бомбардувань (*Україні це дуже знайома*). Проте, чи то заскочивши вперед, чи то відступивши до попереднього стану, розселення населення повернуться до «нормальної» стадії [6].

Існують також певні «рамки» (рекомендації) застосування моделі диференціальної урбанізації. Так, модель краще тестувати на національному та субнаціональному (поліцентричний метрополітенський регіон) рівнях, при чому варто ідентифікувати функціональні міські субсистеми (поліцентричні метрополітенські регіони) [34; 35]. Загалом, модель диференціальної урбанізації була виведена в 1990-х роках [26;27;28]. Відтоді вона широко застосовується у емпіричних дослідженнях [15;16;18;20;23 та інші]. Спроби протестувати модель диференціальної урбанізації в Україні за період 1840-2014 рр. були здійснені К. Мезенцевим та О. Гаврилюком [4], проте подальший аналіз виявлених ними трендів диференціальної урбанізації підлягає деяким сумнівам, оскільки, більш детально вивчивши базу даних використану у їхньому дослідженні, було виявлено розбіжність певних демографічних даних у радянських переписах населення України через використання неофіційних джерел інформації. До того ж проаналізована авторами динаміка сальдо міграції міських поселень України за 2003-2014 рр. базувалась на абсолютних показниках, тоді як огляд літератури вказує на те, що для ви-

явлення паттернів диференціальної урбанізації необхідно використовувати показник «коефіцієнт сальдо міграції», а не звичайні баланси міграції міського населення. Але, проведене авторами тестування моделі диференціальної урбанізації в Україні все ж дало важливі та, певною мірою, піонерні наукові результати.

Формулювання мети та завдань статті.

Основною метою статті є, по-перше, покращити методичні підходи тестування моделі диференціальної урбанізації на національному масштабному рівні на прикладі України із використанням коректних даних щодо радянських переписів населення України та інших демографічних даних пост-радянського періоду, по-друге, встановити стадії диференціальної урбанізації в Україні протягом 1959-2019 рр. та з'ясувати умови і фактори їхнього формування та протікання. В межах поставленої мети, порушуються такі дослідницькі завдання: 1) дослідити особливості міського розвитку в Україні протягом 1959-2019 рр.; 2) переосмислити концептуальні основи моделі диференціальної урбанізації (*the differential urbanization model*) та методичні підходи її тестування в Україні; 3) виявити радянські та пост-радянські паттерни міського розвитку в Україні за результатами ідентифікації стадій моделі диференціальної урбанізації; 4) порівняти результати тестування моделі диференціальної урбанізації в Україні з дослідницькими кейсами інших країн.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Вивчивши досвід тестування моделі диференціальної урбанізації в інших країнах світу, було створено певні умови для тестування цієї концепції на національному масштабному рівні України:

– В Україні існує три категорії міських центрів (урбоцентрів): великі, середні та малі. Великими урбоцентрами вважаються міста з населенням понад 250 тис. осіб, середні урбоцентри – міста із населенням 50-250 тис. осіб, за малі урбоцентри прийнято міста з населенням до 50 тис. осіб. У розрізі трьох категорій урбоцентрів беруться індивідуальні демографічні показники для кожного урбоцентру (без врахування міських агломерацій ядрами яких є деякі урбоцентри), що відповідає методиці висвітлених у роботі А. Трейвіша і Т. Нефьодової [6;40], щоправда, без «ковзної шкали середніх міст» для кожної історичної епохи, яка також використовувалась і у праці К. Мезенцева і О. Гаврилюка [4]. Це пов'язано з тривалістю досліджуваного періоду, який охоплює останні шість декад (1959-2019) міського розвитку в Україні, що робить недоцільним використання «ковзної шкали середніх міст».

– Розмір урбоцентрів для дослідження в

1959-2002 (перепис 2001) рр., за показником середньорічного приросту населення, фіксувався за переписом населення 1989 року, при цьому до уваги брались лише міста; смт за переписом 1989 року вважаються такими, що повною мірою не демонструють міського способу життя і до аналізу не брались.

– Розмір урбоцентрів для дослідження у 2002(перепис 2001)-2013 рр., за коефіцієнтом сальдо міграції (враховуючи зовнішні та внутрішні міграційні потоки), фіксувався станом на перепис 2001 року. До уваги брались лише міські поселення, що мають статус «місто», а смт в масштабах країни вважаються такими, що у своїй більшості не мають реального міського способу життя, а тому ігноруються при тестуванні моделі.

Паттерни диференціальної урбанізації в Україні (1959-2002). Ключовим моментом тестування моделі диференціальної урбанізації є вибір індикатора (середньорічний приріст населення або коефіцієнт сальдо міграції) та методика його обрахунку, адже від цього залежить якість ідентифікації стадій диференціальної урбанізації. Спираючись на доступну статистичну інформацію переписів населення та відкрити базу даних чисельності населення міських поселень України [2;3] було розраховано середньорічний темп приросту населення для кожної категорії урбоцентрів (великі, середні, малі) за 1959-2002 рр., за формулою [41]:

$$r = \frac{100 \cdot \ln(P_2/P_1)}{(t_2 - t_1)}$$

де: P_1 – чисельність населення на початок досліджуваного періоду, осіб; P_2 – чисельність населення на кінець досліджуваного періоду, осіб; t_1 – початковий рік досліджуваного періоду, рік; t_2 – кінцевий рік досліджуваного періоду; $(t_2 - t_1)$ – часовий інтервал досліджуваного періоду, в роках; r – середньорічний темп приросту населення, %.

Результати розрахунку середньорічного темпу приросту населення у розрізі великих, середніх та малих урбоцентрів України за 1959-1970 рр., 1970-1979 рр., 1979-1989 рр., 1989-1992 рр., 1992-1998 рр. та 1998-2002 рр. дають важливі наукові результати в рамках моделі диференціальної урбанізації. Так, дивлячись на емпіричні криві трьох категорій урбоцентрів (рис. 3) та порівнюючи їх із відповідними ідеалізованими кривими моделі диференціальної урбанізації (рис. 2) видно, що в Україні паттерни диференціальної урбанізації у період 1959-2002 рр. можуть ідентифікуватись лише до 1992 року. Адже, після цього фіксується кризовий паттерн недиференціальної урбанізації в Україні, що пов'язаний із

політичною та соціально-економічною кризою після колапсу СРСР. Паттерн недиференціальної урбанізації характеризується тим, що урбоцентри всіх категорій мають від'ємне значення середньорічного приросту населення (рис. 3). Окрім політичної та соціально-економічної криз, які мають суттєвий вплив для мотивації мігрантів усіх категорій урбоцентрів, в даний період фіксується і демографічна криза, що значно спотворює результати обрахунку середньорічного темпу приросту чисельності населення, адже по суті показує не міграційну атрактивність великих, середніх та малих урбоцентрів, а тренди депопуляції населення. Проте, інформаційної бази даних щодо міграції в розрізі міст України у міжпереписний період 1989-2001 роки майже немає або вона є фрагментарною та недостатньою для репрезентативності в межах моделі диференціальної урбанізації.

Також, важливо наголосити, що розробники моделі диференційної урбанізації (*T. Kontuly & H. Geyer*) вказують на те, що необхідно дотримуватися обачності при застосуванні моделі до реальності, оскільки часова характеристика моделі диференціальної урбанізації описує ідеальну ситуацію, за якої в міських регіонах спостерігається рівномірний розподіл природних ресурсів, тому при тестуванні варто зважати на локальні умови історії розвитку і занепаду міст в розрізі досліджуваних груп урбоцентрів [35].

Таким чином, враховуючи вищезазначене, було ідентифіковано стадійні паттерни диференціальної урбанізації з урахуванням відповідних суспільно-історичних умов, в яких вони відбувалися. Аналіз показав, що за період 1959-2002 рр. Україна пройшла через такі стадії (табл. 1): початкову стадію крупноміської урбанізації (*У-I*), зрілу стадію крупноміської урбанізації (*У-II*), початкову стадію поляризаційної реверсії (*ПП-III*) та кризову стадію недиференціальної урбанізації.

Розглянемо більш детально суспільно-історичні умови міського розвитку в Україні протягом 1959-2002 рр., які допомогли більш точно ідентифікувати паттерни диференціальної урбанізації в Україні.

У 1959-1970 рр. найбільш привабливими для проживання людей були великі та середні урбоцентри, а менш атрактивними були малі урбоцентри, які мали додатне значення демографічного індексу (середньорічний темп приросту населення), що не відповідає ідеалізованій схемі еволюції кривих трьох категорій урбоцентрів за моделлю диференціальної урбанізації (рис. 2, рис. 3).

Однак, варто зауважити, що період 1959-1970 рр. характеризується форсованими процеса-

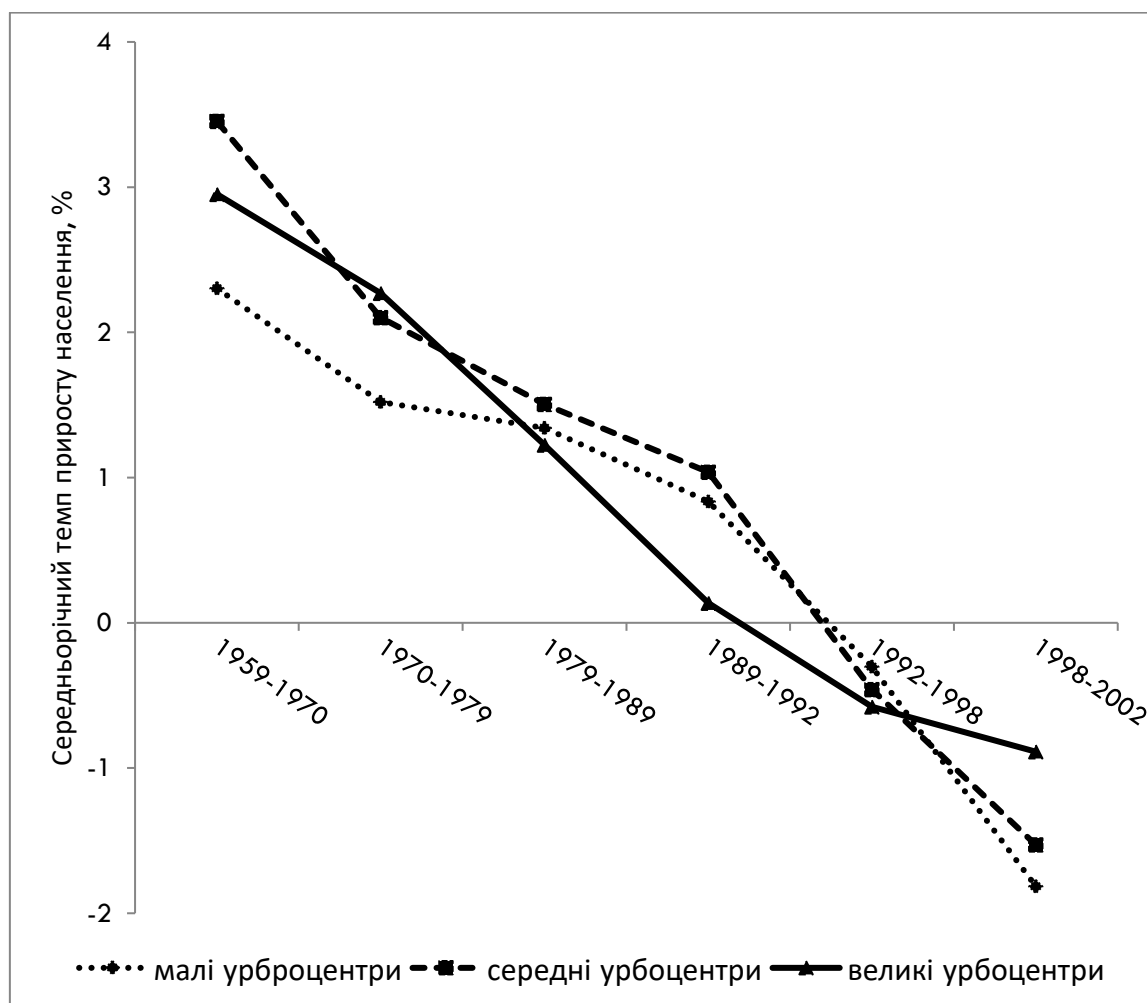


Рис. 3. Середньорічний темп приросту населення малих, середніх та великих урбоцентрів України за 1959-2002 рр. (обраховано та побудовано за [2;3]).

Fig. 3. The average annual population growth rate of small, medium and large urban centers of Ukraine during 1959-2002 (calculated and author's elaboration by [2;3])

Таблиця 1

Ідентифікація стадійних паттернів диференціальної урбанізації в Україні протягом 1959-2002 рр.

Стадії диференціальної урбанізації				
У-I	У-II	ПР-III	ПР-IV	Кризова стадія
1959-1970	1970-1979 1979-1989	1989-1992	—	1992 - ????

ми післявоєнної індустріалізації, що пояснює таке різке підняття трьох категорій урбоцентрів. Під час форсованої індустріалізації головними центрами соціалістичного будівництва ставали малі та середні центри, що розвивало їхню містоформуючу базу та спонукало населення переїздити до них. З 1959 р. починається інтенсивний розвиток урбанізаційних процесів: виникає багато нових міст (з 1946 до 1970 р. мережа міст збільшилася на 128 місто [8]). Різне зростання чисельності населення великих урбоцентрів у даний період призводить до започаткування радянської політики регулювання росту великих міст результати якої чітко прослідковуються у синх-

ронності трендів розвитку великих та середніх урбоцентрів упродовж 1959-1970 років (рис. 3). Особливо це видно, якщо подивитись на криву середньорічного темпу приросту населення у містах різної людності (рис. 4).

На рисунку 4 прослідковується те, що протягом всього досліджуваного періоду м. Київ у групі міст із населенням у понад 1 млн. осіб зростає значно швидше, ніж інші міста цієї групи, що пояснюється столичним статусом міста. В 1959-1970 рр. найпривабливішими для населення були міста людністю 50-100 тис. осіб, оскільки переважна більшість із них були тоді малими містами, проте із початком житлової реформи їх-

не зростання пришвидшилось.

Також, важливо зазначити, що у 1945 році в міських населених пунктах мешкало лише 34% населення України; в країні переважало сільське населення. Стрімка урбанізація розпочалась пізніше. Її спричинило зростання попиту промислових підприємств у містах УРСР на робочу силу та масштабна кампанія з будівництва житла, в основі якої лежала житлова реформа, ініційована М.С. Хрущовим наприкінці 1950-х років. Зрос-

тання міського населення по всьому СРСР було пов'язане, насамперед, із масовим переселенням сільського населення в міста. В Україні урбанізація та індустріалізація відбувалися пліч-о-пліч; у міру відновлення в СРСР інфраструктури та заводів, зруйнованих під час війни, та будівництва нових підприємств сюди з центральних районів Росії та інших регіонів СРСР почали прибувати робітники [12].

Тому, спираючись на вищезазначене можна

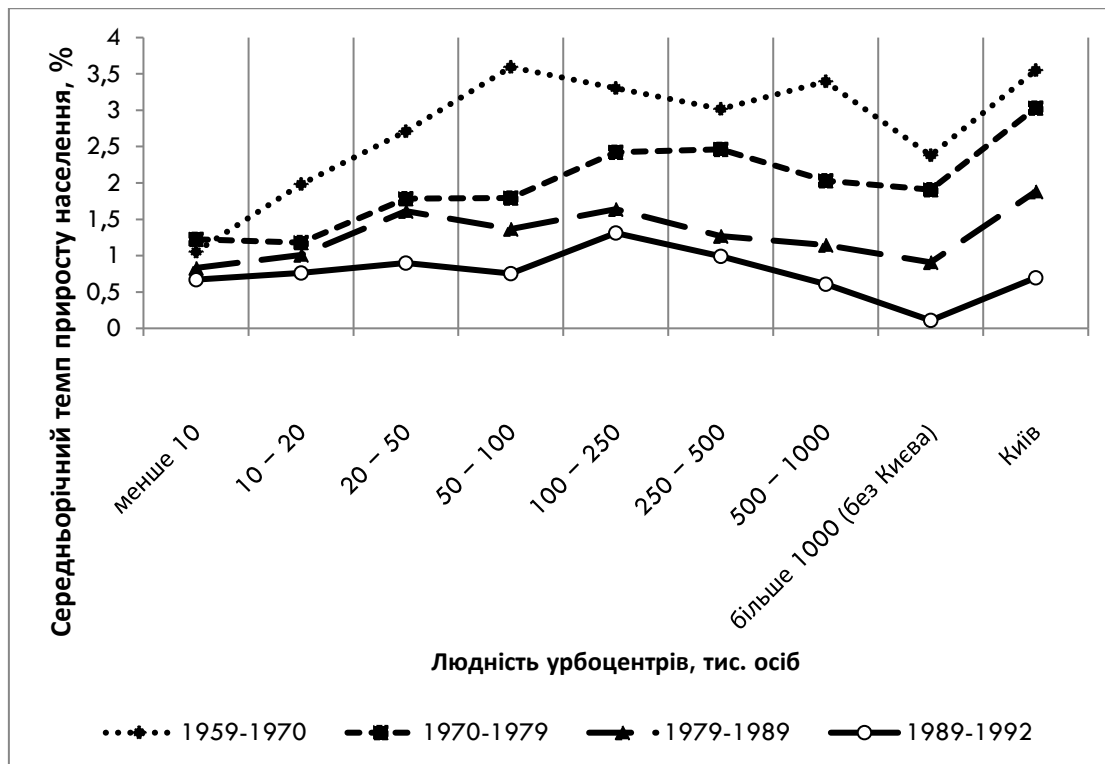


Рис. 4. Динаміка середньорічного темпу приросту населення в урбоцентрах різної людності, Україна, розміри фіксовані за переписом 1989 р. (обраховано та побудовано за [2;3]).

Fig. 4. Dynamics of the average annual population growth rate in urban centers of different sizes, Ukraine, the sizes are fixed according to the 1989 census (calculated and author's elaboration by [2;3])

стверджувати те, що в 1959-1970 рр. в Україні переважала початкова стадія великих урбоцентрів або стадія крупноміської урбанізації (У-1), проте вона була не чіткою через політичні рішення влади як УРСР, так і СРСР (рис. 2, рис. 3).

За 1970-1979 рр. чітко прослідковується тренд зростання ролі великих урбоцентрів для міграційних настроїв (або концентрації) населення (рис. 3). Загалом, протягом 1959-1979 рр. утворились головні агломерації Радянської України, виникла категорія міст – міста-мільйонери, а питома вага міських жителів у 1960-х роках перевищила 50%, повільно зростаючи до кінця 1990-х років [11]. З рисунка 4 видно, що великі та середні урбоцентри різної людності мають майже однакову атрактивність, а малі урбоцентри мають значно менші значення середньорічного темпу приросту населення. Тобто, великі та

малі урбоцентри ростуть за рахунок малих, що беззаперечно є маркером другої стадії урбанізації (У-2) в рамках моделі диференціальної урбанізації, адже саме зріла крупноміська стадія (У-2) має такі вектори розвитку.

Таким чином, урбанізація упродовж 1959-1979 рр. була дуже стрімкою. Підтвердженням є той факт, що у 1959 році в Радянській Україні було лише 25 міст із більш ніж 100 000 жителів, то в 1979 таких міст було вже майже вдвічі більше – 46 міст [37]. Водночас внутрішня міграція сильно стримувалась нормами системи «прописки» (так у радянські часи називали систему реєстрації населення), яка значно ускладнювала населенню колишнього СРСР переміщення в межах країни. Політику у сфері внутрішньої міграції в країні було пом'якшено лише в пост-радянські часи. У період із 1935 по 1974 рік іс-

нувала фактична заборона на переселення жителів села. Лише в 1974 році колгоспникам було надано можливість одержувати паспорти. До цього вони не мали документів державного зразка та не мали права покидати місце свого проживання під страхом притягнення до кримінальної відповідальності [12].

У 1979-1989 рр. система розселення населення України більш-менш стабілізувалась, в цей період спостерігається максимальне значення середньорічного темпу приросту населення серед середніх урбоцентрів (людністю 50-250 тис. осіб) (рис. 3), малі урбоцентри починають потроху нарощувати свою привабливість (рис. 4), а великі урбоцентри поступово втрачають свою атрактивність, проте Київ все ще є дуже привабливим для мігрантів завдяки своєму столичному статусу. Така характеристика перегукується із процесом поляризаційної реверсії (рис. 2), проте чітко ідентифікувати цей процес важко через дуже близьке розташування кривих одне біля одного (рис. 3). З огляду на це, період 1979-1989 рр. вважатимемо перехідним від зрілої крупноміської стадії (*У-2*) епохи урбанізації до початкової стадії середніх урбоцентрів (*ПР-1*), при цьому *У-2* є домінантною (особливо за рахунок Києва).

На досліджуваній період 1989-1992 рр. (рис. 3, рис. 4) припадає розпад СРСР та отримання Україною незалежності. В цей час середні урбоцентри досягають пікових значень своєї привабливості над всіма іншими групами урбоцентрів (рис. 3), навіть Київ має менші значення середньорічного темпу приросту населення, ніж група середніх урбоцентрів з людністю в 50-100 та 100-250 тис. осіб (рис. 4). Отже, такі тренди розвитку малих, середніх та великих урбоцентрів свідчать про те, що у 1989-1992 рр. Україна пройшла початкову стадію середніх урбоцентрів (*ПР-1*), тобто спостерігається процес поляризаційної реверсії або ж початок деконцентрації населення.

Починаючи з 1992 р. і до 2002 р. (або дата перепису 2001 р.) в Україні фіксується паттерн недиференціальної урбанізації, що обумовлено низкою кризових явищ в демографічному, політичному та соціально-економічному житті країни. Даний паттерн показує тренд депопуляції населення серед абсолютно всіх категорій урбоцентрів протягом усього періоду 1992-2002 рр. (рис. 3).

Паттерни диференціальної урбанізації в Україні (2002-2013). Для тестування моделі диференціальної урбанізації в Україні за 2002-2013 рр. у ролі індикатора було обрано середньозважений коефіцієнт сальдо міграції. Методика його розрахунку передбачає те, що коефіцієнт сальдо міграції (сальдо міграції у розрахунку на 1000

осіб) по кожному досліджуваному місту сумують в три завчасно обрані категорії урбоцентрів (середні, великі, малі) та потім ділять на кількість міст в кожній категорії. Аналогічно робиться і для знаходження середньозваженого коефіцієнта сальдо міграції для груп урбоцентрів з різною людністю. Всього в даному дослідженні визначено 451 урбоцентр (в т.ч. міста з врахуванням змін їхніх адміністративних меж впродовж періоду 2002-2013 рр. (наприклад, Кривий Ріг рахувався разом з м. Інгuleць та смт Зелене, а смт Тепличне разом з м. Запоріжжя), але виключались ті міста, які отримали статус міста після 2002 р. (дата перепису населення 2001)). Віднесення того чи іншого міста до категорії малого, середнього чи великого урбоцентру відбувалось фіксуванням його чисельності за переписом 2001 року. Так, малими урбоцентрами вважаються міста з людністю 1) до 10 тис. осіб (80 міст), 2) 10-20 тис. осіб (158 міст), 3) 20-50 тис. осіб (112 міст), середніми урбоцентрами є міста з людністю в 4) 50-100 тис. осіб (56 міст), 5) 100-250 тис. осіб (20 міст), а вже великими урбоцентрами є міста з населенням у 6) 250-500 тис. осіб (16 міст), 7) 500-1000 тис. осіб (4 міста), 8) понад 1000 тис. осіб (5 міст).

Таким чином, всього у даному тестуванні моделі диференціальної урбанізації вивчається 350 малих урбоцентрів, 76 середніх урбоцентрів та 25 великих урбоцентрів. Розрахунок середньозважених коефіцієнтів сальдо міграції¹ для кожного з 451 урбоцентру України допомогло ідентифікувати стадії диференціальної урбанізації. Для цього було взято середнє значення «коефіцієнта сальдо міграції» за трирічні проміжки часу, щоб краще вловити тренд великих, середніх та малих урбоцентрів, які були розраховані спираючись на доступну статистичну інформацію перепису населення у відкритій базі даних чисельності населення міських поселень України [2] та демографічні дані Держкомстату України. При цьому, за 2002 р., сальдо міграції, яке необхідне для розрахунку «коефіцієнта сальдо міграції», розраховувалось за даними чисельності населення та природного приросту населення.

Після розрахунку середнього значення «коефіцієнта сальдо міграції» для трирічних періодів було побудовано графік міграційної привабливості трьох категорій урбоцентрів (великих, середніх та малих) за 2002-2013 рр. (рис. 5).

Перш ніж ідентифікувати паттерни диференціальної урбанізації необхідно усвідомити, що ж відбувалось з українськими містами з 1990-х до

¹ в подальшому будемо називати «коефіцієнтом сальдо міграції», де «...» – означають, що мається на увазі середньозважений коефіцієнт

початку 2010-х років. Незвичним для української міської місцевості в національному масштабі було те, що у 1992 р. вперше у повоєнний час фіксується депопуляція в міських поселеннях, хоча ці втрати частково компенсуються міграційним припливом в містах протягом 1992-1993 рр., проте починаючи з 1994 р. в Україні зареєстро-

вано вже й від'ємне сальдо міграції міського населення на тлі від'ємного природного приросту, тобто міграція вже не є компенсатором депопуляції в міській місцевості [9].

Починаючи із середини 1990-х років в міських поселеннях України спостерігається стрімкі темпи депопуляції, а з кінця 1990-х до початку

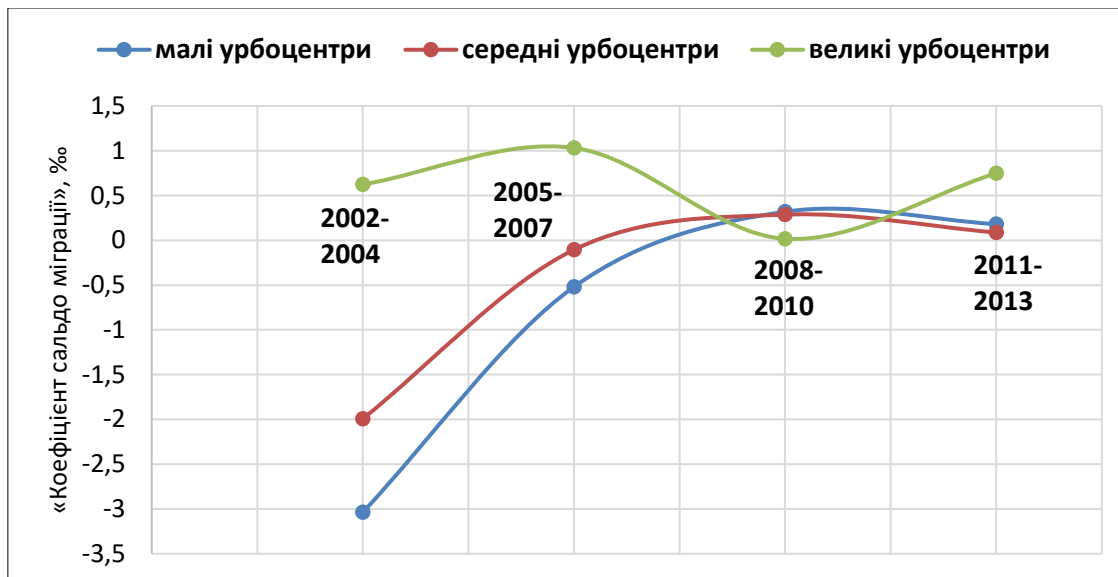


Рис. 5. Динаміка середнього значення «коефіцієнта сальдо міграції» за трирічні періоди у 2002-2013 рр. у розрізі малих, середніх та великих урбоцентрів України (обраховано та побудовано за [2 та даними Держкомстату України]).

Fig. 5. Dynamics of the average value of the "net migration rate" for the three-year periods in 2002-2013 in terms of small, medium and large urban centers of Ukraine (calculated and author's elaboration by [2 and data from the State Statistics Committee of Ukraine])

2000-х років фіксується апогей цього процесу. Загалом, протягом 1989-2011 рр. відбулось зростання рівня урбанізації України на 1,8%, але при цьому кількість міського населення зменшилась на 3,1 млн. осіб або на 9,1% [5]. Також за цей період кількість міст в Україні збільшилась з 435 до 459, проте за роки незалежності не було створено жодного нового міста, а відповідний статус отримали селища міського типу, які існували раніше. Тобто цей ріст є лише наслідком змін адміністративного статусу населених пунктів, підпорядкування і перерозподілу території міст [10].

Якщо протягом другої половини ХХ ст. у країні швидше росла чисельність населення в метрополіях [10], то у 1989-2011 рр. найвищі темпи приросту чисельності населення були харак-

терні для середніх та малих міст, які об'єднуються у три групи [5]:

- 1) "молоді" міста (засновані в 1970–80-х рр.), де розміщені АЕС або морський порт;
- 2) міста-супутники Києва;
- 3) міста Західної України з природним приростом населення.

Отже, враховуючи вищезазначене та рис. 5 і рис. 6, було ідентифіковано стадійні паттерни диференціальної урбанізації з урахуванням відповідних суспільно-історичних умов, в яких вони відбувалися. Аналіз показав, що за період 2002-2013 рр. Україна пройшла через такі стадії (табл. 2): зрілу стадію великих урбоцентрів (зріла урбанізація, *У-2*) та кризову стадію контр-урбанізації (*КУ*).

Таблиця 2

Ідентифікація стадійних паттернів диференціальної урбанізації в Україні протягом 2002-2013 рр.

Стадії диференціальної урбанізації				
<i>У-I</i>	<i>У-II</i>	<i>ПР-III</i>	<i>ПР-IV</i>	<i>Кризова КУ</i>
—	2002-2004 2005-2007 2011-2013	—	—	2008-2010

Коротко розглянемо суспільно-історичні умови, що чіткіше пояснять ідентифіковані патерни диференціальної урбанізації в Україні протягом 2002-2013 рр. Як видно з рис. 5, міграційна привабливість великих урбоцентрів у 2002-2004 рр. досягає максимального розриву з іншими урбоцентрами за весь досліджуваний період, що загалом пояснюється і наявністю Києва у цій категорії урбоцентрів (рис. 6). Від'ємну міграційну атрактивність мають середні та малі урбоцентри, що є донорами для зростання великих урбоцентрів. Середні урбоцентри є менш міграційно непривабливими, ніж малі. Така характеристика дозволяє з впевненістю говорити про

зрілу урбанізацію в Україні або ж про зрілу стадію великих міст (У-2).

Крім того, у 2002-2004 рр. спостерігається пікове значення процесу концентрації населення у великих містах (відносно інших категорій урбоцентрів) і спостерігається більш-менш позитивна залежність міграційної привабливості від розміру урбоцентрів (рис. 6). Адже, великі урбоцентри – міста із широким спектром послуг, більшою зарплатою, якіснішими умовами житлового фонду, кращим культурним розвитком. Це безумовно створює привабливий профіль великих урбоцентрів, до того ж великі урбоцентри надають «престижний статус мешканця великого

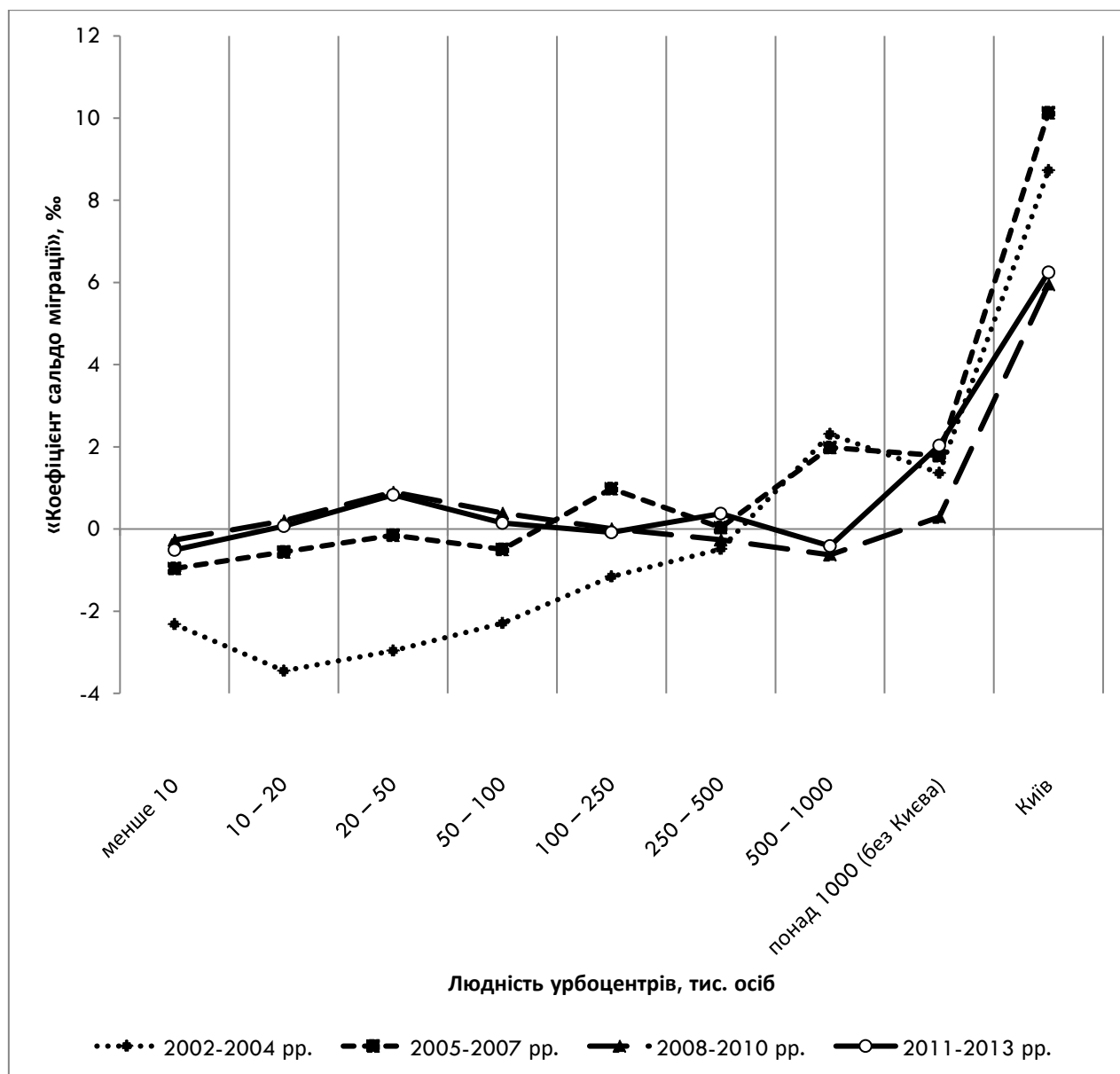


Рис. 6. Динаміка середнього значення «коефіцієнта сальдо міграції» за трирічні періоди у 2002-2013 рр. у розрізі груп урбоцентрів за людністю в Україні (обраховано та побудовано за [2 та даними Держкомстату України]).

Fig. 6. Dynamics of the average value of the "net migration rate" for the three-year periods in 2002-2013 in terms of groups of urban centers by population in Ukraine (calculated and author's elaboration by [2 and data from the State Statistics Committee of Ukraine])

міста», що теж є психологічною та соціальною мотивацією.

У 2004-2007 рр. відбувається поживлення атрактивності малих та середніх урбоцентрів, проте їхнє середнє значення «коефіцієнта сальдо міграції» за даний період все ще залишається від'ємним, а великі урбоцентри продовжують зростати (рис. 5), однак серед середніх урбоцентрів з людністю 100-250 тис. осіб спостерігається додатне значення вищезгаданого показника, а у всіх урбоцентрах з людністю менш як 100 тис. осіб реєструється відтік населення (рис. 6). Отже, для України в цей період порогом або межею міграційної привабливості є міста із населенням у 100-250 тис. осіб, оскільки починаючи з них і далі за ієрархією йдуть додатні середні значення «коефіцієнта сальдо міграції», а після них у міст з меншою кількістю населення фіксується від'ємне значення, тобто міста з населенням менш як 100 тис. осіб є донорами для зростання міст із населенням 100 і більше тис. осіб.

Зважаючи на вищезазначене, можна говорити про те, що великі урбоцентри зростають, середні починають нарощувати свою міграційну привабливість, а малі все ще «постачають» своє населення в урбоцентри, які йдуть вище за ієрархічним рівнем, що дозволяє ідентифікувати знову ж таки стадію великих урбоцентрів або крупноміську стадію урбанізації (У-2). Такий розподіл мігрантів за трьома категоріями центрів відображає закінчення переходу України від країни із суто транзитною економічною системою до країни із ринковою економікою та формуванням сервісного суспільства, на відміну від індустріального, що панував у радянський та ранній пост-радянський час. Це частково пояснює зростання привабливості міст із людністю 100-250 тис. осіб, адже саме вони стають новими центрами надання послуг і більшість з них є економічно диверсифікованими, особливо у третинному секторі – процеси терціаризації.

На період 2008-2010 рр. припадає Світова економічна криза, яка сильно зачепила нещодавно ревіталізовану економіку України. Все це спричинило кризову деконцентрацію населення та кризовий варіант стадії контр-урбанізації (рис. 5), коли малі урбоцентри стають більш привабливими, ніж середні та великі урбоцентри. Загалом, таку ситуацію складно пояснити, але варто зазначити, що навіть в момент економічної кризи міста з людністю понад 1 млн. осіб продовжували зростати та приймати мігрантів з інших урбоцентрів, оскільки їхня економічна структура є більш гнучкою, ніж жорсткі економічні структури міст з населенням 250-1000 тис. осіб та монофункціональних міст з населенням до 10 тис. осіб (рис. 6).

Можливо, саме малі урбоцентри з людністю від 10-50 тис. осіб і стали містами-реципієнтами для мігрантів із монопрофільних міст (людністю до 10 тис. осіб), оскільки мігранти шукали виходу з кризи у суміжних або супутніх економічних галузях таких міст, які теж у свої більшості є монопрофільними. А, мігранти із міст з людністю в 250-1000 тис. осіб, ймовірно, шукали вирішення економічної кризи у широкому спектрі галузей економіки міст-мільйонерів, оскільки в їхніх урбоцентрах теж наявна досить диверсифікована економічна структура, проте вона не є такою гнучкою, як у міст-мільйонерів, що створює загрозу втрати місця прикладання праці через банкрутство підприємств та організацій у містах із людністю 250-1000 тис. осіб. Отже, остаточно ідентифікуємо стадію кризової контр-урбанізації (КУ) із можливим переходом до стадії ре-урбанізації.

В останньому часовому проміжку досліджуваного періоду, 2011-2013 рр., спостерігається ре-урбанізація, але це більш інволюційна, ніж еволюційна стадія диференціальної урбанізації, тобто після Світової економічної кризи 2008-2010 років та стадії кризової контр-урбанізації знову фіксується стадія урбанізації, проте це не нова стадія нового циклу диференціальної урбанізації, яка йде після контр-урбанізації (рис. 2), а поновлення/перезапуск урбанізаційних процесів, що відбувались у 2002-2007 роках. Тому, дану траєкторію розвитку трьох категорій урбоцентрів (великі, середні та малі) у 2011-2013 рр. ідентифікуємо, як стадію зрілої урбанізації або стадію великих урбоцентрів (У-2), адже спостерігається значне зростання привабливості великих урбоцентрів, а малі та середні урбоцентри майже в однаковій мірі втрачають свою атрактивність.

У 2014 році, новим викликом для розвитку міст України стала окупація Криму та частини території Донецької і Луганської областей. Російсько-український конфлікт торкнувся понад 20 % населення України [33]. Нині на окупованій території знаходиться 64 українських міста (46 в Донбасі та 18 в Криму), в яких проживало понад 4,5 млн. осіб. В Донбасі окуповано 51 % міст, де проживало 64 % населення міст регіону. Як наслідок окупації та військових дій населення тимчасово невідконтрольних східноукраїнських міст скоротилося в середньому на третину [13]. Таким чином, починаючи з 2014 року фіксується кризова стадія недиференціальної урбанізації, що супроводжується тимчасовою втратою територіальної цілісності України, військовим конфліктом на території Донецької та Луганської областей, великою кількістю ВПО, а також політичною, соціально-економічною та демографічною кризами, тому, в недалекому майбутньому урбо-

систему України знову очікує рестарт урбанізація, але все ще того ж першого циклу розвитку диференціальної урбанізації (рис. 2). Однак, *кризова стадія недиференціальної урбанізації* не означає, що починаючи з 2014 року міський розвиток в Україні та її урборегіонах зупинився. Навпаки, протягом останньої декади в Україні спостерігається *феномен гетеровекторності або різноспрямованості міського розвитку*. Адже, на розвиток міських систем різних ієрархічних рівнів одночасно, співіснуючи та взаємонакладаючись, впливають як процеси децентралізації (наприклад, субурбанізація, періурбанізація, фрагментована контр-урбанізація/дезурбанізація [29; 30; 32; 39]), так і процеси рецентралізації та поліцентралізації (наприклад, джентрифікація/реновація та зародження певних елементів пост-субурбанізації і як наслідок реурбанізація [1; 38]), проте інтенсивність прояву цих процесів різниці між урборегіонами України. Таким чином, кризова стадія недиференціальної урбанізації в Україні вказує не на припинення міського розвитку в країні, а на неможливість адекватної ідентифікації будь-якої стадії моделі диференціальної урбанізації на національному масштабному рівні через пертурбаційні військово-політичні та соціально-економічні процеси, які почалися з 2014 року.

Висновки. Міський розвиток в Україні протягом 1959-2019 рр., у рамках моделі диференціальної урбанізації, мав декілька рестартів, що було зумовлено кризовими процесами деконцентрації населення та кризовими паттернами не-

диференціальної урбанізації (табл. 3). Перший ґрунтовний старт, що фіксується після Другої світової війни, великого або першого циклу диференціальної урбанізації фіксується з 1959 року, оскільки у 1959-1970 рр. ідентифіковано початкову стадію урбанізації (початкову стадію великих урбоцентрів). У 1970-1979 роках вона перейшла у зрілу стадію урбанізації (зрілу стадію великих урбоцентрів), яка тривала аж до 1989 року. Після 1989 року і до 1992 року в Україні спостерігається початкова стадія поляризаційної реверсії, а після 1992 року і невідомо до якого року тривала кризова стадія недиференціальної урбанізації, коли всі категорії урбоцентрів почали стрімко втрачати своє населення. На жаль зафіксувати міграційні тренди 1992-2002 рр. не вдалось через відсутність якісної статистичної бази. Починаючи з 2002-2004 років відбувається рестарт зрілої стадії урбанізації, що панує впритул до 2005-2007 років. У часи Світової економічної кризи (2008-2010 рр.) фіксується кризова стадія контр-урбанізації, яка вказує на певну кризову деконцентрацію населення урбоцентрів. Новий рестарт української урбанізації в рамках моделі диференціальної урбанізації відбувся у 2011-2013 рр., коли ідентифікується зріла стадія великих урбоцентрів, проте вже з 2014 року в Україні фіксується кризовий паттерн недиференціальної урбанізації через загострення кризових процесів у суспільному житті країни та анексією АР Крим і початком російсько-української війни на Донбасі.

Загалом, протягом досліджуваного періоду

Таблиця 3

Паттерни диференціальної та недиференціальної урбанізації в Україні протягом 1959-2019 рр.

Стадії диференціальної урбанізації				Кризова недиференціальна урбанізація
У-I	У-II	ПР-III	Кризова КУ	
1959-1970	1970-1979 1979-1989	1989-1992		
	2002-2004 2005-2007			1992-2002(?)
	2011-2013		2008-2010	
				2014-????

серед українських мігрантів група «виробничих/productionism» мотиваційних факторів переважає над групою «екологічних/environmentalism» мотиваційних факторів, що пояснюється типом економічного розвитку України – індустріально розвинута країна, в якій відносно нещодавно здійснився перехід від індустріального до сервісного суспільства (процеси терціаризації), яке

ще формується. Гіпотетично очікується, що при переході від сервісної до пост-індустріальної стадії розвитку економіки в Україні переважатиме група «екологічних» мотивів для міграції.

Порівнюючи результати тестування моделі диференціальної урбанізації в Україні із кейсами інших країн було виявлено, що паттерни кризової контр-урбанізації та недиференціальної ур-

банізації були демарковані і в інших країнах. Наприклад, у Західній Німеччині протягом 1939-1950 рр. спостерігалась кризова контр-урбанізація, що була пов'язана із хаотичною деконцентрацією населення країни через активні військові дії (в т.ч. бомбардування великих міст) під час Другої світової війни [36]. Схожа природа кризової контр-урбанізації була зафіксована і в Росії протягом 1914-1926 рр., що було пов'язано із Першою світовою війною, жовтневою революцією та громадянською війною [40]. А, наприклад, у колишній Естонській РСР у 1990-2000 рр. також, як і в Україні у 1992-2002 рр., фіксується паттерн недиференціальної урбанізації, що пов'язаний із пост-радянським перехідним періодом [43].

Підбиваючи підсумки тестування моделі диференціальної урбанізації в Україні та інших країнах, можна стверджувати те, що в подальших дослідженнях для «чистої» ідентифікації стадій диференціальної урбанізації необхідне виконання наступних умов:

- політична та економічна стабільність;
- більш-менш рівномірний розподіл ресурсів між кожним регіоном країни (як результат збалансованої регіональної політики та ефективної політики регіонів);

- цілісний адміністративно-територіальний устрій країни;
- єдиний офіційний ценз міст;
- доступні дані по міграції у розрізі міських поселень, сільської місцевості, міських агломерацій;
- сприятлива демографічна ситуація (якщо використовується показник середньорічного темпу приросту населення).

Виконання наведених вище умов є дуже важливим для того, щоб ефективно використовувати результати тестування моделі диференціальної урбанізації для потреб регіональної політики. Адже, лише при стабільних економічній і політичній системах, адміністративно-територіальній цілісності території, відкритому доступі до демографічних даних, модель диференціальної урбанізації може використовуватись для певного прогнозування та подальшого програмування розвитку як на національному рівні, так і на рівні поліцентричних урбанізованих регіонів. Перспективним напрямком подальших досліджень диференціальної урбанізації в Україні є тестування моделі диференціальної урбанізації на субнаціональному масштабному рівні (наприклад, на рівні великих метрополітенських регіонів).

Список використаної літератури

1. Бондар В.В. Особливості екістико-демографічного розвитку селищної поселенської мережі передмістя Києва / В.В. Бондар // Український географічний журнал. – 2017. – № 4. – С. 48-53. <https://doi.org/10.15407/ugz2017.04.048>
2. Відкрита база даних чисельності населення міських поселень України «Cities&towns of Ukraine» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://pop-stat.mashke.org/ukraine-cities.htm>
3. Дані Всесоюзних переписів населення України: відкриті бази даних Демоскоп [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.demoscope.ru/weekly/>
4. Мезенцев К. Тестування моделі диференціальної урбанізації в країні / К. Мезенцев, О. Гаврилюк // Економічна та соціальна географія. – 2015. – Вип. 73. – С. 15-26. <https://doi.org/10.17721/2413-7154/2015.73.15-26>
5. Мезенцев К.В. Регіональний розвиток в Україні: сіспільно-просторова нерівність та поляризація / К.В. Мезенцев, Г.П. Підрушній, Н.І. Мезенцева. – К.: Прінт Сервіс, 2014. – 132 с.
6. Нефедова Т.Г. Теория "дифференциальной урбанизации" и иерархия городов в России на рубеже XXI века [Електронний ресурс] / Т.Г. Нефедова, А.И. Тревиш // Демоскоп Weekly. – 2005. – Вип. 217-218: 10-23 октяб-ря. – Режим доступу: http://www.demoscope.ru/weekly/2005/0217/analit01.php#_FNR_1%22
7. Олійник Я.Б. Вступ до соціальної географії: Навч. посіб. / Я.Б. Олійник, А.В. Степаненко. – К.: Т-во "Знання", КОО, 2000. – 204 с.
8. Пітюренко Ю.І. Розвиток міст і міське розселення в Українській РСР / Ю.І. Пітюренко. – Київ: Наукова думка, 1972. – 188 с.
9. Прибиткова І.М. Еволюція міських систем у часі й просторі: український варіант розвитку / І.М. Прибиткова // Містобудування та територіальне планування. – 2011. – Вип. 41. – С. 351-368.
10. Руденко Л.Г. Украина: изменения городского пространства / Л.Г. Руденко, И.Г. Савчук // Український географічний журнал. – 2013. – № 2(82). – С. 48-56. <https://doi.org/10.15407/ugz2013.02.048>
11. Салій І.М. Урбанізація в Україні: соціальний та управлінський аспекти / І.М. Салій. – Київ: Наукова думка, 2005. – 303 с.
12. Урбанізаційні процеси в Україні 1989-2013 [Електронний ресурс] // Звіт Світового банку, 2015 р. – Режим доступу: <https://mistosite.org.ua/ru/articles/urban%D1%96zacc%D1%96jn%D1%96-procesy-v-ukrayin%D1%96-zv%D1%96t-sv%D1%96tovogo-banku>
13. Урбаністична Україна: в епіцентрі просторових змін: монографія / За ред. К. Мезенцева, Я. Олійника, Н. Мезенцевої. – К.: Видавництво «Фенікс», 2017. – 438 с.
14. Berry B.J.L. The counterurbanization process: urban America since 1970 / B.J.L. Berry // Urbanization and Counterurbanization [Ed. by Berry B.J.L.]. – Beverly Hills, CA: Sage, 1976. – P. 17-30.

15. Bonifazi C. Testing the differential urbanisation model for Italy / C. Bonifazi, F. Heins // *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*. – 2003. – Vol. 94(1). – P. 23-37. <https://doi.org/10.1111/1467-9663.00234>
16. Campuzano E.P. (2006). Reestructuración urbano-regional y emigración de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México [Електронний ресурс] / E.P. Campuzano // *Investigaciones Geográficas*. – 2006. – Núm. 60. – P. 127-144. – Режим доступу: <https://www.redalyc.org/pdf/569/56906011.pdf>
17. Champion T. Counterurbanisation: The Conceptual and Methodological Challenge / T. Champion // *Counterurbanisation: The Changing Pace and Nature of Population Deconcentration* [Ed. by T. Champion]. – London, UK: Edward Arnold, 1989. – P. 19-33.
18. Champion T. Testing the differential urbanisation model in Great Britain, 1901–91 / T. Champion // *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*. – 2003. – Vol. 94(1). – P. 11-22. <https://doi.org/10.1111/1467-9663.00233>
19. Champion T. Urbanization, suburbanization, counterurbanization and reurbanization / T. Champion // *Handbook of urban studies* [Ed. by R. Paddison]. – London: SAGE Publications Ltd, 2001. – P. 143-161. <https://doi.org/10.4135/9781848608375.n9>
20. Elliott J.R. Cycles within the System: Metropolitanisation and Internal Migration in the US, 1965-90 / J.R. Elliott // *Urban Studies*. – 1997. – Vol. 34(1). – P. 21-41. <https://doi.org/10.1080/0042098976258>
21. Fielding A. Migration and Urbanization in Western Europe Since 1950 / A. Fielding // *The Geographical Journal*. – 1989. – Vol. 155(1). – P. 60-69. <https://doi.org/10.2307/635381>
22. Fielding A.J. Counterurbanisation in Western Europe / A.J. Fielding // *Progress in Planning*. – 1982. – Vol. 17(1). – P. 1-52. [https://doi.org/10.1016/0305-9006\(82\)90006-X](https://doi.org/10.1016/0305-9006(82)90006-X)
23. Gedik A. Differential urbanisation in Turkey, 1955–1997 / A. Gedik // *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*. – 2003. – Vol. 94(1). – P. 100-111. <https://doi.org/10.1111/1467-9663.00240>
24. Geyer H. A Theoretical Foundation for the Concept of Differential Urbanization / H. Geyer, T. Kontuly // *Differential Urbanization: Integrating Spatial Models* [Ed. by H. Geyer, T. Kontuly]. – London, UK: Edward Arnold. – 1996. – P. 290-308.
25. Geyer H. An Exploration in Migration Theory / H. Geyer // *International Handbook of Urban Systems* [Ed. by H. Geyer]. – Cheltenham, UK: Edward Elgar. – 2002. – P. 39-66.
26. Geyer H. Expanding the Theoretical Foundation of the Concept of Differential Urbanization / H. Geyer // *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*. – 1996. – Vol. 87(1). – P. 44-59. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9663.1998.tb01536.x>
27. Geyer H.S. A theoretical foundation for the concept of differential urbanization / H.S. Geyer, T.M. Kontuly // *Regional policy and regional integration: Vol. 6 of modern classics in regional science* [Ed. by N. Hansen, K.J. Button, P. Nijkamp]. – Cheltenham: Edward Elgar. – 1993. – P. 219-228.
28. Geyer H.S. Implications of differential urbanisation on deconcentration in the Pretoria-Witwatersrand-Vaal Triangle metropolitan area, South Africa / H.S. Geyer // *Geoforum*. – 1990. – Vol. 21(4). – P. 385–396. [https://doi.org/10.1016/0016-7185\(90\)90019-3](https://doi.org/10.1016/0016-7185(90)90019-3)
29. Gnatiuk O. From the agricultural station to a luxury village? Changing and ambiguous everyday practices in the suburb of Vinnytsia (Ukraine) / O. Gnatiuk, K. Mezentsev, N. Provotar // *Moravian Geographical Reports*. – 2021. – Vol. 29(3). – P. 202-216. <https://doi.org/10.2478/mgr-2021-0015>
30. Gnatiuk O. Demographic dimension of suburbanization in Ukraine in the light of urban development theories / O. Gnatiuk // *AUC Geographica*. – 2017. – Vol. 52(2). – P. 151-163. <https://doi.org/10.14712/23361980.2017.12>
31. Hall P. Spatial Structure of Metropolitan England / P. Hall // *Spatial Policy Problems of the British Economy* [Ed. by M. Chisholm, G. Manners]. – Cambridge, UK: Cambridge University Press. – 1971. – P. 96-126.
32. Havryliuk O. Suburbanization, but centralization? Migration patterns in the post-Soviet functional urban region – evidence from Kyiv / O. Havryliuk, O. Gnatiuk, K. Mezentsev // *Folia Geographica*. – 2021. – Vol. 63(1). – P. 64-84. Available at: <http://www.foliageographica.sk/unipo/journals/2021-63-1/587>
33. Karácsonyi D. From Global Economic Crisis to Armed Crisis: Changing Regional Inequalities in Ukraine / D. Karácsonyi, K. Mezentsev, G. Pidgrusnyi, Z. Dövényi // *Regional Statistics*. – 2014. – Vol. 4(2). – P. 18-39. <https://doi.org/10.15196/RS04202>
34. Kontuly T. Introduction to Special Issue: Testing the Differential Urbanisation Model in Developed and Less Developed Countries / T. Kontuly, H.S. Geyer // *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*. – 2003. – Vol. 94(1). – P. 3-10. <https://doi.org/10.1111/1467-9663.00232>
35. Kontuly T. Lessons Learned from Testing the Differential Urbanisation Model / T. Kontuly, H.S. Geyer // *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*. – 2003. – Vol. 94(1). – P. 124-128. <https://doi.org/10.1111/1467-9663.00242>
36. Kontuly T. Testing the temporal characterization of the differential urbanization model in western Germany over the period 1939-2010 / T. Kontuly, B. Dearden // *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*. – 2003. – Vol. 94(1). – P. 64-74. <https://doi.org/10.1111/1467-9663.00237>
37. Magocsi P.R. A History of Ukraine: The Land and Its Peoples / P.R. Magocsi, [2nd Edition]. – Toronto: University of Toronto Press, Scholarly Publishing Division, 2010. – 896 p.
38. Mezentsev K. An island of civilization in a sea of delay? Indifference and fragmentation along the rugged shorelines of Kiev's newbuild archipelago / K. Mezentsev, M. Gentile, N. Mezentseva, I. Stebletska // *Journal of Urban Affairs*. – 2019. – Vol. 41(5). – P. 654-678. <https://doi.org/10.1080/07352166.2018.1503544>

39. Mezentssev K. *New Social and Economic Processes in Kyiv's Hinterland* / K. Mezentssev, I. Brade, N. Mezentsseva // *Часопис соціально- економічної географії*. – 2012. – Вип. 12(1). – С. 156-160.
40. Nefedova T. *Differential urbanization in Russia* / T. Nefedova, A. Treivish // *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*. – 2003. – Vol. 94(1). – P. 75–88. <https://doi.org/10.1111/1467-9663.00238>
41. *Population growth rate: methodology. Demographics: Population Change: Core indicator* [Електронний ресурс] // United Nations. – Режим доступу: http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/methodology_sheets/demographics/population_growth_rate.pdf
42. Richardson H.W. *Polarization Reversal in Developing Countries* / H.W. Richardson // *Papers in Regional Science*. – 1980. – Vol. 45(1). – P. 67-85. <https://doi.org/10.1111/j.1435-5597.1980.tb01101.x>
43. Tammaru T. *Urban and rural population change in Estonia: patterns of differentiated and undifferentiated urbanization* / T. Tammaru // *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*. – 2003. – Vol. 94(1). – P. 112-123. <https://doi.org/10.1111/1467-9663.00241>
44. Tammaru T. *Urbanization, Suburbanization, and Counterurbanization in Estonia* / T. Tammaru, H. Kulu, I. Kask // *Eurasian Geography and Economics*. – 2004. – Vol. 45(3). – P. 212-229. <http://dx.doi.org/10.2747/1538-7216.45.3.212>
45. Tisdale H. *The Process of Urbanization* / H. Tisdale // *Social Forces*. – 1942. – Vol. 20(3). – P. 311-316. <https://doi.org/10.1093/sf/20.3.311>
46. Van den Berg L. (1982). *Urban Europe: A Study of Growth and Decline* / L. Van den Berg, R. Drewett, L.H. Klaasen, A. Rossi, C.H.T. Vijverberg. Oxford: Pergamon Press. 162 p. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-03056-3>
47. Van den Berg L. *The Urban Life Cycle and the Role of a Market-Oriented Revitalization Policy in Western Europe* / L. Van den Berg // *Urban Change in the United States and Western Europe. Comparative analysis* [Ed. by A. Summers, P. Cheshire, L. Senn]. – Washington, DC: The Urban Institute Press. – 1999. – P. 539-558.

Дифференциальная и недифференциальная урбанизация в Украине в советскую и пост-советскую эру

Алексей Константинович Гаврилюк,

аспирант кафедры экономической и социальной географии Киевского национального университета имени Тараса Шевченко, ул. Владимирская, 64, г. Киев, 01601, Украина;

главный экономист сектора миграционных исследований Института демографии и социальных исследований имени М.В. Птухи НАН Украины, бульв. Тараса Шевченко, 60, г. Киев, 01032, Украина

В статье изложены результаты тестирования модели дифференциальной урбанизации (*the differential urbanization model*) в Украине на основе демографических данных социалистического и пост-социалистического времени. Описаны эмпирически установленные паттерны дифференциальной и недифференциальной урбанизации и раскрыто общественно-географические условия их формирования. Установлено, что в Украине в течение шести деkad (1959-2019 гг.) урбанизация имела несколько рестартов в рамках модели дифференциальной урбанизации, которые были обусловлены кризисными процессами на территории страны (например, мировой экономический кризис), а также фиксируются кризисные паттерны недифференциальной урбанизации, связанные с резким обострением кризисных явлений и процессов (военный конфликт, изменение экономической системы). Сравнение полученных эмпирических результатов с результатами предыдущих исследований подтвердило ряд гипотез. С одной стороны, гипотезу о недифференциальной урбанизации в Украине в кризисные периоды, которая, как и в бывшей Эстонской ССР, была связана с коллапсом Советского Союза и переходом от командно-административной к рыночной экономике в 1990-х годах. С другой стороны, с помощью миграционных показателей было подтверждено ранее выдвинутую гипотезу о том, что в 2008-2010 гг. в Украине наблюдалась кризисная контр-урбанизация в рамках модели дифференциальной урбанизации. Такая «кризисная эволюция» дифференциальной урбанизации в Украине является результатом пертурбационных социально-экономических процессов. Международные сравнения траекторий дифференциальной урбанизации указали на то, что кроме Украины стадию кризисной контр-урбанизации имели и бывшая Западная Германия, и Россия, которые прошли ее еще в первой половине XX века. После начала военной агрессии со стороны России на территории Украины фиксируется кризисный паттерн недифференциальной урбанизации.

Ключевые слова: урбанизация, советское и постсоветское городское развитие, модель дифференциальной урбанизации, паттерны дифференциальной и недифференциальной урбанизации, Украина.

Differential and non-differential urbanization in Ukraine during the soviet and post-soviet era

Oleksii Havryliuk,

PhD student, Department of Economic and Social Geography,
Taras Shevchenko National University of Kyiv, 64 Volodymyrska St., Kyiv, 01601, Ukraine;
Chief Economist, Department for Migration Studies, Ptoukha Institute for Demography and Social Studies
of the National Academy of Sciences of Ukraine, 60 Taras Shevchenko Boulevard, Kyiv, 01032, Ukraine

ABSTRACT

Formulation of the problem. To date, there are several concepts for the phased development of urban systems of various scales. But most of these urban development models are created in Western scientific schools of human geography. These models help to identify the stages of urban development in the socio-economic and political conditions of these countries. However, these models often cannot clearly identify the stages of urban development in post-socialist and post-Soviet countries, and especially in their previous socialist or Soviet periods. Since the 1990s, Ukraine has been in a demographic crisis, which significantly distorts the perception of researchers about the processes of urbanization in its territory. Therefore, it is important to study the trends of urbanization in Ukraine through the prism of the concepts of stage-cyclical urban development. The comparison of the results with international trends and cases is also of high relevance. Based on these motives, this article tests the differential urbanization model as one of the key models of stage-evolutionary development of urban systems of higher hierarchical levels.

The purpose of the article: (1) to investigate the peculiarities of the development of urbanization processes in Ukraine during 1959-2019; (2) to rethink the conceptual basis of the differential urbanization model and methodological approaches to its testing in Ukraine; (3) to identify Soviet and post-Soviet patterns of urban development in Ukraine based on the results of identification of stages of the differential urbanization model; (4) to compare the results of testing the differential urbanization model in Ukraine with the cases from other countries.

Methodology. Based on the theory of the differential urbanization model and the experience of testing this model in other countries, certain methodological approaches were elaborated to test this concept at the national scale in Ukraine, namely (a) fixed sizes of urban centres, (b) two types of demographic indicators (rate of population growth and net migration rate) are used to identify the stages of differential urbanization, (c) calculations are based on official census data in Ukraine and inter-census estimates of migration and population.

Results. Empirical results indicate that urban development in Ukraine during 1959-2019, within the differential urbanization model, had several restarts, due to crisis processes of deconcentration of the population and crisis patterns of non-differential urbanization. The great or the first cycle of differential urbanization has been recorded since 1959, after the Second World War, as in 1959-1970 the initial stage of urbanization was identified. In 1970-1979, urban development entered the advanced stage of urbanization, which lasted until 1989. In 1989-1992, the initial stage of polarization reversal was observed in Ukraine. The crisis stage of non-differential urbanization started after 1992, when all categories of urban centres began to rapidly lose their population (for example, the same situation was observed in Estonia in the 1990s). Unfortunately, it was not possible to record migration trends in 1992-2002 due to the lack of a quality statistical base, and for this reason the end of the crisis stage cannot be clearly identified. Starting from 2002-2004, there was a restart of the advanced stage of urbanization, which prevailed until 2005-2007. During the World Economic Crisis (2008-2010), a crisis stage of counter-urbanization was recorded, which indicates a certain crisis deconcentration of the population of urban centres (for example, the same situation was recorded in the former West Germany and Russia during the socio-political and military crises of the first half XX century). A new restart of Ukrainian urbanization within the framework of the differential urbanization model took place in 2011-2013, when the advanced stage of large urban centres was identified. However, since 2014 in Ukraine the crisis pattern of non-differential urbanization has been fixed due to the aggravation of crisis processes in the socio-economical life of the country and the annexation of the Autonomous Republic of Crimea and the beginning of the Russian-Ukrainian war in Donbas.

Scientific novelty and practical significance. Based on the results of previous research, a hybrid methodological approach to testing the differential urbanization model at the national scale was created, which was tested in Ukraine. The results of testing the differential urbanization model using the hybrid methodological approach indicate the temporary extramodelity and diversity of urban development in Ukraine. In general, with stable economic and political systems, administrative-territorial integrity, and open access to demographic data, the differential urbanization model can be used for certain forecasting and further programming of urban development both at the national level and at the level of polycentric urban regions.

Keywords: urbanization, Soviet and post-Soviet urban development, differential urbanization model, patterns of differential and non-differential urbanization, Ukraine.

References

1. Bondar, V.V. (2017). Features of ecistic-demographic development of the settlement network of Kyiv suburbs. *Ukrainian Geographical Journal*, 4(100), 48-53. <https://doi.org/10.15407/ugz2017.04.048>
2. Open database of the urban settlements population in Ukraine: "Cities & towns of Ukraine". Available at: <http://pop-stat.mashke.org/ukraine-cities.htm>

3. Data of the All-Union Population Census in Ukraine; open databases Demoscope. Available at: <http://www.demoscope.ru/weekly/>
4. Mezentssev, K., & Havryliuk, O. (2015). Testing of the differential urbanization model in Ukraine. *Ekonomichna ta Sotsialna Geografiya*, 73, 15-26. <https://doi.org/10.17721/2413-7154/2015.73.15-26>
5. Mezentssev, K., Pidgrushnyi, G., & Mezentsseva, N. (2014). Regional development in Ukraine: Socio-spatial inequality and polarization. Kyiv: Print Service, 132.
6. Nefedova, T. G., & Treivish, A. I. (2005, October 10-23) The theory of "differential urbanization" and the hierarchy of cities in Russia at the turn of the XXI century. *Demoscope Weekly*, No. 217-218. Available at: http://www.demoscope.ru/weekly/2005/0217/analit01.php#_FNR_1%22
7. Oliynyk, Ya.B., & Stepanenko, A.V. (2000). Introduction to Social Geography: A Study Guide. Kyiv: Society "Knowledge", KOO, 204 p. (Higher education of the XXI century).
8. Pityurenko, Yu.I. (1972). Urban development and urban settlement system in Ukrainian SSR. Kyiv: Naukova dumka, 188.
9. Prybytkova, I.M. (2011). Evolution of urban systems in time and space dimension: Ukrainian way of development. *Urban planning and spatial planning*, 41, 351-368.
10. Rudenko, L.G., & Savchuk, I.G. (2013). Ukraine: cities space changes. *Ukrainian Geographical Journal*, 2(82), 48-56. <https://doi.org/10.15407/ugz2013.02.048>
11. Saliy, I.M. (2005). Urbanization in Ukraine: social and managerial aspects. Kyiv: Naukova dumka, 303 p.
12. World Bank Report (2015): Urbanization processes in Ukraine 1989-2013. Available at: <https://mistosite.org.ua/ru/articles/urban%D1%96zacz%D1%96jn%D1%96-procesy-v-ukrayin%D1%96-zv%D1%96t-sv%D1%96tovogo-banku>
13. Mezentssev, K., Oliynyk, Ya., & Mezentsseva, N. (eds) (2017). Urban Ukraine: in the epicenter of spatial changes. Kyiv: Phoenix Publishing, 438.
14. Berry, B.J.L. (1976). The counterurbanization process: urban America since 1970. In B.J.L. Berry (ed), *Urbanization and Counterurbanization*. Beverly Hills, CA: Sage, 17-30.
15. Bonifazi, C., & Heins, F. (2003). Testing the differential urbanisation model for Italy. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 94(1), 23-37. <https://doi.org/10.1111/1467-9663.00234>
16. Campuzano, E.P. (2006). Reestructuración urbano-regional y emigración de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México [Urban and regional restructuring of the metropolitan area of the City of Mexico]. *Investigaciones Geográficas*, 127-144. Available at: <https://www.redalyc.org/pdf/569/56906011.pdf>
17. Champion, T. (1989). Counterurbanisation: The Conceptual and Methodological Challenge. In T. Champion (ed), *Counterurbanisation: The Changing Pace and Nature of Population Deconcentration*. London, UK: Edward Arnold, 19-33.
18. Champion, T. (2003). Testing the differential urbanisation model in Great Britain, 1901–91. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 94(1), 11-22. <https://doi.org/10.1111/1467-9663.00233>
19. Champion, T. (2001). Urbanization, suburbanization, counterurbanization and reurbanization. In R. Paddison (ed), *Handbook of urban studies*. London: SAGE Publications Ltd, 143-161. <https://doi.org/10.4135/9781848608375.n9>
20. Elliott, J.R. (1997). Cycles within the System: Metropolitanisation and Internal Migration in the US, 1965-90. *Urban Studies*, 34(1), 21-41. <https://doi.org/10.1080/0042098976258>
21. Fielding, A. (1989). Migration and Urbanization in Western Europe Since 1950. *The Geographical Journal*, 155(1), 60-69. <https://doi.org/10.2307/635381>
22. Fielding, A.J. (1982). Counterurbanisation in Western Europe. *Progress in Planning*, 17(1), 1-52. [https://doi.org/10.1016/0305-9006\(82\)90006-X](https://doi.org/10.1016/0305-9006(82)90006-X)
23. Gedik, A. (2003). Differential urbanisation in Turkey, 1955–1997. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 94(1), 100-111. <https://doi.org/10.1111/1467-9663.00240>
24. Geyer, H., & Kontuly, T. (1996). A Theoretical Foundation for the Concept of Differential Urbanization. In H. Geyer, T. Kontuly (eds), *Differential Urbanization: Integrating Spatial Models*. London, UK: Edward Arnold, 290-308.
25. Geyer, H. (2002). An Exploration in Migration Theory. In H. Geyer (ed), *International Handbook of Urban Systems*. Cheltenham, UK: Edward Elgar, 39-66.
26. Geyer, H. (1996). Expanding the Theoretical Foundation of the Concept of Differential Urbanization. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 87(1), 44-59. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9663.1998.tb01536.x>
27. Geyer, H.S., & Kontuly, T.M. (1993). A theoretical foundation for the concept of differential urbanization. In N. Hansen, K.J. Button, & P. Nijkamp (eds), *Regional policy and regional integration: Vol. 6 of modern classics in regional science*. Cheltenham: Edward Elgar, 219-228.
28. Geyer, H.S. (1990). Implications of differential urbanisation on deconcentration in the Pretoria-Witwatersrand-Vaal Triangle metropolitan area, South Africa. *Geoforum*, 21(4), 385–396. [https://doi.org/10.1016/0016-7185\(90\)90019-3](https://doi.org/10.1016/0016-7185(90)90019-3)
29. Gnatiuk, O., Mezentssev, K., & Provotar, N. (2021). From the agricultural station to a luxury village? Changing and ambiguous everyday practices in the suburb of Vinnytsia (Ukraine). *Moravian Geographical Reports*, 29(3), 202-216. <https://doi.org/10.2478/mgr-2021-0015>
30. Gnatiuk, O. (2017). Demographic dimension of suburbanization in Ukraine in the light of urban development theories. *AUC Geographica*, 52(2), 151-163. <https://doi.org/10.14712/23361980.2017.12>

31. Hall, P. (1971). *Spatial Structure of Metropolitan England*. In M. Chisholm, & G. Manners (eds), *Spatial Policy Problems of the British Economy*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 96-126.
32. Havryliuk, O., Gnatiuk, O., & Mezentsev, K. (2021). Suburbanization, but centralization? Migration patterns in the post-Soviet functional urban region – evidence from Kyiv. *Folia Geographica*, 63(1), 64-84. Available at: <http://www.foliageographica.sk/unipo/journals/2021-63-1/587>
33. Karácsonyi, D., Mezentsev, K., Pidgrusnyi, G., & Dövényi, Z. (2014). From Global Economic Crisis to Armed Crisis: Changing Regional Inequalities in Ukraine. *Regional Statistics*, 4(2), 18-39. <https://doi.org/10.15196/RS04202>
34. Kontuly, T., & Geyer, H.S. (2003). Introduction to Special Issue: Testing the Differential Urbanisation Model in Developed and Less Developed Countries. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 94(1), 3-10. <https://doi.org/10.1111/1467-9663.00232>
35. Kontuly, T., & Geyer, H.S. (2003). Lessons Learned from Testing the Differential Urbanisation Model. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 94(1), 124-128. <https://doi.org/10.1111/1467-9663.00242>
36. Kontuly, T., & Dearden, B. (2003). Testing the temporal characterisation of the differential urbanisation model in western Germany, 1939–2010. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 94 (1), 64-74. <https://doi.org/10.1111/1467-9663.00237>
37. Magocsi, P.R. (2010). *A History of Ukraine: The Land and Its Peoples*, 2nd Edition. Toronto: University of Toronto Press, Scholarly Publishing Division, 896.
38. Mezentsev, K., Gentile, M., Mezentseva, N., & Stebletska, I. (2019). An island of civilization in a sea of delay? Indifference and fragmentation along the rugged shorelines of Kiev's newbuild archipelago. *Journal of Urban Affairs*, 41(5), 654-678. <https://doi.org/10.1080/07352166.2018.1503544>
39. Mezentsev, K., Brade, I., & Mezentseva, N. (2012). New Social and Economic Processes in Kyiv's Hinterland. *Human Geography Journal*, 12(1), 156-160.
40. Nefedova, T., & Treivish, A. (2003). Differential urbanisation in Russia. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 94(1), 75-88. <https://doi.org/10.1111/1467-9663.00238>
41. Population growth rate: methodology. Demographics: Population Change: Core indicator. Unated Nations. Available at: http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/methodology_sheets/demographics/population_growth_rate.pdf
42. Richardson, H.W. (1980). Polarization Reversal in Developing Countries. *Papers in Regional Science*, 45(1), 67-85. <https://doi.org/10.1111/j.1435-5597.1980.tb01101.x>
43. Tammaru, T. (2003). Urban and rural population change in Estonia: patterns of differentiated and undifferentiated urbanisation. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 94(1), 112-123. <https://doi.org/10.1111/1467-9663.00241>
44. Tammaru, T., Kulu, H., & Kask, I. (2004). Urbanization, Suburbanization, and Counterurbanization in Estonia. *Eurasian Geography and Economics*, 45(3), 212-229. <http://dx.doi.org/10.2747/1538-7216.45.3.212>
45. Tisdale, H. (1942). The Process of Urbanization. *Social Forces*, 20(3), 311-316. <https://doi.org/10.1093/sf/20.3.311>
46. Van den Berg, L., Drewett, R., Klaasen, L.H., Rossi, A., and Vijverberg, N.H.T. (1982). *Urban Europe: A Study of Growth and Decline*. Oxford: Pergamon Press, 184 p. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-03056-3>
47. Van den Berg, L. (1999). The Urban Life Cycle and the Role of a Market-Oriented Revitalization Policy in Western Europe. In A. Summers, P. Cheshire, & L. Senn (eds), *Urban Change in the United States and Western Europe. Comparative analysis*. Washington, DC: The Urban Institute Press, 539-558.

Received 30 November 2020
Accepted 25 January 2021

Evaluation of atmosphere clearness and cloudiness parameters in the southern regions of Ukraine using statistical analysis

Vasyl I. Zatula¹,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Meteorology and Climatology,
¹Taras Shevchenko National University of Kyiv, 64/13 Volodymyrska St., Kyiv, 01601, Ukraine,
 e-mail: vaszatula@meta.ua, <https://orcid.org/0000-0001-5598-0200>;

Yaroslav V. Kyhtenko¹,

Master's student, Department of Meteorology and Climatology,
 e-mail: ykihtenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3058-4524>;

Rostyslav V. Oliynyk¹,

PhD (Geophysics), Associate Professor, Department of Meteorology and Climatology,
 e-mail: rv_oliynyk@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8675-7009>;

Sergiy I. Snizhko¹,

DSc (Geography), Professor, Head of Department of Meteorology and Climatology,
 e-mail: snizhko@knu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-2696-687X>

ABSTRACT

Introduction. This paper deals with the specific aspects of insolation of the terrestrial surface in the southern regions of Ukraine, namely the clearness index and diffuse fraction of the atmosphere. The study was based on satellite data of the average daily insolation and total cloudiness in the nodes of the two-degree grid for the domain with coordinates 48°-45° N and 29°-39° E for the period of 1981-2020.

The purpose of article. The purpose was to develop statistic models of horizontal surface insolation for various locations of study domain. Main focus was put on special characteristics in conditions of fixed cloudiness. Satellite data for the summer season had been used to evaluate the maximum solar energy potential of Ukraine.

Methods. Application statistical analysis and means of cartographic data layout were used in the paper.

Results. It was found that with the highest (more than 50%) frequency the total cloud cover can be characterized by the atmosphere clarity $0.7 \div 0.9$ corresponding to a clear sky condition. The significance of irradiation of the terrestrial surface with diffuse solar radiation has been observed, with the share of such radiation in the global irradiation (diffuse ratio) being closely inversely related to the clearness index (correlation about -0.97). In turn, both diffuse ratio and clearness index are statistically dependent on the sky clarity, that allowed deriving analytical functions - diffuse ratio and clearness index - of the sky clarity, which appeared to be S- and Z-shaped curves, respectively. Dispersion of the clearness index (k_t) and the diffuse fraction (k_d) values and the strength of their statistical relationship significantly depend on the sky clarity. The empirical distribution of the two-dimensional random variable ($k_t; k_d$) well meets the Gaussian distribution, and the obtained dispersion ellipses allowed calculating the confidence intervals of the two-dimensional random variable (clearness index: diffuse fraction) for a given confidence level. The spatial distribution of the clearness index and diffuse fraction of the atmosphere in the southern regions of Ukraine revealed a significant dependence of these indices on the latitude and the type of underlying surface. At the end of the summer a seasonal effect has been observed in the spatial distribution of the clearness index and diffuse fraction, which can be explained by the specific seasonal features of atmospheric circulation, caused by the spreading out of the eastern ridge of the Azores anticyclone and the general situation with blocking developments in the Atlantic-European sector of the Northern Hemisphere.

The scientific novelty. Correlation and regression models of special insolation characteristics in conditions of various cloudiness that are represented in this paper are new to Ukraine. Analysis of two-dimensional random value spread (clearness index: cloudiness index) allowed to assess probabilities of integral solar radiation flows. The obtained analytical membership functions for monthly average values of clearness and cloudiness indices depending on the level of sky clarity proved to be applicable for determining respective indices for daily time scale.

Practical significance. The obtained results are important for comprehensive assessment of the solar / photovoltaic resources of southern regions of Ukraine. Specifically, analytical dependences have practical values for the purpose of forecasting direct and diffuse solar radiation in various time scales based on publicly available global records of solar radiation.

Keywords: clearness index; cloudiness index; sky clarity; solar energy; solar energy resource.

In cites: Zatula V. I., Kyhtenko Ya. V., Oliynyk R. V., Snizhko S. I. (2021). Evaluation of atmosphere clearness and cloudiness parameters in the southern regions of Ukraine using statistical analysis. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (55), 159-173. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-12>

Introduction (Analysis of recent research and publications). Solar energy is a renewable energy resource and its role in the development of alternative energy sources is extremely important. Any study of the solar resources requires knowledge of the basic radiation parameters for a given location

[1], such as global, diffuse and direct radiation. A substantial amount of solar energy is available in the southern regions of Ukraine over the year: the average duration of bright sunshine per year is over 2100 hours, and the annual total solar radiation is about 4200 MJ·m⁻² [2; 3]. To date, a great deal of

research is being done globally in evaluation of diffuse solar radiation, based on empirical data [1]. Recent studies have used empirical models to evaluate diffuse radiation using the clearness index. They allow obtaining the necessary radiation characteristics even without actinometric measurement tools. Numerous authors have been using linear or nonlinear regression models and polynomial models to correlate the diffuse fraction with the clearness index [4; 5]. An importance of data on solar irradiation and its fractions in the locations of solar / photovoltaic power station cannot be overestimated. However, insufficient coverage of the terrestrial surface by actinometric (radiometric) measurement stations unavoidably necessitates development of predictive models for solar energy [4, 6, 7]. The vast majority of meteorological stations record only global irradiation measured in the horizontal plane, without direct and diffuse solar radiation fractions. However, it is not always possible to obtain historical datasets of the above-mentioned parameters, despite the fact that the monthly and daily global irradiation is the most commonly recorded parameter. It is much more difficult to measure the diffuse and direct fractions, so the history of these records is even more recent than those of global radiation measurements [8]. It should be noted that most radiometric stations are not equipped with the measurement tools for the diffuse fraction of solar irradiation [9]. However, its contribution is quite noticeable, and diffuse fraction is an important parameter for solar energy projects. It cannot be estimated exclusively on the basis of ray optics laws, since the extraterrestrial diffuse irradiation is not isotropic. Therefore, creation of correlation models to evaluate diffuse fraction based on the global solar irradiation records proves its relevance. In particular, a clearness index (k_t) and a diffuse irradiation index have been suggested, which establish empirical correlations to forecast diffuse irradiation based on available input variables [10; 11]. The limited availability of solar radiation datasets for horizontal surfaces precludes an accurate evaluation of the irradiation on the slope surfaces. At the same time, solar radiation datasets for such surfaces are an important prerequisite, in particular, in case of the deployment of solar collectors. Thus, the diffuse and direct fractions of solar irradiation represent a basis for regression correlation models used to calculate the irradiation on the slope surfaces [12]. The validity and uncertainty of the models will obviously depend on the uncertainty of solar radiation data at any location. The viability of the deployment of solar collectors network in the southern part of the steppes and on the Black sea shore of Ukraine has been established on the basis of calculations for the period 1961-1990. [13]. Recent studies have confirmed the high

potential of the southern region of Ukraine and revealed its growing solar / photovoltaic resources, which is explained by the increase of total solar radiation in the hot period and duration of bright sunshine observed in 1991-2015, mainly due to the increment in direct radiation. It has been established that in the southern part of the country and in Crimea the contribution of direct radiation in the hot season can reach 60% and even more [2]. Obtaining the characteristics of the time-space distribution of the solar energy resource solely based on the on-ground measurements is associated with certain difficulties due to the imperfections in the existing radiation conditions monitoring system: insufficient number of actinometric stations and measured characteristics of solar radiation. The variability of solar radiation at different time scales is driven by both external (astronomical) and internal (atmosphere transparency, cloud cover) factors. Multi-scale variability affects different aspects of solar energy. In particular, daily variability determines performance of the solar collector, while seasonal (monthly) variability determines efficiency of utilization and storage of solar energy [14]. It is generally accepted that regional predictive models of solar radiation are necessary, because in most cases the network density of radiometric stations is insufficient to describe the required time-space variability of radiation [15]. In this regard, there is a continuous pipeline of the new models, and existing modeling techniques are being constantly improved in order to enhance the evaluated values of solar radiation based on more accessible meteorological data [16; 17].

Purpose. The main purpose of the study is to develop statistical models of solar radiation for the South of Ukraine, which will improve the quality of estimating the atmosphere clearness and cloudiness parameters based on available meteorological data of solar radiation. To achieve this goal, it was performed an in-depth analysis of the distribution of the sky clarity for the summer season in southern regions of Ukraine, as well as linear and nonlinear modeling of relationships between diffuse ratio and clearness index, taking into account their meteorological conditionality and interdependence.

Data. The *NASA* [18], *ECMWF* [19], and *Solar Radiation* [20] websites currently contain information on the average daily values of solar radiation for various locations. They are represented by long dataset series (several decades) of evaluated values of solar energy fluxes obtained from satellite monitoring. Daily data for total (global), direct and diffuse solar radiation, and total cloudiness for the domain with coordinates 48°-45° N and 29°-39° E, which were obtained for the grid pitch 2°×2°, have been used in this study for the summer season over the period 1981-2020 (Fig. 1).

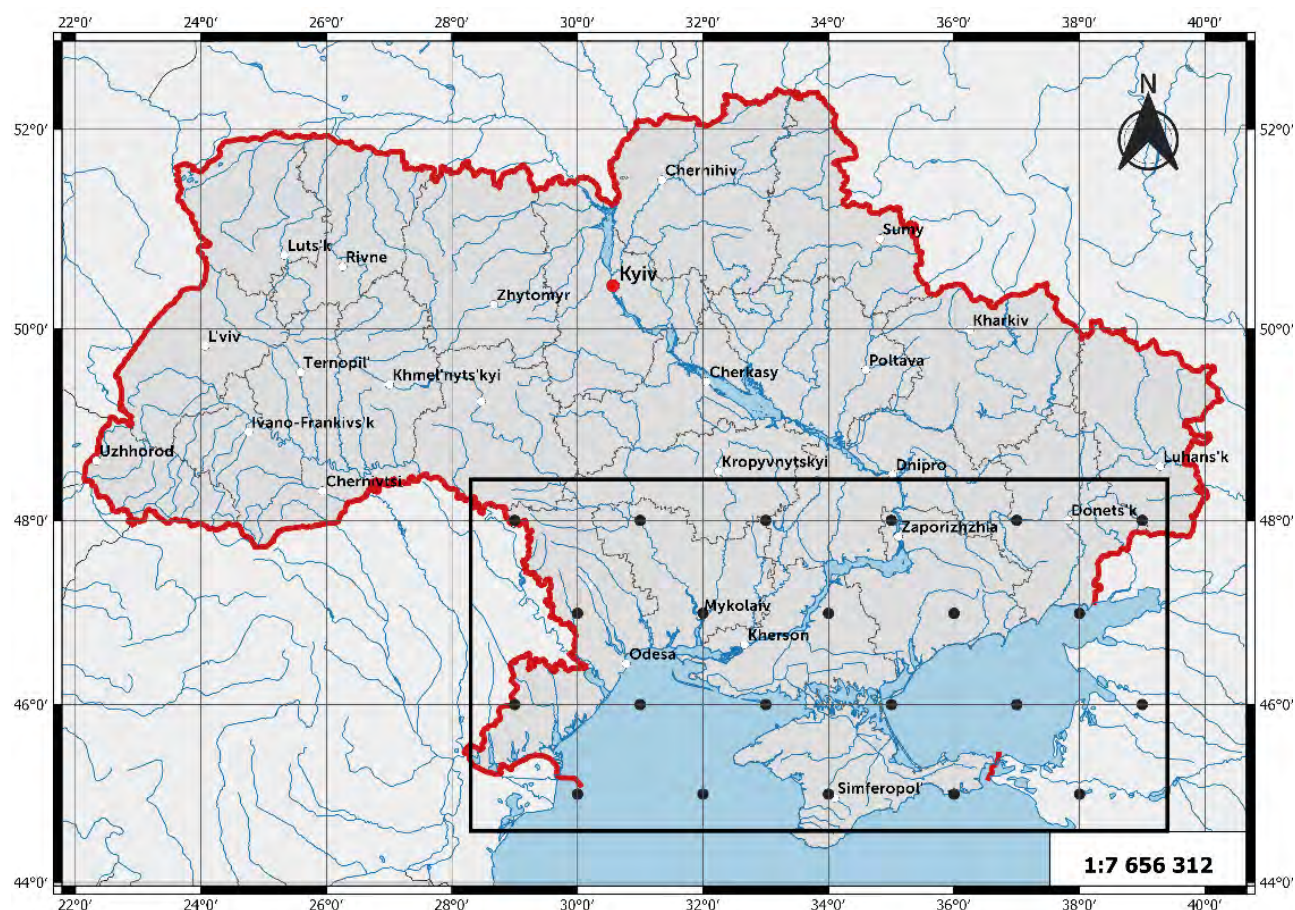


Fig. 1. Nodal points and limits of the domain being studied on the map of Ukraine

Methodology. Applied statistical analysis computations of meteorological data were performed with the aid of the *STATISTICA* software. The *Descriptive Statistics* module was used to describe and present the relationship between pairs of variables in the structure of input data. Methods *Graphical analysis* allowed to visualize the original data in the form of empirical distributions, as well as to visualize statistical relationships between two random variables. Under the condition of normal distribution of a two-dimensional random variable, scattering ellipses with a given confidential probability were constructed for it. Nonlinear multidimensional modeling of relationships was performed using linearizing transformations, in particular *Piecewise-linear regression*, which allowed nonlinear regression dependences to be approximated by piecewise linear regression. Graphical visualization provides the ability to adjust functions, in particular, spline functions, which allowed to find an analytical representation of the atmosphere clearness and cloudiness parameters, which are determined by the degree of clarity of the sky. The cartographic method was used to analyze the spatial distribution of the average monthly clearness index and the diffuse fraction values in the South of Ukraine.

Clearness index. The clearness index of the at-

mosphere is the main characteristic of the radiation conditions in a specific location, allowing to assess the transition from cloudy to clear sky. The clearness index is a basic component for determining through parameterization the conditions of the sky in a certain place, which allows evaluating the transition conditions between a completely overcast sky to a clear sky with low turbidity. The assessment of k_t is made for various averaging time scales [21-24]:

$$k_t = \frac{I}{I_0}, \quad (1)$$

where I_0 - the intensity of solar radiation at the top atmosphere boundary (incoming light flux); I - the intensity of solar radiation on the terrestrial surface (flux through the atmosphere).

Extraterrestrial solar radiation can be calculated from the following equation [25]:

$$\bar{I}_0 = \frac{I_{sc}}{\pi} \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 [h_0 \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin h_0], \quad (2)$$

where $I_{sc} = 1367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ - solar constant; D_n - number of days of the year, starting from the January 1; r_0 - average Earth-Sun distance; r - Earth-Sun distance for a fixed Earth position in an elliptical

orbit; h_0 - sunset hour angle; φ - latitude of the site; δ - solar declination as a function of its orbital position [26; 27], which are determined by the formulas below:

$$r = \sqrt{\frac{1}{1+0.0334\cos\left(2\pi\frac{D_n-2}{365.25}\right)}} \cdot r_0, \quad (3)$$

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360(284+D_n)}{365} \right], \quad (4)$$

$$h_0 = \cos^{-1}(-\tan\varphi \cdot \tan\delta). \quad (5)$$

The equation for evaluation of the average daily irradiation power at specific day has the following form [28]:

$$\bar{I}_0 = I_{sc} \left[1 + 0.034 \left(2\pi \frac{D_n}{365.25} \right) \right] [h_0 \sin\varphi \cdot \sin\delta + \cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \sin h_0]. \quad (6)$$

Sky condition indicates presence or absence of clouds in the time-space scale based on clearness index evaluation. According to the actual cloud cover, sky condition can be classified as "overcast" when clearness index is within the range of 0-0.3; "partly cloudy" (within 0.3-0.65); "clear" when the clearness index is within 0.65-1.0 [21].

Cloudiness index (diffuse fraction). The contribution of the diffuse fraction to the irradiation of the terrestrial surface is quite high. Diffuse irradiation has proved to be an important parameter for projects related to solar energy [8; 11]. In the southern regions of Ukraine, diffuse irradiation is responsible for about 15% of the monthly intake of Earth-reflected radiation. For most places in the south of

the country, the monthly intake of diffuse radiation is $50 - 60 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Since diffuse irradiation is an important factor for many areas of economy, there is a need to create correlation regression models to assess diffuse irradiation based on global irradiation records. In terms of predicting diffuse irradiation fraction based on available input variables, in particular, the clearness index (k_t), empirical relations are among the most important [6; 8; 9; 29]. The ratio of diffuse solar irradiation (I_d) to total (global) irradiation on the terrestrial surface (I) is called *cloudiness index or diffuse fraction* (k_d). Evaluation of the diffuse fraction also takes place for different averaging time scales [29-32]:

$$k_d = \frac{I_d}{I}. \quad (7)$$

Results and discussion. An evaluation of the frequency of the daily sky clarity ($1 - n$) was estimated for the southern regions of Ukraine during the summer season for the period 1981-2020, where n is the total cloud cover of the sky in unit fractions. Based on the empirical distribution (Fig. 2), the most probable values of the sky clarity for the domain being studied, which exceed the 10% frequency threshold, are within $0.6 \div 0.9$. That is, the clear sky conditions have the highest likelihood, as it was predicted.

The daily values of k_t and k_d , calculated as per the formulas (1) and (7), have allowed to create empirical frequency distributions of these values, which are presented in Fig. 3. Days with very low ($k_t < 0.15$) and high ($k_t > 0.55$) clearness index

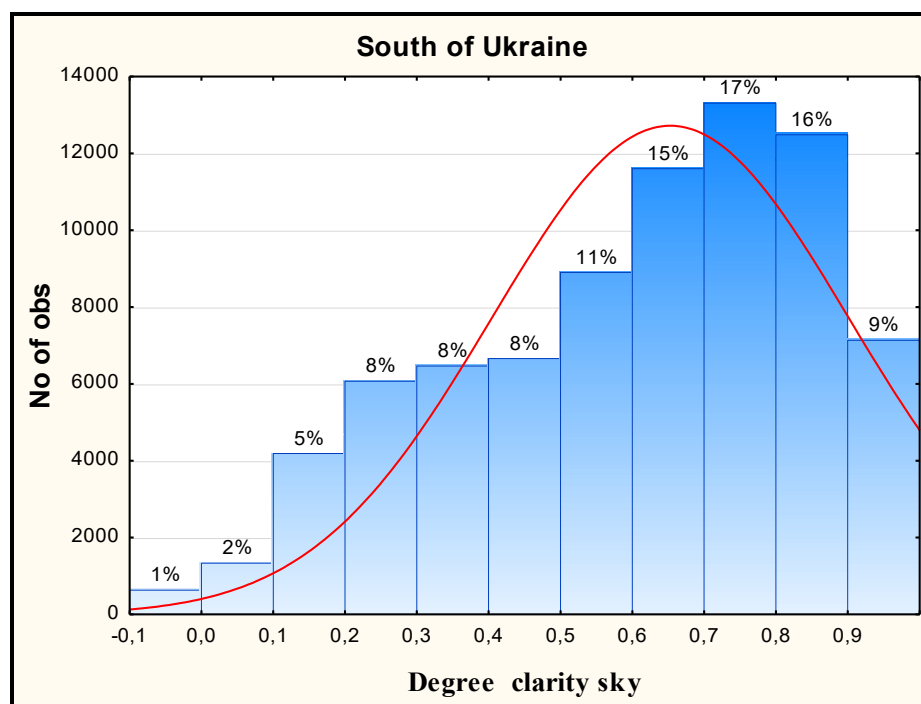
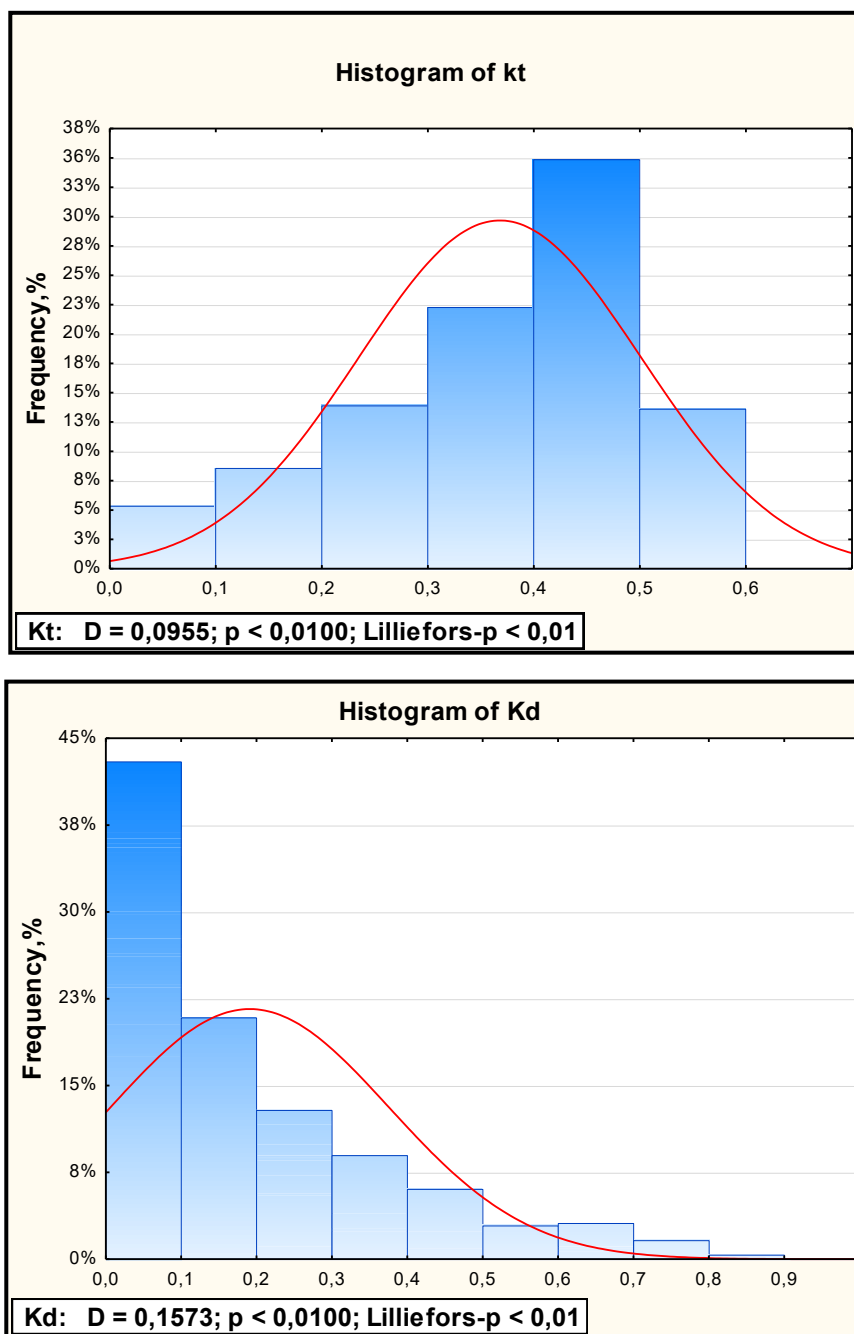


Fig. 2. Repeatability of the degree of clarity of the sky

Fig. 3. Empirical probability distribution k_t and k_d

are relatively uncommon. As the value of the diffuse fraction grows, its likelihood is exponentially declining. For example, probability is 75% for values $k_d < 0.30$.

For k_t curve a strong left skewness is observed, $A = -0.72$) meaning that the likelihood of the values $k_t < mode$ is quite high – more than 85% (Table 1).

Strong right skewness ($A = 1.20$) is inherent to k_d , but it has appeared that the Gaussian distribution suits best to approximate the empirical distribution of the calculated values of the diffuse fraction. Empirical distributions (Fig. 3) have been built for the complete sample of calculated values k_t and k_d re-

gardless of the sky clarity values. The experimental points on a $k_d - k_t$ plane spread over the entire area of the domain being studied, the measurements cover the summer season for the period 1981-2020 (Fig. 4). When calculating k_t and k_d , average daily values of the relevant radiation have been used.

Averaging data in a partly cloudy sky condition provides a smoothing effect that also filters and thereby reduces the impact of measurement errors. The resulting $k_d - k_t$ plot has a pronounced scattering due to changes in cloud cover, as well as daily changes in the physical state of the atmosphere, seasonal effects, presence of aerosols etc. For values $k_t < 0.20$ a deviation from the linear trend has been

observed. In this case it is feasible to apply linearizing transformations, namely *Piecewise-linear regression* (Table 2).

Therefore, the empirical dependence $k_d - k_t$ for the southern regions of Ukraine can be represented by two linear regression models with a $k_t = 0.23$ point of discontinuity:

$$k_d = \begin{cases} 0.438 - 0.851 \cdot k_t; & k_t > 0.23 \\ 0.755 - 1.851 \cdot k_t; & k_t < 0.23. \end{cases} \quad (8)$$

Their adequacy to the process being studied is supported, in particular, by the high determination factor ($R^2 = 0.97$). Obviously, the clearness index and diffuse fraction depend on the sky clarity (Fig. 5). For the whole domain, the average long-term values of k_t and k_d for a fixed sky clarity have been found, thus allowing to obtain the corresponding analytical dependencies.

In this case, it is convenient to use membership

Table 1

Main descriptive statistics of variables k_t and k_d for South of Ukraine. Summertime, 1981-2020

Variable	Descriptive Statistics (South of Ukraine.sta)									
	Valid N	Mean	Median	Mode	Frequency of Mode	Min	Max	Std.Dev.	Skewness	Kurtosis
k_t	80961	0.360	0.393	0.511	16	0.002	0.591	0.137	-0.720	-0.475
k_d	68421	0.200	0.132	0.021	192	0.001	0.963	0.192	1.204	0.734

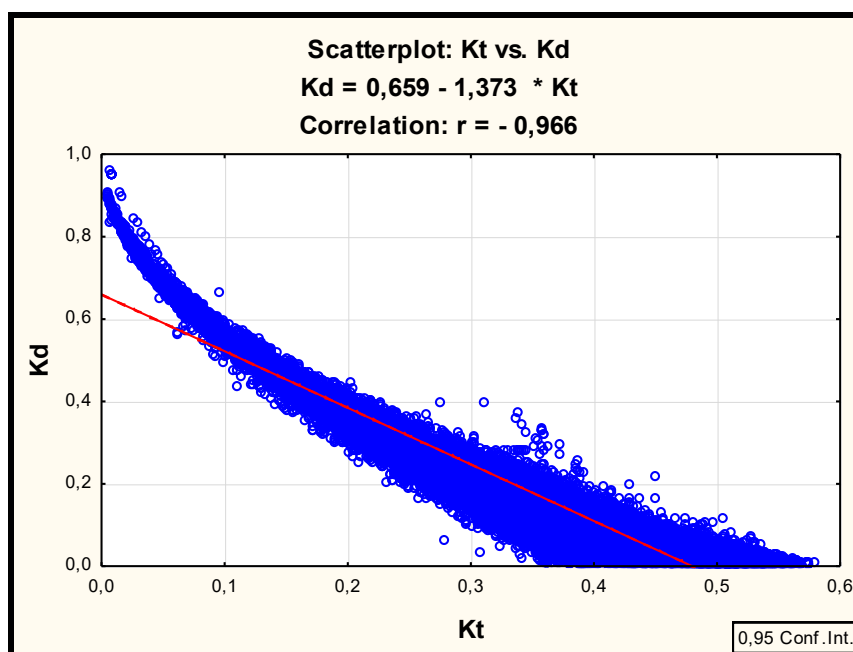


Fig. 4. Dependence of the cloudiness index on the clearness index for the South of Ukraine. Summer period 1981-2020

Table 2

Basic parameters of piecewise-linear regression models for dependence $k_d - k_t$

N=66407	Model is: Piecewise linear regression with breakpoint (South of Ukraine.sta) Dependent variable: k_d Loss: Least squares Final loss: 64.645; $R=0.986$; $R^2=0.972$; Breakpoint – 0.230			
	Const. B_0	k_t	Const. B_0	k_t
Estimate	0.438	-0.851	0.755	-1.851
Std.Err.	0.001	0.002	0.001	0.003
$t(66403)$	469.481	-383.399	1402.782	-685.077
-95%CL	0.436	-0.855	0.753	-1.857
+95%CL	0.440	-0.846	0.756	-1.846
p-value	0.000	0.000	0.000	0.000

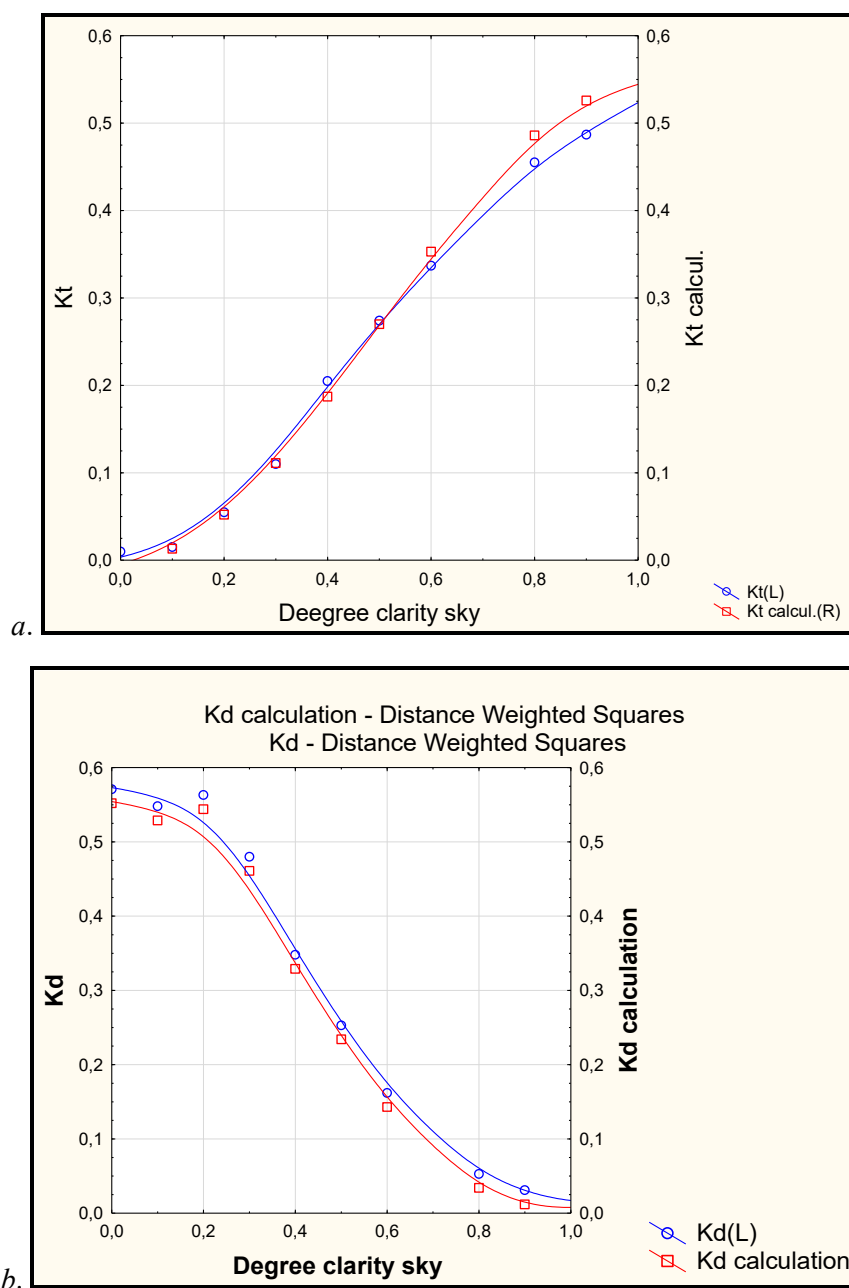


Fig. 5. Average long-term values of clearness index (a) and diffuse fraction (b) against the sky clarity in the southern regions of Ukraine. Summer period of 1981-2020

functions allowing analytical representation in the form of certain simple mathematical function. This approach simplifies the respective numerical calculations and reduces the computational resources required to store the individual values of these membership functions. It has appeared that $k_d = f(1 - n)$ is a function attributed to as a Z-shaped curve or spline function (Fig. 5). In the general case, it can be analytically defined in the following way:

$$k_d = 0.28[1 + \cos(1 - n)\pi]. \quad (9)$$

The function $k_t = f(1 - n)$ also belongs to a group of S-shaped curves and in general can be ana-

lytically defined as:

$$k_t = 0.26[1 - \cos(1 - n)\pi]. \quad (10)$$

The average long-term values of the clearness index and diffuse fraction, calculated as per the formulas (1), (7), (9) and (10), agree quite well (Fig. 5). This was also confirmed by the calculations performed for all nodes of the domain being studied. According to them, the deviation in the clearness index at the sky clarity value $(1 - n) \leq 0.5$ does not exceed 10%. However, as a cloud cover grows, the deviation noticeably increases but is below 20-25%. Deviations in the values of the diffuse fraction are much more significant, at all values of the clear-

ness index they are 20-25% in average and become especially noticeable (about 50%) at the clearness index $(1 - n) \geq 0.7$.

It should be noted that the dispersion of k_t and k_d values and the strength of their statistical relationship also significantly depend on the sky clarity. Since the empirical distribution of the two-dimensional random variable $(k_t; k_d)$ well meets the Gaussian distribution, obtaining dispersion ellipses (Fig. 6) with the major axis superimposed on the regression curve will allow predicting the confidence intervals of the k_d values for the given estimates of two-dimensional distribution parameters. Ellipses orientation (Fig. 6) about the coordinate axes is directly dependent on the correlation factor between k_t and k_d . By intersecting the density surface of the two-dimensional random variable $f(k_t; k_d)$ with a plane parallel to the $(k_t; 0; k_d)$

plane, and projecting the intersections on the $(k_t; 0; k_d)$ plane, we obtain a family of similar equally located ellipses with a common center $(\bar{k}_t; \bar{k}_d)$.

At any point of each ellipse the distribution density is constant, so such ellipses are called equal density ellipses or dispersion ellipses. Dispersion ellipses are coaxial with the dispersion curve of a random variable $(k_t; k_d)$, which are determined by the corresponding confidence interval.

Table 3 presents the linear regression equations that reflect the main axis of the dispersion ellipses of the two-dimensional random variable $(k_t; k_d)$ at different values of the sky clarity. It should be noted that the regression coefficients noticeably grow with increasing cloudiness, due to the strengthening of the statistical relationship between k_t and k_d .

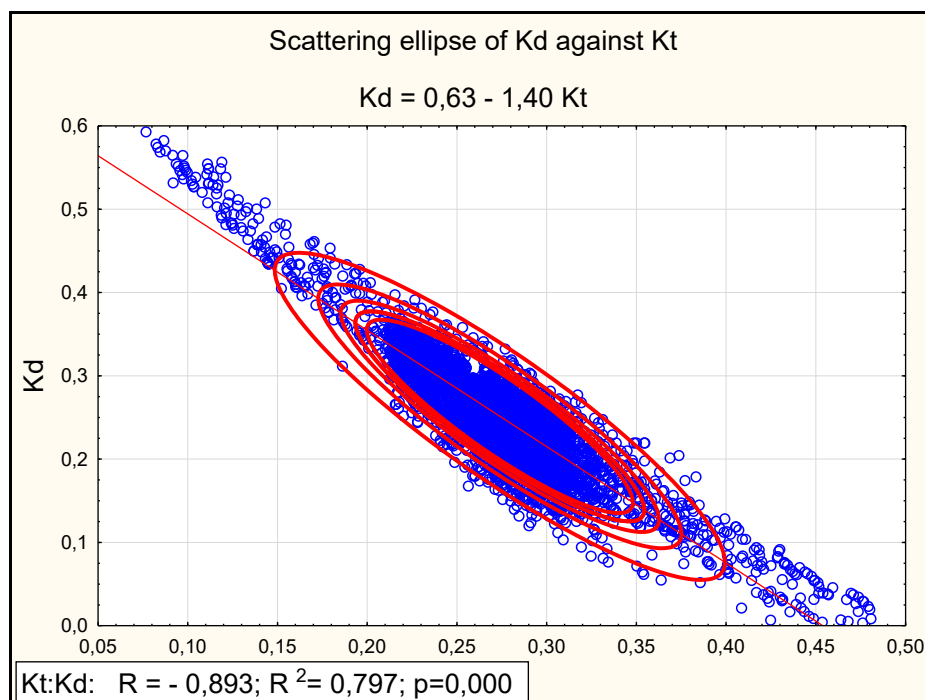


Fig. 6. Dispersion ellipse of a two-dimensional random variable (clearness index: diffuse fraction) at a sky clarity value 0.5

Table 3

The regression equation of the principal axis of the scattering ellipse

Coefficients regression	$k_d = a - b \cdot k_t$										
	Degree clarity sky										
	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0
a	0.21	0.41	0.46	0.57	0.62	0.63	0.69	0.75	0.80	0.82	0.82
b	0.36	0.80	0.90	1.20	1.36	1.40	1.57	1.84	2.18	2.47	2.51

The likelihood that the k_t and k_d values experimentally obtained therein will be valid is called the confidential probability. For predetermined confidential probability values, confidence intervals of the Gaussian distribution of a random variable

$(k_t; k_d)$ have been calculated. The boundary points of the respective confidence intervals determine the scale of the main axes of the dispersion ellipse of a random variable $(k_t; k_d)$ (Table 4).

It should be noted that the obtained confidence

Table 4

Scattering ellipse parameters

1 – n	Coordinates of the center of the ellipse		The semiaxes of the scattering ellipse, $\Delta Kt/\Delta Kd$							
	\bar{K}_t	\bar{K}_d	confidential probability							
			0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	0.95	0.99	0.999
1.0	0.523	0.019	0.015	0.018	0.022	0.028	0.035	0.042	0.055	0.071
			0.010	0.013	0.016	0.020	0.025	0.030	0.039	0.051
0.9	0.487	0.031	0.018	0.022	0.027	0.034	0.043	0.052	0.068	0.087
			0.019	0.024	0.029	0.036	0.047	0.055	0.073	0.093
0.8	0.455	0.053	0.023	0.028	0.035	0.043	0.055	0.066	0.087	0.111
			0.026	0.033	0.040	0.050	0.064	0.076	0.100	0.128
0.7	0.396	0.095	0.021	0.027	0.033	0.041	0.053	0.063	0.082	0.105
			0.035	0.044	0.054	0.067	0.086	0.102	0.134	0.171
0.6	0.337	0.162	0.023	0.028	0.035	0.043	0.055	0.066	0.086	0.110
			0.038	0.048	0.059	0.073	0.094	0.112	0.147	0.187
0.5	0.274	0.251	0.028	0.035	0.043	0.054	0.069	0.082	0.108	0.028
			0.044	0.055	0.067	0.083	0.106	0.127	0.167	0.213
0.4	0.214	0.349	0.040	0.050	0.061	0.076	0.097	0.116	0.152	0.194
			0.066	0.082	0.102	0.126	0.161	0.192	0.252	0.323
0.3	0.145	0.480	0.048	0.060	0.074	0.092	0.117	0.140	0.184	0.235
			0.090	0.113	0.139	0.172	0.220	0.262	0.345	0.441
0.2	0.110	0.563	0.050	0.063	0.075	0.096	0.123	0.146	0.192	0.245
			0.113	0.141	0.173	0.214	0.275	0.327	0.430	0.549
0.1	0.113	0.547	0.035	0.044	0.054	0.066	0.085	0.101	0.133	0.170
			0.087	0.109	0.134	0.165	0.212	0.253	0.332	0.424
0.0	0.099	0.571	0.023	0.029	0.036	0.044	0.057	0.068	0.096	0.115
			0.063	0.078	0.096	0.119	0.153	0.182	0.259	0.308

intervals for different values of the sky clarity, both for k_t and for k_d , significantly overlap. This is especially evident in the light and heavy cloudiness conditions.

The spatial distribution of the average monthly values for k_t and k_d in the domain being studied (Fig. 7-8) indicates their insignificant longitude variability. Instead, these values are highly dependent on latitude. Maximum k_t values (minimum k_d) are observed in June-July over the waters of the Black and Azov Seas, and in August, on the contrary, a k_t minimum and k_d maximum is observed. Moving from the seashore to the Ukrainian mainland, the field of clearness and cloudiness index values becomes quite homogeneous with a weak extremum in the northwestern part of the domain.

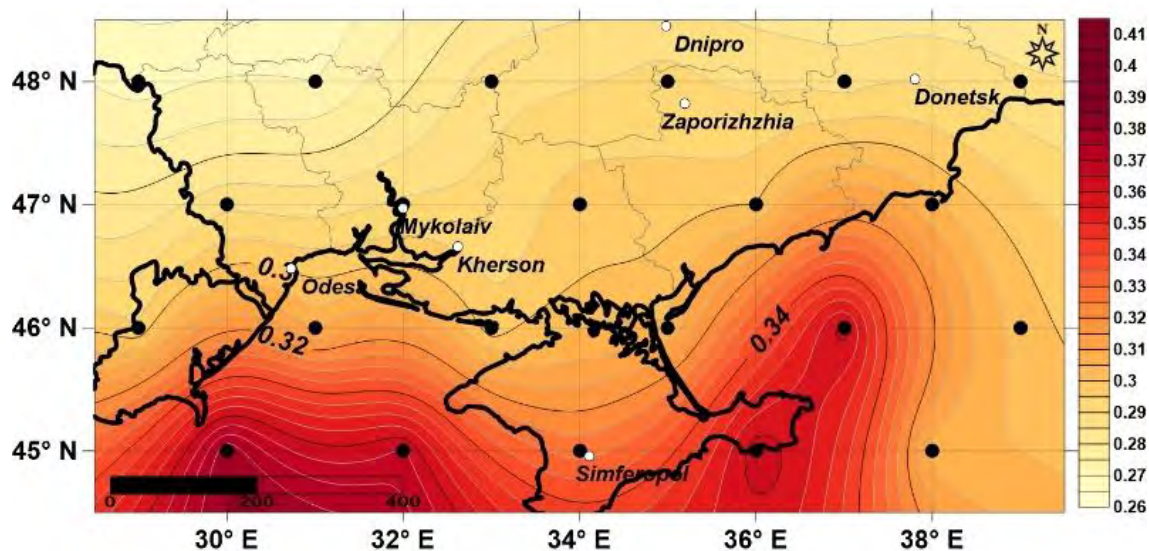
It can be assumed that the seasonal anomaly observed in August is explained by a change of certain weather patterns that determine humidity and dustiness of the atmosphere, and hence optical transparency, as well as the direction of weather travel over the major part of Europe in late summer. Following the spread of the eastern ridge of the Azores anticyclone, at this time cyclonic activity in Ukraine is significantly subsided, wind speed reduc-

es to minimum values and the heterogeneity of the spatial structure of the cloud cover increases. At this particular time, in August, the maximum frequency of clear weather is observed in the regions being studied [13]. It may be important that in August in the Atlantic-European sector of the Northern Hemisphere, the frequency and duration of blocking developments drops down compared to other summer months [33], but their impact on the radiation conditions in the atmosphere has yet to be assessed.

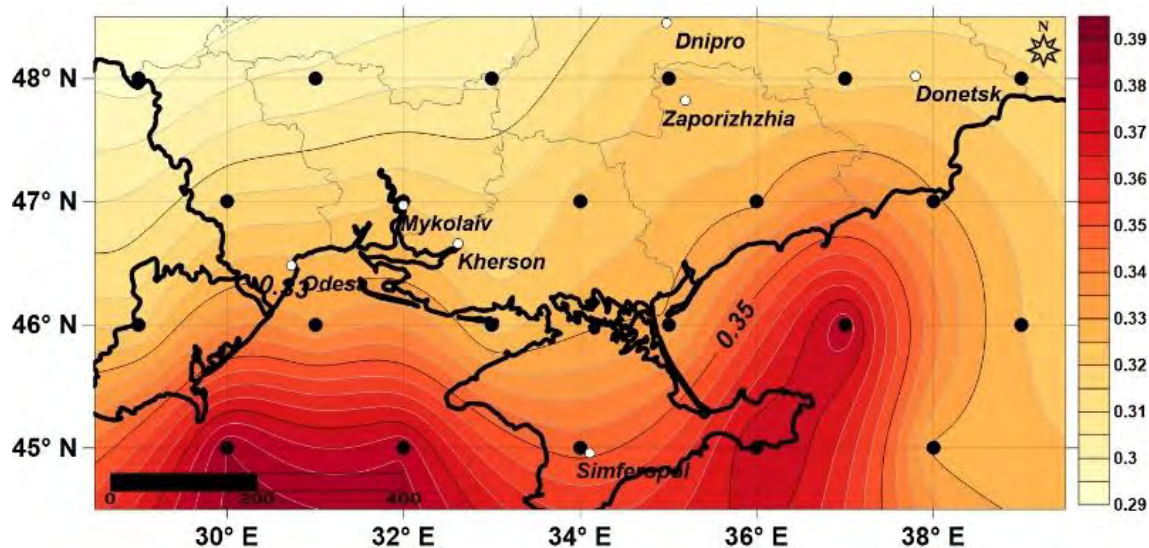
Conclusions. The distribution of the degree of clarity of the sky in the summer season in the South of Ukraine showed that the clear state of the sky (degree of clarity 0.6÷0.9) is the most probable event. The state of the sky in the absence of any cloudiness has a recurrence of less than 10%, which indicates the importance of cloudiness as a factor that determines the solar energy potential of the given location.

The calculated values of the atmosphere clearness and cloudiness indices for different locations are closely related to the degree of clarity of the sky, which allowed to obtain appropriate analytical dependences that can be used to evaluate the atmosphere clearness and cloudiness indices at different

a.



b.



c.

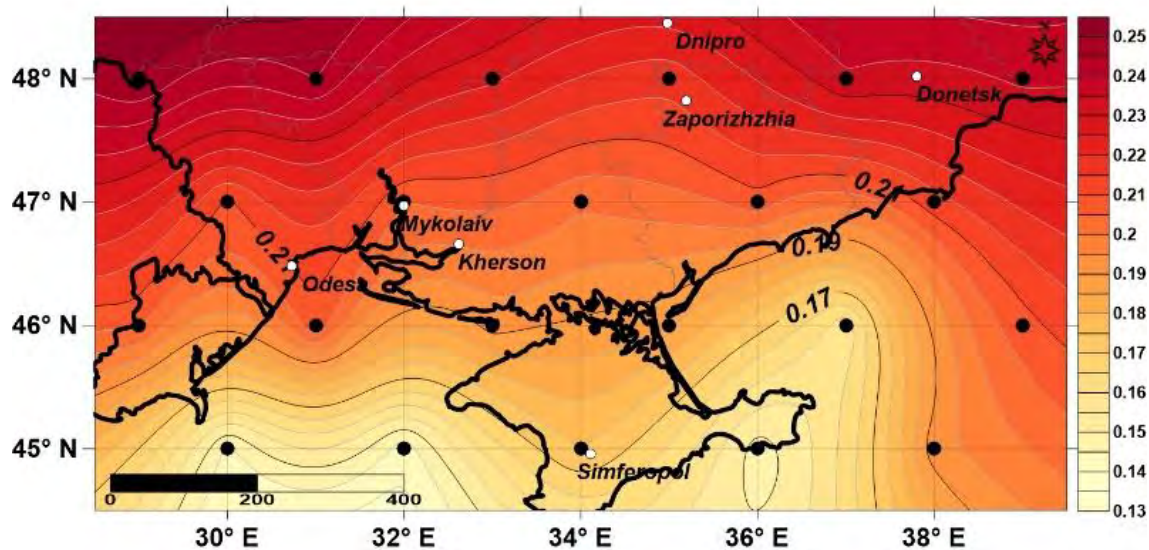


Fig. 7. Spatial distribution of the average monthly values of clearness index in the southern regions of Ukraine. Summer period of 1981-2020. (a – June; b – July; c – August)

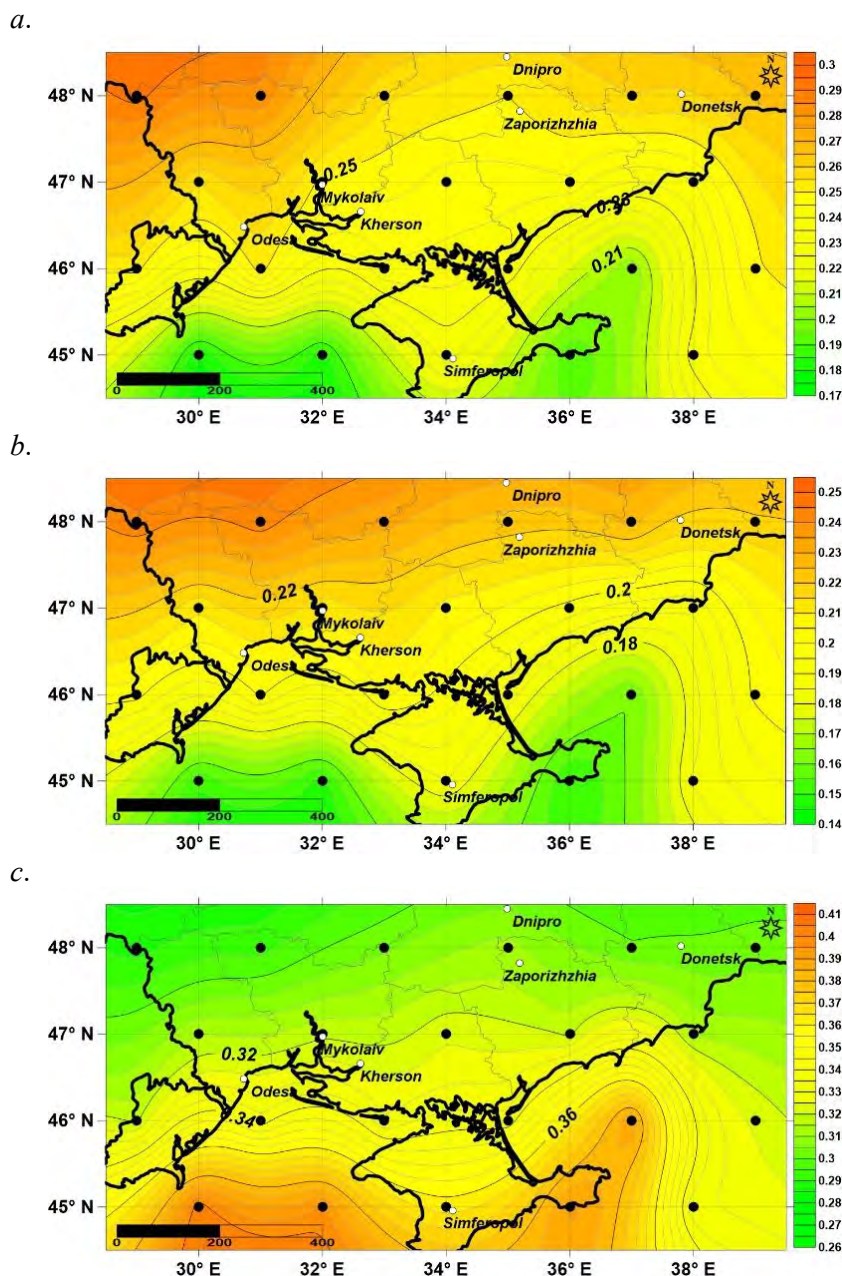


Fig. 8. Spatial distribution of the average monthly values of diffuse fraction in the southern regions of Ukraine. Summer period of 1981-2020. (*a* – June; *b* – July; *c* – August)

time scales and predict helioenergetic potential with a sufficient validity.

The presented correlation-regression models allow evaluation of the averaged diffuse irradiation based on the averaged global values, which currently are in the public domain. In addition, they can be used to decompose daily values into the averaged hourly values of global irradiation, as there are no references to hourly averaged diffuse irradiation. Creating a "universal model", which is adaptable to all locations and weather conditions based only on publicly available data (cloud cover, global insolation on a horizontal surface), can be beneficial to the

design of large solar collectors and agrometeorological projects.

The results obtained in the study of the solar / photovoltaic energy potential in the southern regions of Ukraine appeared to be helpful for understanding of seasonal features of weather situation in the Atlantic-European sector of the Northern Hemisphere. The obtained empirical dependence between cloudiness and diffuse irradiation parameters will help better represent the characteristics of the time-space distribution of the radiation budget in the southern regions of Ukraine.

Bibliography

1. Bakirci K. Models for the estimation of diffuse solar radiation for typical cities in Turkey [Text] / K. Bakirci // *Energy*. – 2015. – Vol. 82(C). – P. 827-838. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.01.093>
2. Рибченко Л.С. Моніторинг геліоенергетичних ресурсів України [Текст] / Л.С. Рибченко, С.В. Савчук // *Український гідрометеорологічний журнал*. – 2017. – № 19. – С. 65-71.
3. Рибченко Л.С. Потенціал геліоенергетичних кліматичних ресурсів сонячної радіації в Україні [Текст] / Л.С. Рибченко, С.В. Савчук // *Український географічний журнал*. – 2015. – № 4. – С. 16-23. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2015.04.016>
4. Bortolini M. Multi-location model for the estimation of the horizontal daily diffuse fraction of solar radiation in Europe [Text] / M. Bortolini, M. Gamberi, A. Graziani, R. Manzini, C. Mora // *Energy Conversion and Management*. – 2013. – Vol. 67. – P. 208–216. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.11.008>
5. Kuo C. W. Modeling the hourly solar diffuse fraction in Taiwan [Text] / C.W. Kuo, W.C. Chang, K.C. Chang // *Renewable Energy*. – 2014. – Vol. 66. – P. 56-61. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.11.072>
6. Berrizbeitia S.E. Empirical Models for the Estimation of Solar Sky-Diffuse Radiation. A Review and Experimental Analysis [Text] / S.E. Berrizbeitia, E.J. Gago, T. Muneer // *Energies*. – 2020. – Vol. 13, No. 3. – P. 701. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13030701>
7. Bailek N. A new empirical model for forecasting the diffuse solar radiation over Sahara in the Algerian Big South [Text] / N. Bailek, K. Bouchouicha, Z. Al-Mostafa, M. El-Shimy, N. Aoun, A. Slimani, S. Al-Shehri // *Renewable Energy*. – 2018. – Vol. 117. – P. 530-537. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.10.081>
8. Despotovic, M.; Nedic, V.; Despotovic, D.; Cvetanovic, S. Evaluation of empirical models for predicting monthly mean horizontal diffuse solar radiation [Text] / M. Despotovic, V. Nedic, D. Despotovic, S. Cvetanovic, // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2016. – Vol. 56, No. C. – P. 246-260. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.058>
9. Paulescu E. Regression models for hourly diffuse solar radiation [Text] / E. Paulescu, R. Blaga // *Solar Energy*. – 2016. – Vol. 125. – P. 111-124. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2015.11.044>
10. Wang, L.; Kisi, O.; Zounemat-Kermani, M.; Salazar, G.A.; Zhu, Z.; Gong, W. Solar radiation prediction using different techniques: Model evaluation and comparison [Text] / L. Wang, O. Kisi, M. Zounemat-Kermani, G.A. Salazar, Z. Zhu, W. Gong // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2016. – Vol. 6. – P. 384–397. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.024>
11. Zhang J. A critical review of the models used to estimate solar radiation [Text] / J. Zhang, L. Zhao, S. Deng, W. Xu, Y. Zhang // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2017. – Vol. 70. – P. 314–329. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.124>
12. Boland J. Decomposing global solar radiation into its direct and diffuse components [Text] / J. Boland, J. Huang, B. Ridley // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2013. – Vol. 28. – P. 749–756. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.023>
13. Клімат України [Текст]: монографія / За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. – К.: Вид-во Раєвського, 2003. – 343 с. – ISBN: 966-7016-18-8.
14. Пащинский В.А. Оценка падающей солнечной радиации на горизонтальную поверхность территории в условиях Республики Беларусь / В.А. Пащинский, А.А. Бутько, А.А. Черкасова // *Экологический вестник*. – 2015. – № 2 (32). – С. 77-82.
15. Muneer T. Discourses on solar radiation modeling [Text] / T. Muneer, S. Younes, S. Munawwar // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2007. – Vol. 11, No. 4. – P. 551–602. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.05.006>
16. Safi S. Prediction of global daily solar radiation using higher order statistics [Text] / S. Safi, A. Zeroual, and M. Hassani // *Renewable Energy*. – 2002. – Vol. 27, No. 4. – P. 647–666. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(01\)00153-7](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(01)00153-7)
17. Younes S. Improvements in solar radiation models based on cloud data [Text] / S. Younes, T. Muneer // *Building Services Engineering Research and Technology*. – 2006. – Vol. 27, No. 1. – P. 41–54. DOI: <https://doi.org/10.1191/0143624406bt1430a>
18. Atmospheric Science Data Center. Retrieved from: <https://eosweb.larc.nasa.gov>
19. Forecasts | ECMWF. Retrieved from: www.ecmwf.int
20. Solar Irradiance Data. Retrieved from: <https://solcast.com/solar-radiation-data>
21. Rodrigues V.S. Clarity Index in the city of Manaus in Global Atmospheric Radiation Measurement function by Meteorological Observation Station in the Amazon ranking [Text] / V.S. Rodrigues, M.V.A. Nunes, V.S. Silva, G.S. Rodrigues, P.F.R. Ramkeerat, C.M.N. Batista, W.A. Moraes // *Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications*. – 2016. – Vol. 02, No. 08. – P. 136-144. <https://www.itegam-jetia.org>. ISSN ONLINE: 2447-0228. DOI: <https://dx.doi.org/10.5935/2447-0228.20160050>
22. Bawazir R.O. Investigating the Optimum Tilt Angle for Solar Receiver in Izmir [Text] / R.O. Bawazir, J. Chakchak, N.S. Çetin, K. Ulgen // *ISEM2016, 3rd International Symposium on Environment and Morality*, 4-6 November 2016, Alanya – Turkey. – Alanya: Sakarya University, 2016. – P. 809-817. Retrieved from: <http://i-sem.info/PastConferences/ISEM2016/ISEM2016/papers/1-ISEM2016ID250.pdf>
23. Al-Enezi F.Q. Visibility and Potential of Solar Energy on Horizontal Surface at Kuwait Area [Text] / F.Q. Al-Enezi, J.K. Sykulska, N.A. Ahmed // *Energy Procedia*. – 2011. – Vol. 12. – P. 862–872. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2011.10.114>

24. Perez-Burgos A. Retrieval of monthly average hourly values of direct and diffuse solar irradiance from measurements of global radiation in Spain [Text] / A. Perez-Burgos, M. Diez-Mediavilla, C. Alonso-Tristan, M.I. Dieste-Velasco // *Journal of Renewable and Sustainable Energy*. – 2018. – Vol. 10, No. 2. – 023707. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5016926>
25. Berger A. Astronomical theory and orbital forcing [Text] / A. Berger, Q. Yin // *In The Sage Handbook of Environmental Change* / J.A. Matthews (Managing editor). Vol. 1, Section III Causes, Mechanisms and Dynamics of Environmental Change. – 2012. – P. 403-423.
26. Insolation in The Azimuth Project. Retrieved from: www.azimuthproject.org
27. Declination Angle. Retrieved from: www.pveducation.org
28. The Sun As A Source Of Energy. Part 4: Irradiation Calculations. Sections: Solar Photovoltaics. Retrieved from: <https://www.itacanet.org/the-sun-as-a-source-of-energy/part-4-irradiation-calculations/>
29. Salhi H. Evaluation of diffuse fraction and diffusion coefficient using statistical analysis [Text] / H. Salhi, L. Belkhiri, A. Tiri // *Applied Water Science*. – 2020. – Vol. 10:133. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01216-0>
30. Yang D. Solar radiation on inclined surfaces: Corrections and benchmarks [Text] / D. Yang // *Solar Energy*. – 2016. – Vol. 136. – P. 288-302. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.06.062>
31. Scarpa F. Splitting the solar radiation in direct and diffuse components; insights and constraints on the clearness-diffuse fraction representation [Text] / F. Scarpa, A. Marchitto, L.A. Tagliafico // *International journal of heat and technology*. – 2017. – Vol. 35, No. 2. – P. 325-329. DOI: <https://doi.org/10.18280/ijht.350213> ISSN: 0392-8764
32. Yang L. Comparison of daily diffuse radiation models in regions of China without solar radiation measurement [Text] / L. Yang, Q. Cao, Y. Yu, Y. Liu // *Energy*. – 2020. – Vol. 191:116571. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116571>
33. Базалєєва Ю.О. Повторюваність, тривалість та інтенсивність блокувальних процесів, що зумовлюють аномальні погодні умови в Україні [Текст] / Ю.О. Базалєєва, В.О. Балабух // *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. – 2016. – Вип. 268. – С. 44-51. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npundgi_2016_268_7

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

References

1. Bakirci, K. (2015). Models for the estimation of diffuse solar radiation for typical cities in Turkey. *Energy*, 82, 827-838. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.01.093>
2. Rybchenko, L.S., Savchuk, S.V. (2017). Monitoryng helioenerhetychnykh resursiv Ukrainy [Monitoring the solar energy resources of Ukraine]. *Ukrainskyi hidrometeorologichnyi zhurnal – Ukrainian hydrometeorological journal*, 19, 65-71. [in Ukrainian]
3. Rybchenko, L.S., Savchuk, S.V. (2015). Potentsial helioenerhetychnykh klimatychnykh resursiv soniachnoi radiatsii v Ukraini [Potential of the climatic solar radiation energy resources in Ukraine]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal - Ukrainian Geographical Journal*, 4, 16-23. <https://doi.org/10.15407/ugz2015.04.016> [in Ukrainian]
4. Bortolini, M., Gamberi, M., Graziani, A., Manzini, R., Mora, C. (2013). Multi-location model for the estimation of the horizontal daily diffuse fraction of solar radiation in Europe. *Energy Conversion and Management*, 67, 208–216. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.11.008>
5. Kuo, C.W., Chang, W.C., Chang, K.C. (2014). Modeling the hourly solar diffuse fraction in Taiwan. *Renewable Energy*, 66, 56-61. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.11.072>
6. Berrizbeitia, S.E., Gago, E.J., Muneer, T. (2020). Empirical Models for the Estimation of Solar Sky-Diffuse Radiation. A Review and Experimental Analysis. *Energies* 2020, 13(3), 701. <https://doi.org/10.3390/en13030701>
7. Bailek, N., Bouchouicha, K., Al-Mostafa, Z., El-Shimy, M., Aoun, N., Slimani, A., Al-Shehri, S. (2018) A new empirical model for forecasting the diffuse solar radiation over Sahara in the Algerian Big South. *Renewable Energy*, 117, 530-537. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.10.081>
8. Despotovic, M., Nedic, V., Despotovic, D., Cvetanovic, S. (2016). Evaluation of empirical models for predicting monthly mean horizontal diffuse solar radiation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56(C), 246-260. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.058>
9. Paulescu, E., Blaga, R. (2016). Regression models for hourly diffuse solar radiation. *Solar Energy*, 125, 111-124. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2015.11.044>
10. Wang, L., Kisi, O., Zounemat-Kermani, M., Salazar, G.A., Zhu, Z., Gong, W. (2016). Solar radiation prediction using different techniques: Model evaluation and comparison. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, 384–397. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.024>
11. Zhang, J., Zhao, L., Deng, S., Xu, W., Zhang, Y. (2017). A critical review of the models used to estimate solar radiation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 70, 314–329. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.124>
12. Boland, J., Huang, J., Ridley, B. (2013). Decomposing global solar radiation into its direct and diffuse components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 749–756. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.023>
13. Lipinskyi, V.M., Dyachuk, V.A., Babichenko, V.M. (Eds). (2003). *Klimat Ukrainy [Climate of Ukraine]*. Kyiv: Ra-yeyskyi Publ., 343. [in Ukrainian]
14. Pashinsky, V.A., Butko, A.A., Cherkasova, A.A. (2015). Ocenka padajushhej solnechnoj radiatsii na gorizonta'lnuju poverhnost' territorii v usloviyah Respubliki Belarus' [Assessment of incident solar radiation on the horizontal surface of the territory in the conditions of the Republic of Belarus]. *Jekologicheskij vestnik – Ecological Bulletin*, 2(32), 77-82. [in Russian]

15. Muneer, T., Younes, S., Munawwar, S. (2007). Discourses on solar radiation modeling. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(4), 551–602. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.05.006>
16. Safi, S., Zeroual, A., Hassani, M. (2002). Prediction of global daily solar radiation using higher order statistics. *Renewable Energy*, 27(4), 647–666. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(01\)00153-7](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(01)00153-7)
17. Younes, S., Muneer, T. (2006). Improvements in solar radiation models based on cloud data. *Building Services Engineering Research and Technology*, 27(1), 41–54. <https://doi.org/10.1191/0143624406bt143oa>
18. Atmospheric Science Data Center. Retrieved from: <https://eosweb.larc.nasa.gov>
19. Forecasts | ECMWF. Retrieved from: www.ecmwf.int
20. Solar Irradiance Data. Retrieved from: <https://solcast.com/solar-radiation-data>
21. Rodrigues, V.S., Nunes, M.V.A., Silva, V.S., Rodrigues, G.S., Ramkeerat, P.F.R., Batista, C.M.N., Moraes, W.A. (2016). Clarity Index in the city of Manaus in Global Atmospheric Radiation Measurement function by Meteorological Observation Station in the Amazon ranking. *Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications*, 02(08), 136–144. <https://www.itegam-jetia.org>. ISSN ONLINE: 2447-0228. <https://dx.doi.org/10.5935/2447-0228.20160050>
22. Bawazir, R.O., Chakchak, J., Çetin, N.S., Ulgen, K. (2016). Investigating the Optimum Tilt Angle for Solar Receiver in Izmir. *ISEM2016, 3rd International Symposium on Environment and Morality*, 4–6 November 2016, Alanya – Turkey. Alanya: Sakarya University, 809–817. Retrieved from: <http://i-sem.info/PastConferences/ISEM2016/ISEM2016/papers/I-ISEM2016ID250.pdf>
23. Al-Enezia, F.Q., Sykulskia, J.K., Ahmed, N.A. (2011) Visibility and Potential of Solar Energy on Horizontal Surface at Kuwait Area. *Energy Procedia*, 12, 862–872. <https://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2011.10.114>
24. Perez-Burgos, A., Diez-Mediavilla, M., Alonso-Tristan, C., Dieste-Velasco, M.I. (2018). Retrieval of monthly average hourly values of direct and diffuse solar irradiance from measurements of global radiation in Spain. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 10(2), 023707. <https://doi.org/10.1063/1.5016926>
25. Berger, A., Yin, Q. (2012) Astronomical theory and orbital forcing. In *The Sage Handbook of Environmental Change*, J.A. Matthews (Managing editor). Vol. 1, Section III Causes, Mechanisms and Dynamics of Environmental Change. 403–423.
26. Insolation in The Azimuth Project. Retrieved from: www.azimuthproject.org
27. Declination Angle. Retrieved from: www.pveducation.org
28. The Sun As A Source Of Energy. Part 4: Irradiation Calculations. Sections: Solar Photovoltaics. Retrieved from: <https://www.itacanet.org/the-sun-as-a-source-of-energy/part-4-irradiation-calculations/>
29. Salhi, H., Belkhiri, L., Tiri, A. (2020). Evaluation of diffuse fraction and diffusion coefficient using statistical analysis. *Applied Water Science*, 10:133. <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01216-0>
30. Yang, D. (2016). Solar radiation on inclined surfaces: Corrections and benchmarks. *Solar Energy*, 136, 288–302. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.06.062>
31. Scarpa, F., Marchitto, A., Tagliafico, L.A. (2017). Splitting the solar radiation in direct and diffuse components; insights and constraints on the clearness-diffuse fraction representation. *International journal of heat and technology*, 35(2), 325–329. <https://doi.org/10.18280/ijht.350213> ISSN: 0392–8764
32. Yang, L., Cao, Q., Yu, Y., Liu, Y. (2020). Comparison of daily diffuse radiation models in regions of China without solar radiation measurement. *Energy*, 191:116571. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116571>
33. Bazalieieva, Y.O., Balabukh, V.O. (2016). Povtorivuvannist, tryvalist ta intensyvnnist blokuvalnykh protsesiv, shcho zumovliuiut anomalni pohodni umovy v Ukraini [Frequency, duration and intensity of the blocking processes, which causes abnormal weather conditions in Ukraine]. *Naukovi pratsi Ukrainetskoho naukovo-doslidnoho hidrometeorologichnoho instytutu – Proceedings of Ukrainian Research Hydrometeorological Institute*, 268, 44–51. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npundgi_2016_268_7. [in Ukrainian]

Статистический анализ параметров прозрачности и облачности атмосферы на юге Украины

Василий Иванович Затула¹,

к. геогр. н., доц., доцент кафедры метеорологии и климатологии географического факультета
¹Киевского национального университета имени Тараса Шевченко,
 ул. Владимирская, 64, КНУ, а/я 13, г. Киев, 01601, Украина;

Ярослав Васильевич Кихтенко¹,

студент магистратуры кафедры метеорологии и климатологии;

Ростислав Васильевич Олейник¹,

к. ф.-м. н., доц., доцент кафедры метеорологии и климатологии;

Сергей Иванович Снежко¹,

д. геогр. н., проф., зав. кафедры метеорологии и климатологии

Рассмотрены специальные аспекты инсоляции земной поверхности на Юге Украины, а именно индексы прозрачности и облачности атмосферы. В основу работы положены данные спутникового мониторинга средней суточной инсоляции и общей облачности в узлах двухградусной сетки для домена 48°–45° с.ш. и 29°–39° в.д. за период 1981–2020 гг. Для оценки максимально возможного гелиоэнергетического потенциала Юга Украины ис-

пользовались данные спутниковых наблюдений за летний сезон. Было установлено, что наибольшая повторяемость (более 50%) общего облачного покрова характеризуется степенью ясности атмосферы $0.7 \div 0.9$, которая соответствует ясному состоянию неба. Обоснована значимость облучения земной поверхности диффузной солнечной радиацией, доля которой в структуре суммарного облучения (индекс диффузной радиации) находится в тесной обратной зависимости с индексом прозрачности атмосферы (коэффициент корреляции около -0.97). Индексы прозрачности (k_t) и облачности (k_d) атмосферы находятся в тесной статистической зависимости со степенью ясности неба, что позволило построить аналитические функции для указанных индексов в зависимости от степени ясности неба, которые оказались S- и Z-образными кривыми соответственно. Эмпирическое распределение двухмерной случайной величины ($k_t; k_d$) удовлетворяет требования нормального распределения, а полученные эллипсы рассеивания позволили рассчитать доверительные интервалы двухмерной случайной величины (индекс прозрачности : индекс облачности) для заданного уровня доверия. В пространственном распределении индексов прозрачности и облачности атмосферы на Юге Украины обнаружена зависимость от географической широты и типа подстилающей поверхности. В конце лета проявился сезонный эффект в пространственном распределении индексов облачности и прозрачности атмосферы, который вероятно обусловлен сезонными особенностями циркуляции атмосферы, вызванными распространением восточного отрога Азорского антициклона и общей ситуацией с развитием блокирующих процессов в Атлантико-Европейском секторе Северного полушария.

Ключевые слова: индекс прозрачности атмосферы; индекс облачности атмосферы; степень ясности неба; солнечная энергия; энергетический гелиопотенциал.

Статистичний аналіз параметрів прозорості та хмарності атмосфери на півдні України

Василь Іванович Затула¹,

к. геогр. н., доц., доцент кафедри метеорології та кліматології географічного факультету
¹Київського національного університету імені Тараса Шевченка,
вул. Володимирська, 64, КНУ, а/с 13, м. Київ, 01601, Україна;

Ярослав Васильович Кихтенко¹,

студент магістратури кафедри метеорології та кліматології;

Ростислав Васильович Олійник¹,

к. ф.-м. н., доц., доцент кафедри метеорології та кліматології;

Сергій Іванович Сніжко¹,

д. геогр. н., проф., зав. кафедри метеорології та кліматології

Розглянуто спеціальні аспекти інсоляції земної поверхні на Півдні України, а саме індекси прозорості та хмарності атмосфери. В основу роботи покладено дані спутникового моніторингу середньої добової інсоляції та загальної хмарності у вузлах двоградусної сітки для домену 48° - 45° пн.ш. та 29° - 39° сх.д. за період 1981-2020 рр. Для оцінки максимально можливого геліоенергетичного потенціалу Півдня України використовувалися дані супутникових спостережень за літній сезон. Було встановлено, що найбільша повторюваність (понад 50 %) загального хмарного покриву характеризується ступенем ясності атмосфери $0.7 \div 0.9$, що відповідає ясному стану неба. Обґрунтовано значимість опромінення земної поверхні дифузною сонячною радіацією, частка якої в структурі сумарного опромінення (індекс дифузної радіації) перебуває в тісній оберненій залежності із індексом прозорості атмосфери (коефіцієнт кореляції близько -0.97). Індекси прозорості (k_t) та хмарності (k_d) атмосфери перебувають в тісній статистичній залежності зі ступенем ясності неба, що дозволило побудувати аналітичні функції для вказаних індексів залежно від ступеня ясності неба, які виявилися S- та Z-подібними кривими відповідно. Емпіричний розподіл двомірної випадкової величини ($k_t; k_d$) задовольнив вимоги нормального розподілу, а отримані еліпси розсіювання дозволили розрахувати довірчі інтервали двовимірної випадкової величини (індекс прозорості : індекс хмарності) для заданого рівня довіри. Просторовий розподіл індексів прозорості та хмарності атмосфери на Півдні України виявив значну залежність цих індексів від географічної широти та типу підстильної поверхні. В кінці літа проявився сезонний ефект в просторовому розподілі індексів хмарності та прозорості атмосфери, який ймовірно зумовлений сезонними особливостями циркуляції атмосфери, викликаними поширенням східного відрозу Азорського антициклона та загальною ситуацією з розвитком блокувальних процесів в Атлантико-Європейському секторі Північної півкулі.

Ключові слова: індекс прозорості атмосфери; індекс хмарності атмосфери; ступінь ясності неба; сонячна енергія; енергетичний геліопотенціал.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 26 лютого 2021 р.

Прийнята 16 травня 2021 р.

Comprehensive spatial differentiation of territorial communities: case of Zhytomyr region

Maria V. Ilina¹,

DSc (Economics), Senior Researcher, Head of Department,

¹Institute of Environmental Economics and Sustainable Development of the National Academy of Sciences,
60 T. Shevchenko Blvd., Kyiv, 01032, Ukraine,

e-mail: maria_ilina@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-5555-1614>;

Yulia B. Shpyliova¹,

Doctor in Economics, Senior Researcher, Senior Researcher,

e-mail: shpuleva_y@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-0220-0041>

ABSTRACT

Goal of the research. In 2014 in Ukraine the massive decentralization reform has been initiated. It aimed to transform many single administrative units into much larger territorial communities. Spatial differentiation of the newly consolidated communities by values of their proximity to large cities and urban areas within the case of Zhytomyr region is the goal of the article.

Methods of the research. Zhytomyr region is one of the most successful in Ukraine on implementation of the administrative reform, decentralization and best practices of the communities' integration. The region had been selected for the in-depth study taking into account its central location, economic situation and the environment. Data of the State statistics agency of Ukraine, governmental and non-governmental institutions and Google Maps was applied to conduct the research and identify the territories' groups.

The research results. Aiming to perform spatial typology of the newly consolidated territorial communities we differentiated them depending on their proximity to cities and other urban centers firstly. Consequently three types of the communities have been defined: neighboring, relatively remote, and faraway. Distance of the communities to urban centers relates with their area and people size: the closer a territorial unit is located to the city, the smaller is its area and population. Other words, the proximity of a community to the city determines its economic capacity much more than its population and area. Statistical relations between duration of the communities' consolidation and their spatial types prove the faraway and relatively remote communities have been united earlier than the neighboring. Taking into account the average number of settlements belonging to the one consolidated community it is revealed the closer to the regional center communities include less number of settlements. Two-dimensional classification of the communities by their proximity to regional and rayon centers confirms communities located close to cities and towns have better opportunities for the development.

Novelty of the research results. The presented methodological approach to comprehensive differentiation of the territorial communities can be applied to identify their challenges, threats and prospects. For this purpose, the algorithm is proposed which combines indicators of spatial differentiation of rural areas, their economic status, social infrastructure, and the environment.

Practical significance. The proposed methodological approach to spatial differentiation of rural territories is aimed assisting representatives of the communities, local self-government bodies and state authorities to develop and refine local strategies and programs, update coherent plans and identify target communities for certain projects.

Keywords: power reform, decentralization, territory, spatial differentiation, consolidated territorial community, economic capacity, methodology, algorithm.

In cites: Ilina M. V., Shpyliova Yu. B. (2021). Comprehensive spatial differentiation of territorial communities: case of Zhytomyr region. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (55), 174-186. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-13>

Introduction. Till the present time Ukraine is composed of 25 regions. The regions consist of 490 sub-regions (rayons), which include almost 30 thousands of single administrative units (cities, towns, and villages). In 2014 following political shocks and redevelopment of the state its administrative structure started to be transformed too. Soon the reform of power decentralization has been initiated. Expectedly in a few years over 1300 new territorial communities would be consolidated from single administrative units like towns and villages [1]. Up to date in Ukraine 924 territorial communities have been consolidated. That means over 70% of Ukrainians live in such communities which area reaches 40% of the state. Foreign experts recognize the consolidation process goes up pretty fast and has many

chances to finish up soon enough. The leading regions are Zhytomyrs'ka (55 newly consolidated local communities), Chernigivs'ka (45), Zaporiz'ka (48), Dnipropetrovs'ka (62), and Khmelnyts'ka (47) [2].

Being under transformation current techniques of collecting data on people living in the new communities in Ukraine do not provide much information about spatial differentiation of the involved areas. In particular, it is hard to find out how the territories differ, what is their demographic status, social, economic situation and so on. For the time being statistic information about the newly consolidated local communities is limited by their official profiles and sporadic publications in the national mass media. For a researcher it makes certain diffi-

culties if assessing the status and flow of the decentralization reform. Lack of the statistics as well impedes performance of the territorial communities' differentiation by social, economic, spatial and other indicators. However such the differentiation has to be the primary factor for policy making and national budgeting.

Review of recent researches and publications. Novosak and others revealed the socioeconomic and environmental differences of rural areas in the Czech Republic depending on support of local action groups (LAGs) by the LEADER program. Two crucial dimensions of the rural differentiation were tackled, namely rural aspects and socioeconomic disadvantages. The methodology involved the extraction of rural disadvantage factors (exploratory factor analysis), and the creation of the rural areas' clusters (K-means clustering). The study revealed LAGs may be a highly relevant place-based instrument of the rural development [3]. M. Chrzanowska and M. Zielinska-Sitkiewicz evaluated the spatial differentiation of rural areas in Mazowieckie Province in Poland and the linear ordering was used to determine the level of socioeconomic development supplied with the synthetic measures. The results of the study were consistent with core-periphery theory [4].

Because of rapid industrialization and urbanization in Asia some Chinese academicians pay more attention on narrowing of societal, economic, life, and environmental gaps between urban and rural areas. For the goal D. Chen and others contributed into elaboration of urban-rural equalized development (URED). They established an appraisal indicator system consisting of 17 variables that described spatial allocations, economic development, social services, quality of life, and ecological environment [5]. Tao and others analyzed the spatial differentiation of the idle rural residential land (IRRL) and with the quantitative research discovered crucial changes in the human-land relationship during rural development. They opposed idle rural residential land and metropolitan suburbs and differentiated them by the method of geographically weighted regression. Practically it used to show how the government should enhance the positive interaction of industry, population and land to promote the coordinated development of urban and rural areas [6].

Kriauciunas and Burneika underlined that after the post-communist period the general transformation of rural areas in Lithuania was deeply influenced by the processes of peripherisation and decreasing economic importance of rural places. With the empirical research mostly based on statistical data analysis the authors concluded that many rural areas close to metropolitan centers were transformed into suburban ones; the rural settlements in

recreational areas have been transformed into resort areas; and small peripheral rural settlements were losing population and social infrastructure at very high pace [7].

In Ukraine academic researches on rural development often concern to elaboration of concepts and theoretical grounds on how to integrate structural elements of rural territories into spatial systems and either it is inherent with the decentralization reform [8-10]. It makes more and more emphasis on rural communities which are a driver of the rural development instead of being an element of administrative and territorial structures, self-organized group of people who inhabit a common area and synchronize their efforts in order to improve their economic and social status. Many authors identify rural areas as multifunctional natural, social and economic system with specific quantitative, qualitative, structural, environmental and other features [11, 12]. Remarkably most definitions of rural territories endeavor to touch as many aspects of the territories as possible. Despite the wide variety and multifaceted nature of the definitions they lack clarity if identifying essential and specific features of rural areas. As the result the methodology of rural areas differentiation in Ukraine is vague and does not relate with the European academician practice.

Ukrainian academicians in economic geography made many efforts to develop spatial modeling and planning and research the relevant issues. They are K. Niemets advancing approaches and methods of the spatial analysis [13], K. Mezentsev and G. Pidgrushny analyzing social and spatial inequality in Ukraine [14], L. Rudenko and S. Lisovskyi considering European practice and techniques of the spatial differentiation [15], L. Goroshkova and O. Lisovska modeling advanced national administrative and territorial structure for better life and welfare in areas [16], E. Maruniak, O. Golubtsov and V. Nagirna reshaping rural communities and spatial planning in Ukraine [17, 18]. All of them added a lot to methods and approaches of the comprehensive classification of areas and territories.

Goal of the paper. Many Ukrainian and foreign researches – firstly regional economists – as well contributed into spatial differentiation of territories by social and economic indicators. M. Averkina, V. Udovychenko and V. Chemerys [19, 20] study spatial differentiation of urban and rural settlements and areas. Being aware of high significance of the administrative reform in Ukraine I. Storonianska, V. Kravtsiv, and S. Shultz investigate how the distinguished territorial communities manage their finances and develop budgets [21, 22]. Even so ways of how the newly consolidated communities use and manage natural resources within their territories have to be studied thoroughly and certain param-

ters of the areas have to be scrutinized as well. Multi-criteria spatial differentiation of rural areas in Ukraine is the goal of the article.

Methods and approaches to the research. To achieve the goal and considering economic applicability of the research's results we applied the multi-criteria approach to the definition of rural areas. It includes physical space (landscapes) for settlements and infrastructure; natural environment with dominating pastures, forests, mountains, deserts; low population density (5-10 thousand people per 1 sq.km); agri-industry makes crucial impact into local economy; high transaction costs due to large distances to administrative and industrial centers and others [23, 24]. The territorial approach is based on ideas of the integral development of rural areas taking into account environmental, climatic, demographic, social, and economic differences and shifting the role of agriculture to other economic sectors [25]. Within the approach several concepts have been developed like rural regional development and other [26].

Consequently we defined the following research tasks: 1) the classification of rural areas depending on their distance to urban centers by ordinal statistical methods for setting math limits of the territorial groups variables; 2) the dual spatial differentiation of the rural communities by values of their proximity to large cities and other urban areas in Zhytomyr region; 3) the construction of multi-criteria algorithm for the comprehensive differentiation of rural areas evaluating their spatial, social, economic and environmental status; 4) the interpretation of the research results and it's use for the local policy development.

From the very beginning of the decentralization reform the velocity of the communities' consolidation was not even. In 2016 the number of the newly consolidated communities grew up on 230 per cent comparing to the previous year, in 2017 – on 182 per cent, in 2018 – on 125 per cent, and in 2019 – on 58 per cent. It means the rapidity of the communities' consolidation declines the every year. With t n the current period of time the qualitative attributes of the communities have more significance than their number or the rate of the consolidation. Artificial, sporadic, or unreasonable formation of the communities will complicate drastically their managing in the future and deprive them of many opportunities for the development.

Interpretive tendencies of the communities' consolidation alter as well. For the time being it should be concluded there is the next one circle of the reform. The communities which earlier rejected to join to others now will to consolidate with prosperous and promising units. The reason is as soon as a community has emerged it gets much more author-

ities and funds. Therefore it starts reconstruction of public basic physical and organizational equipment and facilities (e.g., buildings, roads, power and water supply), renovation of sewage systems, waste composition and introduction of social and environmental programs. Observing the advancement neighboring villages and towns would like to join to prosperous and earlier consolidated communities instead of initiating to form a new one. So the communities' enlargement proceeds.

Zhytomyr region is one of the most successful with regard to carrying out of the reform and best practices of the communities' consolidation. Taking into account the location, economic and environmental situation, variable experiences and interim results of the reformation, the region has been chosen for the case study. Firstly the communities' territories have been differentiated by proximity to large cities and other urban centers. Data of the State statistics agency of Ukraine, Press-center of "Decentralization" initiative [27, 28], Central election commission of Ukraine and Google Maps was used to assess distances from centers of the communities to Zhytomyr city and districts (rayons) by main car roads.

The first step of the comprehensive methodology provides classification of rural areas depending on their distance to urban centers. For the typology ordinal statistical methods have been applied [29]. In order to set math limits of the territories' groups (neighboring, relatively remote, and faraway) ranges of the intervals have been calculated with the following formula:

$$i = (X_{\max} - X_{\min}) / n,$$

where i is an interval's range;

X_{\max} and X_{\min} are maximal and minimal variables accordingly in the data set;

n is number of the groups (three of them in our case).

The research results. Basing on the combined statistic information three types of rural communities have been attributed depending on their proximity to large cities and other urban territories. Preliminary for that objective we measured distances from centers of the communities to rayon centers and Zhytomyr city (Table 1).

It is concluded that Olevska, Narodytska, and Bilokorovytska communities are the most faraway, and Teterivska, Stanyshivska, and Glybochyska communities are the most neighboring.

Average area of one neighboring to Zhytomyr city community is 250,6 km²; relatively remote – 284,7; faraway – 767,8 km². Average number of people for the identified types of the communities respectively is 8 000, 8 800 and 15 600 people. It means the proximity of territories to the large city

affects the area and population size of a consolidating community: the closer it is located to Zhytomyr, the smaller are its area size and number of people,

and vice versa. It proves the community's proximity to the city results predetermines its economic capacity more than its population and area size [27]. In

Table 1

Spatial types of territorial communities depending on their proximity to the regional center (Zhytomyr city)*

Group name and its limits, km	Number of communities in the group	Group share in the total, %	Standard deviation, km	Mean, km	Variation, %
I. Neighboring (7,9 – 48,2)	15	31,2	15,9	27,6	58,6
II. Relatively remote (52,3 – 98,8)	25	52,1	13,9	75,3	18,5
III. Faraway (107,0 – 164,0)	8	16,7	18,0	129,9	13,9

*Source: classified with data [2]

Zhytomyr region relatively remote communities predominate and 25 of them make over half of all the consolidated communities, 42 per cent of their area and 47 percent of the population size. Two faraway communities of Ovruch and Olev towns are the most populated in the region.

Relevance between time of the territorial communities' consolidation and their type has been overviewed as well. It proves that faraway and relatively remote communities had been consolidated earlier than neighboring since average period of those communities existing is 19.4, 18.7 and 15.9 months accordingly. Comparison of numbers of settlements in the every type of the consolidated communities revealed that closer to the regional center communities are smaller (they have less size of the units) and vice versa. Accordingly the average number of settlements in neighboring communities is 14.7 units, in relatively remote – 18.8, in faraway – 35.8.

Earlier administrative districts (rayons) in Zhytomyr region had been pre-differentiated by their proximity to the regional center as neighboring, relatively remote and faraway and the above mentioned statistic approach have been applied. Consequent conclusion is the closer the district is located to Zhytomyr city, the more number of the communities has been consolidated there. Particularly in every the neighboring rayon 2.4 communities have been associated, in the relatively remote – 2, in the faraway – 1.8.

way – 1.8.

It is obviously that the proximity or remoteness of a territorial community to the regional center is not the only spatial parameter determining its economic positions and prospects. Distance of a community to a rayon center has to be considered as well since in towns being district centers administrative bodies, many enterprises and social infrastructures had been being concentrated before ex-USSR broke. Therefore next we classified the newly consolidated communities by their proximity to rayon centers on the three groups and with the same methodology (Table 2). As the result we identified almost half of the communities as neighboring, one third as relatively remote and one sixth as faraway units.

Dual spatial classification of the newly consolidated territorial communities by values of their proximity to the regional and rayon centers is the second step of the methodology. It evaluates social and economic prospects of the communities reliably and in depth. Evidently the communities close to both the regional and rayon centers are in more favorable position and have better opportunities for economic development. In return faraway by both parameters communities probably stay worse. More arguable is the situation when the first step of the spatial classification identifies a community as neighboring but the second one – as faraway, and vice versa (Table 3).

The table above shows the most communities

Table 2

Spatial types of territorial communities in Zhytomyr region depending on their proximity to rayon centers*

Group name and its limits, km	Number of communities in the group	Group share in the total, %	Group share in total area size of the communities, %	Group share in total people size of the communities, %
I. Neighboring (up to 16,5)	23	47,9	65,5	73,0
II. Relatively remote (16,6 – 33,0)	18	37,5	23,1	18,8
III. Faraway (33,1 and above)	7	14,6	9,4	8,2

*Source: classified with data [2]

Table 3

Dual spatial classification of the consolidated territorial communities
in Zhytomyr region by their spatial types*

		Proximity to the regional center		
	Type of the community	<i>Neighboring</i>	<i>Relatively remote</i>	<i>Faraway</i>
Proximity to the rayon center	<i>Neighboring</i>	(<i>N-N</i>)** Vysokivska village Hlybochytska village Hryshkovetska village Korostyshivska town Martynivska village Oli- yivska village Pulynska village Stanyshchivska village Teterivska village	(<i>R-N</i>)** Baranivska town Bronykyivska village Brusylivska village Kvitneva village Lyu- barska village Popilnian- ska village Radomyshlska town Romanivska village Khoroshivska village	(<i>F-N</i>)** Yemilchynska village Luhanska village Narodnytska village Ovrutska town Olevska town
	<i>Relatively remote</i>	(<i>N-R</i>)** Vilska village Kurnenska village Slovechanska vil- lage Chervonenska village	(<i>R-R</i>)** Andrushkivska village Vyshevytska village Horshchykivska village Dubrivska village Irshan- ska village Krasnopilska village Myropilska village Novoborivska village Potiyivska village Ray- horodska village Sokolivska village Ush- omyrska village Chyzhivska village	(<i>F-R</i>)** Kornynska village
	<i>Faraway</i>	(<i>N-F</i>)** Pishchivska village Se- menivska village	(<i>R-F</i>)** Barashivska village Dovbyska village Chopovytska village	(<i>F-F</i>)** Bilokorovetska village Horodnytska village

*Source: authors' appraisal.

**Types of the communities classified by their proximity to regional and rayon centers accordingly are identified as the following:

N-N – neighboring, neighboring; *R-N* – relatively remote, neighboring;

F-N – faraway, neighboring; *N-R* – neighboring, relatively remote;

R-R – relatively remote, relatively remote; *F-R* – faraway, relatively remote;

N-F – neighboring, faraway; *R-F* – relatively remote, faraway;

F-F – faraway, faraway.

are relatively remote (*R-R*) and neighboring (*R-R*) by both scales (13 and 9 units accordingly) as well as of the remote-neighboring (*R-N*) type (9 units). Conclusively the decision-makers should pay special attention if social and economic measures of the being developed plans are systematic and comprehensive enough in case of faraway communities (*R-F*: Barashivska, Dovbyska, and Chopovytska; *F-R*: Kornynska; *F-F*: Bilokorovetska and Horodnytska) since they are as far away as possible from both regional and district centers. It has sense to take the conclusions in account if developing the communities' strategies and supplying programs.

The third step of the methodology suggests composition of the multi-criteria algorithm for the

comprehensive differentiation of rural areas evaluating their spatial, social, economic and environmental status. Methodological approach to constructing algorithm of territorial differentiation by certain parameters *per se* has been described in earlier papers (see, for example, [30]). Taking into account the developed tool of spatial differentiation of the territories we propose to use it as the algorithm of comprehensive classification of rural communities too. Taking into account the legal recommendations on how to elaborate local policy papers [31, 32], we have sorted the parameters forming the algorithm in the following blocks: spatial type, economic status, social infrastructure, and environmental situation (Figure 1).

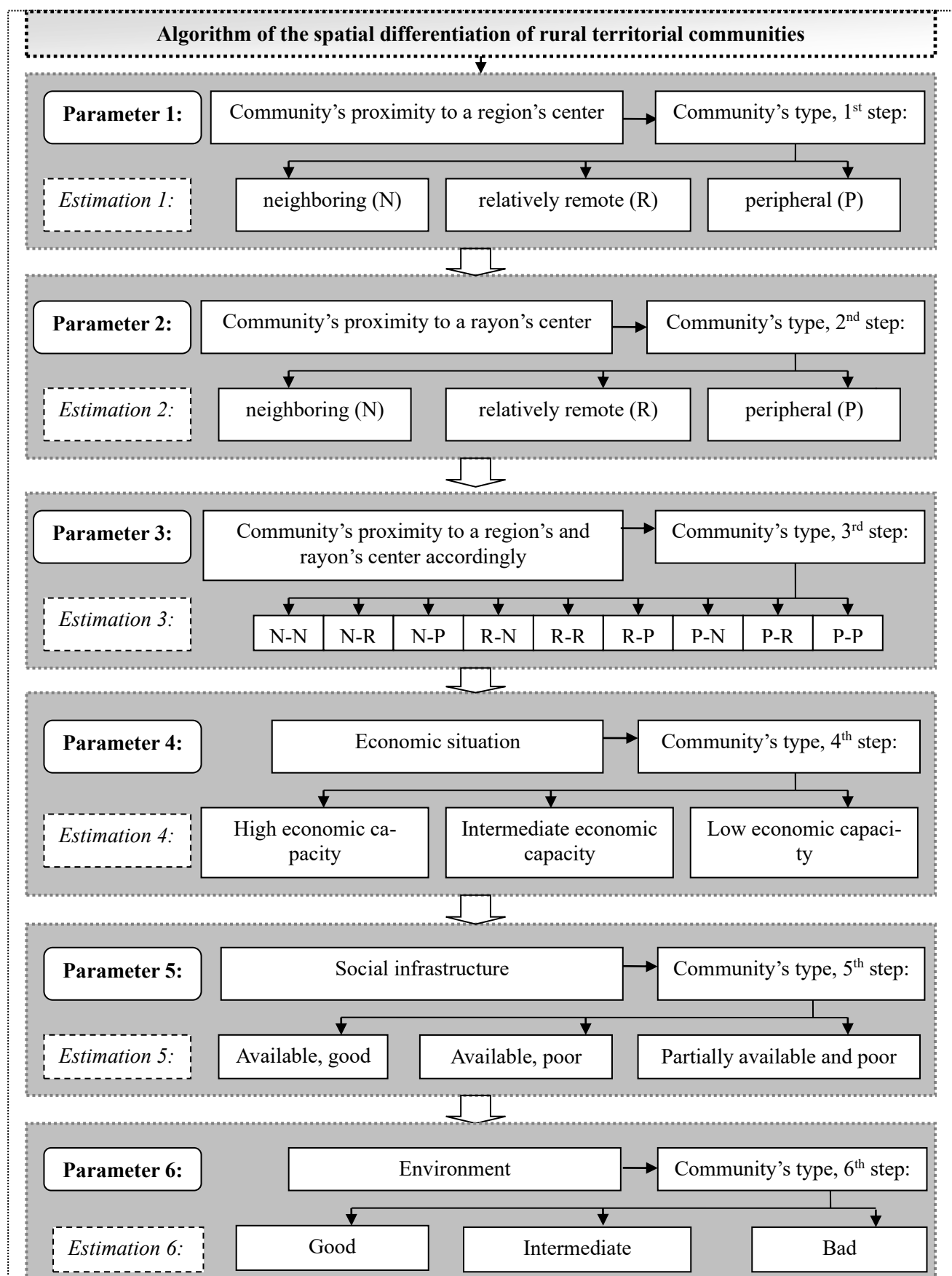


Fig. 1. Algorithm of the spatial differentiation of rural areas evaluating their social, economic and environmental status (*authors*)

Particularly, economic situation in rural communities is appraised by total revenues per an inhabitant and budget subsidy level (ratio of basic to reverse subsidy). Currently available data on economic status of rural communities in Ukraine is shown on Figure 2.

Considering Zhytomyr region (Table 4) Oliivska community has the largest revenue per an inhabitant (8 242 UAH), and Sokolivska community – the least (783 UAH). 32 communities of the region receive basic subsidies from the national budget, and seven have reverse subsidies. Sokolivska community receives the largest basic subsidy (44

per cent of the total revenue). Total revenues of a community per an inhabitant indicate its sovereign financial resources and abilities to pay for essential public goods. Budget subsidy level (share of basic subsidy or reverse subsidy in total revenues) specifies either a community is dependent on the national budget or not. In the first group (communities with population over 10 thousands) the highest subsidy level is 27.4% (Khoroshivska unit), in the second one (communities with population of 5-10 thousands) – 44.2% (Sokolivska unit), and in the last one (up to 5 thousands of people) – 32.3% (Martynivska unit).

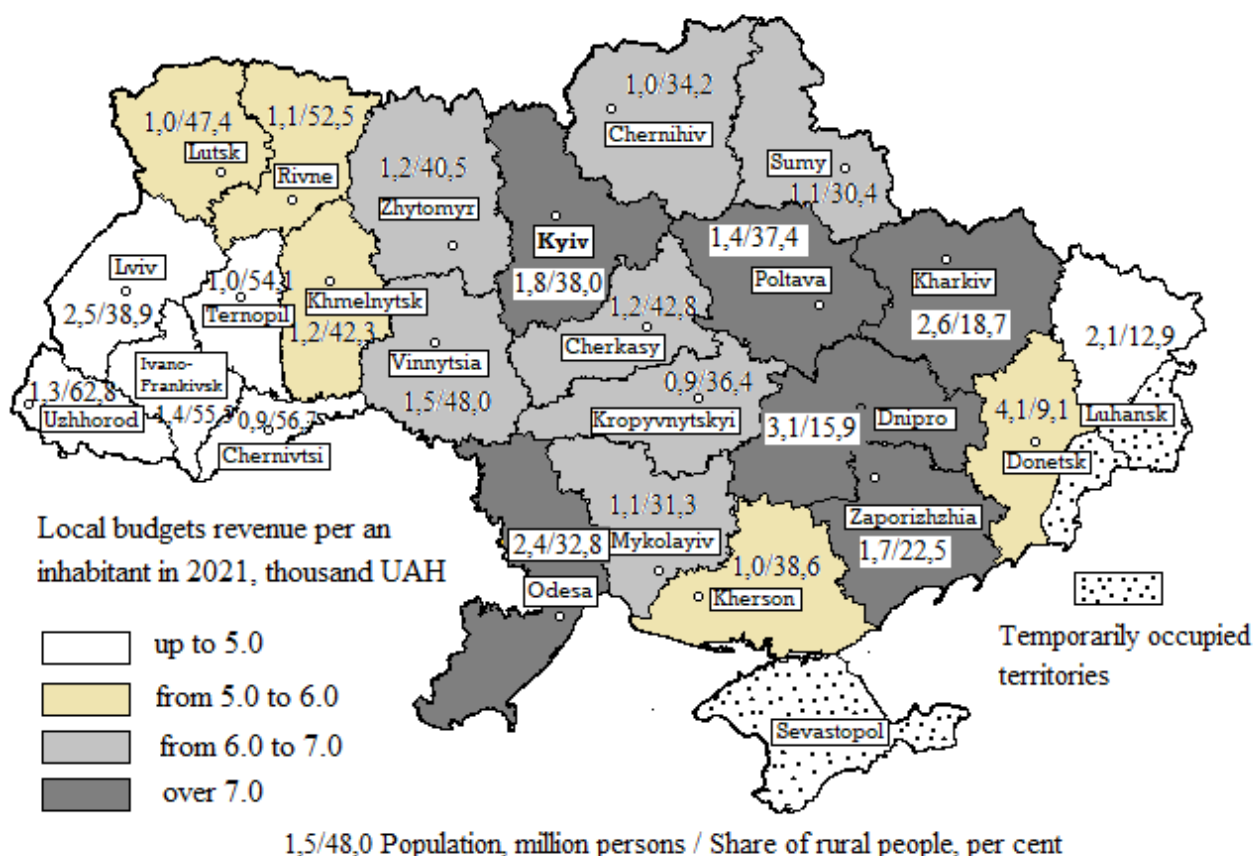


Fig. 2. Relevance between the ratio of population to share of rural people and local budgets revenues (authors)

Taking into account the results we suggest it is worthy to consider in depth either the communities with low financial capacity should be reformatted and joined to close communities. Despite currently those communities have no many opportunities for the development, the joining would give a good chance to optimize territorial structures of the units, improve efficiency of the local governing, and attract more investments due to a larger territory and more labor force. Finally it makes capital investments into the community more efficient. In the same time in order to make sound proposals for policy makers it is essential to explore more specific financial indicators of the communities, identify

causal relations between social and industrial infrastructure capacity, the entrepreneurship, natural resources, demographic status and so on.

It is worthy to say about limitation of the statistical analysis. Primarily we proceeded from the point a community's own revenues includes personal income tax, real estate tax, land payment, and some others. The income data for territorial communities in Ukraine is available only for those of them which have been established until 2016. With all of the above mentioned data on economic status of communities one would differentiate them by the degree of their economic capacity from high to medium and low. Social status of communities is not

Table 4

Budget indicators of the newly consolidated rural communities in Zhytomyr region in the 1st half of 2020*

Community name	Area, sq.km	Population in 2020, thousands	Total revenue per an inhabitant, UAH	Budget subsidy level (ratio of basic to reverse subsidy), %
Communities with population over 10 thousands				
Popilnianska	499.1	16.6	2816.6	-0.9
Stanyshivska	286.8	16.9	2810.6	-4.0
Glybochytska	180.5	10.9	2454.9	16.8
Brusylivska	626.1	14.5	1931.6	3.5
Slovechanska	1331.6	11.4	1752.3	15.5
Lubarska	760.8	26.0	1727.8	0.0
Lugynska	990.8	15.7	1461.4	20.8
Yemilchynska	1484.6	22.1	1383.9	17.6
Pulynska	534.6	14.2	1208.0	20.9
Khoroshivska	588.8	18.2	1190.9	27.4
Communities with population from 5 thousands to 10 thousands				
Oliyivska	310.3	8.3	8242.1	-27.0
Ushomyrska	652.4	9.9	5345.6	-21.8
Chyzhivska	434.3	7.0	4163.4	-14.0
Irshanska	243.7	9.2	2672.3	0.0
Semenivska	220.5	5.2	2424.3	0.0
Narodytska	1281.9	9.5	2062.8	8.2
Krasnopilska	339.7	7.7	2048.6	0.0
Myropilska	163.2	7.1	2023.0	0.0
Novoborivska	213.3	8.4	1834.6	21.3
Teterivska	275.9	9.6	1790.3	9.9
Vilshanska	219.6	6.6	1611.2	4.5
Vchorayshenska	269.9	5.2	1554.1	6.4
Dovbyska	225.7	9.0	1501.3	15.3
Bronyktivska	444.0	8.0	1477.1	23.7
Horodnytska	483.6	8.3	1377.1	26.1
Kornynska	240.8	5.6	1304.2	24.3
Chopovytska	359.4	6.0	1299.4	29.3
Chervonenska	158.8	5.6	1254.9	20.5
Bilokorovytska	103.8	5.8	1188.5	25.5
Rayhorodska	252.2	7.2	1147.8	22.2
Hryshkovetska	215.1	9.7	1115.4	29.7
Kurnenska	325.9	8.0	1032.9	39.3
Barashivska	498.4	6.9	808.9	43.1
Sokolivska	228.4	6.0	783.6	44.2
Communities with population up to 5 thousands				
Kvitneva	158.9	4.1	3171.3	-7.2
Vysokivska	97.2	2.4	3020.5	4.7
Andrushkivska	140.3	3.9	2866.0	-7.5
Horshchykivska	133.4	2.9	2065.7	0.0
Vyshevytska	148.0	3.2	1801.0	14.0
Shvaykivska	132.4	4.3	1782.6	0.0
Pishchivska	193.4	3.9	1732.4	21.6
Potiyivska	257.6	3.5	1575.9	24.1
Vilska	171.2	3.1	1409.8	25.9
Martynivska	190.5	2.6	1109.2	32.3
Dubrivska	174.7	3.8	1100.0	31.7

*Source: calculated with data [27, 28]

limited with existence of social buildings like schools, hospitals, and roads. It is important to take into account technical condition of such facilities (satisfactory or unsatisfactory), cold and hot water supply, sewerage, saving-energy windows, time of capital and current repair etc. Accordingly, community social infrastructure can be defined as I. Available, good quality; II. Available, poor quality; III. Partially available, poor quality or none at all. Social infrastructure is evaluated based on statistical information available to rural communities. Presently statistical passports of territorial units lack that information. Even more problematic is communities do not provide information on use of natural resources located on their territories and about state of the environment. Regarding the latter, State statistical agency of Ukraine provides information on the environmental status of rural areas by number of water spots to which enterprises dispose of contaminated wastewater, illegal landfills and mineral fertilizers and chemical depots. With these data we propose to evaluate ecological status of rural areas using index method [29] from satisfactory to unsatisfactory.

Consideration of the best approaches to interpretation of the research results and its use for the local policy development is the last point of the methodology. Some of the approaches we deliberated in the next section.

Discussions and conclusions. In 2014 in Ukraine the massive decentralization reform has been initiated. It aimed to transform many single administrative units – primarily villages and little towns – into much larger territorial communities. Although the reform has not been finished yet it provided the certain results and revealed the tendency. Particularly academicians and policy-makers inquire into the implicit root causes of why certain communities consolidate and either it makes their economic and social life better. We believe the elaborated methodology responds the inquiry and provides easy and comprehensive approach to multi-criteria spatial differentiation of the communities. It consists of the dual spatial classification of rural areas depending on their distance to large cities and other urban centers; application of the multi-criteria algorithm for the comprehensive differentiation of the territories evaluating their spatial, social, economic and environmental status; and the interpretation of the research results and its use for the local policy development.

Zhytomyr region is one of the most successful in Ukraine concerning implementation of the administrative reform, decentralization and best practices of the communities' integration. The region had been selected for the in-depth study taking into account its central location, economic situation and the

environment, varying experience and number of the territorial communities which have been consolidated in short time. Aiming to perform spatial typology of the newly consolidated territorial communities we differentiated them depending on their proximity to cities and other urban centers firstly. Consequently three types of the communities have been defined like neighboring, relatively remote, and faraway. It is concluded that distance of the communities to urban centers relates with their area and people size. The closer a territorial unit is located to the city, the smaller is its area and population, and vice versa. Other words, the proximity of a community to the city determines its economic capacity much more than its population an area.

Statistical relations between duration of the communities' consolidation and their spatial types prove the faraway and relatively remote communities have been united earlier than the neighboring. Taking into account the average number of settlements belonging to the one consolidated community it is revealed the closer to the regional center communities include less number of settlements, and vice versa. Also placements of the communities to district centers are taken into account. Two-dimensional classification of the communities by their proximity to regional and rayon centers confirms communities located close to cities and towns have better opportunities for the development. And communities differentiated as faraway by the both differentiation approaches are in much worse position. Finally we aimed suggesting proposals on how local self-government agencies and leaders of the newly consolidated communities can impact into accumulation of economic capacity and social responsibility support. The proposed methodological approach to spatial differentiation of rural territories can be introduced into the practice of local and regional agencies to refine the development strategies and update coherent plans and programs. The proposals are relevant for both rural and urban areas.

The presented methodological approach to the comprehensive differentiation of the territorial communities can be used to identify their problems, threats and development prospects. For this purpose, the algorithm is proposed which combines indicators of spatial differentiation of rural areas, their economic status, social infrastructure, and the environment. Practically it helps representatives of the communities, self-government bodies and state authorities develop local programs and plans and identify target communities for special local projects.

The next-step research considers complying of the methodology with a sophisticated math analysis. Firstly, it is going to confirm the obtained results with the rural areas clustering. Secondly, with the augmented multilayer list of variables assessing the

rural areas in more details the exploratory factor analysis will be applied to identify core reasons of the territories decline and the driving forces. Finally, the hypothesis if the research results impact into the development of core-periphery theory will be veri-

fied and some implications for the policy-making guide will be produced in order to turn the processes of peripherisation and deprivation of the rural areas back.

Bibliography

1. Концепція реформування місцевого самоврядування та територіальної організації влади в Україні. – Офіційний вісник України, 2014. – № 30. – С. 18.
2. Моніторинг процесу децентралізації влади та реформування місцевого самоврядування у 2019 році / Портал «Децентралізація». URL: http://decentralization.gov.ua/mainmonitoring#main_info (дата звернення 12.10.2020).
3. Novosak J., Hajek O., Gorska-Szymczak J., Novosakova J. Leader and Rural Differentiation: Czech Republic (2007–2013). – *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 2018. – No. 66 (1). – P. 293–301. DOI: <https://doi.org/10.1118/actaun201866010293>
4. Chrzanowska M., Zielinska-Sitkiewicz M. Evaluation of spatial differentiation of socio-economic development of rural areas in Mazowieckie province in years 2004–2016. / *Proceedings of the 8th International Scientific Conference 'Rural Development 2017'*. Ed. by Asta Raupeliene, 2017. – P. 944–948. DOI: <http://doi.org/10.15544/RD.2017.225>
5. Chen D., Wang Y., Ren F., Du Q. Spatio-Temporal Differentiation of Urban-Rural Equalized Development at the County Level in Chengdu. – *Sustainability*, 2016. – No. 8. – P. 422–439. DOI: <https://doi.org/10.3390/su811085>
6. Tao Zh., Guanghui J., Guangyong L., Dingyang Zh., Yanbod Q. Neglected idle rural residential land (IRRL) in metropolitan suburbs: Spatial differentiation and influencing factors. – *Journal of Rural Studies*, 2020. – Vol. 78. – P. 163–175. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.06.020>
7. Kriaciunas E., Burneika D. Functional Transformations and Socio-demographic Differentiation of Lithuanian Rural Spaces / *Three Decades of Transformation in the East-Central European Countryside*. Ed. by J. Banski. – Springer International Publishing, 2019. – P. 217–237. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-21237-7_10
8. Бистряков І., Клиновий Д., Рогов П. Забезпечення сталості та безпеки просторового розвитку України в умовах глобальних викликів. – *Social development and security*, 2018. – № 6 (4). – С. 39–53. DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.1412101>
9. Бойко В.В. Пріоритети та інструменти розвитку сільських територій в системі забезпечення економічної безпеки України. – Львів : ННБК «АТБ», 2017. – 426 с.
10. Борщевський В., Куліш І., Кравців І. Маркетинг сільських територій у новій парадигмі управління конкурентоспроможністю регіону. – *Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України*, 2016. – Вип. 1. – С. 12–15.
11. Саблук П.Т. Розвиток сільських територій – запорука відродження аграрної України. – *Вісник аграрної науки*, 2006. – № 5. – С. 21–23.
12. Соціально-екологічний розвиток сільських територій / Куценко В. І. та ін. – Київ : ДУ «Інститут економіки природокористування та сталого розвитку НАН України», 2016. – 336 с.
13. Немець К.А. Просторовий аналіз у суспільній географії: нові підходи, методи, моделі. – Харків : ХНУ, 2013. – 225 с.
14. Мезенцев К.В., Підгрушний Г.П., Мезенцева Н.І. Регіональний розвиток в Україні: суспільно-просторова нерівність і поляризація. – К. : ДП «Прінт Сервіс», 2014. – 132 с.
15. Руденко Л.Г., Лісовський С.А., Маруняк Є.О. Виклики і загрози просторового розвитку України на шляху до євроінтеграції. – *Український географічний журнал*, 2016. – Вип. 1. – С. 41–46. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2016.01>
16. Горошкова Л., Лісовська О., Лісовський С., Хлобистов Є. Моделювання удосконалення адміністративно-територіального устрою для сталого розвитку території (на прикладі Запорізької області). – *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*, 2020. – Вип. 31. – С. 24–33. DOI: <http://doi.org/10.26565/2075-1893-2020-31-03>
17. Rudenko L., Maruniak E., Golubtsov O., Lisovskyi S. Reshaping rural communities and spatial planning in Ukraine. – *European Countryside*, 2017. – Vol. 9. – Issue 3. – P. 594–616. DOI: <https://doi.org/10.1515/euco-2017-0035>
18. Маруняк Е., Нагирная В., Руденко Л., Секели В. Сравнительный анализ состояния сельской местности Украины и Словакии (в контексте евроинтеграции). – *Український географічний журнал*, 2017. – № 3. – С. 29–40. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2017.03.029>
19. Udovychenko, V., Melnychuk, A., Gnatiuk, O., Ostapenko, P. Decentralization reform in Ukraine: assessment of the chosen transformation model. – *European spatial research and policy*, 2017. – No. 24 (1). – P. 23–40. DOI: <https://doi.org/10.1515/esrp-2017-0002>
20. Чемерис В., Душка В., Максим В., Соломонко Д. Бізнес-модель розвитку сільських територій України. – *Agricultural and Resource Economics*, 2019. – Т. 5. – Вип. 1. – С. 154–176.
21. Storonyanska, I., Benovska, L. Theoretical aspects of territorial communities' self-development. – *Przedsiębiorstwo i region*, 2018. – No. 10. P. 55–62. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0300-9440\(95\)00594-3](http://dx.doi.org/10.1016/0300-9440(95)00594-3)

22. Кравців В., Сторонянська І., Жук П. Реформування територіальної основи місцевого самоврядування в контексті його фінансової спроможності. – Економіка України, 2017. – № 1. – С. 41–51.
23. Булавка О. Теоретико-методичні та організаційні основи розвитку сільських територій. – Економіка АПК, 2016. – № 6. – С. 104–110.
24. Бородіна О., Прокопа І. Майбутнє сільського сектора України – від екстрактивного використання до інклюзивного розвитку. – Економіка України, 2018. – № 11-12. – С. 104–121. DOI: <https://doi.org/10.15407/economyukr.2018.11.104>
25. Розвиток економіки сільського господарства України в 2011-2015 рр. : наук. доп. / Гадзало Я.М., Лупенко Ю.О., Пугачов М.І. та ін. ; за ред. Ю.О. Лупенка. – Київ : ННЦ «ІАЕ», 2016. – 546 с.
26. Національна парадигма сталого розвитку України / за заг. ред. академіка НАН України, д.т.н., проф., засл. діяча науки і техніки України Б.Є. Патона. – Київ : ДУ «Інститут економіки природокористування та сталого розвитку НАН України», 2016. – 72 с.
27. Окремі показники виконання місцевих бюджетів ОТГ Житомирської області за I півріччя за 2020 року / Портал «Децентралізація». URL: <https://decentralization.gov.ua/uploads/attachment/document/639/%D0%96%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%80.pdf> (дата звернення 12.10.2020).
28. Децентралізація дає можливості. Консолідація громад / Портал «Децентралізація». URL: <http://decentralization.gov.ua/gromada> (дата звернення 12.10.2020).
29. Костюк В.О. Прикладна статистика. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2015. – С. 47–48.
30. Хвесик М.А., Ільїна М.В. Методологічні засади диференціації сільських територій України. – Економіка АПК, 2018. – № 4. – С. 12–16.
31. Методичні рекомендації щодо формування і реалізації прогнозних і програмних документів соціально-економічного розвитку об'єднаної територіальної громади. – Баланс-Бюджет, 2016. – № 31. – С. 8.
32. Про державне прогнозування та розроблення програм економічного і соціального розвитку України : Закон України від 23.03.2000 № 1602-III. – Відомості Верховної Ради України, 2000. – № 25. – С. 195.

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

References

1. Conception of local self-government and territorial organization of the power reform in Ukraine (2014). Official bulletin of Ukraine. No. 30, 18.
2. Monitoring of the process of decentralization of power and reform of local self-government in 2019 / 'Decentralization' portal. URL: http://decentralization.gov.ua/mainmonitoring#main_info (access data: 12.10.2020).
3. Novosak J., Hajek O., Gorska-Szymczak J., Novosakova J. (2018). Leader and Rural Differentiation: Czech Republic (2007–2013). *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. No. 66 (1), 293–301. DOI: <https://doi.org/10.11118/actaun201866010293>
4. Chrzanowska M., Zielinska-Sitkiewicz M. (2017). Evaluation of spatial differentiation of socio-economic development of rural areas in Mazowieckie province in years 2004-2016. *Proceedings of the 8th International Scientific Conference 'Rural Development 2017'*. Ed. by Asta Raupeliene, 944–948. DOI: <http://doi.org/10.15544/RD.2017.225>
5. Chen D., Wang Y., Ren F., Du Q. (2016). Spatio-Temporal Differentiation of Urban-Rural Equalized Development at the County Level in Chengdu. *Sustainability*. No. 8, 422–439. DOI: <https://doi.org/10.3390/su811085>
6. Tao Zh., Guanghui J., Guangyong L., Dingyang Zh., Yanbod Q. (2020). Neglected idle rural residential land (IRRL) in metropolitan suburbs: Spatial differentiation and influencing factors. *Journal of Rural Studies*. Vol. 78, 163–175. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.06.020>
7. Kriauciunas E., Burneika D. (2019). Functional Transformations and Socio-demographic Differentiation of Lithuanian Rural Spaces / *Three Decades of Transformation in the East-Central European Countryside*. Ed. by J. Banskis. Springer International Publishing, 217–237. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-21237-7_10
8. Bystriakov, I., Klynovyi, D., & Rohov, P. (2018). Providing the sustainability and safety of spatial development of Ukraine under global challenges. *Social development and security*. No. 6 (4), 39–53. DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.1412101>
9. Boiko, V.V. (2017). Priorities and instruments of rural areas' development in the system of economic safety providing in Ukraine. Lviv: NNBK "ATB".
10. Borshchevskiy, B., Kulish, I., & Kravtsiv, I. (2016). Marketing of rural areas in modern paradigm of managing region's competitiveness. *Social-economic problems of the current position in Ukraine*, No. 1, 12–15.
11. Sabluk, P (2006). Development of rural areas is the key to the revival of agrarian Ukraine. *Bulletin of Agrarian Science*. No. 5, 21–23.
12. Kutsenko, V.I., Ostafichuk, Y.V., Ilina, M.V., et al. (2016). *Social-economic development of the rural areas*. Kyiv: Institute of Environmental Economics and Sustainable Development of National Academy of Sciences of Ukraine.
13. Niemets, K.A. (2013). *Spatial analysis in social geography: new approaches, methods, models*. Kharkiv: KhNU. 225.
14. Mezentshev, K.V., Pidgrushny, G.P., Mezentseva, N.I. (2014). *Regional development in Ukraine: socio-spatial inequality and polarization*. Kyiv: State Enterprise "Print Service". 132 p.

15. Rudenko, L.G., Lisovsky, S.A., Maruniak, E.A. (2016). Challenges and threats to Ukraine's spatial development on the path to European integration. *Ukrainian Geographical Journal*. No. 1, 41–46. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2016.01>
16. Goroshkova, L., Lisovska, O., Lisovsky, S., Khlobystov, E. (2020). Modeling of improving the administrative-territorial structure for sustainable development of the territory (on the example of Zaporozhye region). *Problems of continuing geographical education and cartography*. No. 31, 24–33. DOI: <http://doi.org/10.26565/2075-1893-2020-31-03>
17. Rudenko, L., Maruniak, E., Golubtsov, O., Lisovskiy, S. (2017). Reshaping rural communities and spatial planning in Ukraine. *European Countryside*. Vol. 9. No. 3, 594–616. DOI: <https://doi.org/10.1515/euco-2017-0035>
18. Marunyak, E., Nagirnaya, V., Rudenko, L., Sekeli, V. (2017). Comparative analysis of the state of rural areas of Ukraine and Slovakia (in the context of European integration). *Ukrainian Geographical Journal*. No. 3, 29–40. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2017.03.029>
19. Udovychenko, V., Melnychuk, A., Gnatiuk, O., Ostapenko, P. (2017). Decentralization reform in Ukraine: assessment of the chosen transformation model. *European spatial research and policy*. No. 24 (1), 23–40. DOI: <https://doi.org/10.1515/esrp-2017-0002>
20. Chemerys, V., Dushka, V., Maksym, V., & Solomonko, D. (2019). Business-model of the development of rural areas in Ukraine. *Agricultural and Resource Economics*, No. 5, Vol. 1, 154–176.
21. Storonyanska, I. & Benovska, L. (2018). Theoretical aspects of territorial communities' self-development. *Przedsiębiorstwo i region*, No. 10, 55–62. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0300-9440\(95\)00594-3](http://dx.doi.org/10.1016/0300-9440(95)00594-3)
22. Kravtsiv, V., Storonyanska, I., Zhuk, P. (2017). Reforming the territorial basis of local self-government in the context of its financial capacity. *Economy of Ukraine*. No. 1, 41–51.
23. Bulavka, O. (2016). Theoretical, methodical and organizational principles of rural areas' development. *Economics of the agri-industrial complex*, No. 6, 104–110.
24. Borodina, O., Prokopa, I. (2018). The future of the rural sector of Ukraine: from the extractive use to the inclusive development. *Economics of Ukraine*, No. 11–12, 104–121. DOI: <https://doi.org/10.15407/economyukr.2018.11.104>
25. Hadzalo, Ya.M., Lupenko, Yu.O., Puhachov, M.I., et al. (2016). Development of the economy of agriculture of Ukraine in 2011–2015: scientific report. Yu.O. Lupenko (Ed.). Kyiv: NNTs "IAE".
26. National paradigm of the sustainable development of Ukraine (2016). Kyiv, Institute of Environmental Economics and Sustainable Development of the National academy of sciences of Ukraine.
27. Budget indicators of territorial communities in Zhytomyr region in the 1st half of 2020 / 'Decentralization' portal. URL: <https://decentralization.gov.ua/uploads/attachment/document/639/%D0%96%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%80.pdf> (access data: 12.10.2020).
28. Decentralization gives opportunities. Consolidation of the communities / 'Decentralization' portal. URL: <http://decentralization.gov.ua/gromada> (access data: 12.10.2020).
29. Kostuik, V. (2015). Applied statistics. Kharkiv: Kharkiv National University named by O. Beketov.
30. Khvesyk, M., Ilina, M. (2018). Methodological principles of Ukraine's rural areas differentiation. *Economics of the agri-industrial complex*. No 4, 12–16.
31. Methodical recommendations on forming and realizing forecast and program papers related to the social-economic development of a consolidated territorial community. (2016). *Balance-Budget*, No. 31, 8.
32. On national forecast and elaboration of programs on economic and social development of Ukraine: Law of Ukraine dated 23.03.2000, No. 1602-III. (2000). *Bulletin of the Parliament of Ukraine*, No. 25, 195.

Комплексная пространственная дифференциация территориальных общин на примере Житомирской области

Мария Владимировна Ильина¹,

д. экон. н., ст. научн. сотрудн., зав. отдела,

¹Государственное учреждение «Институт экономики природопользования и устойчивого развития

Национальной академии наук Украины,

бульв. Тараса Шевченко, 60, г. Киев, 01032, Украина;

Юлия Борисовна Шпилевая¹,

д. экон. н., ст. научн. сотрудн.

В статье представлены методологические основы комплексной пространственной дифференциации объединенных территориальных общин в Украине по показателям их расположения к крупным городам и урбанизированным центрам; соответственно выделены приближенные, относительно отдаленные и периферийные территории. Доказано, что близость объединяющихся территориальных общин к областным и районным центрам детерминирует их экономическую состоятельность существеннее, чем площадь территории и численность населения: периферийные общины имеют большую площадь, количество населенных пунктов в своем составе и жителей, а приближенные - наоборот. Более того, периферийные и отдаленные общины объединились раньше чем приближенные: скорость принятия соответствующих решений объясняется их большей актуальностью для

економічно менше спроможних общин. Эти и другие выводы подтверждены на примере Житомирской области. Разработан алгоритм комплексной дифференциации сельских территорий по ряду социально-экономических и экологических параметров. Экономическое положение общин оценено по показателям среднего общего удельного дохода жителей и уровня дотационности бюджета. С учетом численности жителей выделены общины высокой, средней и низкой экономической состоятельности. Социальная инфраструктура по показателям численности объектов и их состояния оценена как достаточная надлежащего качества, достаточная ненадлежащего качества и недостаточная ненадлежащего качества. Для дифференциации общин по уровню благополучия экологической ситуации (удовлетворительная, посредственная, угрожающая) применены показатели количества водных объектов, в которые предприятия сбрасывают загрязненные сточные воды, несанкционированных свалок и складов ядохимикатов. Предложены способы применения методологических и практических результатов исследования для разработки представителями органов самоуправления местных стратегий развития; обоснована целесообразность присоединения общин с низкой экономической способностью к другим с тем, чтобы способствовать оптимизации структуры административных образований, повышению эффективности их управления и привлечению инвестиций.

Ключевые слова: административная реформа, децентрализация, территория, пространственная дифференциация, объединенная территориальная община, экономическая состоятельность, методология, алгоритм.

Комплексна просторова диференціація територіальних громад на прикладі Житомирської області

Марія Володимирівна Ільїна¹,

д. екон. н., ст. наук. співроб., зав. відділу

¹Державної установи «Інститут економіки природокористування та сталого розвитку

Національної академії наук України»,

бульв. Тараса Шевченка, 60, м. Київ, 01032, Україна,

Юлія Борисівна Шпильова¹,

д. екон. н., ст. наук. співроб.

У статті представлено методологічні засади комплексної просторової диференціації об'єднаних територіальних громад в Україні за показниками їх наближеності до великих міст та урбанізованих центрів; відповідно виділено наближені, відносно віддалені та периферійні території. Доведено, що наближеність територіальних громад, які об'єднуються, до обласних та районних центрів детермінує їх економічну спроможність значно більшою мірою, ніж площа території та чисельність населення: периферійні громади мають більшу площу, кількість населених пунктів у їх складі та мешканців, а наближені – навпаки. Більше того, периферійні та віддалені громади об'єдналися раніше за наближені до великих центрів: швидкість ухвалення відповідних рішень пояснюється більшою їх актуальністю для економічно менш спроможних громад. Ці та інші висновки підтверджено на прикладі Житомирської області. Розроблено алгоритм комплексної диференціації сільських територій за соціально-економічними та екологічними параметрами. Економічний стан громад оцінено за показниками середнього загального питомого доходу мешканців та рівня дотаційності бюджету. З урахуванням чисельності мешканців виокремлено громади високої, середньої та низької економічної спроможності. Соціальна інфраструктура за показниками чисельності об'єктів та їх стану оцінена як достатня належної якості, достатня неналежної якості та недостатня неналежної якості. Для диференціації громад за рівнем благополуччя екологічної ситуації (задовільна, посередня, загрозлива) застосовано показники кількості водних об'єктів, до яких підприємства скидають забруднені стічні води, несанкціонованих сміттєзвалищ та складів отрутохімікатів. Запропоновано способи застосування методологічних та практичних результатів дослідження для розробки представниками органів самоврядування місцевих стратегій розвитку; обґрунтована доцільність приєднання громад з низькою економічною спроможністю до інших з тим, аби сприяти оптимізації структури адміністративних утворень, підвищенню ефективності їх управління та залученню інвестицій.

Ключові слова: адміністративна реформа, децентралізація, територія, просторова диференціація, об'єднана територіальна громада, економічна спроможність, методологія, алгоритм.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 28 червня 2020 р.

Прийнята 19 жовтня 2021 р.

Демографічні процеси Карпатського регіону в контексті економічного розвитку території

Надія Вікторівна Мельник¹,

к. геогр. н., доц., доцент кафедри туризму

¹ДВНЗ «Ужгородський національний університет», пл. Народна, 3, м. Ужгород, 88000, Україна,

e-mail: nadiia.chyr@uzhnu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-2077-595X>;

Андрій Васильович Мельник²,

к. геогр. н., доц., доцент Інституту природничих наук і туризму,

²Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна,

e-mail: avmelnyk@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-6906-6396>;

Віліна Анатоліївна Пересацько³,

д. геогр. н., проф., професор кафедри фізичної географії та картографії,

³Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,

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

e-mail: vilinaperesadko@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-2439-2788>;

Володимир Степанович Великочий⁴,

д. іст. н., проф., професор кафедри туризмознавства і краєзнавства,

⁴Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,

вул. Галицька, 2016, Івано-Франківськ, 76008, Україна,

e-mail: w-w-s@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-6926-1474>

У статті здійснено просторовий та структурний аналіз демографічних процесів Карпатського регіону як одного з індикаторів соціально-економічного розвитку території. На основі статистичних даних проаналізовано специфічні риси механічного руху населення в Карпатському регіоні в порівнянні з іншими областями України. Акцентовується увага на тому, що міграційні процеси, які мають важливе значення для подальшого розвитку суспільства, в умовах загострення демографічних і соціально-економічних проблем, потребують негайного вирішення. Доведено необхідність розробки випереджальних заходів, які покликані стати пріоритетними при вирішенні проблем економічно активного населення на досліджуваних територіях. Значну увагу приділено дослідженню питань вікового складу трудових ресурсів, рівню зайнятості населення у віці 15-70 років, зважаючи на незадовільні показники, які демонструє Україна, адже тривалість життя українців одна з найнижчих у Європі. Ознаками формування демографічної катастрофи в досліджуваному регіоні є високий рівень трудової міграції за кордон. За результатами досліджень динаміки індексу реальної заробітної плати в країні впродовж 2014-2021 р.р. доведено, що незважаючи на постійний ріст заробітної плати та тенденцію щодо зменшення розриву у розмірі середньомісячної заробітної плати за гендерною ознакою по регіонах країни, індекс реальної заробітної плати неухильно зменшується. Наведені в статті показники використання трудового потенціалу дають змогу дійти висновку, що на сьогодні Україна позбавлена перспектив нарощування кількісних параметрів розвитку народонаселення як найбільшого чинника формування трудового потенціалу на тлі збереження тенденції щодо зменшення кількості трудових ресурсів. Перспективами подальших досліджень є обґрунтування дієвих механізмів демографічної політики на загальнодержавному рівні задля подолання відтоку населення із сільської місцевості, спрямовану не стільки на збільшення народжуваності, скільки на зростання привабливості сільських територій для проживання та продуктивної економічної діяльності мешканців сіл, насамперед молоді.

Ключові слова: демографічні процеси, міграції, трудові ресурси, вікова структура населення, зайнятість населення, індекс заробітної плати, Карпатський регіон.

Як цитувати: Мельник Н. В. Демографічні процеси Карпатського регіону в контексті економічного розвитку території / Н. В. Мельник, А. В. Мельник, В. А. Пересацько, В. С. Великочий // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Географія. Географія. Екологія», 2021. – Вип. 55. – С. 187-203. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-14>

In cites: Melnyk N. V., Melnyk A. V., Peresadko V. A., Velykochy V. S. (2021). Demographic processes of the Carpathian region in the context of economic development of the territory. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (55), 187-203. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-14> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. Карпатський Євро-регіон включає території п'яти країн Центральної Європи: України, Польщі, Словаччини, Угорщини та Румунії. Площа Єврорегіону становить близько 148095 км², сумарне населення станом на 2020 рік перевищує 16 млн. осіб. Українська частина Карпатського Єврорегіону територіаль-

но включає чотири області (Закарпатську, Івано-Франківську, Львівську, Чернівецьку) і займає площу в 56635 км².

Одним із аспектів соціально-економічного розвитку території є її демографічний розвиток, що виявляється у зміні кількісних та якісних характеристик населення території у певному соці-

альному контексті як системоутворюючого чинника суспільного життя.

Аналіз демографічної ситуації у просторовій та часовій визначеності дає можливість вважати підходити до формування засад демографічної та міграційної політики, прогнозувати можливі виклики та загрози у даній царині, але найголовніше – він є визначальним при забезпеченні стабільного економічного розвитку держави, плануванні майбутнього.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Важливе значення у дослідженні демографічної ситуації в Україні в цілому та окремих її регіонів зокрема відіграє Інститут демографії та соціальних досліджень імені М.П. Птухи НАН України. Ряд наукових праць Лібанової Е.М., Долишнього М.І., Власенка Н.С., Пирожкова С.І. [7] присвячені аналізу основних демографічних тенденцій, найбільш актуальних проблем демографічного розвитку України, а також розробці рекомендацій щодо стратегії демографічного розвитку. Актуальні проблеми демографічного розвитку сільських територій Карпатського регіону розглядаються науковцями Інституту регіональних досліджень НАН України на чолі з Кравців В.С. Міграційна активність населення вивчається Р.Т. Тесликом, Бачинською М.В., Бараняк І.Є. [2; 13].

Світові тенденції демографічного переходу європейських країн, політику населення в Європі знаходимо у працях зарубіжних науковців, зокрема, Baran A, Stpiczynski T., Minkov M., F. Willekens, F. Swiaczny, D. Coleman, John F. May [16; 18-20].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Станом на 1 січня 2020 року в Україні проживало 41 млн. 732,8 тис. осіб (без урахування окупованих територій) [4], що є історичним мінімумом за роки незалежності, що спонукає до детального вивчення даної проблематики.

Представлене дослідження базується на використанні статистичних даних Євростату (статистичної організації Європейської Комісії), Державної служби статистики України, Міністерства фінансів України, а також регіональних осередків Головного управління статистики у досліджуваних областях України.

Мета статті. Метою даної публікації є висвітлення та аналіз демографічних процесів, які відбуваються на сучасному етапі в Карпатському регіоні в контексті економічного розвитку територій з метою розробки та впровадження випереджальних заходів, які покликані стати пріоритетними при вирішенні проблем економічно активного населення на досліджуваних територіях.

Виклад основного матеріалу дослідження. Важливим маркером демографічного розвитку

території являється механічний рух населення або міграція. Вона може виступати чинником стабілізації демографічної ситуації за умов зведеного типу відтворення населення або ж навпаки, посилювати деструктивні процеси у демографічній сфері.

За останні півстоліття Європа перетворилась на регіон чистої імміграції. Міграційні рухи між європейськими країнами в основному зумовлені різницею можливостей зайнятості, освіти, рівня заробітної плати, але також причинами сімейного характеру.

У 2018 році за офіційною статистикою Євростату до ЄС іммігрувало 2,4 млн. осіб, тоді як кількість емігрантів склала 1,1 млн. осіб. Станом на 2019 рік у ЄС налічувалось 21,8 млн. осіб-громадян третіх країн, що становить 4,9% усього населення Євросоюзу. У той час, коли 13,3 млн. громадян ЄС проживали в інших країнах Європи [17].

Проблема міграції населення є актуальною і для України, особливо в умовах загострення демографічних і соціально-економічних проблем. Довгий час наша держава залишається країною походження лівової частки трудових мігрантів в Європі. За різними оцінками, сьогодні налічується від 3 до 5 млн. українців, що емігрували у пошуку роботи [9]. За даними Державного комітету статистики України, чисельність мігрантів щороку зростає. Станом на 2019 р. вона становила 1051 тис осіб, що на 301 тис осіб більше, ніж у 2018 р.

Високий рівень бідності та труднощі при працевлаштуванні з гідною оплатою у власній державі підсилюються політичними, соціальними та безпековими факторами, які стимулюють міграційну мобільність. За прогнозами вчених сальдо міграції населення України поступово зростатиме. Кількість вибулих зменшиться тільки тоді, коли підвищиться рівень та якість життя населення. Для цього необхідно послабити дії чинників, що стимулюють від'їзд.

Основними тенденціями міграцій населення в Україні на сучасному етапі є:

- значні масштаби зовнішньої трудової міграції, деяке збільшення чисельності її учасників в останні роки;
- посилення тенденції переходу тимчасової зовнішньої трудової міграції у постійну форму;
- поява нового для України виду міграційних переміщень – руху внутрішньо переміщених осіб, виникнення проблем, пов'язаних з їх облаштуванням та адаптацією в нових місцях проживання;
- скорочення обсягів прибуття населення в Україну – як зворотної міграції українських

громадян, так і імміграції іноземців;

- низький рівень інтеграції громадян інших країн, які проживають в Україні [9].

У той же час, грошові перекази мігрантів мають життєво важливе значення для зменшення бідності. У 2019 році такі перекази становили майже 16 млрд. дол. США, що еквівалентно десяти відсоткам ВВП України. Їхній обсяг може впасти на одну п'яту, оскільки сектори праці мігрантів особливо сильно постраждали від пандемії COVID-19.

Можна з упевненістю стверджувати, що міграційні процеси спричинили дисбаланс у функціонуванні системи зайнятості та національного ринку праці в Україні в цілому та в досліджуваному регіоні зокрема.

Карпатський регіон має специфічні риси механічного руху населення у порівнянні з іншими областями України. Так, у 2010-2018 рр. кіль-

кість населення областей Карпатського регіону за рахунок міграції зросла на 17,3 тис. осіб або 65 осіб на 100 тис. жителів. Якісний аналіз населення засвідчив, що внутрішня міграція населення Карпатського регіону носить урбаністичний характер, тобто пов'язана із його переміщенням з сільської місцевості у міську. За рахунок механічного приросту кількість населення у Закарпатській області у 2010-2018 рр. зменшилась на 6,5 тис. осіб, водночас як у Івано-Франківській, Львівській, Чернівецькій областях – навпаки зросла на 8,3 тис., 8,4 тис. та 7,1 тис. осіб відповідно [2].

У 2019 році міграційний приріст населення Карпатського Єврорегіону в межах України становив -1670 тис. осіб у порівнянні з 2018 роком, а його рівень – -2,8 осіб на 10 тис. населення (рис. 1).

Як видно з рисунку, для всіх областей Кар-

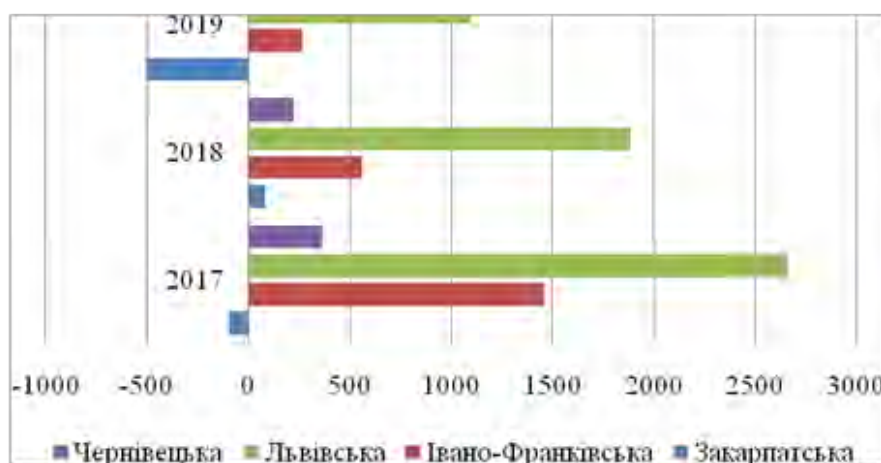


Рис. 1. Динаміка міграційного приросту в межах української частини Карпатського Єврорегіону, осіб (створено авторами на основі даних Державної служби статистики України).

Fig. 1. Trends in migration growth within the Ukrainian part of the Carpathian Euroregion, person (created by the authors on the basis of data of the State Statistical Service of Ukraine)

патського регіону України, окрім Закарпатської, міграційний приріст має додатне значення впродовж досліджуваного періоду. Стрибок еміграції для цієї області припадає на 2019 рік і пов'язаний, на нашу думку, з погіршенням економічного становища в цілому в державі. Разом з тим, перевищення еміграції над імміграцією у прикордонних областях завжди було на порядок вищим, аніж у інших регіонах країни. Проте, пандемія COVID-19 внесла свої корективи у міграційний рух населення досліджуваного регіону. Внаслідок пандемії за різними підрахунками чверть українських мігрантів були змушені повернутися в Україну, а грошові перекази мігрантів зменшилися на 20%. Водночас особи, що повертаються, зазнають стигматизації як такі, що обтяжують внутрішній ринок праці. Крім того, варто також враховувати й факт «прихованої міг-

рації», яка на порядок вища офіційних статистичних показників.

До Топ-5 країн-реципієнтів міграції Карпатського регіону належать Угорщина, Німеччина, Польща, Чехія та Словаччина. Імміграційні потоки переселенців до Карпатського регіону в основному були спрямовані з Індії, Єгипту та Російської Федерації. Карпатський регіон став також комфортним для проживання і для внутрішньо переміщених осіб внаслідок військових дій на Сході України, які склали левову частку внутрішніх мігрантів до досліджуваного регіону.

Порівняльний аналіз статеві-вікової структури мігрантів з України дозволив зробити висновки, що близько 50% мігрантів припадає на економічно активний вік 20-35 років, а близько двох третин емігрантів є чоловіками. При чому найвищі значення (близько 10%) – це вік 22-23

роки. Зазвичай це молоді, неодружені кваліфіковані спеціалісти, які щойно завершили навчання в університеті. На думку Бачинської М.В. та Бараняк І.Є. така ситуація підтверджує гіпотезу про розвиток соціальної, шлюбної, моральної, культурної кризи суспільства в Україні [2].

Емігранти, що виїжджають до різних країн призначення мають певні особливості. До деяких країн Південної Європи виїжджає більше жінок, причиною чого є попит у цих країнах на роботу у сфері обслуговування [14].

Імміграційні потоки до областей Карпатського регіону за статеві-віковою структурою більш однорідні. Як у чоловіків, так і у жінок, активні імміграційні процеси мають місце лише

у віці 17-20 років, тоді як у інших вікових когортах вони практично відсутні. Таку ситуацію можна пояснити через значний вплив освітньої міграції. Львів, Івано-Франківськ, Чернівці виступають потужними науковими та навчальними центрами не тільки Карпатського регіону, але й усієї Західної України і користуються значною популярністю серед іноземних студентів, зокрема з менш розвинених та бідних країн.

Наслідком додатного сальдо міграції є омолодження вікової структури населення, адже переважну більшість мігрантів складають молоді люди. Станом на 2019 рік міграційний баланс виглядає наступним чином (рис. 2).

Розподіл міграційного приросту за віковими

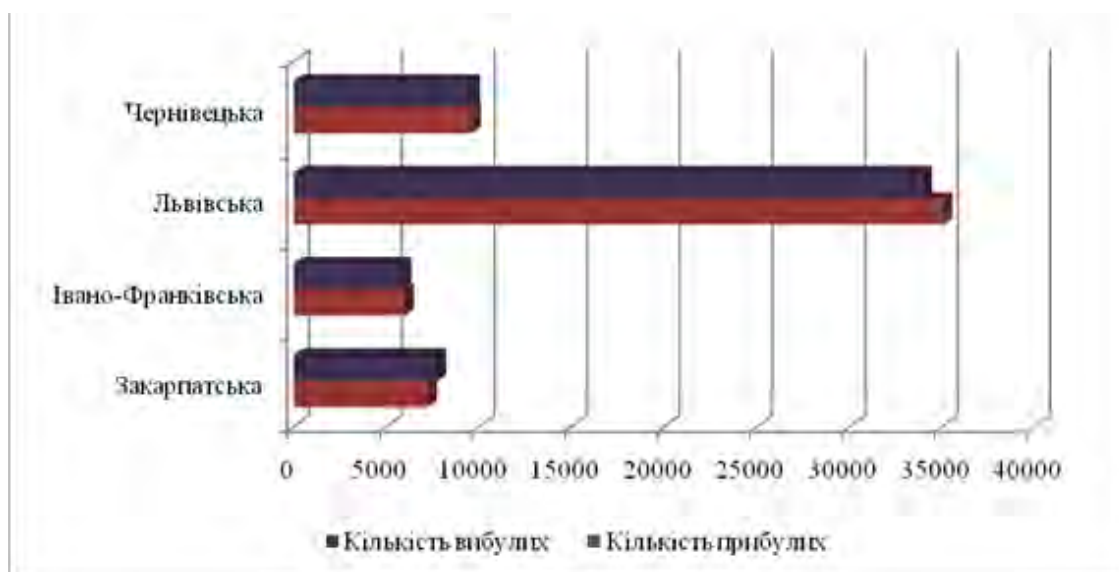


Рис. 2. Міграційний рух населення в межах української частини Карпатського Євросереєгу, осіб (станом на 2019 рік) (створено авторами на основі даних Державної служби статистики України)
Fig. 2. Migration movements within the Ukrainian part of the Carpathian Euroregion, person (as of 2019) (created by the authors on the basis of data of the State Statistical Service of Ukraine)

категоріями та типом місцевості представлено у таблиці 1. За віковою структурою абсолютну першість займають міграції середньої вікової когорти 15-64 років.

Як видно з представлених статистичних показників, активна міграційна мобільність характерна закономірно для сільських територій Карпатського регіону. Загалом українське село за останні 50 років внаслідок міграційних процесів втратило понад 10 млн. осіб, тобто щороку з сіл виїжджало близько 100 тис. осіб, внаслідок чого сільське населення не тільки зменшилось, а й значно постаріло [13] (табл. 2, рис. 3).

При обмежених можливостях працевлаштування на офіційному ринку праці трудові міграційні поїздки українських громадян, що проживають у сільській місцевості, за кордон стали об'єктивною реальністю і, без сумніву, масовим явищем. Частка мешканців села у загальній кількості трудових мігрантів Карпатського регіону є

більшою, ніж городян, з них жінки становлять 60-70%. При цьому відсутність жінок – матерів і майбутніх матерів є однією з головних причин зменшення коефіцієнту народжуваності і розпаду традиційної української родини, адже матері залишають своїх дітей, а дружини – чоловіків [5].

Структурними елементами сільських територіальних міграційних систем є тимчасові маятникові, вахтові, сезонні міграції, пов'язані передусім із потребою у зайнятості та навчанні. На відміну від стаціонарних, вони не призводять до зміни чисельності населення країни та регіонів (за винятком нечастих випадків переходу трудової міграції у постійну) і відповідно прямого впливу на життєвий потенціал, статеві-вікову структуру та рівень освіти населення майже не здійснюють. В той же час, по-перше, трудові міграції виступають важливим чинником реалізації трудового потенціалу, по-друге, опосередкований вплив трудових міграцій на трансформації

демографічних процесів може бути досить сильним.

Для подолання відтоку населення із сільської місцевості необхідно виробити демографічну політику, спрямовану не стільки на зростання народжуваності, скільки на зростання привабливості сільських територій для проживання та продуктивної економічної діяльності мешканців сіл, насамперед молоді. Реалізація цих завдань дасть змогу істотно підняти економічний потенціал сільських територій, що є необхідною умовою для реалізації євроінтеграційних прагнень українських громадян [13].

Міграція робочої сили для Карпатського регіону має переважно негативні наслідки, зокрема:

- втрата висококваліфікованих спеціалістів (особливо науковців і фахівців), що спричиняє уповільненню темпів науково-технічного прогресу;
- втрата конкурентоспроможної робочої сили; втрата іноземної валюти, яка вивозиться іммігрантами;
- зростання злочинності та соціальної напруженості у суспільстві, що спричинене міжнаціональними конфліктами;
- політичні та економічні претензії до України через зростання нелегальної трудової міграції українців;
- дискримінація та експлуатація українців місцевими роботодавцями;

Таблиця 1

Розподіл міграційного приросту за віковими категоріями та типом місцевості в межах української частини Карпатського Євро регіону (станом на 2019 рік) (розраховано авторами на основі даних Державної служби статистики України)

Вікова категорія	Міграційний приріст, скорочення (-)		
	обидві статі	чоловіки	жінки
Закарпатська область			
<i>Міська місцевість</i>			
Усього	840	329	511
у т.ч. у віці 0-14	149	54	95
15-64	756	308	448
65 і старше	-65	-33	-38
<i>Сільська місцевість</i>			
Усього	-1340	-528	-812
у т.ч. у віці 0-14	-352	-174	-178
15-64	-896	-349	-634
65 і старше	-5	-5	0
Львівська область			
<i>Міська місцевість</i>			
Усього	1582	108	1474
у т.ч. у віці 0-14	674	295	379
15-64	-1152	-50	1202
65 і старше	-244	-137	-137
<i>Сільська місцевість</i>			
Усього	-483	240	-723
у т.ч. у віці 0-14	-667	-290	-377
15-64	-102	394	-496
65 і старше	286	136	150
Чернівецька область			
<i>Міська місцевість</i>			
Усього	828	196	632
у т.ч. у віці 0-14	271	126	99
15-64	512	52	460
65 і старше	-13	2	-15
<i>Сільська місцевість</i>			
Усього	-781	-158	-623
у т.ч. у віці 0-14	-247	-81	-166
15-64	-543	-87	-456
65 і старше	9	10	-1

Таблиця 2

Динаміка міграційного руху населення за типом місцевості (осіб)
(розраховано авторами на основі даних Державної служби статистики України)

Рік	Усі потоки			У т. ч. міждержавна міграція		
	кількість прибулих	кількість вибулих	міграційний приріст, скорочення	кількість прибулих	кількість вибулих	міграційний приріст, скорочення
Закарпатська область						
<i>Міська місцевість</i>						
2015	3628	4328	-700	226	802	-576
2016	1352	2608	-1256	51	216	-165
2017	3334	3175	159	439	261	178
2018	5476	4116	1360	655	364	291
2019	4824	3984	840	591	494	97
<i>Сільська місцевість</i>						
2015	2475	3426	-951	40	717	-677
2016	1959	1685	274	49	273	-224
2017	2679	2935	-256	98	210	-112
2018	2841	4117	-1276	114	251	-137
2019	2423	3763	-1340	85	429	-344
Львівська область						
<i>Міська місцевість</i>						
2015	20329	20891	-562	860	635	225
2016	19231	17784	1447	790	620	170
2017	18245	17914	331	813	533	280
2018	23955	23950	5	1086	925	161
2019	23900	22318	1582	1201	1164	37
<i>Сільська місцевість</i>						
2015	11170	9273	1897	147	78	69
2016	11800	8265	3535	154	92	62
2017	10852	8517	2335	189	142	47
2018	14690	12809	1881	231	259	-28
2019	11183	11666	-483	230	319	-89
Чернівецька область						
<i>Міська місцевість</i>						
2015	7059	5304	1755	534	242	292
2016	1484	1891	-407	81	71	10
2017	3057	3185	-128	335	40	295
2018	6171	5203	968	500	326	174
2019	6017	5189	828	760	558	202
<i>Сільська місцевість</i>						
2015	3489	4248	-759	201	140	61
2016	1293	1372	-79	74	54	20
2017	2776	2284	492	255	88	167
2018	3912	4658	-746	347	163	184
2019	3610	4391	-781	331	283	48

- збільшення тиску на національний ринок праці через конкуренцію робочої сили за кордоном;
- посилення навантаження на соціальний фонд;
- демографічні втрати та старіння населення тощо.

Варто також згадати і позитивні аспекти трудової міграції, серед яких зростання ВВП за рахунок грошових переказів мігрантів, підвищення кваліфікації та набуття досвіду мігрантів, що повертаються на батьківщину, послаблення тиску на регіональний та місцевий ринок праці,



Рис. 3. Механічний рух населення за типом місцевості в межах української частини Карпатського Єврорегіону, осіб (станом на 2019 рік) (створено авторами на основі даних Державної служби статистики України)

Fig. 3. Mechanical movement of the population by type of area within the Ukrainian part of the Carpathian Euroregion, person (as of 2019) (created by the authors on the basis of data of the State Statistical Service of Ukraine)

підвищення рівня добробуту сімей мігрантів тощо [15].

Значні масштаби і можливі негативні наслідки зовнішньої міграції висококваліфікованих спеціалістів потребують керованості з боку держави та розробки системи заходів щодо її регулювання. До пріоритетних завдань національної та регіональної моделей управління міграційним рухом населення варто віднести регулювання: територіальних міждержавних переміщень населення та зовнішніх трудових міграцій; імміграційних процесів – як трудових, так і стаціонарних; еміграційних процесів (постійних, тимчасових і трудових); внутрішніх міграцій (переселенських, трудових, маятникових і сезонних) [1].

Сьогодні в Україні схвалена Стратегія державної міграційної політики України на період до 2025 року, яка є передумовою використання позитивного потенціалу міграції з метою розвитку, мінімізації її негативних наслідків, забезпечення прав і свобод мігрантів та усього населення.

Оскільки, виїзні міграційні потоки у досліджуваному регіоні мають, як правило, економічне підґрунтя, варто проаналізувати ситуацію на ринку трудових ресурсів, що безпосередньо впливає на рівень економічного розвитку території, забезпечує ефективність виробництва та конкурентоспроможність регіону.

Фактично трудовий потенціал являє собою інтегральну сукупність можливостей населення до економічної активності як суб'єктів трудової діяльності [8].

За даними Державної служби статистики в Україні зберігається тенденція до зменшення кількості трудових ресурсів. Якщо у 1991 році нараховувалось 30,2 млн. осіб працездатного віку, то у 2019 році цей показник склав 16,46 млн. осіб (44,1% населення держави). Як бачимо, загальне зменшення чисельності населення, старіння нації та зовнішні міграції зумовили й зниження трудового потенціалу країни.

Не менш важливим є дослідження вікового складу трудових ресурсів і для України ці показники не є позитивними, бо тривалість життя українців одна з найнижчих у Європі. На такий стан речей впливає декілька факторів: невелика заробітна плата, низький рівень або недоступність медичного обслуговування для окремих громадян, шкідливі умови праці. Усі ці чинники гальмують та унеможливають процес відтворення робочої сили [12].

Якщо брати до уваги реалії ринку праці, більш адекватною нижньою межею дорослого й трудоактивного віку слід вважати 20 років, оскільки в більш ранньому віці рівень економічної активності близький до нульового. Таким чином, ми маємо постаріння вже не «знизу» і, звичайно ж, іще не «зверху», тому що динаміка тривалості життя схильна до стагнації. Це постаріння ніби «з середини», і механізм такого постаріння закладений у самій структурі населення.

Протягом останнього десятиріччя спостерігається значне зниження чисельності зайнятого населення. Тільки за період з 2012 по 2020 роки кількість зайнятих українців у віці 15-70 років

скоротилась на 3346,1 тис. осіб. Найбільш різке зменшення чисельності економічно активних громадян на 1630 тис. осіб зафіксовано у 2014-2015 рр., саме після зазначеного періоду і спостерігається негативна динаміка. Станом на 2020 рік кількість зайнятого населення в Україні складає 15915,3 тис. осіб [12].

Станом на 2019 рік в Закарпатській області зайняте населення у віці 15-70 років становило 54,1% від населення відповідної вікової групи, працездатне населення складало 62,9% від населення відповідної вікової когорти і це найгірші показники серед областей Карпатського регіону. У Чернівецькій області показники дещо кращі: зайняте населення у віці 15-70 років – 59,0% від населення відповідної вікової когорти, проте працездатне населення – 61,2% від населення відповідної вікової когорти. Для Івано-Франківської та Львівської областей частка зайнятого населення становила відповідно 55,2% та 60,85% від населення відповідної вікової когорти.

Рівень зайнятості населення у віці 15-70 років в розрізі областей представлено на рисунку 4. Серед чоловічого населення значних розбіжностей в показнику не спостерігається. У той час, коли серед жіночого населення, цей показник різниться в межах майже 9%. Так, в Закарпатській області рівень зайнятості серед жіночого населення є найнижчим – 45,9%. Таку ситуацію можна пояснити декількома чинниками. По-перше, велика частка чоловічого населення області являються трудовими мігрантами за кордоном, в той час, коли їхні жінки займаються домашнім господарством; по-друге, значна частка багатодітних жінок, які тривалий час перебувають в декретній відпустці; значна частка жінок

ромського населення не зайняті в господарстві історично. Лідирує за цим показником Львівщина. Тут рівень зайнятості серед жінок становить 54,1%.

Одним із векторів покращення кількісних параметрів трудових ресурсів у Європі вбачають у залученні до виробництва представників старшої вікової категорії. Так, в країнах ЄС у 2019 році рівень зайнятості літніх працівників становив 59,1%, порівняно з 44,1% у 2009 році. Для цього здійснюються так звані інвестиції для покращення доступу до освіти та навчання літніх людей, можливість підтримувати та удосконалювати професійні навички, набуття нових знань та умінь під час навчання впродовж життя [17].

Такого роду заходи навряд чи стануть актуальними для України на сучасному етапі її розвитку, однак їхня реалізація у майбутньому цілком ймовірна.

Середній рівень безробіття в досліджуваному регіоні у 2019 році становить 8,8% від економічно-активного населення [3] (рис. 5).

У структурі зайнятого населення частка чоловіків переважає, але більше 60% безробітних – чоловіки. Найбільше розходження між рівнями зайнятості жінок і чоловіків фіксується у Закарпатській та Івано-Франківській областях (більше 15%) [6].

Так, у Закарпатській області у 2019 р. рівень зайнятості жінок знизився на 6,7% порівняно з 2014 р., у той час як у чоловіків – виріс на 1,7%. Найнижчий рівень безробіття серед чоловіків у 2019 р. спостерігався у віковій групі 30-34 роки, у жінок – 25-29 років.

У Івано-Франківській області рівень зайнятості чоловіків вищий, ніж у жінок у всіх вікових

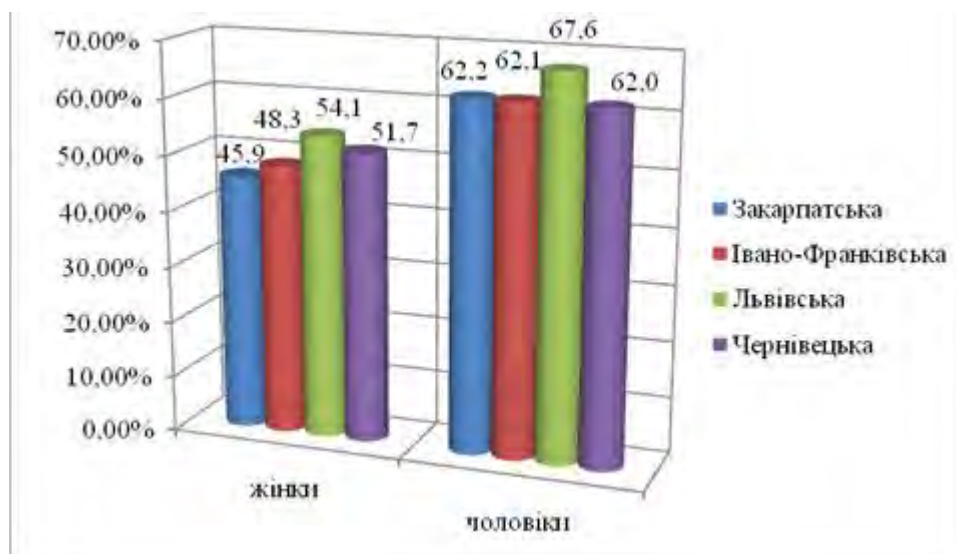


Рис. 4. Рівень зайнятості населення у віці 15-70 років у межах української частини Карпатського Євро регіону, % (створено авторами на основі [21]).

Fig. 4. Employment rate of the population aged 15-70 within the Ukrainian part of the Carpathian Euroregion, % (created by the authors on the basis [21])

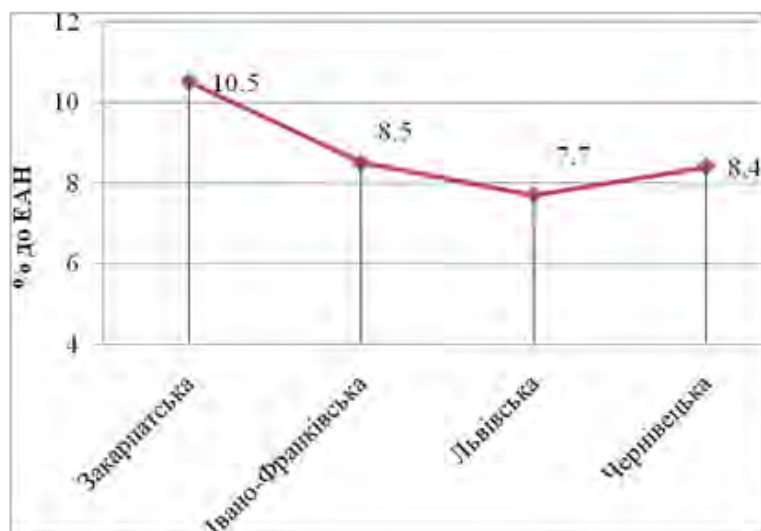


Рис. 5. Середній рівень безробіття в межах української частини Карпатського Євротресту (створено авторами на основі [21]).

Fig. 5. Average unemployment rate within the Ukrainian part of the Carpathian Euroregion, % (created by the authors on the basis [21])

групах. Гендерний розрив у рівні зайнятості склав 13,8% у 2019 р. Найвищим гендерний розрив був у віковій групі 25-29 років і становив 29,4%, далі розрив склав 25,4% у віковій групі 30-34 роки. Найнижчим він був у віковій групі 60-70 років (0,9%). Рівень безробіття серед чоловіків вищий, ніж серед жінок на 3,4% (станом на 2019 р.). Він зростає серед жінок протягом 2015-2016 рр. на 0,7% порівняно з 2014 р., і знизився на 2,2% у 2019 р. Рівень безробіття серед чоловіків зростає і досяг показника 10% у 2019 р., що на 2% більше порівняно з 2014 р. [3].

Серед причин незайнятості найпопулярнішою для чоловіків є звільнення за власним бажанням (19,3%), а для жінок – непрацевлаштовані після закінчення загальноосвітніх та вищих навчальних закладів I-IV рівнів акредитації (15,8%).

Результатом діяльності зайнятого населення в Україні є заробітна плата. Аналізуючи інформацію Державної служби статистики України за період з січня по серпень 2021 року середня зарплата в Україні складала 13525 гривні. Зокрема, найвищі показники щодо заробітної плати спостерігаються у місті Києві – 19705 грн., що на 45,7% більше, ніж у цілому по країні, Донецькій – 14545 грн. та Київській областях – 13760 грн., за ними йдуть Запорізька – з показником 13412 грн., Дніпропетровська – 13371 грн. та Миколаївська області – 13256 грн. [4].

Стосовно тих регіонів, де показники середньої заробітної плати є нижчими за середню по країні в цілому, то за аналітичними даними Державної служби статистики України – це, перш за все, Кіровоградська область з показником 10797

грн., що складає 79,8% від середньої зарплати в Україні та свідчить про найнижчий показник зарплати по країні, за нею розташовуються Чернівецька – 10842 грн., Волинська – 11003 грн., Чернігівська – 11024 грн. та Херсонська області з показником в 11038 грн. [4].

Динаміка рівня заробітної плати – абсолютно закономірне явище викликане абсолютно об'єктивними чинниками. Так, розмір заробітної плати щороку зростає, а впродовж одного року коливається – від максимальних значень в червні (початок відпусток, отримання грошових доплат тощо) до мінімальних у січні і серпні (коли після відпусток люди отримують меншу зарплату за рахунок меншої кількості робочих днів) (рис. 6-9).

Можна з впевненістю говорити, що незважаючи на постійний ріст заробітної плати по регіонах країни індекс реальної заробітної плати неухильно зменшується. Так, у 2014 р. 21 область України мала ІРЗП вищий ніж середній по державі, у 2017 р. таких областей було 19, у 2020 р. – 18, а у 2021 р. – 14. При чому в 2021 р. жодна область України не мала перевищення загальнодержавного рівня ІРЗП більше ніж на 1 % (рис. 10).

Закономірно, що найгірша ситуація в розрізі даних показників серед адміністративних одиниць досліджуваного регіону характерна для Чернівецької області. Водночас, саме в Чернівецькій області фіксується найменший розрив у заробітній платі за гендерною приналежністю (рис. 11).

За гендерним розподілом рівень заробітної плати чоловіків є вищим, ніж рівень зарплати жі-

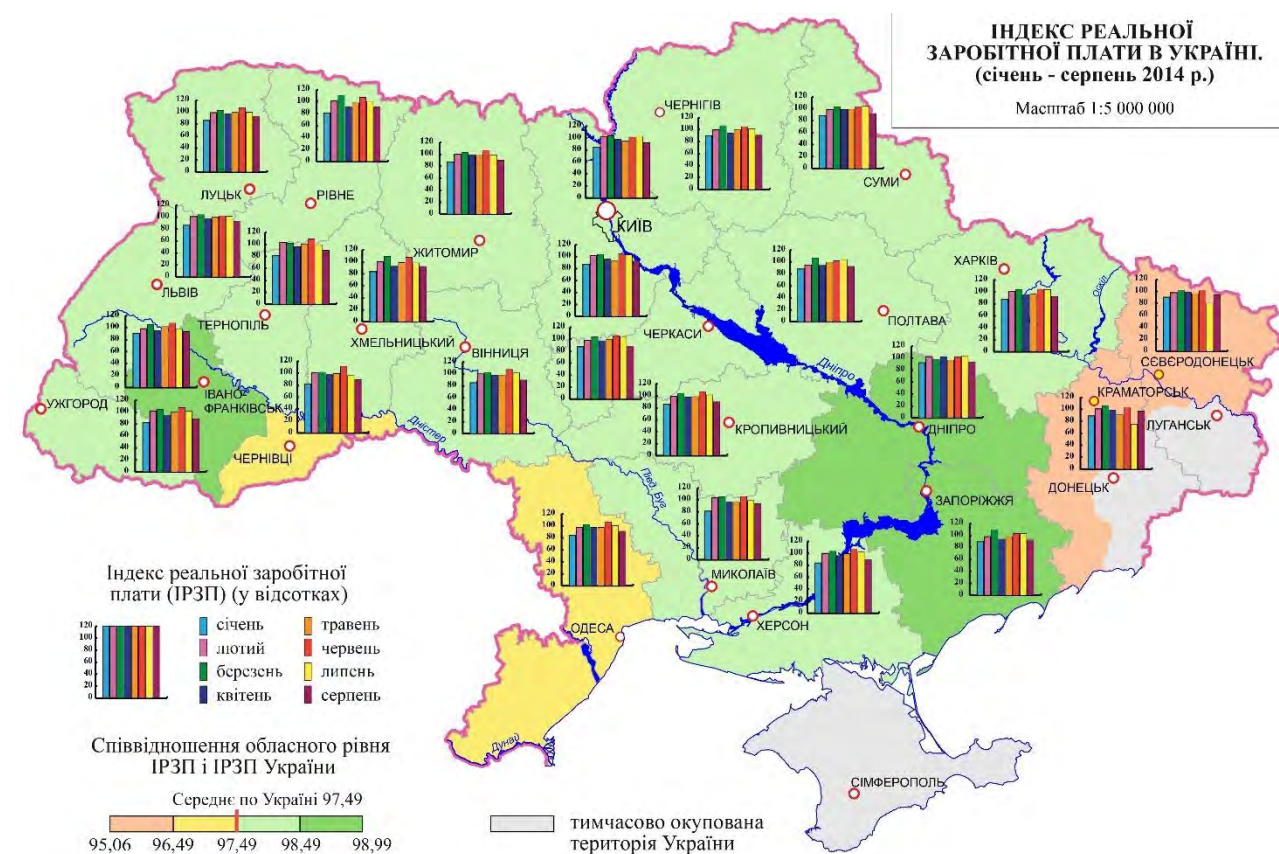


Рис. 6. Індекс реальної заробітної плати в Україні у 2014 р. (на основі [10]).

Fig. 6. Index of real wages in Ukraine in 2014 (on the basis [10])

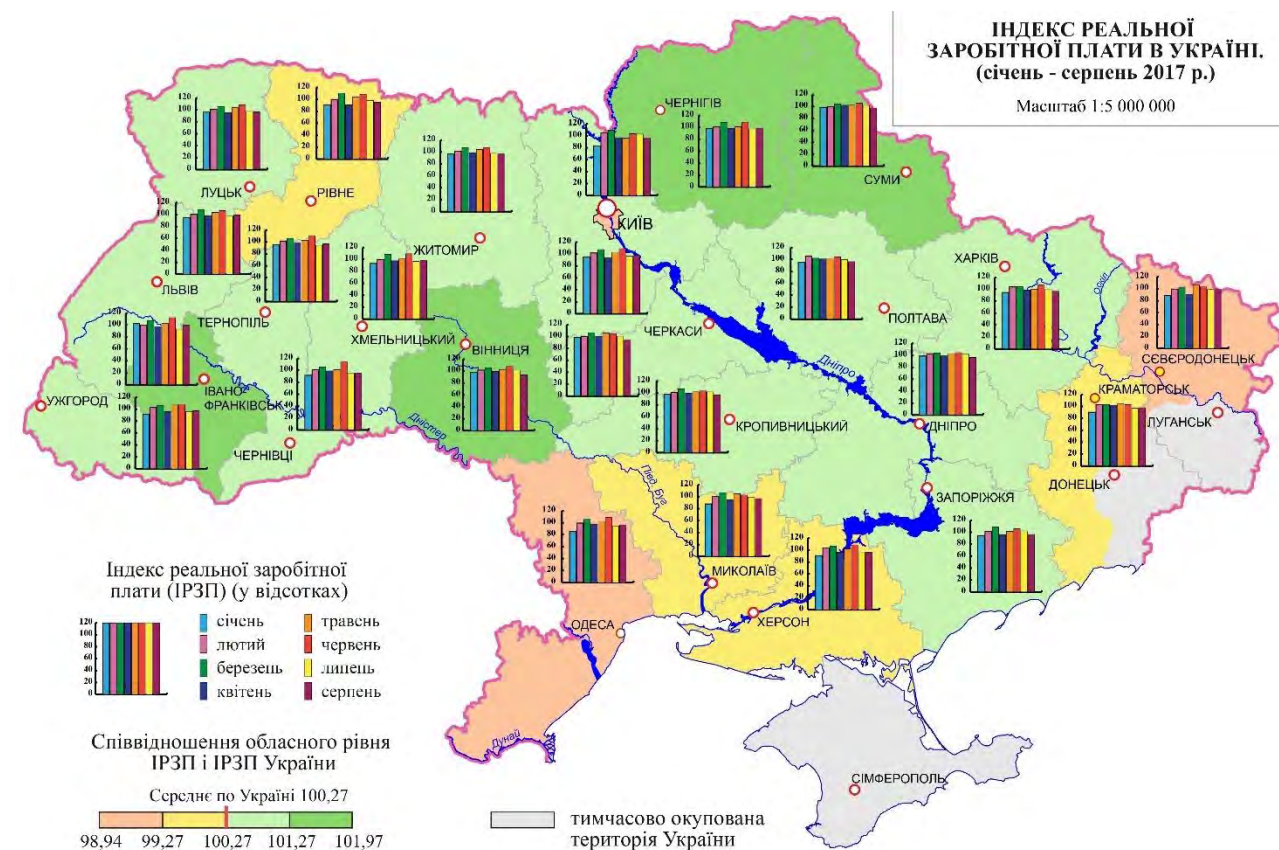


Рис.7. Індекс реальної заробітної плати в Україні у 2017 р. (на основі [10]).

Fig. 7. Index of real wages in Ukraine in 2017 (on the basis [10])

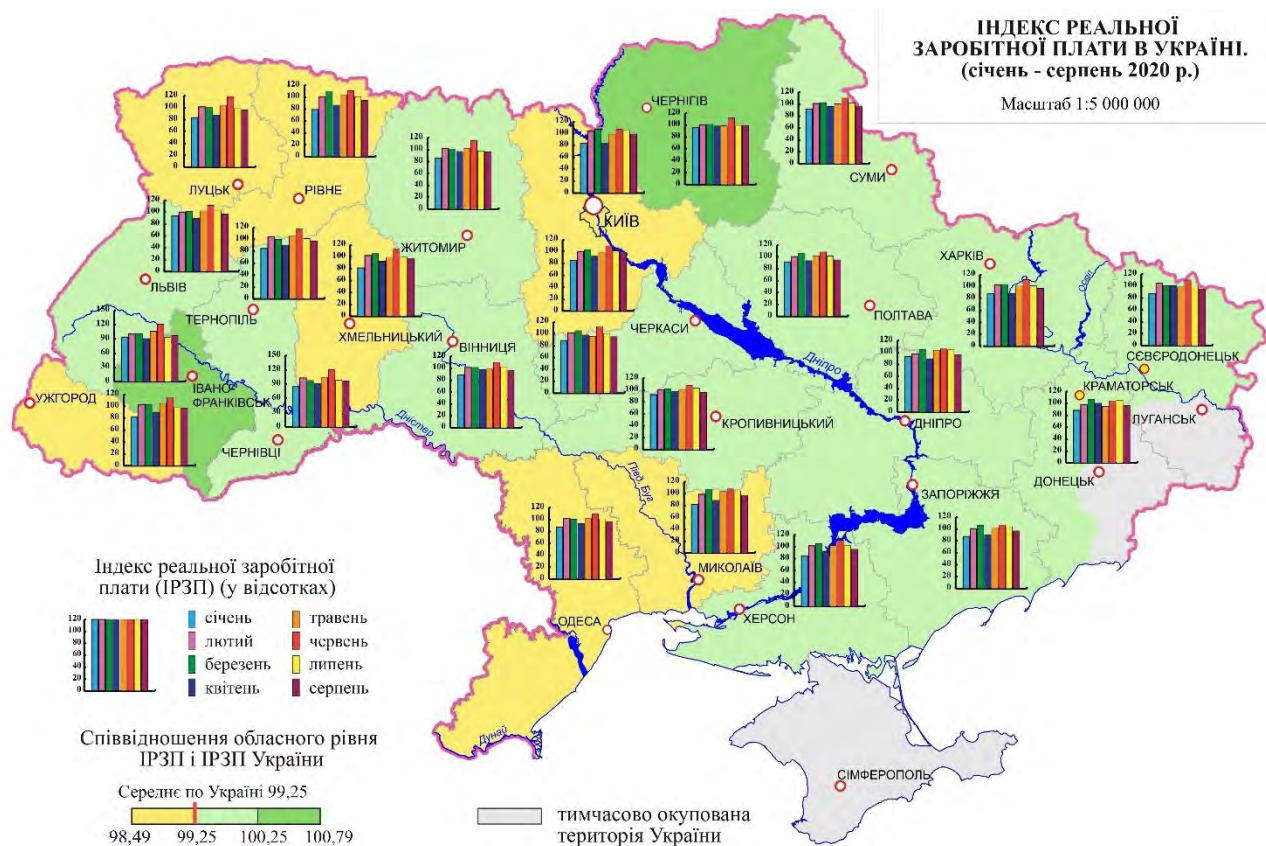


Рис.8. Індекс реальної заробітної плати в Україні у 2020 р. (на основі [10]).

Fig. 8. Index of real wages in Ukraine in 2020 (on the basis [10])

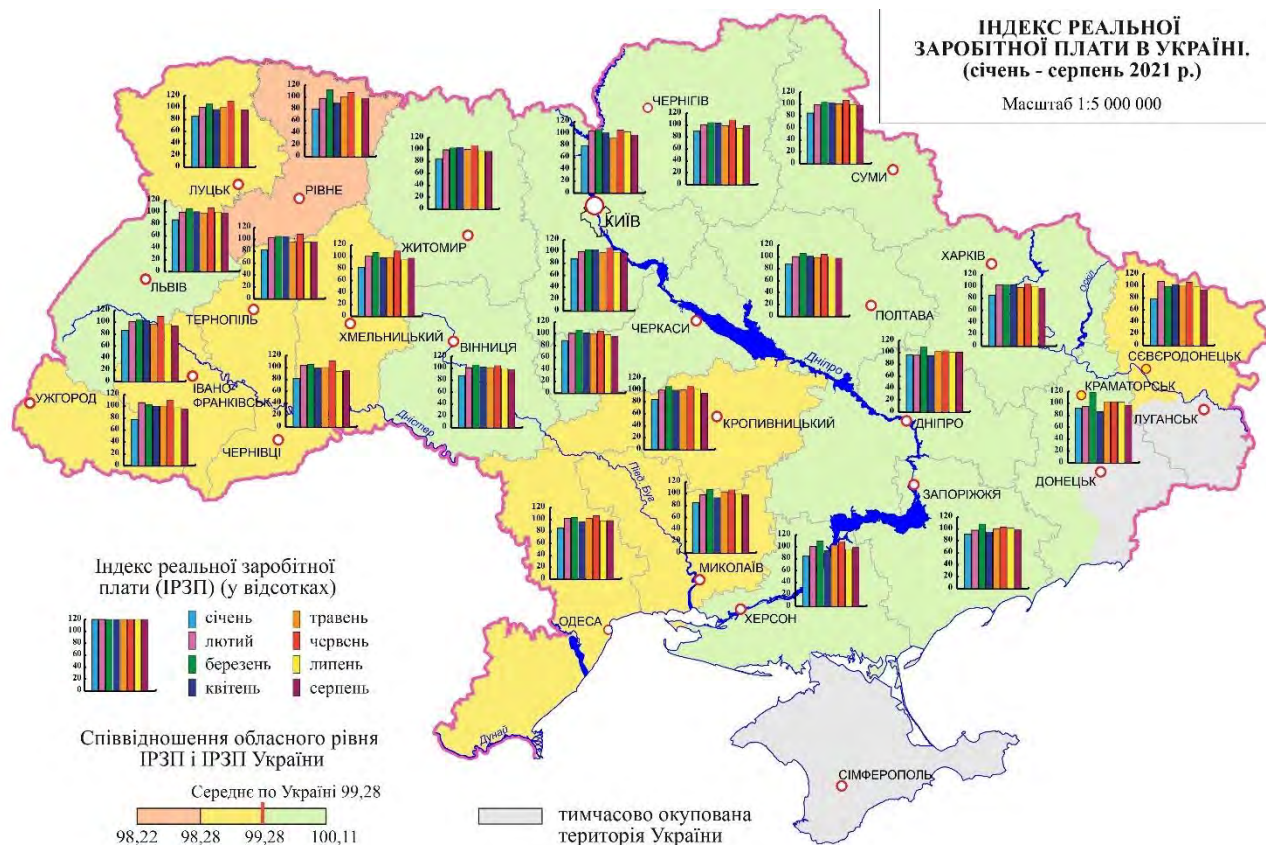


Рис.9. Індекс реальної заробітної плати в Україні у 2021 р. (на основі [10]).

Fig. 9. Index of real wages in Ukraine in 2021 (on the basis [10])



Рис.10. Динаміка індексу реальної заробітної плати у 2014-2021 р.р. (на основі [10]).

Fig. 10. Evolution of the index of real wages in 2014-2021 (on the basis [10])

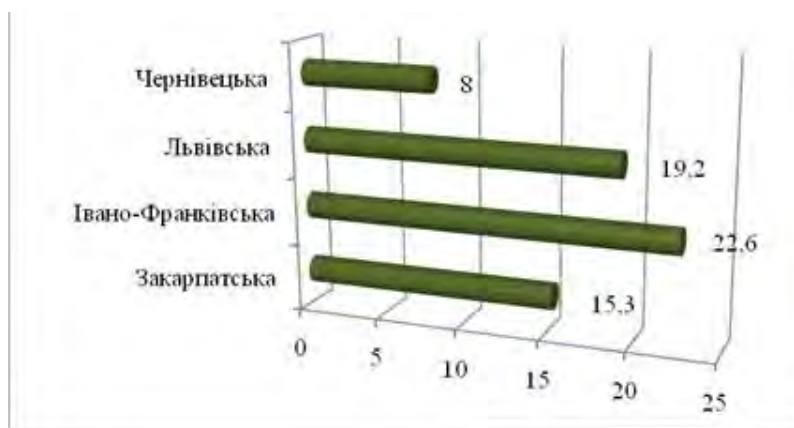


Рис. 11. Розрив у середній заробітній платі за гендерною приналежністю плати в межах української частини Карпатського Євро регіону, % (станом на 2019 рік) (створено авторами на основі [10]).

Fig. 11. Gap in average wages by gender within the Ukrainian part of the Carpathian Euroregion, % (as of 2019) (created by the authors on the basis of [10])

нок. Розрив у розмірі середньомісячної заробітної плати за гендерною ознакою має тенденцію до зменшення. Якщо у 2000 році заробітна плата жінок становила 70,9% заробітної плати чоловіків, то у 2016 році – 74,6%. Найвищим цей показник був у 2010 році – 77,8%.

Розглянемо більш детально регіональний розподіл даного показника. В Закарпатській області розрив у рівні середньомісячної заробітної плати жінок і чоловіків склав 15,3% у 2019 р. Впродовж останніх років відмічалась тенденція

його збільшення (11,8% у 2014 р.). Станом на I півріччя 2019 р. спостерігається найбільше вивільнення чоловіків та жінок у сфері освіти.

Для Івано-Франківщини характерне зростання розриву в оплаті праці за гендерною ознакою продовж 2015-2016 рр., зменшення на 3,3% у 2019 р. порівняно з 2018 р.

На Львівщині розрив у середньомісячних заробітних платах жінок і чоловіків станом на 2019 р. становив 19,2%. Він виріс порівняно з 2018 р. на 3,9%. Суттєва різниця у розмірах за-

робітної плати жінок та чоловіків зафіксована на підприємствах з добування кам'яного та бурого вугілля; в установах, які здійснюють фінансову та страхову діяльність; на підприємствах сільськогосподарського, лісового та рибного господарства; в організаціях з інформації та телекомунікацій (на 51,7%-26,7%) [3].

У Чернівецькій області даний показник у 2019 р. фіксуємо на позначці 8,02%, що говорить про найкращу ситуацію з поміж областей Карпатського регіону. Протягом останніх років відмічалась тенденція до скорочення розриву між заробітними платами чоловіків та жінок. До прикладу, ще у 2017 р. цей показник дорівнював 10,91%. На думку авторів, така ситуація пов'язана, у першу чергу, найбільшим переважанням жінок у гендерному профілі у порівнянні з іншими областями Карпатського регіону (57,3% жінок в Чернівецькій області проти 52,7% в Івано-Франківській області або 51,9% у Закарпатській області). Друга причина – приховане та фрикційне безробіття, а також чимала тіньова зайнятість, особливо серед чоловічого населення. В області спостерігається значна частка сільських ТГ, для яких характерний високий рівень зайнятості жіночого населення у сфері соціального забезпечення.

Цікавими є судження В.С. Стешенка щодо якісних проявів соціально-демографічного простору. Суспільство з глибокою соціально-економічною поляризацією, високим рівнем бідності не може розвиватись без соціальних ексцесів, так як це є передумовою деградації здоров'я, освіченості та деяких інших важливих властивостей значної частини людства. Він стверджує, що демографічний розвиток є процесом збереження міри населення як досягнутого результату історичного прогресу. Коли ця міра кардинально порушується через зниження якості населення, настає демографічна криза, під час якої демографічний розвиток гальмується, настає «демографічний застій», що, зрештою, може перейти в демографічну катастрофу [11]. Важливе значення відіграє формування екологічної культури населення, зокрема збереження та примноження природно-заповідного фонду. Проте, що стосується України, то її сьогоднішній коефіцієнт заповідності (6,6%) не лише поступається європейським нормам (до прикладу: Велика Британія – 17% Швейцарія – 18,5%, Німеччина – 24%, Австрія – 25%, Польща – 33%), але й не відповідає вимогам Основних засад (стратегії) державної екологічної політики України [22].

Ознаками формування демографічної катастрофи в досліджуваному регіоні є високий рівень трудової міграції за кордон пріоритетно із сільських територій. Вирішення соціально-демо-

графічних проблем сільських територій Карпатського регіону частково можливе за умов розвитку соціальної інфраструктури сільських ОТГ, зокрема, розбудови закладів побутового обслуговування населення, занепад яких спостерігався протягом усього періоду державної незалежності України, досягнувши свого піку в 1998 р. Не менш складною залишається ситуація з культурним обслуговуванням сільського населення, розбудовою сільських бібліотек, закладів клубного типу тощо [5].

Висновки. Загалом сучасний тип відтворення народонаселення з усією гостротою поставив проблему значного поліпшення якісних характеристик населення, спроможних забезпечити досягнення оптимального рівня відтворення та використання трудового потенціалу суспільства. Найбільшої ж гостроти ця проблема набула в Україні, яка невинувато довго затрималася на стадії перехідного періоду в розвитку економіки та яка, фактично, позбавлена перспективи нарощування кількісних параметрів розвитку народонаселення як найбільшого чинника формування трудового потенціалу.

Загальновідомо, що основним чинником виробництва є розвиток та використання трудового потенціалу країни. Адже саме цьому питанню в багатьох країнах світу приділяється підвищена увага. В Україні загалом та в Карпатському регіоні зокрема, процеси формування трудового потенціалу відбуваються, на жаль, на тлі звуження демографічної бази його відтворення.

В умовах загострення демографічних і соціально-економічних проблем, основними причинами такої ситуації є трудова еміграція. Саме українці складають лівову частку трудових мігрантів в Європі. За різними оцінками, сьогодні налічується від 3 до 5 млн. українців, що емігрували у пошуках гідно оплачуваної роботи, а чисельність мігрантів, за даними Державного комітету статистики України, щороку зростає. Складність подібної ситуації полягає ще й в тому, що близько двох третин емігрантів з України – це чоловіки, а близько 50% всіх мігрантів припадає на економічно активний вік 20-35 років, тобто молодь. Такі цифри свідчать про кризові процеси, які відбуваються в суспільстві. Міграційні процеси спричинили дисбаланс у функціонуванні системи зайнятості та національного ринку праці в Україні в цілому та в досліджуваному регіоні зокрема.

Ще однією важливою причиною є низький рівень народжуваності. До прикладу, частка мешканців села у загальній кількості трудових мігрантів Карпатського регіону є більшою, ніж городян, з них жінки становлять 60-70%, що призводить до зменшення коефіцієнту народжувано-

сті. Низький рівень народжуваності пояснюється відсутністю належним чином розробленої сімейної політики, яка б сприяла розширенню, перш за все, механізму матеріального забезпечення вагітних жінок та можливостей щодо зниження рівня їхньої зайнятості задля приділення уваги саме сім'ї, як це прийнято в розвинутих країнах, на основі належних матеріальних стимулів, допомоги та виплат.

За даними Державної служби статистики в Україні зберігається тенденція до зменшення кількості трудових ресурсів. Якщо у 1991 році нараховувалось 30,2 млн. осіб працездатного віку, то у 2019 році цей показник склав 16,46 млн. осіб (44,1% населення держави). Як бачимо, загальне зменшення чисельності населення, старіння

нації (наслідками даного процесу є погіршення вікової структури та постійне зменшення здатності відтворювати трудові ресурси) та високий рівень смертності (тривалість життя українців одна з найнижчих у Європі) також призводять до зниження трудового потенціалу країни.

Подолання неефективності механізму управління людськими ресурсами країни повинно стати пріоритетним на шляху економічного розвитку територій, сприяти забезпеченню оптимального розміщення та ефективного використання наявного трудового потенціалу. Вирішення зазначених проблем потребує якісних змін державної та регіональної програм розвитку й управління відтворенням населення та формування ефективної демографічної політики.

Список використаної літератури

1. Баб'як Г.П. Демографічні чинники та їх вплив на відтворення трудового потенціалу України / Г.П. Баб'як // Соціально-трудові відносини: теорія та практика. 2014. – № 1. – С. 362-366.
2. Бачинська М.В. Сучасні тенденції міграційної активності населення Карпатського регіону / М.В. Бачинська, І.С. Бараняк // Економіка та держава. 2019. – № 12. – С. 71-76. DOI: [10.32702/2306-6806.2019.12.71](https://doi.org/10.32702/2306-6806.2019.12.71)
3. Гендерні профілі 24 областей України та м. Києва. Міністерство розвитку громад та територій України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.minregion.gov.ua/about/politika-gendernoyi-rivnosti/tsikavo-ta-korisno-pro-gender/genderni-profil-24-oblastej-ukrayiny-ta-m-kyveva/>
4. Державна служба статистики України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>
5. Карпатський регіон: актуальні проблеми та перспективи розвитку : монографія у 8 томах // НАН України. Інститут регіональних досліджень; наук. ред. В.С. Кравців. – Том 4. Сільські території / відп. ред. В.В. Бо-рищевський. – 2013. – 344 с.
6. Кіндзюр О.С. Окремі аспекти вивчення гендерного розподілу населення в Україні та його впливу на економіку / О.С. Кіндзюр, О.І. Корицька // [Проблеми системного підходу в економіці](#). – 2017. – Вип. 5. – С. 178-186.
7. Комплексний демографічний прогноз України на період до 2050 р. (колектив авторів) / за ред. чл.-кор. НАНУ, д.е.н., проф. Е.М. Лібанової. – К.: Український центр соціальних реформ, 2006. – 138 с.
8. Леоненко Н.А. Роль трудового потенціалу у відтворенні економічного потенціалу регіону / Н.А. Леоненко // Глобальні та національні проблеми економіки. – 2018. – Вип. 23. – С. 366-372.
9. ООН розпочинає всесторонній діалог для покращення управління міграцією в Україні. Міжнародна організація з міграції. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://iom.org.ua/ua/oon-rozpochynaye-vsestoronniy-dialog-dlya-pokrashchennya-upravlinnya-migraciyevu-v-ukrayini>
10. Середня зарплата в Україні. Міністерство фінансів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://index.minfin.com.ua/ua/labour/salary/average/>
11. Стешенко В.С. Зміст понять «демографічний розвиток» і «людський розвиток»: тотожності та відмінності / В.С. Стешенко // Демографія та соціальна економіка. – 2013. – №1(19). – С. 5-16.
12. Сьомченко В.В. Дослідження сучасного стану трудових ресурсів України / В.В. Сьомченко, А.В. Конєва // Ефективна економіка. 2021. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fwww.economy.nayka.com.ua%2Fpdf%2F4_2021%2F109.pdf&cflen=266788&chunk=true. <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.4.107>
13. Теслюк Р.Т. Міграційні процеси на сільських територіях Карпатського регіону України / Р.Т. Теслюк // [Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України](#). – 2013. – Вип. 6. – С. 405-411.
14. Україна. Огляд процесів урбанізації // Міжнародний банк реконструкції та розвитку. Світовий банк. – 2015. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://city2030.org.ua/ua/document/ukraina-oglad-urbanizacii>
15. Шепель Т.В. Соціально-економічні наслідки міграції трудових ресурсів України та механізм їх регулювання / Т.В. Шепель, В.І. Наконечна // Економічний простір. – 2020. – №154. – С. 179-185. <https://doi.org/10.32782/2224-6282/154-34>.
16. Coleman D. Europe's Demographic Future: Determinants, Dimensions and Challenges. Population and Development Review / D. Coleman // The Political Economy of Global Population Change, 1950-2050. 2006. – Vol. 32. – P. 52-95.
17. European Commission Report on the Impact of Demographic Change. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/demography_report_2020_n.pdf
18. John F. May. Population policies in Europe Centre international de formation européenne / John F. May // L'Europe en Formation. – 2015. – Vol. 3. – P. 136-150.

19. Margaras V. Demographic trends in EU regions. European Parliamentary Research. 2019. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/eprs-briefing-633160-demographic-trends-eu-regions-final.pdf>
20. Swiaczny F. Demographic Change and Migration in Europe. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.bpb.de/gesellschaft/migration/kurzdosiers/176223/demographic-change-and-migration-in-europe>
21. Transition Book «Реалізація державної політики гендерної рівності». Євроінтеграційний портал [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eu-ua.org/genderni-profil-25-oblastey-ukrayiny>.
22. Yavorska V. Spatial analysis of natural reserve fund of the Zakarpatska Oblast / V. Yavorska, N. Chyr, A. Melnyk, I. Hevko, O. Chubrei, A. Hryhoriev // Journal of geology, geography and geocology. Dnipro. – 2021. – 30(3). – P. 597-606. <https://doi.org/10.15421/112155>

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Демографические процессы Карпатского региона в контексте экономического развития территории

Надежда Викторовна Мельник¹,

к. геогр. н., доц., доцент кафедры туризма,

¹ГВУЗ «Ужгородский национальный университет», пл. Народная, 3, г. Ужгород, 88000, Украина;

Андрей Васильевич Мельник²,

к. геогр. н., доц., доцент Института естественных наук и туризма,

²Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа,

ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, 76019, Украина;

Вилина Анатольевна Пересадык³,

д. геогр. н., проф., профессор кафедры физической географии и картографии,

³Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина,

пл. Свободы 4, г. Харьков, 61022, Украина;

Владимир Степанович Великий⁴,

д. ист. н., проф., профессор кафедры туризмостроения и краеведения,

⁴Прикарпатский национальный университет имени Василия Стефаника,

ул. Галицкая, 2016, Ивано-Франковск, 76008, Украина

В статье проведен пространственный и структурный анализ демографических процессов Карпатского региона как одного из индикаторов социально-экономического развития территории. На основе статистических данных проанализированы специфические черты механического движения населения в Карпатском регионе по сравнению с другими областями Украины. Акцентируется внимание на том, что миграционные процессы, имеющие важное значение для дальнейшего развития общества, в условиях обострения демографических и социально-экономических проблем, нуждаются в немедленном решении. Доказана необходимость разработки опережающих мер, призванных стать приоритетными при решении проблем экономически активного населения на исследуемых территориях. Значительное внимание уделено исследованию вопросов возрастного состава трудовых ресурсов, уровню занятости населения в возрасте 15-70 лет, учитывая неудовлетворительные показатели, которые демонстрирует Украина, ведь продолжительность жизни украинцев одна из самых низких в Европе. Признаками формирования демографической катастрофы в исследуемом регионе является высокий уровень трудовой миграции за границу. По результатам исследований динамики индекса реальной заработной платы в стране на протяжении 2014-2021 г.г. доказано, что, несмотря на постоянный рост заработной платы и тенденцию уменьшения разрыва в размере среднемесячной заработной платы по гендерному признаку по регионам страны, индекс реальной заработной платы неуклонно уменьшается. Приведенные в статье показатели использования трудового потенциала позволяют сделать вывод, что на сегодняшний день Украина лишена перспектив наращивания количественных параметров развития народонаселения как наибольшего фактора формирования трудового потенциала на фоне сохранения тенденции уменьшения количества трудовых ресурсов. Перспективами дальнейших исследований является обоснование действенных механизмов демографической политики на общегосударственном уровне для преодоления оттока населения из сельской местности, направленное не столько на увеличение рождаемости, сколько на рост привлекательности сельских территорий для проживания и продуктивной экономической деятельности жителей сел, прежде всего молодежи.

Ключевые слова: демографические процессы, миграции, трудовые ресурсы, возрастная структура населения, занятость населения, индекс заработной платы, Карпатский регион.

Demographic processes of the Carpathian region in the context of economic development of the territory

Nadiia Melnik¹,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Tourism,
¹Uzhhorod National University, 14 University St., Uzhhorod, 88000, Ukraine;

Andriy Melnyk²,

PhD (Geography), Associate Professor, Institute of Natural Sciences and Tourism,
²Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, 15 Karpatska St., Ivano-Frankivsk, 76000, Ukraine;

Vilina Peresadko³,

DSc (Geography), Professor, Department of Physical Geography and Cartography,
³V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine;

Volodymyr Velykochy⁴,

DSc (History), Professor, Department of Tourism and Local Lore,
⁴Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, 201b Galitskaya St., Ivano-Frankivsk, 76008, Ukraine

Formulation of the problem. One aspect of the territory's socio-economic development is its demographic development. It translates into a change in the quantity and quality of the population of the territory in a certain social context as a systemically important factor in social life. As of January 1, 2020, Ukraine had a population of 41 million. 732,800 people (not including the occupied territories), which is the historical minimum in the years of independence. This prompts a detailed study of the problem.

The article contains a spatial and structural analysis of the demographic processes of the Carpathian region as one of the indicators of the socio-economic development of the territory.

Methods. The analysis of literary and cartographic sources has been carried out. Mathematical methods have been used to calculate quantitative characteristics of demographic processes. Using ArcGIS software product was created a series of maps of the Real Wage Index in Ukraine of various time scales.

The purpose of the article is to highlight and analyze the demographic processes currently taking place in the Carpathian region in the context of the economic development of the territories, with a view to developing and implementing proactive measures, to be given priority in solving the problems of the economically active population in the territories under study.

Results. The problem of migration of the population is urgent for Ukraine. For a long time, our State has been the country of origin for the majority of migrant workers in Europe. The Carpathian region has specific features of migration compared to other regions of Ukraine. Between 2010 and 2018, the number of people living in the Carpathian regions as a result of migration increased by 17.3 thousand people. Internal population migration is urban in nature. Besides, the Carpathian region has become comfortable for living and for internally displaced persons as a result of the war in eastern Ukraine.

The top 5 countries receiving migration from the Carpathian region include Hungary, Germany, Poland, the Czech Republic and Slovakia. A comparative analysis of the sex and age structure of migrants from Ukraine showed that about 50 per cent of migrants were aged 20-35 and about two thirds of emigrants were men.

Active migratory mobility is typical of the rural areas of the Carpathian region. Overall, the Ukrainian village has lost more than 10 million people over the past 50 years as a result of migration processes. The proportion of rural dwellers in the total number of migrant workers in the Carpathian region is higher than that of urban dwellers, of whom 60-70 per cent are women.

Migration has led to an imbalance in the functioning of the employment system and the national labour market in Ukraine in general and in the region under study in particular. The average unemployment rate in the study region in 2019 is 8.8 per cent of the economically active population. As of 2020, the number of employed persons in Ukraine is 15,915,300. The total number of employed persons in Ukraine is 1,925,000.

Men predominate in the structure of the employed population, but more than 60 per cent of the unemployed are men. The largest difference between the employment rates of women and men is recorded in Zakarpattia and Ivano-Frankivsk oblasts (more than 15 per cent).

Despite a steady increase in wages by region of the country, the real wage index has been steadily declining. Moreover, in 2021, no region of Ukraine exceeded the State-wide level of the real wage index by more than 1 per cent.

Scientific novelty and practical significance. Prospects for further research include the establishment of effective mechanisms for population policy at the national level to combat the rural exodus, which is not aimed at increasing the birth rate. It is not enough to increase the attractiveness of rural areas to the habitation and productive economic activities of rural dwellers, especially young people.

Keywords: demographic processes, migration, labor resources, age structure of the population, employment, wage index, Carpathian region.

References

1. Babiak, H.P. (2014). *Demografichni chynnyky ta yikh vplyv na vidtvorennia trudovoho potentsialu Ukrainy [Demographic factors and their impact on the reproduction of labor potential of Ukraine]. Social and Labor Relations: Theory and Practice, 1, 362-366 [in Ukrainian].*

2. Bachynska, M.V., Baraniak, I.Ie. (2019). Suchasni tendentsii mihratsiinoi aktyvnosti naselennia Karpatskoho rehionu [Current trends in migration activity of the population of the Carpathian region]. *Economy and State*, 12, 71-76 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2019.12.71>
3. Henderni profili 24 oblastei Ukrainy ta m. Kyieva [Gender profiles of 24 oblasts of Ukraine and Kyiv]. Available at: <https://www.minregion.gov.ua/about/politika-gendernoyi-rivnosti/tsikavo-ta-korisno-pro-gender/genderni-profil-24-oblastey-ukrayiny-ta-m-kyieva/> [in Ukrainian]. – 10.10.2021
4. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. [State statistics service of Ukraine]. Available at: <http://www.ukrstat.gov.ua> [in Ukrainian]. – 25.09.2021
5. Kravtsiv, V.S. (Ed.). (2013). Carpathian region: current issues and prospects: a monograph in 8 volumes. National Academy of Sciences of Ukraine. Institute of Regional Studies. Vol. 4. Rural areas. In V.V. Borshchevskiy [in Ukrainian].
6. Kindziur, O.S., Korytska, O.I. (2017). Okremi aspekty vyvchennia gendernoho rozpodilu naselennia v Ukraini ta yoho vplyvu na ekonomiku [Some aspects of studying the gender distribution of the population in Ukraine and its impact on the economy]. *Problems of System Approach in Economy*, 5, 178-186 [in Ukrainian].
7. Libanova, E.M. (Ed.). (2006). Comprehensive demographic forecast of Ukraine for the period up to 2050. Ukrainian Center for Social Reforms [in Ukrainian].
8. Leonenko, N.A. (2018). Rol trudovoho potentsialu u vidtvorenni ekonomichnoho potentsialu rehionu [The role of labor potential in the reproduction of the economic potential of the region]. *Global and National Problems of the Economy*, 23, 366-372 [in Ukrainian].
9. The UN is launching a comprehensive dialogue to improve migration management in Ukraine. International Organization for Migration. Available at: <http://iom.org.ua/ua/oon-rozpochynaye-vsestoronniy-dialog-dlya-pokrashchennya-upravlinnya-migratsiyeyu-v-ukrayini> [in Ukrainian]. – 11.10.2021
10. The average salary in Ukraine. Ministry of Finance. Available at: <https://index.minfin.com.ua/ua/labour/salary/average/> [in Ukrainian]. – 22.10.2021
11. Steshenko, V.S. (2013). Zmist poniat «demografichniy rozvytok» i «liudskyi rozvytok»: tozozhnosti ta vidminnosti [The meaning of the concepts "demographic development" and "human development: identities and differences"]. *Demography and Social Economy*, 1(19), 5-16 [in Ukrainian].
12. Somchenko, V.V., Konieva, A.V. (2021). Doslidzhennia suchasnoho stanu trudovykh resursiv Ukrainy [Research of the current state of labor resources of Ukraine]. *Efficient Economy*. Available at: http://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fwww.economy.nayka.com.ua%2Fpdf%2F4_2021%2F109.pdf&clen=266788&chunk=true [in Ukrainian]. – 21.09.2021. <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.4.107>
13. Tesliuk, R.T. (2013). Mihratsiini protsesy na silskykh terytoriakh Karpatskoho rehionu Ukrainy [Migration processes in rural areas of the Carpathian region of Ukraine]. *Socio-Economic Problems of the Modern Period of Ukraine*, 6, 405-411 [in Ukrainian].
14. Ukraine. Review of urbanization processes. (2015). International Bank for Reconstruction and Development. The World Bank. Available at: <https://city2030.org.ua/ua/document/ukraina-oglad-urbanizacii> [in Ukrainian]. – 17.10.2021
15. Shepel, T.V., Nakonechna, V.I. (2020). Sotsialno-ekonomichni naslidky mihratsii trudovykh resursiv Ukrainy ta mekhanizm yikh rehuliuвання [Socio-economic consequences of labor migration of Ukraine and the mechanism of their regulation]. *Economic Space*, 154, 179-185 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32782/2224-6282/154-34>
16. Coleman, D. (2006). Europe's Demographic Future: Determinants, Dimensions and Challenges. *Population and Development Review. The Political Economy of Global Population Change, 1950-2050*, 32, 52-95 [in English].
17. European Commission Report on the Impact of Demographic Change. Available at: https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/demography_report_2020_n.pdf [in English] – 27.10.2021
18. John, F. May. (2015). Population policies in Europe Centre international de formation européenne. *L'Europe en Formation*, 3, 136-150 [in English].
19. Margaras, V. (2019). Demographic trends in EU regions. European Parliamentary Research. Available at: <https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/eprs-briefing-633160-demographic-trends-eu-regions-final.pdf> [in English] – 27.10.2021
20. Swiaczny, F. Demographic Change and Migration in Europe. Available at: <https://www.bpb.de/gesellschaft/migration/kurzdosiers/176223/demographic-change-and-migration-in-europe> [in English] – 15.10.2021
21. Transition Book "Implementation of the state policy of gender equality". European integration portal. Available at: <https://eu-ua.org/genderni-profil-25-oblastey-ukrayiny> [in Ukrainian]. – 17.10.2021
22. Yavorska, V., Chyr, N., Melnyk, A., Hevko, I., Chubrei, O., Hryhoriev A. (2021). Spatial analysis of natural reserve fund of the Zakarpatska Oblast. *Journal of geology, geography and geoecology*, 30(3), 597-606 [in English]. <https://doi.org/10.15421/112155>

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 20 July 2021

Accepted 17 August 2021

Обчислення кількості опадів на українських метеостанціях із урахуванням впливу вітру

Валерій Валерійович Осипов¹,

к. геогр. н., старший науковий співробітник відділу гідрохімії

¹Українського гідрометеорологічного інституту, пр. Науки, 37, м. Київ, 03028, Україна,

e-mail: valery_osipov@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-4853-8021>;

Андрій Сергійович Бончковський¹,

молодший науковий співробітник відділу гідрохімії,

e-mail: andriybonch19@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3275-6772>;

Андрій Васильович Орещенко¹,

к. геогр. н., старший науковий співробітник відділу прикладної метеорології та кліматології,

e-mail: logograd@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8363-6885>;

Дмитро Олександрович Ошурок¹,

к. геогр. н., старший науковий співробітник відділу фізики атмосфери,

e-mail: oshurok.dm@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1192-3823>;

Наталія Миколаївна Осадча¹,

д. геогр. н., завідувачка відділу гідрохімії,

e-mail: nosad@uhmi.org.ua, <https://orcid.org/0000-0001-6215-3246>

Вимірювання опадів включають випадкові та систематичні похибки. Перші пов'язані з вимірювальною частиною приладу та мікрокліматичними умовами території, другі – з впливом вітру, випаровуванням та змочуванням стінок приймача. Вітрові вихори, що утворюються під час зіткнення вітрового потоку та верхньої частини приймача опадоміра, перешкоджають потраплянню опадів у приймач та найбільше зменшують справжню кількість опадів. В Україні така аеродинамічна похибка не обчислюється під час запису вимірювань, тому для проведення гідрологічних і кліматичних досліджень архівні дані мають пройти попереднє коригування. Метою роботи було приведення вимірної на метеостанціях України кількості опадів до реальних величин. Розглянуто чотири методи врахування аеродинамічної похибки опадоміра Третьякова з вітровим захистом: Голубева, Янга, Брязгіна та Норвезького метеорологічного інституту. Опрацьовано дані строкових спостережень за опадами на метеостанціях України за період 1976–2019 рр. Програма метеорологічних спостережень містить всю необхідну інформацію для виконання розрахунків: швидкість та напрямок вітру, температуру повітря, атмосферний тиск та парціальний тиск водяної пари, тривалість низової та загальної заметілі. Швидкість вітру приведено до висоти приймача опадоміра (2 м) з урахуванням закритості та оточення метеомайданчика. Встановлено, що за різними методами коригування недооблік середньорічної кількості опадів коливається у межах 5–10%, із них для снігу – 18–27%, для дощу – 3–7%. За коригованими значеннями оновлено мапу річної суми опадів на території України за період 1990–2019 рр. Для подальшого використання у гідрологічних і кліматичних дослідженнях результати спостережень за опадами мають бути кориговані з врахуванням аеродинамічної похибки.

Ключові слова: аеродинамічна похибка, недооблік опадів, швидкість вітру, атмосферні опади, опадомір Третьякова, мапа атмосферних опадів

Як цитувати: Осипов В. В. Обчислення кількості опадів на українських метеостанціях із врахуванням впливу вітру / В. В. Осипов, А. С. Бончковський, А. В. Орещенко, Д. О. Ошурок, Н. М. Осадча // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2021. – Вип. 55. – С. 204–215. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-15>

In cites: Osypov V. V., Bonchkovskiy A. S., Oreshchenko A. V., Oshurok D. O., Osadcha N. M. (2021). Quantifying wind-induced undercatch in the precipitation measurements at Ukrainian weather stations. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (55), 204–215. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-15> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. Гідрологічні розрахунки для окремих басейнів чи територіальних адміністративних одиниць виявляють високу чутливість до точності вимірювань опадів. Це пов'язано з тим, що гідрологічний режим річок є відображенням кліматичних особливостей території, а основними компонентами водного балансу є опади та випаровування.

У сучасний період наукові та прикладні завдання у галузі кліматології та водних ресурсів вирішуються здебільшого за допомогою моделювання. Вирішальне значення для ефективної

роботи моделей мають вхідні дані щодо опадів, їхня повнота, періодичність і точність вимірювання.

На мережі метеостанцій України для строкового визначення кількості опадів використовують опадомір Третьякова (опадомір О-1), який був впроваджений у 50-тих роках минулого століття, і до цього часу залишається основним засобом фіксації опадів. У центрі опадоміра розташований приймальний стакан, оточений планками у вигляді трапеції для вітрового захисту (рис. 1А). Однак, досвід показав, що вони повні-

стю не запобігають утворенню вітрових вихорів, які перешкоджають потраплянню опадів у середину приймального стакану. В Україні така аеродинамічна поправка не обчислювалась, вочевидь,

через складність процедури [1, 2], тому для проведення гідрологічних і кліматичних досліджень архівні дані мають пройти попереднє коригування.

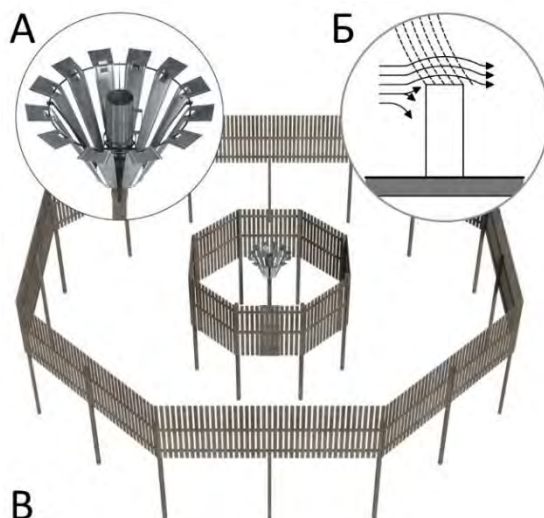


Рис. 1. А – Опадомір Третякова з вітровим захистом (Опадомір О-1). Б – Викривлення вітрового поля над приймачем опадоміра Третякова (адаптовано з [3]). В – Еталонна система з подвійним парканом, розроблена [4] і прийнята Всесвітньою Метеорологічною Організацією (ВМО).

Fig. 1. A – Tretyakov wind-shielded precipitation gauge, B – wind-induced turbulence over Tretyakov precipitation gauge (adopted from [3]). C – Double-Fence International Reference developed [4] and accepted by World Meteorological Organization (WMO)

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Не дивлячись на простоту конструкції опадоміра, результати вимірювань кількості опадів містять випадкову та систематичні похибки. Випадкова похибка пов'язана з вимірювальною частиною приладу та мікрокліматичними особливостями території. Дослідженнями, виконаними у 1970-х роках [5], встановлено, що значення цієї похибки як для строкових, так і середніх місячних значень не перевищує 10%.

Систематичні похибки під час вимірювання опадів, як правило, зменшують їхню фактичну кількість. Впливовість цих похибок зростає в такому порядку: випаровування, змочування стінок приймача, аеродинамічна похибка [6]. Методика визначення перших двох похибок добре відпрацьована, пройшла практичне випробування й не містить складнощів. Поправка на змочування та випаровування введена в Настанову з проведення спостережень у 1966 р. і враховується до цього часу. Для коригування отриманих раніше даних для кожної метеостанції був визначений коефіцієнт перерахунку (К3), опублікований у [7].

Найбільші труднощі спричиняє аеродинамічна похибка, що зумовлена викривленням вітрового поля над приймачем опадоміра. Це заважає потраплянню як твердих, так і рідких опадів у колектор, і призводить до заниження їхньої фактичної кількості [3, 8] (рис. 1Б). Експерименти

показали, що така похибка для опадоміра Третякова з вітровим захистом може досягати 14% для дощу та 40% для снігу [9].

Найкращим способом нівелювання впливу аеродинамічних чинників ($K = 1$) є використання опадоміра, який з усіх боків затулений кущами на рівні отвору приймача [9]. Однак, застосування такого укриття можливе не в усіх кліматичних умовах, тому у якості еталона прийнято опадомір Третякова, огорожений навкруги подвійним парканом (рис. 1В). Але такий захист важко організувати та утримувати на кожному метеомайданчику, тому на регулярній мережі спостережень він не використовується.

Вказана проблема стимулювала розроблення методів приведення виміряної кількості опадів до дійсних величин. Дослідження Головної Геофізичної Обсерваторії ім. Воєйкова (ГГО) та Державного гідрологічного інституту (ДГІ), виконані у 70–80 рр. ХХ ст., дали змогу встановити поправочні коефіцієнти для середніх річних і місячних значень опадів. Перші алгоритми коригування були розроблені на підставі емпіричних досліджень за допомогою порівняння кількості опадів, виміряних опадоміром Третякова, із показниками іншого приладу, вітрова похибка якого прямує до нуля [10, 11]. Методика, розроблена В.С. Голубевим, у 1998 р. дістала схвалення ВМО [9]. На початку 2000 р. низкою авторів була запропонована покращена модель, що врахову-

вала «хибні» опади під час загальної та низової замітилі [10, 12, 13].

Для розрахунку місячних водних балансів річкових басейнів був рекомендований метод ДГІ [14].

Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми. Розроблені алгоритми коригування строкових або добових сум опадів наразі не використовуються як безпосередньо на метеостанціях, так і під час архівування накопиченої інформації.

Отже, метою нашої роботи було приведення вимірної на метеостанціях України кількості опадів до реальних величин, а саме з урахуванням впливу вітру. Головними завданнями були оцінювання наявних методів розрахунку аеродинамічної поправки та створення електронного архіву відкоригованих значень опадів для метеостанцій України на основі строкових спостережень.

У роботі з використанням чотирьох методик розраховано аеродинамічну похибку для всіх метеостанцій України, які діяли в період 1976–2019 рр. Отримані результати порівняли з експериментальними даними ВМО, на основі чого обрано оптимальні моделі для подальшого використання в умовах України. За коригованими значеннями побудовано мапу річної кількості опадів на території України.

Викладення основного матеріалу дослідження. У роботі використано строкові дані регулярних метеорологічних спостережень мережі станцій Гідрометслужби України (нині управ-

ління з гідрометеорології ДСНС України) за період 1976–2019 рр. Загалом оброблено дані з 207 метеостанцій. Для побудови мапи аеродинамічної похибки та мапи річної кількості опадів використано 187 метеостанцій, для яких період спостережень складав щонайменше 20 років.

Розрахунок аеродинамічної похибки

Реальна кількість опадів розраховується за формулою [1]:

$$P = K \cdot (P'' + \Delta P - P''_{f1} - P''_{f2}), \quad (1)$$

де K – коефіцієнт, що враховує втрати через деформацію вітрового поля над приймальним отвором опадоміра, P'' – вимірювання за опадомірним стаканом, ΔP – поправка на змочування та випаровування, P''_{f1} і P''_{f2} – поправки, що враховують кількість «хибних» опадів, що зумовлені замітанням снігу під час загальної та низової замітилі, відповідно.

Поправка на змочування у випадку наявності слідів рідких або змішаних опадів становить 0,1 мм, в інших випадках – 0,2 мм. Коли кількість твердих опадів перевищує 0,1 мм, ця поправка приймається рівною 0,1 мм [2]. Поправка на випаровування, як правило, складає менше 1%, тому нею можна знехтувати [15]. Кількість «хибних» опадів за швидкості вітру менше 4,2 м/с приймається рівною 0 [12].

Для опадоміра Третьякова розроблено декілька методик визначення коефіцієнту K (табл. 1). Визначальним чинником, передусім, є швидкість вітру на висоті приймача опадоміра, але також впливає форма крапель або сніжинок, яка визна-

Таблиця 1

Методології розрахунку аеродинамічної поправки для опадоміра Третьякова з вітровим захистом

Автор методології	Змінні	Застосування
Голубев [1, 9, 12]	Швидкість вітру ^a , температура повітря, атмосферний тиск на станції, парціальний тиск водяної пари. Для врахування хибних опадів: тривалість загальної та низової замітилі, довжина розгону замітилі ^b	строкові дані, швидкість вітру під час твердих опадів < 10 м/с
Норвезький метеорологічний інститут (НМІ) [16]	Швидкість вітру, температура повітря, інтенсивність дощу ^c	строкові дані, швидкість вітру під час твердих опадів < 7 м/с
Янг [17]	Швидкість вітру, максимальна та середня температура повітря	середньодобові дані, швидкість вітру під час твердих опадів < 8 м/с
Брязгін [18]	Швидкість вітру, температура повітря, відсутність або наявність замітилі протягом місяця	коригування місячних значень

^a Швидкість вітру на висоті установки опадоміру (для українських станцій дорівнює 2 м).

^b Довжина розгону замітилі визначається приблизно за описом оточення метеомайданчика [19].

^c За браком даних розраховується за методологією [1].

чається температурою і вологістю повітря та атмосферним тиском [9].

Швидкість вітру (U_h) на висоті приймача опадоміра (h) перераховується за формулою [1]:

$$U_h = U_H m_A \ln((h - h_s)/z_0) / \ln((H - h_s)/z_0), \quad (2)$$

де U_H – швидкість вітру на висоті вимірювача швидкості вітру на метеомайданчику, м/с; m_A – коефіцієнт, що характеризує викривлення логарифмічного профілю вітру під впливом перешкод навколо опадоміра; H – висота розташування вітровимірювального приладу, м; h_s – висота снігового покриву в пункті спостережень, м; z_0 – параметр шорсткості підстильної поверхні навколо опадоміра ($z_0 = 0,01$ м – суцільний сніговий покрив, $z_0 = 0,03$ м – трав'яний покрив або сніговий покрив менше половини).

Коефіцієнт m_A розраховується за формулою:

$$m_A = 1 - 0,024\alpha_A, \quad (3)$$

де α_A – вертикальний кут закритості горизонту в напрямку вітру в місці установки опадоміра; кут ϵ в довіднику [19].

За швидкості вітру понад 10 м/с через значну похибку перерахунку виміряне значення можна не враховувати, а умовно приймати кількість опадів як добуток багаторічної місячної інтенсивності опадів на тривалість хуртовини [1].

Побудова мапи атмосферних опадів

За коригованими значеннями опадів побудовано мапу річної кількості опадів на території

України за період 1990–2019 рр. Вибір періоду обумовлено тим, що 1989 рік визначено як початок глобального потепління в межах України [20].

За допомогою геоінформаційної системи QGIS створено тематичний шар ізогіст із поширеним зафарбуванням, який накладено на векторну картографічну основу, оцифровану в редакторі InkScape. Крім введення поправок для метеостанцій за методикою Голубєва, для гірських країн Карпат і Криму введено поправки за висотою рельєфу. Для помірного поясу кількість опадів зростає зі збільшенням висоти, що зумовлено вертикальним градієнтом температури, бар'єрним і депресивним ефектами [21]. Більш детально вплив макрорельєфу на кількість опадів викладено в дослідженні [22], згідно з яким найважливішими чинниками є експозиція схилу, висота місцевості і вертикальне розчленування рельєфу. Усі ці результати, а також методика статті [23] були використані для виконання інтерполяції кількості опадів методом регресійного крігінгу. Форму ізогіст було згладжено, а їхнє укладання виконано у межах допустимої графічної точності (0,3 мм) для покращення читаності мапи. Ізогії на мапі проведені через 50 мм, 100 мм і 200 мм, починаючи з сум опадів 400, 700 і 1000 мм відповідно. Обрані інтервали дають змогу порівнювати її із мапою “Атмосферні опади. Рік” Національного Атласу України [24].

Кількісне оцінювання аеродинамічної похибки. У таблиці 2 представлено результати розра-

Таблиця 2

Розрахована частка опадів (%), яку вловлює опадомір Третякова з вітровим захистом				
Середньорічна швидкість вітру на метеостанції, м/с (кількість метеостанцій)	Метод корекції опадів			
	Голубєв	Брязгін	НМІ	Янг
0 – 4 (187)	95.0%	90.5%	91.8%	91.0%
0 – 1 (26)	98.7%	96.1%	97.8%	95.5%
1 – 2 (109)	95.7%	91.2%	92.9%	91.8%
2 – 3 (43)	92.4%	87.1%	87.7%	88.0%
3 – 4 (9)	88.8%	83.3%	83.1%	83.8%
Сніг^a				
0 – 4 (187)	82.3%	72.6%	73.8%	79.0%
0 – 1 (26)	94.1%	84.8%	90.3%	92.6%
1 – 2 (109)	84.0%	73.9%	76.2%	82.1%
2 – 3 (43)	75.0%	66.1%	64.6%	70.2%
3 – 4 (9)	70.3%	62.1%	58.4%	60.3%
Дош^b				
0 – 4 (187)	97.4%	94.3%	95.6%	93.3%
0 – 1 (26)	99.5%	98.2%	99.1%	96.0%
1 – 2 (109)	98.0%	95.1%	96.5%	93.7%
2 – 3 (43)	95.6%	91.4%	92.7%	91.4%
3 – 4 (9)	92.3%	87.9%	89.0%	89.0%

^a Під снігом умовно вважаються опади за температури < 0°C

^b Під дощем умовно вважаються опади за температури > 0°C

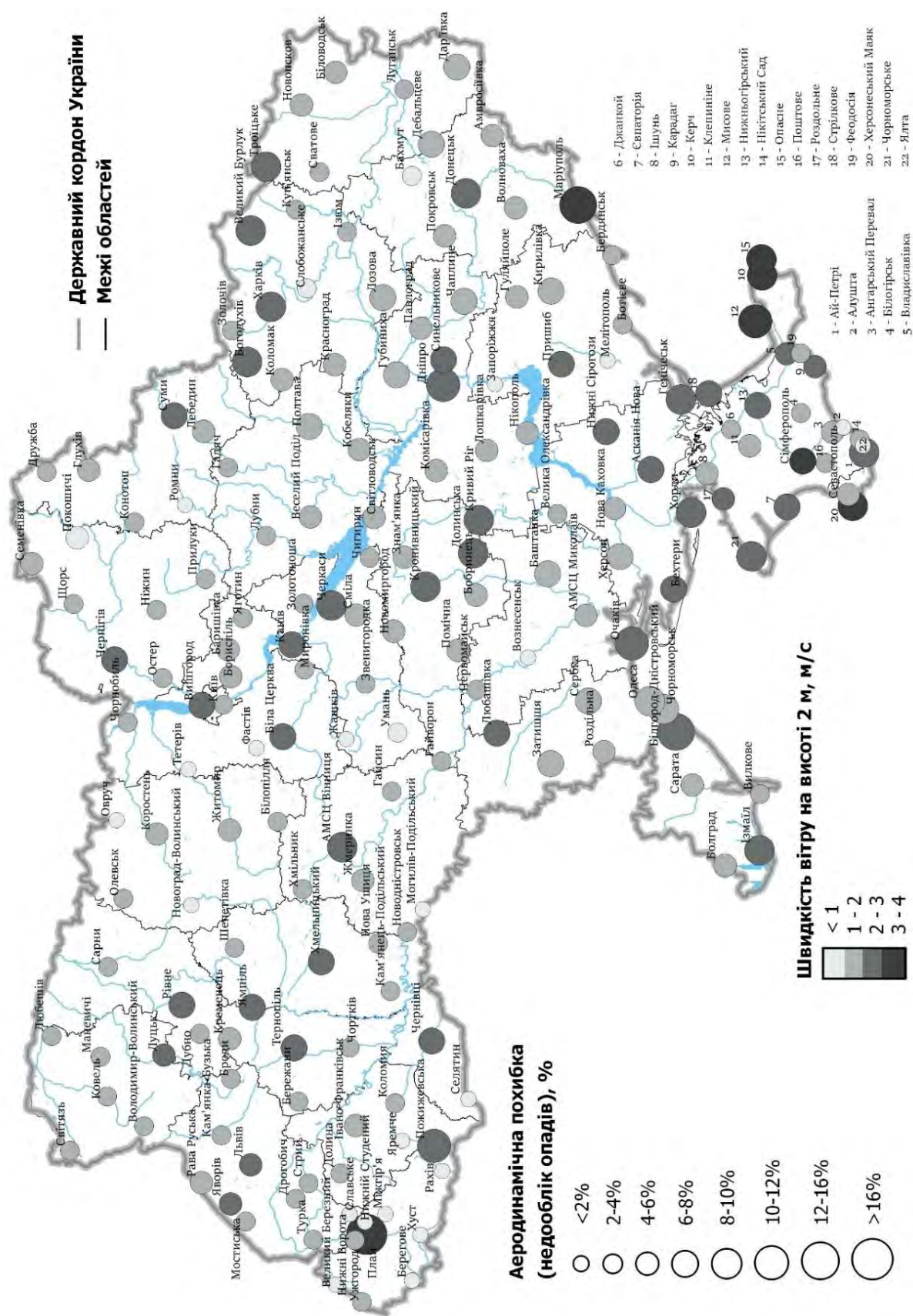


Рис. 2. Середньорічна аеродинамічна похибка (недооблік опадів) вимірювань опадів на метеостанціях України, 1976–2019 рр.
 Fig. 2. Mean annual aerodynamic error (wind-induced undercatch) of precipitation measurements at the Ukrainian meteorological stations, 1976–2019

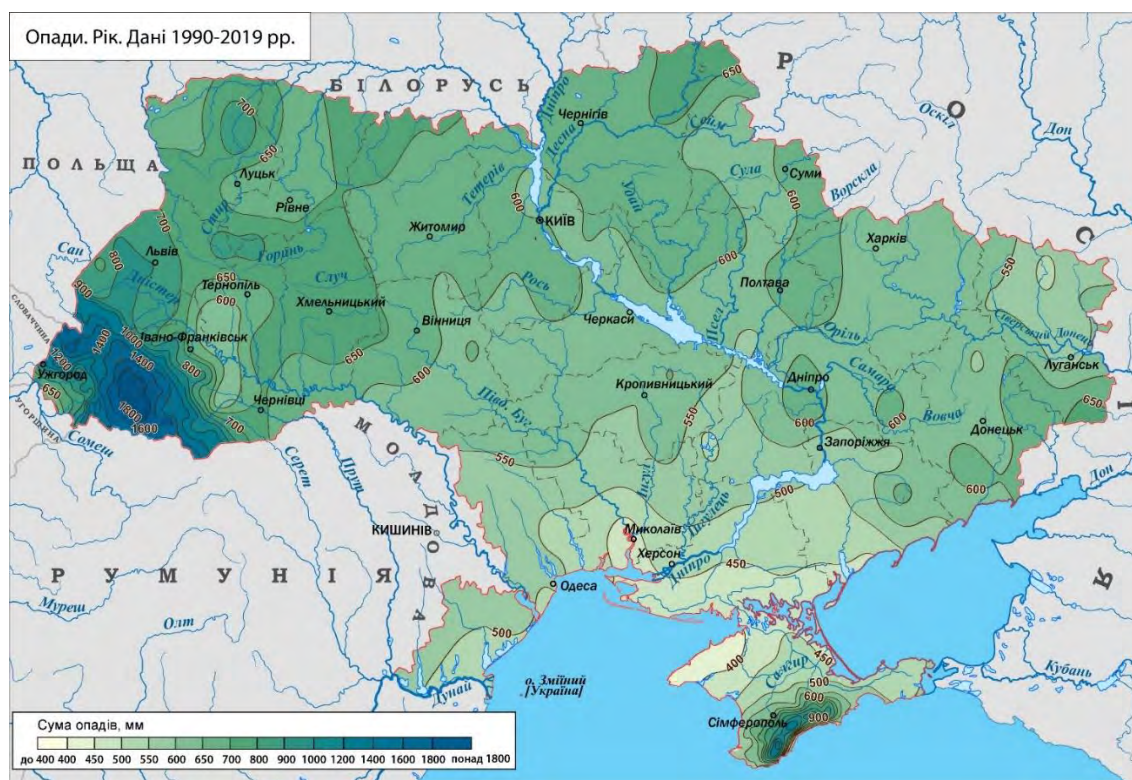


Рис. 3. Річна кількість опадів (мм) із врахуванням аеродинамічної поправки за методологією Голубєва, 1990–2019 рр.

Fig. 3. Annual total precipitation (mm) with correction on wind-induced undercatch according to Golubev methodology, 1990–2019

хунків частки виміряної кількості опадів проти їхньої дійсної величини за період 1976–2019 рр. Значення згруповано залежно від середньорічної швидкості вітру на метеостанції. Як видно, середньорічна кількість опадів, не врахованих опадоміром Третякова через вплив вітру, складає від 5% до 9,5% залежно від обраного методу коригування. Найбільша похибка спостерігається під час вимірювань твердих опадів – від 17,7% до 27,4%.

Просторовий розподіл аеродинамічної похибки за методикою Голубєва показано на рисунку 2. Встановлено, що втрати опадів збільшуються зі зростанням середньорічної швидкості вітру на метеостанції (коефіцієнт кореляції $r = 0,89$). По-друге, втрати вищі на тих метеостанціях, де відзначається більша частка твердих опадів упродовж року ($r = 0,42$).

Середня швидкість вітру для метеостанцій України на висоті приймача опадоміра (2 м) складає 1,67 м/с за варіабельності 0,5–3,91 м/с. Здебільшого суміжні станції мають помітно різну швидкість вітру, що обумовлено різною закритістю горизонту навколо метеомайданчика. Особливо це помітно в гірських районах, де також додається вплив висоти місцевості.

Карта атмосферних опадів. Опади на території України зменшуються в напрямку з півночі

та північного заходу на південь і південний схід, що обумовлено загальним впливом атмосферної циркуляції [15] (рис. 3). Найбільша кількість опадів випадає в гірській місцевості. Тут через складний рельєф та низьку щільність метеостанцій наведені значення кількості опадів мають найбільшу похибку.

У порівнянні з попередніми мапами опадів, опублікованими в Національному атласі України [24] та монографії «Клімат України» [25], річна кількість опадів зросла на 25–50 мм для рівнинної частини та до 300 мм у гірській місцевості. Здебільшого це зумовлено тим, що в попередній час поправку на вплив вітру для побудови карт не вносили [7, 26].

Обговорення результатів. Отримані результати показали, що через вплив вітру інструментальні спостереження на метеостанціях України занижують реальну річну кількість опадів у середньому на 5–10% залежно від методики розрахунку. Частка вловлених опадів на метеостанціях, захищених різними перешкодами та з меншою часткою твердих опадів, становить 96–99,8% за методикою Голубєва та 92–97% за методологією Янга. На відкритих метеопостах на високогір'ї або біля берегової лінії вона не перевищує 91% (89% за методикою Янга).

Як правило, аеродинамічна похибка є найбі-

льшою систематичною похибкою, порівнюючи із втратами на змочування та випаровування.

Загалом отримані результати співставні з дослідженнями ВМО, присвяченими порівнянню даних опадоміра Третьякова з результатами, отриманими еталонною системою з подвійним

парканом [9]. Ці дослідження ВМО показали, що частка вловлених опадів складає 59–92% для снігу та 81–95% для дощу (табл. 3). Водночас станції Бісмарк та Реджайна, де зафіксовано лише 3–5 випадків дощу, не розглядалися.

Варіабельність результатів вловлених опадів

Таблиця 3

Порівняння даних опадоміра Третьякова з вітровим захистом з еталонною системою з подвійним парканом (DFIR) на 11-ти метеостанціях ВМО

Станція	Сніг				Дощ			
	кількість подій, дні	U_h , м/с	DFIR, мм	вловлені опаді, %	кількість подій, дні	U_h , м/с	DFIR, мм	вловлені опаді, %
Валдай	304	4,1	1181,7	63,1	230	3,8	1259,2	91,4
Рейнольдс	50	2,5	105,6	84,4	40	2,7	206,4	92
Денвілл	157	1,5	1036,2	91,6	30	1	446,3	94,3
Йокіойнен	334	2,6	740,9	67,2	567	2,5	1694,4	86,6
Гарцгероде	42	3	112,7	72,2	172	4,2	475,3	81,3
Бісмарк	32	3,3	94,6	65,4	3	3,3	9,3	71,6
Хосені	94	1,1	194	85,8	34	1,2	85	90,6
Парг	65	1	486,9	91	141	1,6	1573,8	88,2
Трент У	76	2	262	81,1	80	1,9	581,9	95
Реджайна	117	3,5	199,1	59,4	5	3,9	5,1	97,4
Кортрайт	107	2,5	274,7	83,1	64	2,3	342,6	90

U_h – швидкість вітру на висоті опадоміра

зумовлена як різною швидкістю вітру на станціях, так і різною кількістю опадів за добу – відсоток втрат вище для менших значень. Відтак, на станції Валдай, де середня кількість дощу становить 5,5 мм (1259,2/230) за добу, втрати на 10% менші, ніж на станції Гарцгероде, де середня кількість – 2,8 мм (475,3/172).

Експерименти також засвідчують, що строкові дані вимірювань опадів мають значне розсіювання. Випадкові похибки на станції Валдай у середньому становили 0,5–1 мм для різної форми опадів [9]. А різниця у вимірах двох розташованих на одному метеомайданчику приладів може досягати 11% для снігу (22% для заметілі), 7% для змішаних опадів та 3% для дощу [27].

Методи коригування опадів побудовано на основі різних експериментальних даних. Голубєв використав спостереження на станції Валдай [9]. Це пояснює близькі значення частки вловлених опадів до розрахункових значень на українських метеостанціях із середньою швидкістю вітру 3–4 м/с. Методологія Норвезького метеорологічного інституту спирається на дані зі станції Йокіойнен [16]. Янг побудував рівняння регресії на даних усіх 11-ти станцій ВМО [17]. У порівнянні з Валдаєм, на інших станціях зафіксовано більш суттєві втрати дощу, що пояснює різницю розрахункових значень для дощу за методами Голубєва та Янга для метеостанцій України.

Проблема методик коригування опадів полягає в тому, що рівняння розробляються на базі

найчастіших подій – це опади за швидкості вітру 0–4 м/с. У зв'язку з цим методики НМІ, Брязгіна та Янга, ймовірно, переоцінюють недооблік снігу за швидкості вітру понад 4–6 м/с. Методика Голубєва, вдосконалена у 2000 р., дає змогу враховувати «хибні» тверді опади під час вітру понад 4,2 м/с [12]. Це пояснює той факт, що похибка, розрахована за моделлю Голубєва, найменша і, порівнюючи з експериментальними даними, виглядає більш прийнятною для твердих опадів.

Можливість застосування моделей коригування кількості опадів залежить від наявних спостережень, які характеризують швидкість вітру та форму опадів. Оскільки на українських метеостанціях швидкість вітру вимірюється здебільшого на висоті 10–12 м, то необхідно знати напрямок вітру та закритість горизонту навколо опадоміра, щоби привести швидкість до висоти 2 м. Для визначення форми опадів (рідкі, змішані, тверді) у рівняннях використовується температура, але в методології Голубєва, окрім цього, вводяться показники атмосферного тиску та парціального тиску водяної пари як непрямих характеристик розміру крапель або сніжинок. Для розрахунку «хибних» опадів (тільки методика Голубєва) необхідно знати тривалість заметілі та довжину її розгону, що є характеристикою оточення метеомайданчика.

Стандартна програма строкових спостережень містить повний комплекс метеорологічних параметрів, необхідних для розрахунку коригую-

чих коефіцієнтів – швидкість та напрямок вітру, температура повітря, атмосферний тиск та парціальний тиск водяної пари, тривалість низової та загальної заметілі. Проте зведена форма представлення добових даних не приймає до уваги напрямку вітру.

Також є прогалини в описі оточення метеомайданчиків [19]. По-перше, закритість горизонту за останні 50 років вимірювалася на українських метеостанціях тільки 2 рази: здебільшого за періоди 1970–1985 та 2004–2005 рр. По-друге, важко визначити довжину розгону заметілі з наявного словесного опису оточення метеомайданчика без карти-схеми з відстанями до перешкод у всіх напрямках.

Недооблік опадів призводить до помилок у гідрологічних та кліматологічних розрахунках [28]. Наприклад, заниження реального випаровування та/або водного стоку, виявлення «хибних» трендів зменшення швидкості вітру та кількості опадів через зміну закритості станції. Окрім цього, похибка міститься і в глобальних мережах опадів, які побудовані за допомогою інтерполяції архівних даних [29].

Детальні рекомендації щодо проведення інструментальних спостережень наведено в рекомендаціях ВМО [30, 31]. Згідно з ними у пунктах вимірювання опадів мають, щонайменше, проводитися дослідження швидкості та напрямку вітру, температури, а також має бути побудований графік закритості горизонту й карта-схема перешкод відносно опадоміра. В архівах мають зберігатися як кориговані, так і некориговані значення, оскільки методи корекції можуть бути вдосконалені в майбутньому.

Висновки. Деформація вітрового потоку над отвором опадоміра занижує реальну кількість середньорічних опадів (аеродинамічна похибка) на 5–10% залежно від методу розрахунку похибки. На захищених від вітру метеомайданчиках таке заниження становить у середньому 2–6%, а на відкритих ділянках у високогір'ї або біля берегової лінії є найбільшим і досягає 19–26%. Тверді опади більш чутливі до впливу вітру – втрати снігу становлять у середньому 18–27%, тоді як дощу – 3–7%.

Відповідно до сучасних настанов метеорологічних спостережень аеродинамічна поправка не застосовується ні для поточних, ні для архівних даних кількості опадів. У зв'язку з цим для подальшого використання у гідрологічних та кліматологічних дослідженнях значення вимірюваних опадів мають бути належним чином відкориговані. Строкові спостереження мають всю необхідну інформацію для розрахунку аеродинамічної поправки, водночас, опис оточення та закритості метеомайданчика рекомендовано оновлювати частіше.

За нашим оцінюванням, методики Голубєва та Янга для коригування кількості опадів надають найбільш точну інформацію для території України. На станціях, де часто спостерігаються заметілі, з метою врахування кількості «хибних» опадів рекомендовано надавати перевагу методології Голубєва.

Створено електронний архів строкових та щоденних сум коригованих значень опадів за методологією Голубєва та Янга для 207 метеостанцій України за період 1976–2019 рр.

Список використаної літератури

1. Богданова Э. Г. Новая модель корректировки измеренных осадков и её применение в полярных районах России / Э. Г. Богданова, В. С. Голубев, Б. М. Ильин, И. В. Драгомилова // *Метеорология и гидрология*. – 2002. – Вып. 10. – С. 68–94.
2. Державна гідрометеорологічна служба. Настанова гідрометеорологічним станціям і постам. Випуск 3. Частина 1. Метеорологічні спостереження на станціях / Державна гідрометеорологічна служба. – Україна: 2011. – 280 с.
3. Sevruk B. The effect of dimensions and shape of precipitation gauges on the wind-induced error / B. Sevruk, V. Nespor // *Global Precipitations and Climate Change*. – Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1994. – P. 231–246. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-79268-7_14
4. Голубев В. С. Исследование влияния двойных заборных защит на показания осадкомера Третьякова / В. С. Голубев // *Труды ГГИ*. – 1979. – Вып. 258. – С. 91–101.
5. Алексеев Г. А. Методы оценки случайных погрешностей гидрометеорологической информации / Г. А. Алексеев. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1975. – 96 с.
6. Всемирная Метеорологическая Организация. Руководство по гидрологической практике. Том 1. Гидрология: от измерений до гидрологической информации / Всемирная Метеорологическая Организация. – 2008. – 314 с.
7. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6. Выпуск 10. Украинская ССР. Книга 1 / Ред. Н. С. Смирнова. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1990. – 605 с.
8. Baghapour B. Numerical simulation of wind-induced turbulence over precipitation gauges / B. Baghapour, C. Wei, P. E. Sullivan // *Atmospheric Research*. – 2017. – Vol. 189. – P. 82–98. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.01.016>
9. Goodison B. E. WMO solid precipitation measurement intercomparison: Final report / B. E. Goodison, P. Y. T. Louie, D. Yang. – 1998. – 212 p.

10. Богданова Э. Г. Учет ветровой погрешности измерения осадков при вычислении их средних многолетних значений (норм) / Э. Г. Богданова // Труды ГГО. – 1968. – Вып. 215. – С. 45–56.
11. Голубев В. С. Методика корректировки срочных и месячных величин атмосферных осадков и результаты ее проверки / В. С. Голубев // Труды ГГИ. – 1973. – Вып. 207. – С. 11–27.
12. Коновалов Д. А. Полная модель корректировки осадкомерных данных; методика и алгоритм оценки систематических составляющих / Д. А. Коновалов, В. С. Голубев, Э. Г. Богданова, Б. М. Ильин // Papers presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2000). WMO/TD- No. 1028; IOM Report- No. 74. – 2000. – С. 136–139.
13. Богданова Э. Г. Опыт применения усовершенствованной методики корректировки суточных сумм осадков в различных климатических условиях / Э. Г. Богданова, Б. М. Ильин, И. В. Драгомилова // Труды ГГО. – 2003. – Вып. 551. – С. 23–50.
14. Государственный гидрологический институт. Руководство воднобалансовым станциям / Государственный гидрологический институт. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1973. – 306 с.
15. Sevruk B. International comparison of national precipitation gauges with a reference pit gauge (WMO/TD-[No. 38] / B. Sevruk, W. R. Hamon. – Geneva: 1984. – 139 p.
16. Forland E. J. Manual for operational correction of Nordic precipitation data (Report No. 24/96) / E. J. Forland, P. Allerup, B. Dahlstrom[et al.]. – Oslo : 1996. – 66 p.
17. Yang D. Accuracy of Tretyakov precipitation gauge: Result of WMO intercomparison / D. Yang, B. E. Goodison, J. R. Metcalfe[et al.] // Hydrological Processes. – 1995. – Vol. 9, No. 8. – P. 877–895. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.3360090805>
18. Aleksandrov Y. I. Seasonal, interannual and long-term variability of precipitation and snow depth in the region of the Barents and Kara seas / Y. I. Aleksandrov, N. N. Bryazgin, E. J. Forland[et al.] // Polar Research. – 2005. – Vol. 24, No. 1–2. – P. 69–85. DOI: <https://doi.org/10.3402/polar.v24i1.6254>
19. Косовець О. Історія та фізико-географічний опис метеорологічних станцій України (кліматологічний довідник) / О. Косовець, Н. Швень. – Київ: 2011. – 462 с.
20. Гребінь В. В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз) / В. В. Гребінь. – Київ: Ніка-центр, 2010. – 316 с.
21. Оленев А. М. Воздействие макрорельефа на климат и ландшафтные комплексы / А. М. Оленев. – Свердловск: 1987. – 86 с.
22. Мкртчян О. Інтерполяція даних метеоспостережень кількостей опадів та інших кліматичних змінних методом регресійного крігінгу / О. Мкртчян, П. Шубер // Вісник Львівського університету. Серія Географія. – 2013. – Вип. 42. – С. 258–264.
23. Мкртчян О. Методика геопросторового моделювання та картування кліматичних характеристик за даними спостережень / О. Мкртчян, П. Шубер // Вісник Львівського університету. Серія Географія. – 2011. – Вип. 39. – С. 245–253.
24. Барабаш М. Б. Атмосферні опади. Рік. / М. Б. Барабаш, О. Є. Пахалюк, О. Г. Татарчук // Національний атлас України. – Київ: 2007. – С. 435.
25. Клімат України / Ред. В. М. Ліпінський, В. А. Дячук, В. М. Бабіченко. – Київ: Вид-во Раєвського, 2003. – 343 с.
26. Барабаш М. Б. Дослідження змін та коливань опадів на рубежі XX і XXI ст. в умовах потепління глобального клімату / М. Б. Барабаш, Т. В. Корж, О. Г. Татарчук // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2004. – Вип. 253. – С. 92–102.
27. Yang D. Comparison of winter precipitation measurements by six Tretyakov gauges at the Valdai experimental site / D. Yang, A. Simonenko // Atmosphere-Ocean. – 2014. – Vol. 52, No. 1. – P. 39–53. DOI: <https://doi.org/10.1080/07055900.2013.865156>
28. Karl T. R. Detecting climate variations and change: New challenges for observing and data management systems / T. R. Karl, R. G. Quayle, P. Y. Groisman // Journal of Climate. – 1993. – Vol. 6, No. 8. – P. 1481–1494. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1993\)006<1481:DCVACN>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1993)006<1481:DCVACN>2.0.CO;2)
29. Legates D. R. Global and terrestrial precipitation: A comparative assessment of existing climatologies / D. R. Legates // International Journal of Climatology. – 1995. – Vol. 15, No. 3. – P. 237–258. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.3370150302>
30. Всемирная Метеорологическая Организация. Руководство по приборам и методам наблюдений / Всемирная Метеорологическая Организация. – 2018. – 1385 p.
31. World Meteorological Organization. WMO solid precipitation intercomparison experiment (SPICE). Instruments and observing methods. Report No. 131 / World Meteorological Organization. – 2018. – 1445 p. – Режим доступу: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=20742#.X5lgIgzZhE

Внесок авторів: Осипов В.В. – концептуалізація, підготовка вхідних даних, методологія, розрахунки, написання тексту; Бончковський А.С. – підготовка вхідних даних, розрахунки; Орещенко А.В. – методологія, побудова мапи опадів, написання тексту; Ошурок Д.О. – підготовка вхідних даних, написання тексту; Осадча Н.М. – написання тексту

Расчет количества осадков на украинских метеостанциях с учетом влияния ветра

Валерий Валерьевич Осипов¹,

к. геогр. н., старший научный сотрудник отдела гидрохимии

¹Украинского гидрометеорологического института, пр. Науки, 37, г. Киев, 03028, Украина;

Андрей Сергеевич Бончковский¹,

младший научный сотрудник отдела гидрохимии;

Андрей Васильевич Орещенко¹,

к. геогр. н., старший научный сотрудник отдела прикладной метеорологии и климатологии;

Дмитрий Александрович Ошурок¹,

к. геогр. н., старший научный сотрудник отдела физики атмосферы;

Наталья Николаевна Осадча¹,

д. геогр. н., заведующая отделом гидрохимии

Измерения осадков включают случайные и систематические погрешности. Первые связаны с измерительной частью прибора и микроклиматическими условиями территории, вторые – с воздействием ветра, испарением и смачиванием стенок приёмника. Ветровые вихри, образующиеся при обтекании ветрового потока верхней части приемника осадкомера, препятствуют попаданию осадков в приемник и преуменьшают действительное количество осадков. В Украине такая аэродинамическая погрешность не вычисляется во время записи измерений, поэтому для проведения гидрологических и климатических исследований архивные данные должны пройти предварительную корректировку. Целью работы было приведение измеренного на метеостанциях Украины количества осадков к реальным величинам. Рассмотрены четыре метода учета аэродинамической погрешности осадкомера Третьякова с ветровой защитой: Голубева, Янга, Брызгина и Норвежского метеорологического института. Обработано данные срочных наблюдений за осадками на метеостанциях Украины за период 1976–2019 гг. Программа метеорологических наблюдений содержит всю необходимую информацию для выполнения расчетов: скорость и направление ветра, температуру воздуха, атмосферное давление и парциальное давление водяного пара, продолжительность низовой и общей метели. Скорость ветра приведено к высоте приёмника осадкомера (2 м) с учётом закрытости и окружения метеоплощадки. Установлено, что по разным методам оценок недоучет среднегодового количества осадков колеблется в пределах 5–10%, из них для снега – 18–27%, для дождя – 3–7%. По скорректированным значениям обновлено карту годовой суммы осадков на территории Украины за период 1990–2019 гг. Для дальнейшего использования в гидрологических и климатических исследованиях результаты наблюдений за осадками должны быть скорректированы с учётом аэродинамической погрешности.

Ключевые слова: аэродинамическая погрешность, недоучет осадков, скорость ветра, атмосферные осадки, осадкомер Третьякова, карта атмосферных осадков.

Quantifying wind-induced undercatch in the precipitation measurements at Ukrainian weather stations

Valeriy Osypov¹,

PhD (Geography), Senior Researcher of the Hydrochemistry Department,

¹Ukrainian Hydrometeorological Institute, 37 Nauki Pr., Kyiv, 03028, Ukraine;

Andrii Bonchkovkyi¹,

Junior Researcher of the Hydrochemistry Department;

Andrii Oreshchenko¹,

PhD (Geography), Senior Researcher of the Department of Applied Meteorology and Climatology;

Dmytro Oshurok¹,

PhD (Geography), Senior Researcher of the Atmospheric Physics Department;

Natalia Osadcha¹,

Doctor (Geography), Head of the Hydrochemistry Department

ABSTRACT

Literature overview. Precipitation measurements include random and systematic errors. Systematic errors increase in the following order: evaporation loss, wetting loss, and wind-induced undercatch (World Meteorological Organization, 2008). The last one occurs because of the aerodynamic blockage under the precipitation gauge collector (Baghapour et al. 2017; Sevruk & Nespor, 1994). Field experiments have shown that wind-induced undercatch reaches 14% for rain and 40% for snow for the Tretyakov wind-shielded gauge (Goodison et al., 1998).

In Ukraine, precipitation records omit wind-induced undercatch correction.

This study **aims** to calculate true precipitation values at Ukrainian weather stations, evaluate existing methodologies for precipitation measurements correction, and create the digital archive of corrected precipitation values based on sub-daily observations.

Material and methods. We used four methods to quantify wind-related errors for the Tretyakov gauge with wind shield proposed by Golubev (Kononov et al., 2000), Bryazgin (Aleksandrov et al., 2005), Norway meteorological institute (Forland et al., 1996), and Yang (Yang et al., 1995). Sub-daily records were requested from Central Geophysical Observatory named after Boris Sreznevsky covering 207 stations between 1976 and 2019; 187 stations had more than 20 years' period.

Results. For the Tretyakov gauge, annual wind-induced undercatch ranges from 5 to 9.5%, depending on correction methodology. The highest bias is observed for the solid precipitation – from 17.7 to 27.4%. The precipitation loss increases along with annual wind speed at the weather station (correlation coefficient $r = 0.89$).

Conclusions. We suggest that Golubev's and Yang's methodologies estimate precipitation wind-induced undercatch more accurately at stations where blizzards are often observed, we recommended using the Golubev's methodology because it takes into account "false" precipitations.

The precipitation loss equals 0.2–4% according to the Golubev's method at covered weather stations and reaches 13–19% at the bare mountain regions or seashore. Solid precipitation is more sensitive to the influence of wind – snow loss averages 17.3% according to the Golubev methodology or 21% according to the Yang methodology, while rain loss – 2.6% or 6.7%, respectively.

The obtained database with corrected precipitation comprises sub-daily and daily records from 207 Ukrainian stations between 1976 and 2019. It could be used for hydrological and climatological research.

Keywords: wind-induced undercatch, precipitation measurements, Tretyakov gauge, wind speed, precipitation map.

References

1. Bogdanova, E. G., Golubev, V. S., Il'in, B. M., & Dragomilova, I. V. (2002). New model for correction of measured precipitation and its use in Russian polar regions. *Meteorology and Hydrology*, 10, 68–94 [in Russian].
2. State hydrometeorological service. (2011). Guidelines for hydrometeorological stations and posts. Issue 3. Part 1. Meteorological observations at stations. 280 [in Ukrainian].
3. Sevruk, Boris, & Nespor, V. (1994). The Effect of Dimensions and Shape of Precipitation Gauges on the Wind-Induced Error. In *Global Precipitations and Climate Change* (pp. 231–246). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-79268-7_14
4. Golubev, V. S. (1979). Research of the double fence cover influence on precipitation measurement of Tretyakov gauge. *Trudy GGI*, 258, 91–101 [in Russian].
5. Alekseev, G. A. (1975). Methods for estimating random errors of hydrometeorological information. Leningrad: Hydrometeoizdat, 96 [in Russian].
6. World Meteorological Organization. (2008). Guide to Hydrological Practices, Volume I: Hydrology – From Measurement to Hydrological Information. 296.
7. Smirnova, N. S. (Ed.). (1990). Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. Series 3. Long-term data. Parts 1-6. Issue 10. Ukrainian SSR. Book 1. Leningrad: Hydrometeoizdat, 605 [in Russian].
8. Baghapour, B., Wei, C., & Sullivan, P. E. (2017). Numerical simulation of wind-induced turbulence over precipitation gauges. *Atmospheric Research*, 189, 82–98. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.01.016>
9. Goodison, B. E., Louie, P. Y. T., & Yang, D. (1998). WMO Solid precipitation measurement intercomparison: Final report. 212.
10. Bogdanova, E. G. (1968). Accounting the wind error in measured precipitation when calculating their average long-term values (norms). *Trudy GGO*, 215, 45–56 [in Russian].
11. Golubev, V. S. (1973). Methodology for correcting sub-daily and monthly values of atmospheric precipitation and the results of its verification. *Trudy GGI*, 207, 11–27 [in Russian].
12. Kononov, D., Golubev, V. S., Bogdanova, E. G., & Ylin, B. M. (2000). A full model for correction of precipitation measurements data and a method and algorithm for estimation of systematic error components. In *Papers presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2000)*. WMO/TD- No. 1028; IOM Report - No. 74 (pp. 136–139) [in Russian].
13. Bogdanova, E. G., Il'in, B. M., & Dragomilova, I. V. (2003). Experience in using an improved methodology for adjusting daily precipitation amounts in various climatic conditions. *Trudy GGO*, 551, 23–50 [in Russian].
14. State hydrological institute. (1973). Guide for water balance stations. Leningrad: Hydrometeoizdat, 306 [in Russian].
15. Sevruk, B., & Hamon, W. R. (1984). International Comparison of National Precipitation Gauges with a Reference Pit Gauge (WMO/TD-No. 38). Geneva, 139.
16. Forland, E. J., Allerup, P., Dahlstrom, B., Elomaa, E., Jonsson, T., Madsen, H., ... Vejen, F. (1996). Manual for operational correction of Nordic precipitation data (Report NR. 24/96). Oslo, 66.
17. Yang, D., Goodison, B. E., Metcalfe, J. R., Golubev, V. S., Elomaa, E., Gunther, T., ... Milkovic, J. (1995). Accuracy of Tretyakov precipitation gauge: Result of WMO intercomparison. *Hydrological Processes*, 9(8), 877–895. <https://doi.org/10.1002/hyp.3360090805>

18. Aleksandrov, Y. I., Bryazgin, N. N., Førland, E. J., Radionov, V. F., & Svyashchennikov, P. N. (2005). Seasonal, interannual and long-term variability of precipitation and snow depth in the region of the Barents and Kara seas. *Polar Research*, 24(1–2), 69–85. <https://doi.org/10.3402/polar.v24i1.6254>
19. Kosovets, O., & Shvets, N. (2011). History and physical-geographical description of meteorological stations of Ukraine (climatological reference book). Kyiv, 462 [in Ukrainian].
20. Grebin', V. V. (2010). Modern streamflow regime of rivers in Ukraine (landscape-hydrology analysis) [in Ukrainian]. Kyiv: Nika-Centr, 316 [in Ukrainian].
21. Olenov, A. M. (1987). Impact of macorelief on climate and landscape complexes. Sverdlovsk, 86 [in Russian].
22. Mkrtchian, O., & Shuber, P. (2013). Interpolation of meteodata on precipitation and other climatic variables by regression-kriging. *Visnyk Lviv Univ. Ser. Geogr.*, 42, 258–264 [in Ukrainian].
23. Mkrtchian, O., & Shuber, P. (2011). A method for geospatial and mapping of climatic characteristics from meteorological observation data. *Visnyk Lviv Univ. Ser. Geogr.*, 39, 245–253 [in Ukrainian].
24. Barabash, M. B., Pahaluk, O. E., & Tatarchuk, O. G. (2007). Precipitation. Year. In *National atlas of Ukraine* (p. 435). Kyiv, 435 [in Ukrainian].
25. Lipinskiy, B. M., Dyachuk, V. A., & Babichenko, B. M. (Eds.). (2003). *Climate in Ukraine*. Kyiv: Vyd-vo Raevskogo, 343 [in Ukrainian].
26. Barabash, M. B., Korzh, T. V., & Tatarchuk, O. G. (2004). Investigation of changes and fluctuations in precipitation at the turn of the 20th and 21st centuries in the context of global warming. *Nauk. Pr. UkrNDGMI*, 253, 92–102 [in Ukrainian].
27. Yang, D., & Simonenko, A. (2014). Comparison of Winter Precipitation Measurements by Six Tretyakov Gauges at the Valdai Experimental Site. *Atmosphere-Ocean*, 52(1), 39–53. <https://doi.org/10.1080/07055900.2013.865156>
28. Karl, T. R., Quayle, R. G., & Groisman, P. Y. (1993). Detecting Climate Variations and Change: New Challenges for Observing and Data Management Systems. *Journal of Climate*, 6(8), 1481–1494. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1993\)006<1481:DCVACN>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1993)006<1481:DCVACN>2.0.CO;2)
29. Legates, D. R. (1995). Global and terrestrial precipitation: A comparative assessment of existing climatologies. *International Journal of Climatology*, 15(3), 237–258. <https://doi.org/10.1002/joc.3370150302>
30. World Meteorological Organization. (2018). *Guide to Instruments and Methods of Observation*. 1385.
31. World Meteorological Organization. (2018). WMO Solid Precipitation Intercomparison Experiment (SPICE). Instruments and Observing Methods. Report No. 131. 1445. Retrieved from https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=20742#.X5lgIlgzZhE

Authors Contribution: Osipov V. V. - conceptualization, preparation of input data, methodology, calculations, text writing; Bonchkovsky A. S. - preparation of input data, calculations; Oreshchenko A. V. - methodology, construction of a map of precipitation, writing the text; Oshurok D. O. - preparation of input data, text writing; Osadcha N. M. - text writing

Received 2 March 2021

Accepted 20 July 2021

Вуличне мистецтво у міському просторі: розміщення та сприйняття у містах України

Наталія Іванівна Провотар¹,

к. геогр. н., доцент кафедри економічної та соціальної географії,

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка,

вул. Володимирська 64/13, м. Київ, 01601, Україна,

e-mail: provotarnat@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-2211-6509>;

Юлія Анатоліївна Олішевська¹,

к. геогр. н., доцент кафедри географії України,

e-mail: ilia_29@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-3132-1363>;

Костянтин Володимирович Мезенцев¹,

д. геогр. н., професор, завідувач кафедри економічної та соціальної географії,

e-mail: mezentsev@knu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-1974-7860>;

Катерина Олександрівна Кравченко²,

к. геогр. н., доцент кафедри соціально-економічної географії та регіоналістики,

²Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,

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

e-mail: kateryna.kravchenko@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4654-3185>

У статті поглиблено розуміння місця вуличного мистецтва у міському просторі. Метою дослідження є аналіз тематичного спрямування, зумовленості, розміщення та сприйняття мешканцями об'єктів вуличного мистецтва у містах України. На основі аналізу попередніх досліджень узагальнено види та форми стріт арту, його місце у міському просторі. Дослідження ґрунтуються на аналізі повідомлень у засобах масової інформації щодо об'єктів вуличного мистецтва, результатах глибинних напівструктурованих інтерв'ю мешканців Києва, а також спостережень авторів на вулицях кількох міст України.

Аналіз об'єктів вуличного мистецтва в Україні показав, що в цілому спостерігаються тенденції до децентралізації їх розміщення у міському просторі та регіоналізації. Бачення мешканців свідчить про їх вимогу щодо відповідності нових об'єктів стріт арту соціокультурному середовищу, доречності розміщення, «вбудованості» у міський простір. Виявлено, що важливими рушіями активізації вуличного мистецтва в Україні є міські арт-фестивалі, мега-події, соціально-політичні події та соціальні проблеми, ініціативи забудовників, а також програми бюджету участі.

Аналіз ставлення до тематичної спрямованості стріт арту показав, що пріоритетними для мешканців Києва є теми природи, зображення видатних осіб з незаплямованою репутацією, представників найважливіших професій, національна, патріотична та соціальна тематика, яка спонукає до роздумів, а також тексти відомих віршів та цитати. Негативним є відношення до політичної тематики, що супроводжується різними закликами. Підтверджено, що більш важливим вбачається локальний контекст об'єктів стріт арту. Показано, що при загалом позитивному сприйнятті вуличного мистецтва мешканці міст зацікавлені у необхідності контролю та регулювання розміщення нових об'єктів з урахуванням вимог партисипативності.

Ключові слова: місто, міський простір, вуличне мистецтво / стріт арт, мурал, публічний простір, розміщення, сприйняття, Україна.

Як цитувати: Провотар Н. І. Вуличне мистецтво у міському просторі: розміщення та сприйняття у містах України / Н. І. Провотар, Ю. А. Олішевська, К. В. Мезенцев, К. О. Кравченко // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2021. – Вип. 55. – С. 216-231. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-16>

In cites: Provotar N. I., Olisheska Yu. A., Mezentsev K. V., Kravchenko K. O. (2021). Street art in urban space: location and perception in Ukrainian cities. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (55), 216-231. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-16> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. Велике місто – це поле тестування новітніх управлінських схем та проєктів розвитку, тобто певна «лабораторія», де відбуваються та «апробуються» політичні, соціальні, економічні та культурні перетворення [1]. Відповідно, пошук шляхів модернізації міського простору, його естетизації та підвищення комфортності проживання й покращення візуального сприйняття є актуальним завданням. Нагальною потребою сьогодення є облаштування міст таким чином, щоб забезпечити потреби містян, комфортність їх перебування у міському просторі та

посилити соціальні функції міст [2].

Розвиток міста виражається не тільки у фізичних змінах простору, але й через продукування та зміну символів і образів, асоціацій і наративів. Нині зміни відбуваються швидкими темпами внаслідок процесів глобалізації та інформатизації, які зумовили розвиток мультикультуралізму, що проникає у міський простір перш за все через міграції населення та розвиток засобів комунікації, зокрема мережі Інтернет. Одним із проявів трансформації соціокультурного простору міст є розвиток вуличного мистецтва (стріт

арту – street art), яке як мистецька практика має тривалу історію, але увагу наукової спільноти отримало лише у другій половині ХХ ст.

Вуличне мистецтво може по-різному сприйматися і трактуватися різними стейкхолдерами та фахівцями – містопланувальниками, міською владою, урбаністами, мешканцями міст. Водночас законодавчо врегульовані норми та акти, які регламентують питання стріт арту або передбачають виділення певних територій для створення муралів чи графіті, відрізняються за країнами. Так, наприклад, в Іспанії, де публічні простори належать державі, графіті розглядають здебільшого як реакцію на соціальні негаразди та маргіналізацію певних прошарків населення, а у окремих випадках – як вандалізм. Натомість у Швеції для вуличного мистецтва виділяються спеціальні локації [28, 42].

Трансформація міст від індустріальних до постіндустріальних супроводжується розвитком креативного класу [3], який здатний продукувати нові творчі ідеї, нові послуги, технології облаштування публічних просторів тощо. І з розвитком креативних міст графіті та стріт арт переоцінюються як креативні практики, а одна з ключових ознак креативних міст – толерантність – стимулює поширення вуличного мистецтва, виникнення феномену «законних стін» («legal walls») для графіті та стріт арту, цілих мистецьких вулиць та артшляхів [4, 5].

Вуличне мистецтво впливає на сприйняття мешканцями вже сформованих раніше образів міст та окремих районів, акцентуючи увагу на важливих соціальних питаннях [6, 7]. Розвиток стріт арту викликав дискусію стосовно його бачення ключовими акторами: якщо автори об'єктів вуличного мистецтва зазвичай розглядають міський простір з точки зору донесення своїх вимог, свого бачення актуальних проблем сьогодення та викликів, які стоять перед суспільством, то містопланувальники, представники муніципалітетів (особливо департаментів з благоустрою території) швидше розглядають об'єкти вуличного мистецтва як вандалізм. Муніципалітети часто розділяють графіті та стріт арт і вибудовують відповідно стратегії менеджменту вуличного мистецтва, заохочуючи стріт арт як засіб активізації міського простору та криміналізуючи графіті [4].

У наукових розробках українських дослідників здебільшого розглядаються окремі аспекти розвитку стріт арту з позицій мистецтвознавства та культурології [8, 9, 10]. В останнє десятиліття значно зросла увага географічної наукової спільноти до змін міського простору. Зокрема, у монографії «Урбаністична Україна: в епіцентрі просторових змін» (2017) охарактеризовано образи

окремих міст та сучасні трансформації їх публічних просторів [11]. Йдеться про те, що публічні простори українських міст комерціалізуються у контексті відновлення, реставрації, ревіталізації, розвитку туризму, відповіді на сучасні потреби та вподобання міських жителів, для них характерні «б'ютифікація» та «європеїзація» [11, 12]. А вуличне мистецтво, зокрема створення муралів (стінописів), привносить естетичний ефект у сприйняття одноманітної забудови. Так, яскравим проявом модернізації житлових масивів 1960-х років у Києві стало створення муралів задля оновлення фасадів та стін будинків [13]. Таке «образне перефарбовування» або використання «барвистої обшивки» надає житловим будинкам і кварталам нової та індивідуальної ідентичності [14].

В окремих географічних дослідженнях твори стріт арту розглядають як один із засобів оновлення міського простору, роблячи акцент на використанні вуличного мистецтва як ресурсу для розвитку туризму за рахунок поєднання зелених зон та творів стріт арту [15], розвитку мистецтва муралів (мурал арту – mural art) для організації пізнавальних екскурсій у містах [16, 17].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. При значній кількості досліджень вуличного мистецтва, які висвітлюють різні аспекти даної проблеми, недостатньо розкритими залишаються питання оновлення публічних просторів міст засобами вуличного мистецтва з точки зору його тематики, мотивації, розміщення та регулювання на засадах партисипативного міського планування. Це є важливим напрямом досліджень на перетині географії, соціології та культурології і визначає зміну орієнтації на дослідження місць виробництва та споживання мистецтва, його зв'язок з конкретним місцем [18], оскільки саме через стріт арт можна прослідкувати зв'язок між людьми та місцями, де вони живуть [19].

Мета дослідження. Враховуючи вищезазначене, метою даного дослідження є аналіз тематичного спрямування, зумовленості, розміщення та сприйняття мешканцями об'єктів вуличного мистецтва у містах України. Відповідно, дослідницькі завдання включають: 1) аналіз тематики та розміщення об'єктів вуличного мистецтва у містах, стимулів їх поширення; 2) аналіз сприйняття об'єктів стріт арту жителями міста; 3) з'ясування, що думають містяни про вплив вуличного мистецтва на соціокультурний простір міста та шляхи його поширення з точки зору врахування інтересів міської громади і місцевої влади.

Інформаційною основою дослідження об'єктів вуличного мистецтва у містах України є повідомлення у засобах масової інформації, резуль-

тати інтерв'ювання мешканців, а також спостереження авторів на вулицях міст. Було проведено 12 напівструктурованих глибинних інтерв'ю з мешканцями Києва у квітні-травні 2021 року, які передбачали окремі блоки питань щодо сприйняття об'єктів стріт арту, їх тематики, розміщення та необхідності контролю і регулювання їх створення та поширення. Віковий діапазон респондентів коливається від 20 до 71 року, а місце проживання – від багатоквартирного будинку до приватної садиби у районах старої та нової забудови міста між центральною його частиною та окраїнами. Спостереження на вулицях проводилися авторами протягом 2017-2021 років у містах Київ, Дніпро, Харків, Одеса, Полтава, Кам'янець-Подільський, Краматорськ.

Результати дослідження.

Місце стріт арту в міському просторі.

Вуличне мистецтво стало «глобальною сенсацією» з кінця 1990-х років, а скорочення публічних просторів у містах, їх надмірна комерціалізація стимулюють його далі поширення [20]. Якщо стріт арт додає цінність місцю і сприяє згуртованості громади, він формує символічний капітал та є певною мірою виміром брендингу місця [21]. Об'єкти вуличного мистецтва є частиною символічного простору міста, тобто простору об'єктів соціального світу, що мають соціокультурне значення, насичені соціокультурним сенсом – як матеріальних предметів (будинків, споруд, парків тощо), так і людей, засобів комунікації, соціальних відносин між членами громади [22]. Вони є символічним відображенням настроїв суспільства, актуальних соціальних проблем.

Вуличне мистецтво розглядають як нову міську норму, що здатна «нормалізувати» не тільки міський простір, зробити його більш привабливим, але й водночас «нормалізувати» мистецтво [23]. Важливим є його значення у створенні «справедливого міста», забезпеченні демократії та різноманітності, залученні громадськості до прийняття рішень, реалізації проєктів регенерації міст, колишніх індустріальних територій (brown-fields and greyfields) [7, 24, 25], поліпшенні візуальної якості окремих районів і міста в цілому [26], формуванні його позитивного іміджу, створенні нових просторових орієнтирів (нових маршрутів, практик та норм взаємодії із простором міста) та нових маркерів-символів, що забезпечують «символічне забарвлення простору» [27], формування ідентичності мешканців. В умовах геополітичних впливів стріт арт може розглядатися як «вираз локальності» [28].

Стріт арт – це зазвичай несанкціоноване мистецтво, що «втручається у місто» [19]. Він включає теги (написання імені), стилізовані на-

писи, «поетичний штурм», трафарети, наклейки, постери, перероблені вуличні вивіски, домальовані дорожні знаки, мурали, лазерні проєкції, флешмоби, «партизанське городництво», вуличні інсталяції, мініскульптури, ярнбомбінг (вуличне в'язання) [19, 20, 29]. Вуличне мистецтво має різні форми (написи, наклейки, малюнки тощо), контент (повідомлення, наміри і т.п.), розміщення, зрозумілість, правовий статус [19]. Вуличне мистецтво розглядається як засіб активного облаштування території, місцями розміщення об'єктів якого є стіни будинків, інших будівель, зупинки транспорту, світлофори, вказівники тощо. Через нього відбувається споживання публічних просторів [30].

Стріт арт як система знаків та символів формує наративи, що відображають, інформують і конструюють ідентичності, створює «спільні наративи» між людьми, ідеями та містом. Це «вікно у міську душу» [31]. Об'єкти стріт арту розглядають як засоби спілкування різноманітних прошарків суспільства, ефективні інструменти діалогу про соціальні проблеми сьогодення та як чинники трансформації соціокультурного простору.

Сприйняття об'єктів вуличного мистецтва.

Складність дослідження сучасного стріт арту зумовлена неоднозначним відношенням суспільства до їх створення. Його інколи ототожнюють з графіті, який вважають першоосновою розвитку цього виду мистецтва. Проте, на відміну від графіті, стріт арт передбачає творче використання трафаретів, наклейок, плакатів, в'язаних виробів, настінних малюнків, а головне – він передбачає публічність. Тобто, якщо графіті – це про авторів і для закритої спільноти, то стріт арт – це для громадськості [5]. Стріт арт зрозумілий перехожим і часто передає явні повідомлення, іноді з вираженим політичним характером; інформує глядача про передбачуваний сенс, використовуючи візуальні сигнали, а іноді і текст [28]. Для більшості мешканців міста графіті є візуальним «шумовим забрудненням» міста [4].

Існує традиційне уявлення, що графіті малюють представники бідних прошарків суспільства, робочого класу, меншин, а стріт арт – представники середнього класу. Хоча як свідчать дослідження, у деяких містах (наприклад, Берліні чи Будапешті) графіті також створюють представники середнього класу. Водночас між авторами графіті та стріт арту може існувати ворожнеча, що проявляється у боротьбі символів та образів, візуальним проявом якої є теги (написи) на муралах [20].

Вважається, що вуличні художники кардинально відрізняються за підходом до стріт арту

від підлітків, які здебільшого є авторами графіті [4].

Сприйняття різних об'єктів стріт арту мешканцями Києва суттєво відрізняється. Дослідження показало, що приємні відчуття виклика-

ють передусім мурали та міні-скульптури, оскільки на думку респондентів вони прикрашають місто, вносять «яскравість» до «сірості». Найпривабливішими респонденти назвали мурали «The Visionary» та «Леся Українка» (рис. 1).



Рис. 1. Мурали «The Visionary» та «Леся Українка», місто Київ (фото Ю. Олішевської, 2021 рік).

Fig. 1. Murals "The Visionary" and "Lesya Ukrainka", Kyiv (photo by Yu. Olishevskaya, 2021)

Там гарні, теплі кольори використано, теплі почуття викликають, приємна картинка (СА 2, 44 роки, жінка).

Хочеться зупинитися, подумати, розглянути їх – це для мене гарно (СА 6, 54 роки, жінка).

У той же час практично однозначно негативним є сприйняття респондентами графіті. Хоча серед науковців дискусія щодо графіті триває: одні його бачать як вандалізм, інші – як мистецтво (art) [5]. Графіті – це «бунтарський вандалізм», вихід для творчого самовираження, претензія на простір і, для деякого, спосіб утвердити свою автономію від домінуючих соціальних груп, зокрема держави [32]; поява графіті є ознакою занепаду, це кримінал, псування, хоча може вбачатися і як протест і навіть як поліпшення [4, 33].

У контексті долучення до даної дискусії варто виділити основні аргументи щодо негативно-го сприйняття графіті, які були названі респондентами: це не є мистецтвом; це не естетично; це маркер занедбаності та занепаду; це «брудно»; це самовираження однієї особи, яке нецікаве та незрозуміле іншим.

Мені складно вважати графіті мистецтвом. З моєї точки зору, це більше схоже саме на вандалізм. Від того виникало лише почуття неохайності, бруду, занедбаності (СА 11, 22 роки, чоловік).

Графіті, різні надписи – до них я негативно ставлюся. Вони якраз забруднюють простір (СА 12, 61 рік, чоловік).

Графіті у Києві не подобаються, тому що одна людина самовиражається у тих місцях, що створені не для цього (СА 9, 22 роки, жінка).

Графіті я не розумію, не подобається. Думаю, це не наше, це щось чуже (СА 5, 64 роки, жінка).

Тематика міського вуличного мистецтва.

У результаті проведених інтерв'ю ми з'ясували, що пріоритетними темами об'єктів стріт арту для мешканців Києва є природа, пейзажі, видатні особи із незаплямованою репутацією, представники найважливіших професій, національна, патріотична та соціальна тематика, яка спонукає до роздумів. Позитивно сприймаються тексти відомих віршів, цитати філософів та письменників. При цьому респонденти вва-

жають локальний контекст об'єктів стріт арту найважливішим. Негативним є їх відношення до політичної тематики, що супроводжується різними закличками.

Патріотичні мурали – це добре. Соціальні питання виражені в муралах – це добре... Щоб мав пізнавальний характер, виховний, але не комерційний. Потрібно щоб мурали спонукали до роздумів і позитивних думок (СА 1, 51 рік, чоловік).

Подобається щось національне, патріотичне. Природа – це завжди гарно (СА 4, 21 рік, жінка).

Локальний контекст важливіший, хоча нічого не маю проти глобальних тем (СА 11, 22 роки, чоловік).

Мурал «Материнство» в Києві, що був створений

у 2020 році на стіні будинку у житловому комплексі «Лебединий» (рис. 2) і є найвищим в Україні (78 м), викликав у респондентів різні почуття: від захоплення до критики. Це пов'язано з тим, що респонденти вважають, що важливим аспектом тематики муралів має бути відсутність дискримінації за релігійною, національною, гендерною, віковою ознаками. Вони не повинні когось ображати чи нагнітати на думки про власну нікчемність.

Не сподобався мурал жінки із дитиною. Думаю, він недоречний. Добре якщо у вас є діти, але якщо в когось немає і не може бути, хтось не хоче, а у когось немає мам... Потрібно щось нейтральне, щоб нікого не образити (СА 7, 20 років, жінка).

Важливою темою муралів в Україні є актуа-



Рис. 2. Мурал «Материнство», місто Київ (фото Ю. Олішевської, 2020 рік).

Fig. 2. Mural "Motherhood", Kyiv (photo by Yu. Olishevskaya, 2020)

льні екологічні проблеми. Така тематика представлена, зокрема, у Києві (мурали «Зникаючий кашалот», «Рись Закарпаття»), Одесі («Останній тюлень», «Птах – шилоклювка»), у Харкові (найбільший за площею мурал-триптих «Кити»). У 2020 році комунальними службами міста Харкова було виконано підсвічування муралу «Кити» у вечірній час, що посилювало його привабливість, сприяло підвищенню безпеки перебування на вулиці у нічний час та покращило загальне сприйняття району.

Важливість знання у житті суспільства вдало підкреслена муралами на стінах закладів вищої освіти у Києві. Зокрема, це мурал «Життя без науки – смерть», що створений на стіні одного з корпусів Національного університету «Києво-Могилянська академія» та «The Impact of

Discovery» на будівлі Центру культури та мистецтв Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (для порівняння пропонуємо вигляд будівлі до створення муралу (рис. 3а) та сучасний вигляд із муралом (рис. 3б)).

Об'єктами стріт арту через художнє втілення певної ідеї у естетично привабливі зображення автори зазвичай намагаються привернути увагу та донести соціально важливі проблеми. Тому все частіше вплив стріт арту порівнюють із соціальним викликом, «соціальною зброєю», призначенням якої є зміна свідомості та заклик до рішучих змін у суспільстві [6, 9, 34, 35] (рис. 4).

Мотивація створення об'єктів вуличного мистецтва.

Об'єкти стріт арту створюють для відновле-

ння та «б'ютифікації» публічних просторів, інколи – у рамках програм регенерації занепадаючих територій. Така практика особливо поширена у містах, де вартість нерухомості та орендної плати за житло тісно пов'язана зі станом навко-

лишніх публічних просторів. Також за допомогою об'єктів вуличного мистецтва намагаються приховати певні недоліки будівлі та оновити старі стіни, щоб покращити сприйняття житлового кварталу чи мікрорайону. Подекуди, твори вули-

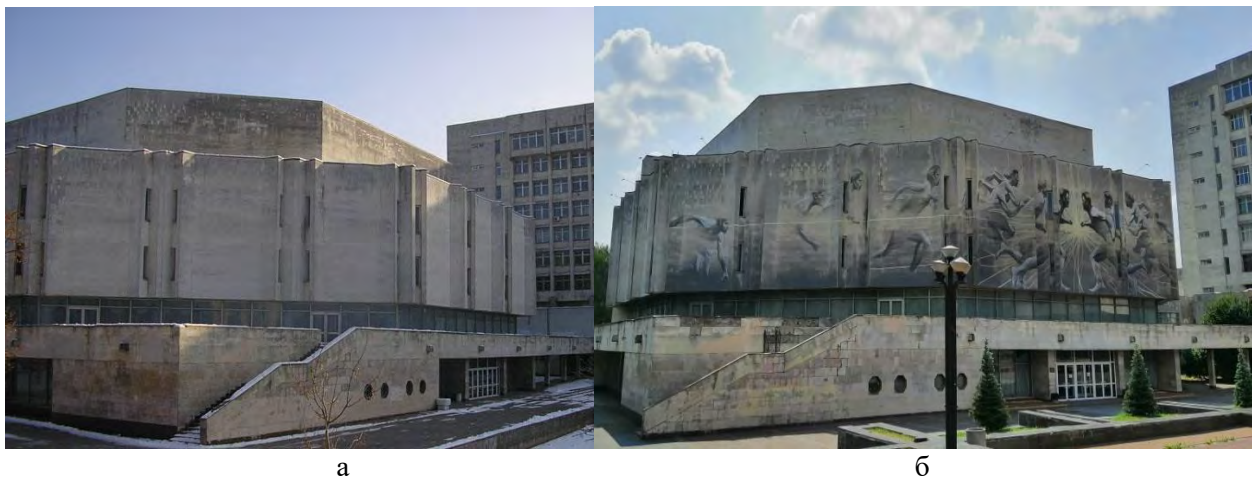


Рис. 3. Будівля Центру культури та мистецтв НТУУ «КПІ» до створення муралу (а) та з муралом (б), місто Київ (а – фото з сайту <https://kpi.ua/hall>, б – фото Ю. Олішевської, 2020 рік).

Fig. 3. The building of the Center of Culture and Arts of NTUU "KPI" before the creation of the mural (a) and with the mural (b), Kyiv (a - photo from the site <https://kpi.ua/hall>, b - photo by Yu. Olishevskaya, 2020)



Рис. 4. Трафарети на стіні, зокрема з написом «West is best!» («Захід найкращий!»), місто Кам'янець-Подільський (фото Н. Провотар, 2021 рік).

Fig. 4. Stencils on the wall with the inscription "West is best!", Kamianets-Podilskyi (photo by N. Provotar, 2021)

чного мистецтва не лише покращують сприйняття публічних просторів міст, але й певною мірою виступають туристичними атракціями. Я наслідок, у містах з'являються «ландшафти креативних стін», які стають новими туристичними атракціями, а надалі можуть стати й об'єктами культурної спадщини міст [36].

У містах України також мають місце позитивні зміни у сприйнятті образів міст внаслідок покращення непривабливого вигляду будівель за рахунок створення муралів, особливо у поєднанні із вдалим ландшафтним дизайном прилеглої території та використанням підсвічування. Яскраві роботи з привабливими зображеннями формують позитивне сприйняття міського простору. Прикладами його естетизації засобами стріт арту є,

наприклад, роботи «Водоспади», створені на стінах сусідніх будинків по вулиці Златоустівська у місті Києві (рис. 5).

Одним із найпоширеніших заходів для створення об'єктів вуличного мистецтва є арт-фестивалі. Перший арт-фестиваль «СтрітАрт-Фест» відбувся в Україні у 2009 році у Харкові і мав 32 учасники, що створили близько 40 об'єктів стріт арту, в тому числі шість муралів («Шахтар», «Ми перші», «Цирк», «Космічна їжа», «Солдат» та «Жовта риба»). Наступна активізація муралізму у містах України відбулася напередодні чемпіонату з футболу Євро-2012. Так, наприклад, під час арт-фестивалю «Muralissimo» (2010-2011 рр.) у Києві було створено сім муралів.

У 2013 році в межах проекту «Гордість Харкова» було створено серію муралів відомих харків'ян у стилі портрет: «Юрій Гагарін», «Леонід Биков», «Лев Ландау», «Людмила Гурченко»,

«Петро Набойченко», два стінописи «Клавдії Шульженко», «Льотчиця Гризодубова». В Одесі у 2014 році в межах проекту «Geneva Art Wall» було створено мурал «Стіна видатних одеських



а



б

Рис. 5. Естетизація міського простору засобами стріт арту: мурали «Водоспади» (а) та графіті (б) на будинках, що знаходиться неподалік та мають схожі характеристики (однакова поверховість, період побудови, наявність глухих стін без вікон), місто Київ (фото Ю. Олішевської, 2020 рік).

Fig. 5. Aesthetics of urban space by means of the street art: murals "Waterfalls" (a) and graffiti (b) on houses nearby which have similar characteristics (same number of storeys, period of construction, the presence of blank walls without windows), Kyiv (photo by Yu. Olishevskaya, 2020)

персонажів».

Найбільша кількість арт-фестивалів відбувається у Києві, Харкові та Одесі. Так, у 2015 році в рамках арт проектів «City Art» та «Dynamic Urban Culture Kyiv» у Києві було створено 23 мурали, у 2016-2017 рр. у рамках фестивалів «Mural Social Club» та «Art United Us» створили кілька десятків муралів у віддалених районах Києва. У 2016-2017 рр. в Одесі відбувся арт фестиваль «Odessa Street Art Festival», а також було реалізовано арт проекти «Animalbws» і «Odessarium». У 2017 році у Дніпрі вперше відбувся арт фестиваль «Mural Fest Dnipro», в рамках якого було створено десять муралів. У 2018 році у Києві в рамках арт-проекту Національної єдності «MoreThanUs» було створено вісім тематичних муралів. У 2019 році у Харкові відбувся IV Міжнародний фестиваль вуличного мистецтва «Харків SmART Fest», в межах якого створили чотири мурали.

Динаміку кількості створених під час арт-фестивалів муралів у окремих містах України наведено на рис. 6.

Розподіл загальної кількості муралів, створених впродовж 2009-2020 рр. під час та поза межами арт-фестивалів представлений на рис. 7.

Доволі поширеною практикою в Україні є створення об'єктів стріт арту на замовлення забудовників на стінах будинків нових житлових комплексів. Прикладом цього є мурали житлового комплексу «Artville» в Одесі чи «Family Park» у Полтаві (рис. 8).

Значно активізувалося створення муралів у процесі підготовки та напередодні проведення Чемпіонату по футболу Євро-2012, що можна пояснити прагненням містян показати, що їх місто чи мікрорайон «у тренді» загальносвітових тенденцій поширення вуличного мистецтва, з одного боку, та мовчазною згодою чи навіть підтримкою з боку місцевої влади задля поліпшення іміджу окремих будівель чи районів, з іншого.

Потужним поштовхом для муралізму в Україні стали події 2014 року, коли в різних містах почали створювати мурали поза будь-якими проектами та фестивалями. Основною темою цих робіт було протистояння агресії Російської Фе-

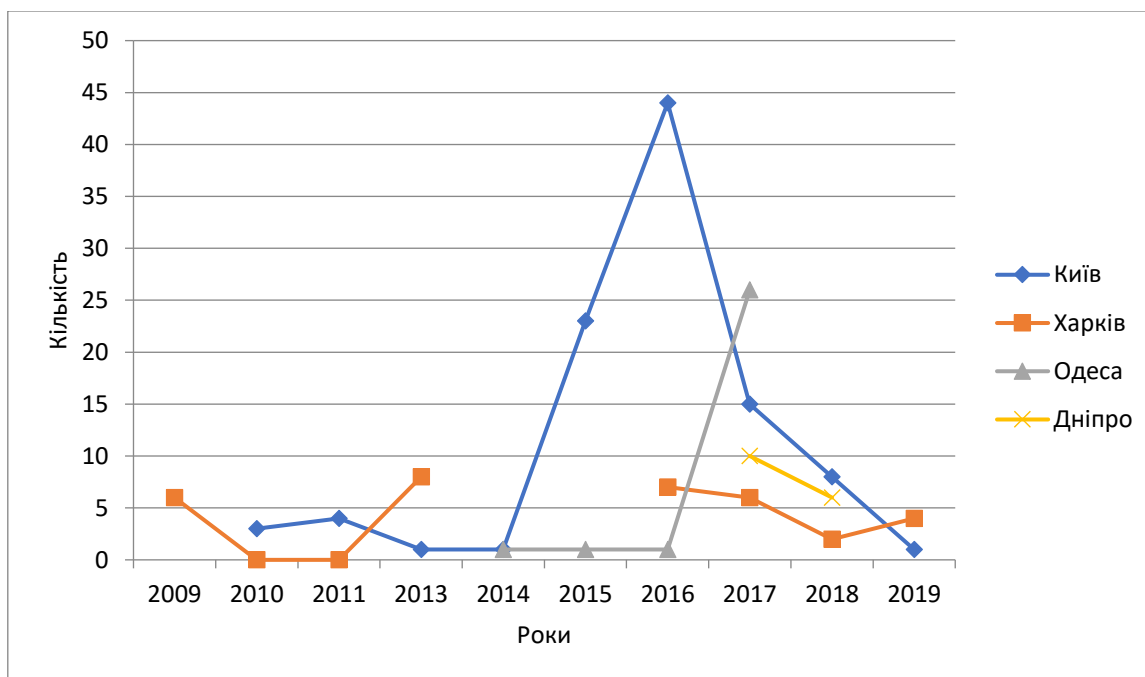


Рис. 6. Мурали створені у найбільших містах України під час арт-фестивалів

Джерело: ART Odessa. Інтерактивна карта:

https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=1HWA9Wr9R_ZCnf-41cqiFpquj-47-93o7&ll=46.4727618327276%2C30.740818831538476&z=17; Карта муралів Харькова: <https://mural.kh.ua/mural-map/>; Мурали Києва. Інтерактивна карта: <https://kyivmural.com/uk/index>

Fig. 6. The murals, which were created during art festivals in the biggest cities of Ukraine

Source: ART Odessa. Interactive map:

https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=1HWA9Wr9R_ZCnf-41cqiFpquj-47-93o7&ll=46.4727618327276%2C30.740818831538476&z=17; Mural map of Kharkiv: <https://mural.kh.ua/mural-map/>; The murals of Kyiv. Interactive map: <https://kyivmural.com/uk/index>

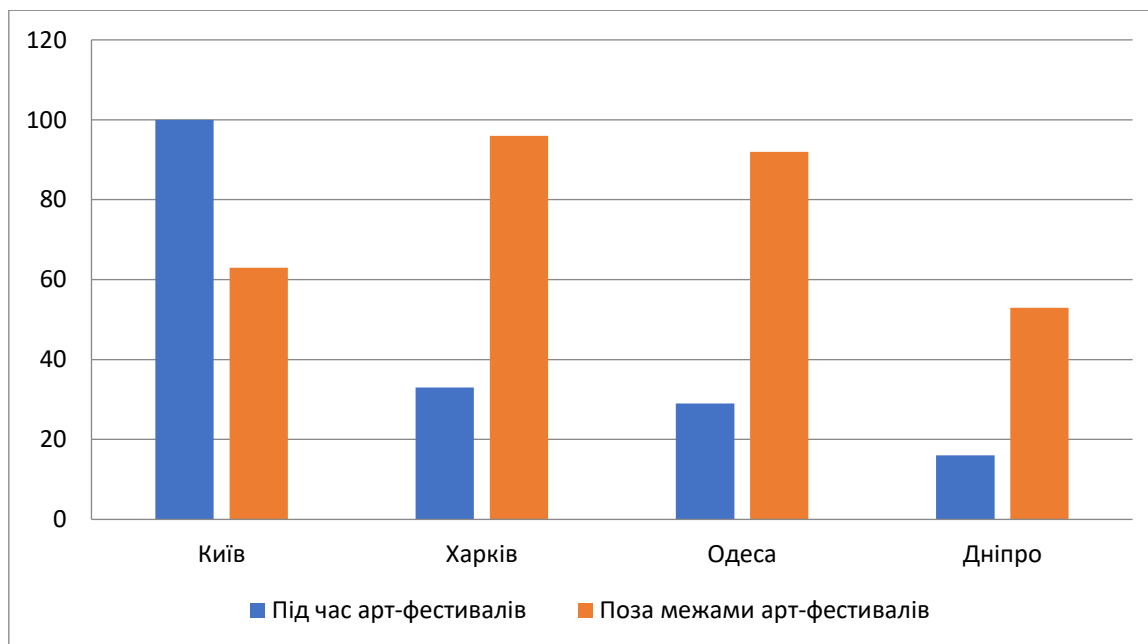


Рис. 7. Розподіл кількості муралів, створених під час та поза межами арт-фестивалів у найбільших містах України у 2009-2020 рр.

Fig. 7. Distribution of the number of murals created during and outside art festivals in the biggest cities of Ukraine in 2009-2020



Рис. 8. Об'єкти стріт арту у новозбудованому житловому комплексі, місто Полтава (фото Н. Провотар, 2020 рік).

Fig. 8. Street art objects in a newly built residential complex, Poltava (photo by N. Provotar, 2020)



Рис. 9. Мурал «Дівчина-преселенка», місто Дніпро (фото Н. Провотар, 2020 рік).

Fig 9. Mural "Migrant Girl", Dnipro city (photo by N. Provotar, 2020)

дерації та патріотична символіка. Тема вимушених переселенців знайшла своє відображення у Дніпрі на муралі «Дівчина-переселенка», який містить напис «Дім – це не там, де ти живеш, а там, де тебе розуміють» (рис. 9).

У 2020 році тема коронавірусу не залишила без уваги митців стріт арту. Зокрема, на Набережній Дніпра у Києві було створено мурал із зображенням лева у захисній масці.

Розміщення об'єктів вуличного мистецтва

Щодо місць розміщення об'єктів стріт арту, то респондентами було висловлено кілька думок. По-перше, вони можуть бути в будь-якому районі міста, але важливими є їх соціокультурна відповідність середовищу, доречність розміщення, «вбудованість» у міський простір [27]:

Мистецтву всюди є місце, головне – гармонія (СА 11, 22 роки, чоловік).

Важливо щоб вони вписувалися у навколишній простір (СА 5, 64 роки, жінка).

По-друге, респонденти вважають, що мурали можуть бути розміщені як рівномірно по місту, щоб урізноманітнити його, так і лише в промислових зонах чи спальних районах, де сконцентровані старі недоглянуті будівлі. Невдале планування окремих мікрорайонів міста, особливості житлової та промислової забудови можуть негативно впливати на образ міста, рівень психо-емоційного задоволення містян від його окремих кварталів, а також на візуальне сприйняття мікрорайонів, наприклад, більшості спальних районів з одноманітною забудовою.

По-третє, на думку респондентів, об'єкти стріт арту недоречні на історичних будівлях чи архітектурних пам'ятках центральної частини

міста, де власне потрібно «дивитися на архітектуру». Навіть висловлювалась думка, що на таких будівлях стріт арт має бути забороненим.

Головне щоб було враховано, де саме знаходиться мурал, щоб він не був на історичних будівлях (СА 3, 43 роки, жінка).

Респонденти, які проживають у новозбудованих житлових комплексах, переважно не хотіли б, щоб на їх будинках були об'єкти стріт арту. Ті, хто мешкають в будинках старої забудови, допускають можливість появи муралів на стінах, але однозначно проти графіті, трафаретів та наклею.

Я живу в новому житловому комплексі, який витримує свій стиль, і стріт арт був би просто не до місця (СА 11, 22 роки, чоловік).

У процесі дослідження ми виявили, що в українських містах поширена практика залучення засобів стріт арту для естетичного поліпшення міського простору, а мурали створюють не лише на стінах житлових будинків, навчальних закладів, у промислових зонах, на трансформаторних будках, високих парканах, підпірних стінках набережних, але й на стінах відомчих установ. Вдалими прикладами є створення муралів, які прямо чи опосередковано підкреслюють значення певних установ. До таких стінописів, де посилено не лише функціональне призначення будівлі, але й загальне сприйняття прилеглої території, належить мурал «Rise up in the dirt», створений на будівлі поліції Печерського району міста Києва у 2017 році (рис. 10). На муралі символічно відображено, як можна «піднятися із бруду» за умов, коли представники влади є людьми та відкритими.



Рис. 10. Мурал «Rise up in the dirt», місто Київ (фото Ю. Олішевської, 2020 рік).

Fig. 10. Mural "Rise up in the dirt", Kyiv (photo by Yu. Olishevskaya, 2020)

Регулювання процесу створення об'єктів вуличного мистецтва.

Можна вести мову про різні аспекти зв'язку між естетичним та політичним впливами вуличного мистецтва [20]: стріт арт може розглядатися як мистецький засіб протесту проти комерціалізації, протидії рекламі та консьюмеризму, захисту публічних просторів; стріт арт може бути спрямований на демократизацію, що зокрема дозволяє показати мистецькі твори, які б не побачили люди, які не цікавляться мистецтвом (дешева некомерційна форма мистецтва); стріт арт зазвичай сфокусований на локальних проблемах та місцевій політиці; стріт арт може мати глобальний характер, але зі спробами додати місцевої специфіки.

Щодо українських міст, то нерівномірність розподілу та доступності публічних просторів висуває на перший план необхідність врахування та подолання цього в процесі міського планування. При цьому воно має враховувати інтереси громади, бути партисипативним, не обмежуватися лише формальними кількісними показниками забезпеченості та доступності [37]. Для запобігання самовільному розміщенню чи протестам місцевих мешканців щодо нових об'єктів вуличного мистецтва необхідним інструментом досягнення компромісу є громадські обговорення проєктів їх створення, а самі об'єкти стають проявами постійних переговорних процесів, які сприяють формуванню «справедливого міста» [11, 24, 38].

Однозначною є думка респондентів про необхідність контролю та регулювання вуличного

мистецтва. Переважно вони зазначають, що це має належати до функцій департаменту з благоустрою території міста, а власне прийняття рішення про створення об'єктів вуличного мистецтва, насамперед, муралів чи міні-скульптур повинне бути узгодженим із місцевою громадою шляхом опитування мешканців щодо тематики і локації та голосування за створення того чи іншого об'єкту.

Громади мають вирішувати де і які саме мурали чи інші об'єкти мають бути. Від людей має бути ініціатива (СА 8, 46 років, чоловік).

Важливою є і думка респондентів про те, що об'єкти стріт арту повинні створювати професіонали. За такої умови вони будуть естетичні та змістовні:

Якщо є запит громадськості, то можна обрати роботу за опитуванням чи дати волю митцям в межах конкурсу (СА 11, 22 роки, чоловік).

З метою поліпшення іміджу міста та приваблення туристів, міська влада може створювати умови для розвитку стріт арту, але контролюваного. Але, як наслідок, це може зумовлювати «туристифікацію міського мистецтва» (urban art touristification) [39].

Новим інструментом партисипації, що сприяв появі об'єктів стріт арту у містах України, стали програми бюджету участі. У таблиці 1 наведено окремі проєкти стріт арту, які були подані на конкурс та реалізовані або успішно пройшли відбір для реалізації в рамках цієї програми у Києві, Харкові та Дніпрі.

Таблиця 1

Проєкти стріт арту, які були подані на конкурс для реалізації через бюджет участі

Місто	Рік	Назва проєкту
Харків	2018	Мурал супергероїв Marwel на вул. академіка Павлова
	2019	Мурал-триптих «Синій кит» на проспекті Людвіга Свободи, мурал «Вишиванка» на вул. Миру, мурал «Обереги Харкова» у провулках Троїцький та Воробйова, мурал «Дівчина в пісках» на вул. Воробйова, мурал «Старий і море» на вул. Маяковського
	2020	Доповнена реальність у міському просторі
Київ	2018	Мурал на прибудинковому тепловій пункті на вул. Панаса Мирного
	2021	Мурал на трансформаторній підстанції на вул. Героїв Сталінграду
Дніпро	2019	Бронзові міні-скульптури «Відчуй Дніпро»
	2021	Місто графіті

Джерело: складено авторами за даними офіційних сайтів програми «Бюджет участі» у містах Київ, Харків, Дніпро.

Так, у рамках програми «Бюджет участі» у Харкові було створено серію міні-муралів у вигляді десяти марок з рідкісними рослинами та десяти міні-муралів «Зникаючі птахи Харківської області». У 2020 році завдяки програмі «Бюджету участі» у місті було створено мурал «Ус-

пінний Харків» та масштабний мурал (площею 120 м²) із зображенням відомих споруд Харкова.

Висновки. Проведене дослідження дозволило поглибити розуміння місця вуличного мистецтва у міському просторі. Виявлено особливості тематичного спрямування, зумовленості, роз-

міщення та сприйняття мешканцями об'єктів вуличного мистецтва у містах України.

Аналіз об'єктів стріт арту показав, що в цілому спостерігаються тенденції до децентралізації їх розміщення у міському просторі та регіоналізації вуличного мистецтва, що співзвучне з висновками [36]. Тобто відбувається поширення об'єктів стріт арту від центру міст до периферії (хоча, зрозуміло, що графіті традиційно характеризуються вищою концентрацією на міських окраїнах), а поряд зі столичним містом та головними регіональними центрами об'єкти стріт арту стають звичними елементами міського простору інших міст.

Головним спонукальним мотивом створення нових об'єктів вуличного мистецтва є співпадіння інтересів місцевих громад та місцевої влади щодо покращення і оновлення міського простору та окремих будівель і територій. Більше того, ці процеси знайшли відгук і у забудовників, які активно використовують об'єкти вуличного мистецтва для підвищення атрактивності нових житлових комплексів. Проте, зрозуміло, що методи реалізації, тематична спрямованість та місце розташування можуть викликати конфлікти та навіть протести з боку окремих мешканців, спільнот та представників муніципалітетів.

Важливими тригерами «сплеску» муралізації в Україні ставали міські арт-фестивалі та ме-

га-події, які певною мірою віддзеркалювали прагнення мешканців та міської влади показати, що вони в тренді «модного» оновлення публічних просторів. Поза арт-фестивалами та мега-подіями істотний вплив на створення та тематику об'єктів стріт арту мали соціально-політичні події та соціальні проблеми, пов'язані з військовою агресією Російської Федерації, окупацією та вимушеним переселенням, а в останні роки – й поширенням пандемії Covid-19. Це дає підстави вести мову про «пост-травматичну муралізацію», подібно до того, як це спостерігалось у містах, що зазнали значних пошкоджень внаслідок природних лих чи соціальних негараздів, як наприклад [40].

При загалом позитивному сприйнятті вуличного мистецтва респонденти наголошували на необхідності його контролю та регулювання. Новим інструментом партисипативного створення об'єктів вуличного мистецтва стали програми бюджету участі, які головню носять нейтральну тематичну спрямованість.

Отже, об'єкти вуличного мистецтва за порівняно короткий проміжок часу стали звичною практикою оновлення, «б'ютіфікації» та «європеїзації» міського простору багатьох українських міст, а фасади та стіни будівель перетворюються на «поверхні для спілкування» [41] авторів з мешканцями міста.

Список використаної літератури

1. Джекобс Дж. *Смерть і життя великих американських міст* / Дж. Джекобс. – К.: CANactions, 2021. – 480 с.
2. Гел Й. *Міста для людей* / Й. Гел. – К.: Основи, 2018. – 280 с.
3. Лендри Ч. *Креативний город* / Ч. Лендри. – М.: Классика XXI века, 2006. – 399 с.
4. McAuliffe C. *Graffiti or Street Art? Negotiating the Moral Geographies of the Creative City* / C. McAuliffe // *Journal of Urban Affairs*. – 2012. – Vol. 34(2). – P. 189-206. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9906.2012.00610.x>
5. Chang T.C. *Writing on the Wall: Street Art in Graffiti-free Singapore* / T.C. Chang // *International Journal of Urban and Regional Research*. – 2019. – Vol. 43(6). – P. 1046-1063. <https://doi.org/10.1111/1468-2427.12653>
6. Baldini A. *An Urban Carnival on the City Walls: The Visual Representation of Financial Power in European Street Art* / A. Baldini // *Journal of Visual Culture*. – 2015. – Vol. 14(2). – P. 246-252. <https://doi.org/10.1177/1470412915592883>
7. Moldoveanu M. (2014). *Urban regeneration and more opportunities for artistic expression and cultural consumption* / M. Moldoveanu, V. Franc // *Procedia. Economics and Finance*. – 2014. – Vol. 8. P. 490-496.
8. Гаврилаш І.С. *Мурал-арт у контексті масової культури XXI століття* / І.С. Гаврилаш // *Питання культурології*. – 2018. – Вип. 34. – С. 133-142. <https://doi.org/10.31866/2410-1311.34.2018.154059>
9. Гаврилаш І.С. *Муралі та графіті в сучасній Україні: особливості та відмінності* / І.С. Гаврилаш // *Культура України*. – 2018. – Вип. 62. – С. 235-244. <https://doi.org/10.31516/2410-5325.062.23>
10. Гаврилюк Б. *Український мурал-арт у контексті світового мистецтва* / Б. Гаврилюк // *Вісник Львівської національної академії мистецтв*. – 2018. – Вип. 37. – С. 241-254.
11. *Урбаністична Україна: в епіцентрі просторових змін: монографія* / за ред. К. Мезенцева, Я. Олійника, Н. Мезенцевої. – Київ: Фенікс, 2017. – 438 с.
12. Мезенцев К.В. *Сучасні трансформації публічних просторів Києва: передумови, прояв та специфіка* / К.В. Мезенцев, Н.І. Мезенцева // *Часопис соціально-економічної географії*. – 2017. – Вип. 22(1). – С. 39-46.
13. Мезенцев К. *Київські мікрорайони соціалістичних часів: океан сірості проти веселкофікації?* / К. Мезенцев, Н. Провотор // *CANactions Magazine. MIKRORAYONS*. – 2020. – №1. – С. 94-110.
14. Turkington R. *Britain. High-rise housing as a 'doubtful guest'* / R. Turkington // *High-rise housing in Europe. Current trends and future prospects. Housing and urban policy studies*, 28. / Ed. by Turkington R., van Kempen R., Wassenberg F. – Delft University Press. – P. 147-164.
15. Masliak P.O. *Influence of street-art on the formation image and the principles of street-art geographical zones* / P.O. Masliak, O.Y. Hryniuk, K.A. Kazantseva // *Journal of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series "Geology. Geography. Ecology"*. – 2017. – Vol. 46. – P. 106-112. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2017-46-15>

16. Olishevskaya Yu. (2020). Murals as the newest tourist resources: the case of Kyiv / Yu. Olishevskaya // *Journal of Geography, Geography and Geoecology*. – 2020. – Vol. 29(2). – P. 364–376. <https://doi.org/10.15421/112032>
17. Романів О.Я. Стріт-арт в туристичному просторі Житомир / Романів О.Я., Рибачок О.М., Савельєва Д.В. // *Географія та туризм*. – 2019. – Вип. 54. – С. 41–49. <https://doi.org/10.17721/2308-135X.2019.54.41-49>
18. Hawkins H. *Geography and art. An expanding field: Site, the body and practice* / H. Hawkins // *Progress in Human Geography*. – 2012. – Vol. 37(1). – P. 52–71. <https://doi.org/10.1177/0309132512442865>
19. Conklin T.R. *Street Art, Ideology, and Public Space* / T.R. Conklin. // *Dissertations and Theses*. – 2012. – Paper 761. – 332 p. <https://doi.org/10.15760/etd.761>
20. Molnár V. *Street Art and the Changing Urban Public Sphere* / V. Molnár // *Public Culture*. – 2017. – Vol. 29(2). – P. 385–414. <https://doi.org/10.1215/0892363-3749117>
21. Dovey K. *Placing graffiti: creating and contesting character in innercity Melbourne* / K. Dovey, S. Woolan, I. Woodcock // *Journal of Urban Design*. – 2012. – Vol. 17(1). – P. 21–41. <http://dx.doi.org/10.1080/13574809.2011.646248>
22. Соціологія міста: навчальний посібник. / Л. В. Малес, В. В. Середа, М. О. Соболевська, Ю. Г. Сорока та ін. – Донецьк: Ноулідж, 2010. – 464 с.
23. Guinard P. *Art as a new urban norm: Between normalization of the City through art and normalization of art through the City in Montreal and Johannesburg* / P. Guinard, A. Margier // *Cities*. – 2018. – Vol. 77. – P. 13–20. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2017.04.018>
24. Müller A.-L. *Voices in the city. On the role of arts, artists and urban space for a just city* / Müller A.-L. // *Cities*. – 2019. – Vol. 91. – P. 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.04.004>
25. Niemets L. *Research of Brownfields and Greyfields of the City: Theory and Practice*. / L. Niemets, N. Husieva, O. Suptelo, K. Sehida, K. Kravchenko // *Proceedings of the 32nd International Business Information Management Association Conference (IBIMA)* / Ed. by Kh.S. Soliman. – Seville: International Business Information Management Association (IBIMA), 2018. – P. 409–435.
26. Omar S.S. *Bringing the New to the Old: Urban Regeneration through Public Arts* / S.S. Omar, S. Sakip, N.M. Akhir // *Procedia. Social and Behavioral Sciences*. – 2016. – Vol. 234. – P. 515–524.
27. Поднос В. (2017). Муралі – втілення символічної влади для зміни образу міста / В. Поднос, М. Грищенко, І. Вербицький, І. Тищенко // *Mistosite*. – 2017. [Електронний ресурс]. URL: <https://mistosite.org.ua/uk/articles/muraly-vi%D1%96lennya-symvol%D1%96chnovi-vlady-dlya-zm%D1%96ny-obrazu-m%D1%96sta>
28. Christensen M. *The reciprocal city: Performing solidarity – Mediating space through street art and graffiti* / M. Christensen, T. Thor // *International Communication Gazette*. – 2017. – Vol. 79(6-7). – P. 584–612. <https://doi.org/10.1177/1748048517727183>
29. Borghini, S. *Symbiotic Postures of Commercial Advertising and Street Art: Rhetoric for Creativity* / S. Borghini, L. Visconti, L. Anderson, J. Sherry // *Journal of Advertising*. – 2010. – Vol. 39(3). – P. 113–126. <https://doi.org/10.2753/JOA0091-3367390308>
30. Visconti L.M. *Street Art, Sweet Art? Reclaiming the “Public” in Public Place* / L.M. Visconti, J.F. Sherry Jr., S. Borghini, L. Anderson // *Journal of Consumer Research*. – 2010. – Vol. 37. – P. 511–529. <https://doi.org/10.1086/652731>
31. Kendall D. *Street Art: A Window to a City's Soul* / D.Kendall // *Huffington Post*. – 2011. – February, 15. [Електронний документ]. URL: http://www.huffingtonpost.com/dylan-kendall/street-arta-window-to-a-b_823592.html?ir=Los%20Angeles
32. Kramer R. *Painting with permission: legal graffiti in New York City* / R. Kramer. *Ethnography*. – 2010. – Vol. 11(2). – P. 235–53. <https://doi.org/10.1177/1466138109339122>
33. McAuliffe C. *Art and crime (and other things besides...): conceptualising graffiti in the city* / C. McAuliffe, K. Iveson // *Geography Compass*. – 2011. – Vol. 5(3). – P. 128–143. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-8198.2011.00414.x>
34. Park H. *Arts-led revitalization, overtourism and community responses: Ihwa Mural Village, Seoul* / H. Park, J.F. Kovacs // *Tourism Management Perspectives*. – 2020. – Vol. 36. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2020.100729>
35. Ross J. (2017). *In search of academic legitimacy: The current state of scholarship on graffiti and street art* / J. Ross, P. Bengtson, J. Lennon, S. Phillips, J. Wilson // *The Social Science Journal*. – 2017. – Vol. 54(4). – P. 411–419. <https://doi.org/10.1016/j.sosocij.2017.08.004>
36. Martínez-Carazo E.-M. *Creative Mural Landscapes, Building Communities and Resilience in Uruguayan Tourism* / E.-M. Martínez-Carazo, V. Santamarina-Campos, M. de-Miguel-Molina // *Sustainability*. – 2021. – Vol. 13(11), 5953. <https://doi.org/10.3390/su13115953>
37. Мезенцев К.В. Публічні простори через призму партисипативного міського планування – приклад Києва / К.В. Мезенцев, Н.І. Провотор, М.В. Пальчук // *Український географічний журнал*. – 2020. – №2. – С. 30–37. <https://doi.org/10.15407/ugz2020.02.030>
38. Bacharach S. *Street Art and Consent* / S. Bacharach // *The British Journal of Aesthetics*. – 2015. – Vol. 55(4). – P. 481–495. <https://doi.org/10.1093/aesthj/ayv030>
39. Campos R. *Urban Art touristification: The case of Lisbon* / R. Campos, Á. Sequeira // *Tourist Studies*. – 2020. – Vol. 20(2). – P. 182–202. <https://doi.org/10.1177/1468797619873108>
40. Ehrenfeucht R. *Art, public spaces, and private property along the streets of New Orleans* / R. Ehrenfeucht // *Urban Geography*. – 2014. – Vol. 35(7). – P. 965–979. <https://doi.org/10.1080/02723638.2014.945260>
41. Iveson K. *Introduction: Graffiti, street art and the city* / K. Iveson // *City*. – 2010. – Vol. 14(1). – P. 25–32. <https://doi.org/10.1080/13604811003638320>
42. Vilaseca, S. (2012). *From Graffiti to Street Art: How Urban Artists are Democratizing Spanish City Centers and Street* / S. Vilaseca // *Transitions: Journal of Franco-Iberian studies*. – Vol. 8 (1). – P. 9–34.

Уличное искусство в городском пространстве: размещение и восприятия в городах Украины

Наталья Ивановна Проватар¹,

к. геогр. н., доцент кафедры экономической и социальной географии,
¹Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
ул. Владимирская 64/13, г. Киев, 01601, Украина;

Юлия Анатольевна Олишевская¹,

к. геогр. н., доцент кафедры географии Украины;

Константин Владимирович Мезенцев¹,

д. геогр. н., профессор, заведующий кафедрой экономической и социальной географии;

Екатерина Александровна Кравченко²,

к. геогр. н., доцент кафедры социально-экономической географии и регионоведения,

²Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина,
площадь Свободы, 4, г. Харьков, 61022, Украина

В статье углублено понимание места уличного искусства в городском пространстве. Целью исследования является анализ тематической направленности, обусловленности, размещения и восприятия жителями объектов уличного искусства в городах Украины. На основе анализа предыдущих исследований обобщены виды и формы стрит арта, его место в городском пространстве. Исследование основывается на анализе сообщений в средствах массовой информации об объектах уличного искусства, результатах глубинных полуструктурированных интервью жителей Киева, а также наблюдений авторов на улицах нескольких городов Украины.

Анализ объектов уличного искусства в Украине показал, что в целом наблюдаются тенденции к децентрализации их размещения в городском пространстве и регионализации. Видение жителей свидетельствует об их требовании о соответствии новых объектов стрит арта социокультурной среде, уместности размещения, «встроенности» в городское пространство. Выявлено, что важными двигателями активизации уличного искусства в Украине являются городские арт-фестивали, мега-события, социально-политические события и социальные проблемы, инициативы застройщиков, а также программы бюджета участия.

Анализ отношения к тематической направленности стрит арта показал, что приоритетными для жителей Киева являются темы природы, изображения выдающихся лиц с незапятнанной репутацией, представителей важнейших профессий, национальная, патриотическая и социальная тематика, которая побуждает к размышлениям, а также тексты известных стихов и цитаты. Негативным является отношение к политической тематике, которое сопровождается различными призывами. Подтверждено, что более важным видится локальный контекст объектов стрит арта. Показано, что при общем положительном восприятии уличного искусства жители городов заинтересованы в необходимости контроля и регулирования размещения новых объектов с учетом требований партисипативности.

Ключевые слова: город, городское пространство, уличное искусство / стрит-арт, мурал, публичное пространство, размещение, восприятия, Украина.

Street art in urban space: location and perception in Ukrainian cities

Nataliia Provotar¹,

PhD (Geography), Associate professor of Department of Economic and Social Geography,
¹Taras Shevchenko National University of Kyiv, 64/13 Volodymyrska St., Kyiv, 01601, Ukraine;

Yuliia Olishavska¹,

PhD (Geography), Associate professor of Department of Geography of Ukraine;

Kostyantyn Mezentsev¹,

DSc (Geography), Head of Department of Economic and Social Geography;

Kateryna Kravchenko²,

PhD (Geography), Associate Professor Department of Human Geography and Regional Studies,

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

ABSTRACT

Purpose. The purpose of this research was to analyze the thematic orientation, drivers, location and perception by residents of street art in Ukrainian cities. Accordingly, the research questions are as follows: where and which street art pieces are located in cities? what are the main triggers of their spread in urban space? how city residents perceive street art? what dwellers think about impact of street art on socio-cultural space and should street art be regulated in cities?

Research methods. The study is based on an analysis of media reports on street art, the results of in-depth semi-structured interviews with Kyiv residents, and the authors' observations on the streets of several Ukrainian cities. Twelve semi-structured in-depth interviews were conducted with Kyiv residents in April-May 2021, which included blocks of questions on the perception of street art, its subject matter, location and the need to control and regulate their

creation and distribution. The authors conducted observations on the streets during 2017-2021 in the cities of Kyiv, Dnipro, Kharkiv, Odesa, Poltava, Kamyanets-Podilskyi, and Kramatorsk.

Main findings. Based on the previous research, the main forms of street art and their place in urban space are analyzed. The analysis of street art pieces in Ukraine showed that in general there are tendencies of decentralization of their location in the urban space and regionalization. In other words, street art is spreading from the city center to the periphery, and along with the capital city and the main regional centers, street art pieces are becoming common elements of the urban space of other cities and towns. The vision of the residents testifies to their demand for the conformity of new street art pieces to the socio-cultural environment, the appropriateness of placement, and "embeddedness" into the urban space.

It was revealed that key drivers of street art booming in Ukraine are urban art festivals, mega events, socio-political events and social troubles, developers' initiatives, as well as participatory budgeting programs. At the same time, the methods of implementation, thematic orientation and location of street art can cause conflicts and protests from individual residents, social movements, and municipalities as well.

An analysis of the attitude to the thematic orientation of street art showed that the topics of nature, images of prominent people with an unblemished reputation, representatives of the most important professions, national, patriotic and social topics that encourage reflection, as well as texts of famous poems and quotations are most welcoming for Kyiv residents. The attitude to political issues accompanied by various appeals is distinctly negative. It has been confirmed that the local context of street art objects is considered as more important. It is shown that with the generally positive perception of street art, city dwellers are interested in the need to control and regulate the location of new murals and other street art pieces taking into account the public participation principles. In a relatively short period, street art have become a common practice of renewal, "beatification" and "Europeanization" of the urban space of many Ukrainian cities.

Scientific novelty and practical value. The article develops the understanding of the place of street art in the urban space revealing the main peculiarities of the location, distribution and perception of street art in Ukrainian cities. The practical value of the study lies in the focus on identifying prospects for the implementation of the principles of participatory urban planning in the context of the creation of new street art pieces as a mean of improving public spaces.

Keywords: city, urban space, street art, mural, public space, location, perception, Ukraine.

References

- Jacobs, J. (2021). *The Death and Life of Great American Cities*. Kyiv, CANactions. [In Ukrainian]
- Gehl, J. (2018). *Cities for People*. Kyiv, Osnovy. [In Ukrainian]
- Landry, Ch. (2006). *The Creative City*. Moscow: Classics XXI [In Russian]
- McAuliffe, C. (2012). Graffiti or Street Art? Negotiating the Moral Geographies of the Creative City. *Journal of Urban Affairs*, 34(2), 189–206. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9906.2012.00610.x>
- Chang, T.C. (2019). Writing on the Wall: Street Art in Graffiti-free Singapore. *International Journal of Urban and Regional Research*, 43(6), 1046–1063. <https://doi.org/10.1111/1468-2427.12653>
- Baldini, A. (2015). An Urban Carnival on the City Walls: The Visual Representation of Financial Power in European Street Art. *Journal of Visual Culture*, 14(2), 246–252. <https://doi.org/10.1177/1470412915592883>
- Moldoveanu, M., & Franc, V. (2014). Urban regeneration and more opportunities for artistic expression and cultural consumption. *Procedia. Economics and Finance*, 8, 490–496.
- Havrylash, I.S. (2018). Mural art in the context of the mass culture of the 21st century. *Issues in Cultural studies*, 34, 133–142. [In Ukrainian] <https://doi.org/10.31866/2410-1311.34.2018.154059>
- Havrylash, I.S. (2018). Murals and graffiti in modern Ukraine: features and differences. *Culture of Ukraine*, 62, 235–244. [In Ukrainian] <https://doi.org/10.31516/2410-5325.062.23>
- Havryliuk, B. (2018). Ukrainian mural in terms of global art. *Bulletin of the Lviv National Academy of Arts*, 37, 241–254. [In Ukrainian]
- Mezentsev, K., Oliinyk, Y., & Mezentseva, N. (eds.) (2017). *Urban Ukraine: in the epicenter of spatial changes*. Kyiv: Fenix. [In Ukrainian]
- Mezentsev, K., & Mezentseva, N. (2017). Modern transformations of Kyiv public spaces: prerequisites, manifestation and specifications. *Human Geography Journal*, 22(1), 39–46. [In Ukrainian]
- Mezentsev, K., & Provotar, N. (2020). Kyiv's Socialist-Time Neighbourhoods: an Ocean of Greyness Against Rainbowfication? *CANactions Magazine. MIKORAYONS*, 1, 94–110.
- Turkington, R. (2004). Britain. High-rise housing as a 'doubtful guest'. In: Turkington, R., van Kempen, R., & Wasenberg, F. (eds.) *High-rise housing in Europe. Current trends and future prospects. Housing and urban policy studies*, 28. Delft University Press, pp. 147–164.
- Maslyak, P.O., Gryniuk, O.Y., & Kazantseva, K.A. (2017). Influence of street-art on the formation image and the principles of street-art geographical zones. *Journal of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series "Geology. Geography. Ecology"*, 46, 106–112. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2017-46-15>
- Olishevskaya, Yu. (2020). Murals as the newest tourist resources: the case of Kyiv. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 29(2), 364–376. <https://doi.org/10.15421/112032>
- Romaniv, O.Ya., Rybachok O.M., & Savelieva, D.V. (2019). Strit-art v turystychnomu prostori Zhytomyra [Street art in the space of the tourist environment of Zhytomyr]. *Geography and Tourism*, 54, 41–49. [In Ukrainian] <https://doi.org/10.17721/2308-135X.2019.54.41-49>

18. Hawkins, H. (2012). *Geography and art. An expanding field: Site, the body and practice*. *Progress in Human Geography*, 37(1), 52–71. <https://doi.org/10.1177/0309132512442865>
19. Conklin, T.R. (2012). *Street Art, Ideology, and Public Space*. *Dissertations and Theses*. Paper 761, 332 p. <https://doi.org/10.15760/etd.761>
20. Molnár, V. (2017). *Street Art and the Changing Urban Public Sphere*. *Public Culture*, 29(2), 385–414. <https://doi.org/10.1215/08992363-3749117>
21. Dovey, K., Woolan, S., & Woodcock, I. (2012) *Placing graffiti: creating and contesting character in innercity Melbourne*. *Journal of Urban Design*, 17(1), 21–41. <http://dx.doi.org/10.1080/13574809.2011.646248>
22. Males, L.V., Sereda, V.V., Sobolevska, M. O., & Soroka Yu.G. (2010). *Urban Sociology*. Donetsk, Noulidzh. [In Ukrainian]
23. Guinard, P., & Margier, A. (2018). *Art as a new urban norm: Between normalization of the City through art and normalization of art through the City in Montreal and Johannesburg*. *Cities*, 77, 13–20. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2017.04.018>
24. Müller, A.-L. (2019). *Voices in the city. On the role of arts, artists and urban space for a just city* *Cities*, 91, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.04.004>
25. Niemets, L., Husieva, N., Suptelo, O., Sehida K., & Kravchenko K. (2018). *Research of Brownfields and Greyfields of the City: Theory and Practice*. In: Soliman, Kh.S. (ed.). *Proceedings of the 32nd International Business Information Management Association Conference*. Seville, International Business Information Management Association (IBIMA), pp. 409–435.
26. Omar, S.S, Sakip S., Akhir N.M. (2016). *Bringing the New to the Old: Urban Regeneration through Public Arts*. *Procedia. Social and Behavioral Sciences*, 234, 515–524.
27. Podnos, V., Gryshchenko, M., Verbytskyi, I., & Tyshchenko, I. (2017). *Murals – the embodiment of symbolic power to change the image of the city*. *Mistosite*. [In Ukrainian] Retrieved from: <https://mistosite.org.ua/en/articles/muraly-vi%D1%96lennya-symvol%D1%96chnoyi-vlady-dlya-zm%D1%96ny-obrazu-m%D1%96sta>
28. Christensen, M., & Thor, T. (2017). *The reciprocal city: Performing solidarity – Mediating space through street art and graffiti*. *International Communication Gazette*, 79(6-7), 584–612. <https://doi.org/10.1177/1748048517727183>
29. Borghini, S., Visconti, L., Anderson, L., & Sherry, J. (2010). *Symbiotic Postures of Commercial Advertising and Street Art: Rhetoric for Creativity*. *Journal of Advertising*, 39(3), 113–126. <https://doi.org/10.2753/JOA0091-3367390308>
30. Visconti, L.M., Sherry Jr., J.F., Borghini, S., & Anderson, L. (2010). *Street Art, Sweet Art? Reclaiming the “Public” in Public Place*. *Journal of Consumer Research*, 37, 511–529. <https://doi.org/10.1086/652731>
31. Kendall, D. (2011). *Street Art: A Window to a City's Soul*. *Huffington Post*, February 15. Retrieved from: <http://www.huffingtonpost.com/dylan-kendall/street-art-a-window-to-a-b-823592.html?ir=Los%20Angeles>
32. Kramer, R. (2010) *Painting with permission: legal graffiti in New York City*. *Ethnography*, 11(2), 235–53. <https://doi.org/10.1177/1466138109339122>
33. McAuliffe, C., & Iveson, K. (2011) *Art and crime (and other things besides...): conceptualising graffiti in the city*. *Geography Compass*, 5(3), 128–143. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-8198.2011.00414.x>
34. Park, H., & Kovacs, J.F. (2020). *Arts-led revitalization, overtourism and community responses: Ihwa Mural Village, Seoul*. *Tourism Management Perspectives*, 36. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2020.100729>
35. Ross, J., Bengtsen, P., Lennon, J., Phillips, S., & Wilson, J. (2017). *In search of academic legitimacy: The current state of scholarship on graffiti and street art*. *The Social Science Journal*, 54(4), 411–419. <https://doi.org/10.1016/j.soscij.2017.08.004>
36. Martínez-Carazo, E.-M., Santamarina-Campos, V., & de-Miguel-Molina, M. (2021). *Creative Mural Landscapes, Building Communities and Resilience in Uruguayan Tourism*. *Sustainability*, 13, 5953. <https://doi.org/10.3390/su13115953>
37. Mezentsev, K.V., Provotar, N.I., & Palchuk, M.V. (2020). *Public spaces through the lens of participatory urban planning – the case of Kyiv*. *Ukrainian Geographical Journal*, 2, 30–37. <https://doi.org/10.15407/ugz2020.02.030>
38. Bacharach, S. (2015). *Street Art and Consent*. *The British Journal of Aesthetics*, 55(4), 481–495. <https://doi.org/10.1093/aesthj/ayv030>
39. Campos, R., & Sequeira, Á. (2020). *Urban Art touristification: The case of Lisbon*. *Tourist Studies*, 20(2), 182–202. <https://doi.org/10.1177/1468797619873108>
40. Ehrenfeucht, R. (2014). *Art, public spaces, and private property along the streets of New Orleans*. *Urban Geography*, 35(7), 965–979. <https://doi.org/10.1080/02723638.2014.945260>
41. Iveson, K. (2010). *Introduction: Graffiti, street art and the city*. *City*, 14(1), 25–32. <https://doi.org/10.1080/13604811003638320>
42. Vilaseca, S. (2012). *From Graffiti to Street Art: How Urban Artists are Democratizing Spanish City Centers and Street*. *Transitions: Journal of Franco-Iberian studies*, 8 (1), 9–34.

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 16 January 2021

Accepted 5 October 2021

Особливості динаміки хвиль тепла в окремих містах України

Тамерлан Абісолович Сафранов¹,

д. геол.-мін. н., професор, зав. кафедри екології та охорони довкілля

¹Одеського державного екологічного університету, вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016, Україна,

е-mail: safranov@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0003-0928-5121>;

Галина Павлівна Катеруша¹,

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

е-mail: galina.od@rambler.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6192-5555>;

Олена Володимирівна Катеруша¹,

асистент кафедри екології та охорони довкілля,

е-mail: katerusha17@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0003-4593-0335>;

Камбіз Яраї²,

доктор клінічних лабораторних наук, доктор клінічної мікробіології, директор клінічної лабораторії,

²Регіональний медичний центр Коалінги, Фелпс авеню 1191, Коалінга, Каліфорнія, 93210, США,

е-mail: kaya@uw.edu, <http://orcid.org/0000-0003-0961-014X>

Нині, коли глобальне потепління є доведеним, оцінка змін термічного режиму та його впливу на здоров'я населення стала одним з пріоритетних напрямів діяльності Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) і Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ). У зв'язку з цим особливої важливості набувають дослідження екстремальних проявів в режимі температури повітря окремих регіонів. Сучасні зміни клімату супроводжуються зростанням повторюваності та інтенсивності хвиль тепла (періодів з екстремально високою температурою), через це саме хвилям тепла наразі приділяється велика увага. Крім того, очікується, що в майбутньому негативні наслідки цих змін будуть посилюватись. В роботі проведено аналіз режиму максимальної добової температури повітря за фактичними даними за періоди більше, ніж шістьдесят років, і очікуваних – за 2021–2050 роки для трьох метеостанцій (Ужгород, Харків, Одеса). Для кожного дня року розраховано так званий «абсолютний поріг температури» за рекомендаціями ВМО. Визначено наявність хвиль тепла, виходячи з її дефініції, тобто період, коли максимальна добова температура повітря більше 5 послідовних днів перевищує середню максимальну температуру для даного календарного дня за основний період (1961–1990 рр.) більше, ніж на 5°C. Виявлено хвилі тепла на основі фактичних даних і модельних рядів за сценаріями низького (RCP2.6), середнього (RCP4.5) та високого (RCP8.5) рівнів викидів парникових газів; проаналізовано їх фізико-статистичні характеристики та прогноз динаміки до 2050 року у різних регіонах України. Найменша за рік кількість хвиль тепла зафіксована на півдні країни, а максимальна тривалість хвилі тепла приблизно однакова на всіх досліджуваних станціях. На заході України спостерігається тенденція зростання кількості хвиль тепла та їх тривалості за досліджуваній період за десятиріччями, на північному сході і півдні – ці показники зазнали коливань. Виявлено, що у всіх регіонах за фактичними даними найбільшу повторюваність (82% від загальної кількості хвиль за рік) мали хвилі тепла тривалістю 6–9 днів; за даними сценарію RCP2.6 їх повторюваність максимально зменшується (до 52%) на півдні країни. За всіма використаними траєкторіями кліматичних змін найбільша кількість хвиль тепла у прийдешні тридцять років очікується на півдні України, причому з максимумом у холодну пору року (жовтень–квітень). Інтенсивність хвиль тепла холодного періоду є вищою, ніж теплою у всіх регіонах України, особливо у південних регіонах. Досліджені хвилі тепла суттєво впливають на самопочуття та смертність людей, тому отримані дані про їх показники і тенденції зміни необхідні для розробки комплексу профілактичних і захисних заходів у плані ризиків для здоров'я населення, пов'язаних з кліматом.

Ключові слова: сценарії змін клімату, хвилі тепла, кумулятивна температура, часова динаміка.

Як цитувати: Сафранов Т. А. Особливості динаміки хвиль тепла в окремих містах України / Т. А. Сафранов, Г. П. Катеруша, О. В. Катеруша, Яраї Камбіз // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2021. – Вип. 55. – С. 232–244. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-17>

In cites: Safranov T. A., Katerusha H. P., Katerusha O. V., Yaraei Kambiz (2021). Features of the dynamics of heat waves in selected cities of Ukraine. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (55), 232–244. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-17> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. Зміни клімату та їх наслідки є надзвичайно актуальною проблемою. Через глобальні зміни клімату у ХХІ сторіччі спостерігається, і очікується в майбутньому, підвищення температури приземного шару атмосфери та частоти і інтенсивності періодів аномальної спеки, які впливають зокрема і на здоров'я людей. Тривалі періоди високих температур повітря створюють фізіологічний стрес для організму людини, що погіршує перебіг захворювань

(респіраторних, кровотворних, цукрового діабету тощо) і може призвести навіть до смерті, а також нарощує соціально-економічні наслідки (наприклад, втрата працездатності, продуктивність праці тощо) [1].

Потепління клімату призводить до змін умов поширення інфекційних захворювань людини, у тому числі і трансмісивних. При цьому змінюються умови існування популяцій переносників трансмісивних захворювань і умови розвитку

збудників у переноснику, що спричиняє зміну можливостей передачі багатьох захворювань людини. Підвищення температури повітря прискорює розвиток збудників в організмі переносника, а сам процес передачі робить більш ефективним, поширює його нозоареал, полегшує передачу захворювання [2]. Якщо у холодному кліматі збудники інфекцій, попадаючи з організму зараженої людини у зовнішнє середовище, не можуть у ньому існувати, то в теплих умовах ситуація кардинально змінюється. Значні порушення здоров'я під час температурних хвиль характеризуються не лише його втратою, але й зниженням кількості здорових років життя, що відбивається і на економічних показниках – валовому продукті країни і регіону [3].

За даними Всесвітнього банку, Україна внаслідок розмірів території та різноманіття ландшафтів, більше інших країн Східної Європи схильна до впливу змін клімату. Найчутливішими до змін клімату є південні регіони України [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Наслідки впливу температурних хвиль на здоров'я населення вивчають у різних країнах світу, і в основній медичній базі даних *PubMed* наведено понад 1000 публікацій у цій спрямованості досліджень [3]. Так, проблемі хвиль тепла у сучасному світі приділяється значна увага практично в усіх європейських країнах і Сполучених Штатах Америки [5–9 та ін.]. Проте не існує єдиного універсального визначення хвиль тепла, що використовувалося б як критерій для виявлення цієї аномалії у всіх дослідженнях. Це можна пояснити тим, що в залежності від завдань наукового дослідження або практичного обслуговування галузей економіки найбільшу зацікавленість можуть представляти хвилі певної інтенсивності або тривалості [8].

У наукових дослідженнях використовують різні підходи до визначення хвиль тепла. Використовуються відхилення як від середньої добової температури повітря, так і від максимальних її значень за добу. Так, деякі автори [8, 10–12] вважають, що хвилі тепла потрібно виявляти на основі середньої добової температури повітря через те, що вона є мірою температурного стресу на організм людини. У той же час, багато дослідників виявляють хвилі тепла на основі максимальної за добу температури повітря (тобто у денний час), коли людина є найбільш активною, перебуваючи зовні приміщення, а організм її відчуває значний тепловий стрес [13–18]. На основі їх можна виявляти аномально теплі або аномально спекотні дні (хвилі тепла) не тільки влітку, але й взимку. Хвиля тепла – це природне явище, що характеризується тривалим періодом аномально теплої погоди і поширені на певній

території [19].

Хвилею тепла, зазвичай, вважають період у кілька днів, температура під час якого перевищує заданий поріг, але специфічні особливості цього поняття варіюються залежно від фізико-географічного розташування району дослідження та ін. Найчастіше використовується визначення, рекомендоване ВМО: хвиля тепла – це період, коли максимальна добова температура повітря більше 5 послідовних днів перевищує середню максимальну температуру для даного календарного дня за основний період (1961–1990 рр.) більше, ніж на 5°C [14].

Хвиля тепла характеризується такими показниками, як тривалість (дні) та інтенсивність (кумулятивна температура протягом окремої хвилі тепла). Кумулятивна температура – це сума різниць між максимальною добовою температурою повітря під час хвилі тепла і визначеним значенням середньої максимальної температури за цей період, тобто це сумарна максимальна температура (T_{max}) під час окремо взятої хвилі тепла [14] і вона характеризує, власне, інтенсивність хвилі тепла.

Виявлення хвиль тепла та їх фізико-статистичних характеристик на території України проводилось багатьма дослідниками лише в теплий період року і на основі фактичних даних. Необхідним є з'ясування, що відбувається в цьому контексті і в холодну пору року, оскільки хвилі тепла впливають протягом року не лише на здоров'я людей, а й на сільське господарство та інші галузі економіки. Крім того, для подолання негативних наслідків і адаптації людей до кліматичних змін потрібно враховувати і прогностичні значення метеорологічних величин, зокрема температури повітря, згідно сучасних сценаріїв змін клімату.

Формулювання мети статті. Метою роботи є виявлення хвиль тепла на основі фактичних і сценарних (RCP2.6, RCP4.5 CLMcom4, RCP4.5 MPI-CSC2, RCP4.5 SMHI5, RCP8.5) вихідних даних та аналіз їх фізико-статистичних показників динаміки до 2050 року.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для проведення дослідження використано величезну базу даних, яка являє собою ряди значень максимальної добової температури повітря з січня по грудень за доступні періоди для трьох метеостанцій України, розташованих в західному (Ужгород), північно-східному (Харків) та південному (Одеса) регіонах України. Вихідні дані отримано з сайту, який містить кліматичну інформацію для території Європи [20]. Крім того, було застосовано значення максимальної добової температури повітря для тих же репрезентативних метеостанцій протягом 2021–2050 років за

результатами моделювання згідно траєкторій RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5.

Аналіз виявлених фактичних випадків хвиль тепла з використанням критерію ВМО за досліджувані періоди для холодного (листопад-квітень) і теплого періодів (травень-жовтень) та їх тривалості засвідчив наступне. В Ужгороді кількість хвиль тепла становила 148, у Харкові – 137, найменше їх в Одесі – 84 випадки. Максимальна тривалість хвилі тепла (19 днів) була зафіксована в Ужгороді (22.07–09.08.1994 р.), а тривалість 18 днів – 08.04–25.04.2018 р. Найбільшу тривалість (18 днів) хвилі тепла мали 22.08–08.09.1938 р. і 14.06–01.07.1954 р. в Харкові та 08.11–25.11.1923 в Одесі. Середня тривалість хвилі тепла взимку коливалась від 7,5 (південь) до 8,0 днів (захід та північний схід країни),

весною – від 7,4 (південь) до 8,8 дні (північний схід країни), влітку – від 7,1 (північний схід) до 8,1 дні (захід країни), восени – від 7,4 (північний схід) до 8,7 дні (захід країни). В середньому за рік найтриваліші (8,1 дні) хвилі тепла – в Ужгороді, найменш тривалі (7,6 дні) – в Одесі.

Слід зазначити, що в роботі [21] для Одеси(за період з 1911 по 2010 рр.), також виділено хвилі тепла за критерієм ВМО: всього їх 16 з середньою тривалістю 8,4 доби. Різницю в отриманих результатах можна пояснити тим, що в даній роботі не враховується період з 2006 по 2010 рр., період на який припадали найбільш тривалі та інтенсивні хвилі тепла 2008 та 2010 років.

На рис. 1 для наочності представлено розподіл кількості хвиль тепла, виявлених на основі

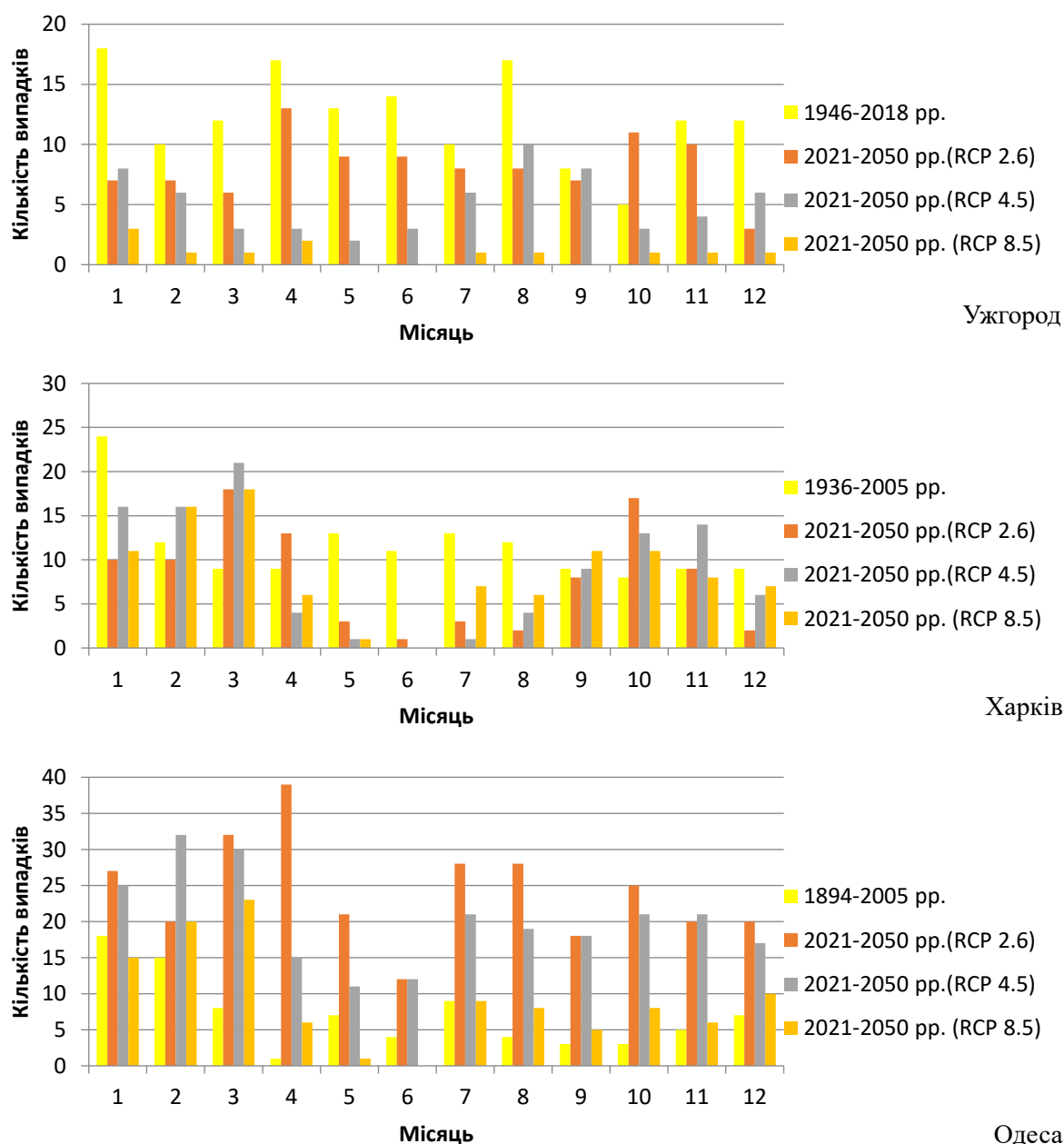


Рис. 1. Кількість хвиль тепла(фактичних і за різними сценаріями).
Fig. 1. Number of heat waves (actual and according to the different scenarios)

фактичних даних і на основі модельних рядів для трьох станцій по кожному місяцю року за період з 2021 по 2050 рр. за сценаріями RCP 2.6, RCP4.5–усереднений і RCP8.5. З нього випливає, що хвилі тепла можуть спостерігатись з січня по грудень. Найвище зростання кількості хвиль тепла з 2021 по 2050 рр. очікується в Одесі й найбільшим (290 випадків) в середньому воно буде за сценарієм RCP2.6. З них максимум – 92 випадки – припадає на весну. За сценарієм RCP4.5 (усереднений) найбільша за рік кількість хвиль

(242) – в Одесі, у Харкові – 109, Ужгороді – 65; за сценарієм RCP8.5: в Одесі – 111, Харкові – 102, Ужгороді – всього 12 випадків.

Таким чином, за всіма досліджуваними траєкторіями кліматичних змін найбільша кількість хвиль тепла за рік очікується на півдні країни, причому з максимумом у холодну пору року.

Розподіл протягом року тривалості хвиль тепла (фактичної і здобутої на основі модельних рядів) зображено на рис. 2.

Саме кількість днів з хвилями тепла виявляє

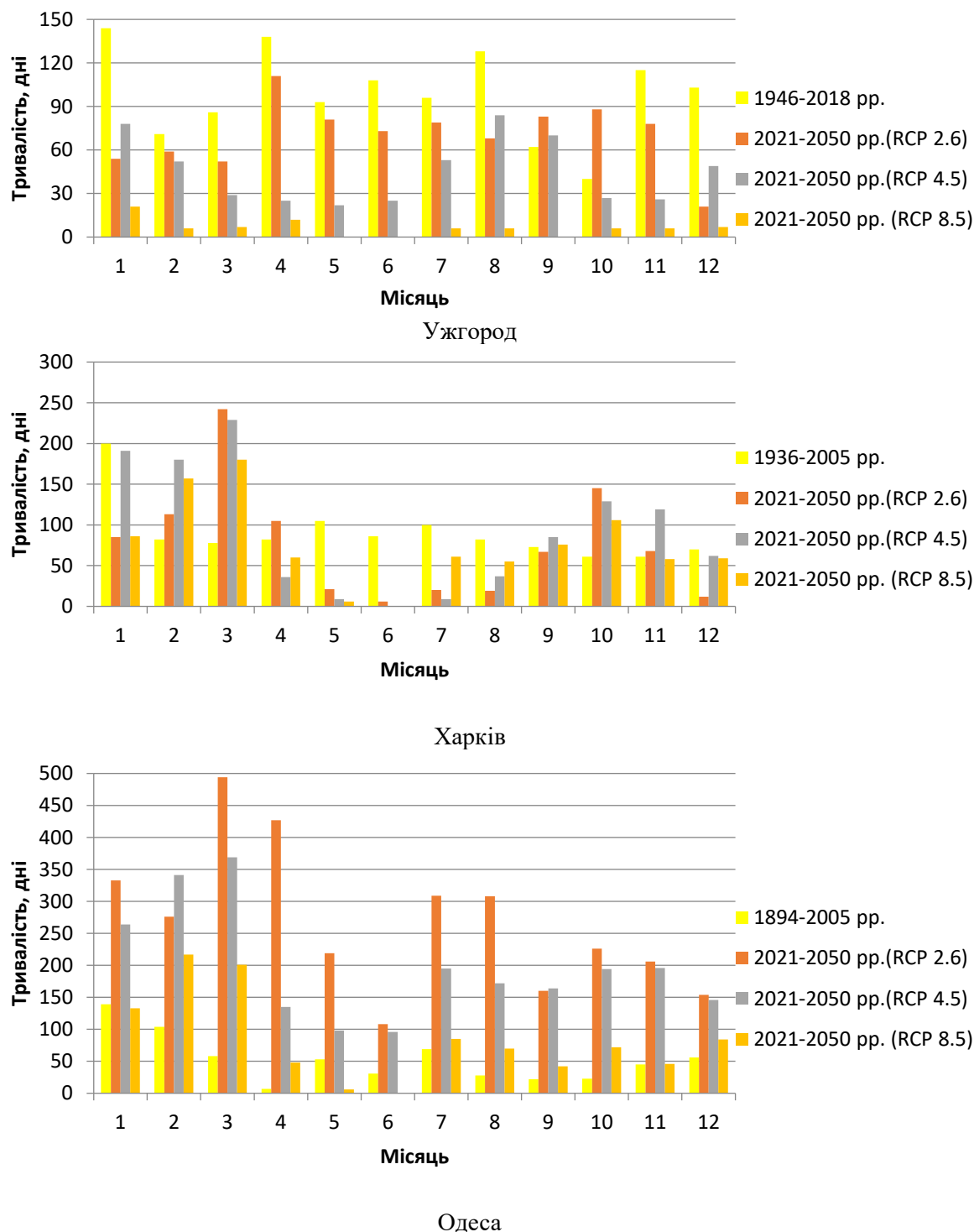


Рис. 2. Тривалість хвиль тепла (фактичних і за різними сценаріями).
Fig. 2. Heat wave lengths (actual and according to the different scenarios)

тенденцію краще, ніж кількість хвиль тепла. Їх аналіз засвідчує, що цей показник для Одеси за майбутні 30 років також найбільше перевищить фактичну тривалість хвиль тепла, особливо за сценарієм RCP2.6. Якщо загальна тривалість хвиль тепла була 635 днів (середня 7,6), то можлива за сценарієм RCP2.6 – 3220 дні (середня 11,1), RCP4.5 (усереднений) – 2371 (середня 9,8), RCP 8.5 – 1004 дні (середня 9,0).

Для Харкова очікувана середня тривалість хвиль тепла з 7,8 днів (фактичні дані) зростає до 9,4 днів (RCP2.6), 10,0 (RCP 4.5–усереднений), 8,9 (RCP8.5). В Ужгороді цей очікуваний показник з 8,1 дні підвищиться до 8,6 (RCP2.6), 8,3 (RCP 4.5–усереднений), а за сценарієм RCP 8.5 зменшиться до 6,4 дні.

У табл. 1 і 2 представлено кількість хвиль тепла та їх тривалість, визначені на основі попередніх 30 років: для Ужгорода за період 1989–2018 рр., а для Харкова і Одеси – 1976–2005 рр., і здобуті за різними сценаріями. З таблиць випливає, що саме для Одеси очікувані показники в 4–13 разів будуть перевищувати фактичні, а для Харкова – в 1,7–3,6 рази. Для Ужгорода кількість хвиль тепла та їх тривалість, здобуті на основі сценарію RCP4.5 MPI-CSC2, за своєю величиною є найближчими до фактичних, за сценарієм RCP2.6 – перевищують їх, а за сценарієм RCP8.5 – суттєво нижчі.

На рис. 3 представлено розподіл повторюваності випадків з хвилями тепла за десятиріччями.

Отже, якщо в Одесі раніше хвилі тепла спостерігались навіть не кожного десятиліття, то з 2021 по 2050 рр. такої особливості розподілу їх вже нема, хоча в окремі роки, звичайно, вони не виявлені. У Харкові хвилі тепла зафіксовано у всі десятиліття. Найбільша (26) кількість їх спостерігалась з 1951 по 1960 рр. і тривали вони 207

днів. І на півдні країни, і північному сході майже у всі три прийдешні десятиріччя кількість днів з хвилями тепла буде набагато вищою, ніж у минулі. В Ужгороді, починаючи з 1951–1960 рр. і по 2011–2018рр., відбулось поступове зростання кількості хвиль тепла (з 10 до 33). Лише у друге майбутнє десятиліття і тільки за сценарієм RCP2.6 цей показник може бути перевищеним.

Розподіл тривалості хвиль тепла по десятиріччях представлено на рис. 4. Найчастіше, збільшення кількості хвиль тепла призводить до зростання їх тривалості.

На рис. 5–7 показано повторюваність тривалості хвиль тепла. З них видно, що зазвичай найчастіше, як за фактичними даними, так і за всіма використаними сценаріями RCP, хвилі тепла будуть тривати 6 днів. Так за реальними даними, наприклад, у всіх досліджуваних регіонах найбільшу повторюваність (82% від загальної кількості хвиль за рік) мали хвилі тепла тривалістю 6–9 днів. З них на хвилі тривалістю 6 днів припадає від 30% (Ужгород) до 40% (Одеса), 7 днів – від 15% (Харків) до 21% (Ужгород), 8 днів – 17–19% (Одеса-Харків) і 9 днів – 7–13% (Одеса-Ужгород). За сценарними даними повторюваність тривалості хвиль тепла 6–9 днів найбільш суттєво зменшиться (до 52%) на півдні країни за сценарієм RCP2.6, а це означає, що хвилі будуть мати більшу тривалість.

Найтриваліші хвилі тепла (42 дні) очікуються в Одесі за сценарієм RCP2.6 у холодний період, у теплий період – 29 днів, за сценарієм RCP4.5-усереднений – 39 і 25 днів, за сценарієм RCP8.5 – 23 і 18 днів відповідно. В Ужгороді за досліджуваний період і сценарієм RCP2.6 найдовша хвиля тепла тривала 19 днів у теплий період, за сценарієм RCP4.5-усереднений – 25 днів у цей же період, за сценарієм RCP8.5 – 9 днів (у холод-

Таблиця 1

Кількість хвиль тепла фактичних (за попередні 30 років) і очікуваних.
The number of actual heat waves (for the previous 30 years) and expected

Станція	Фактичні	RCP2.6	RCP4.5				RCP8.5
			CLMcom4	MPI-CSC2	SMHI5	усереднений	
Ужгород	87	98	29	88	77	65	12
Харків	55	96	92	85	146	108	102
Одеса	31	290	203	297	228	242	111

Таблиця 2

Тривалість хвиль тепла фактичних (за попередні 30 років) і очікуваних.
The duration of actual and expected heat waves (for the previous 30 years)

Станція	Фактичні	RCP2.6	RCP4.5				RCP8.5
			CLMcom4	MPI-CSC2	SMHI5	усереднений	
Ужгород	716	847	199	749	675	541	77
Харків	439	903	889	768	1599	1085	904
Одеса	242	3220	1901	2915	2297	2371	1004

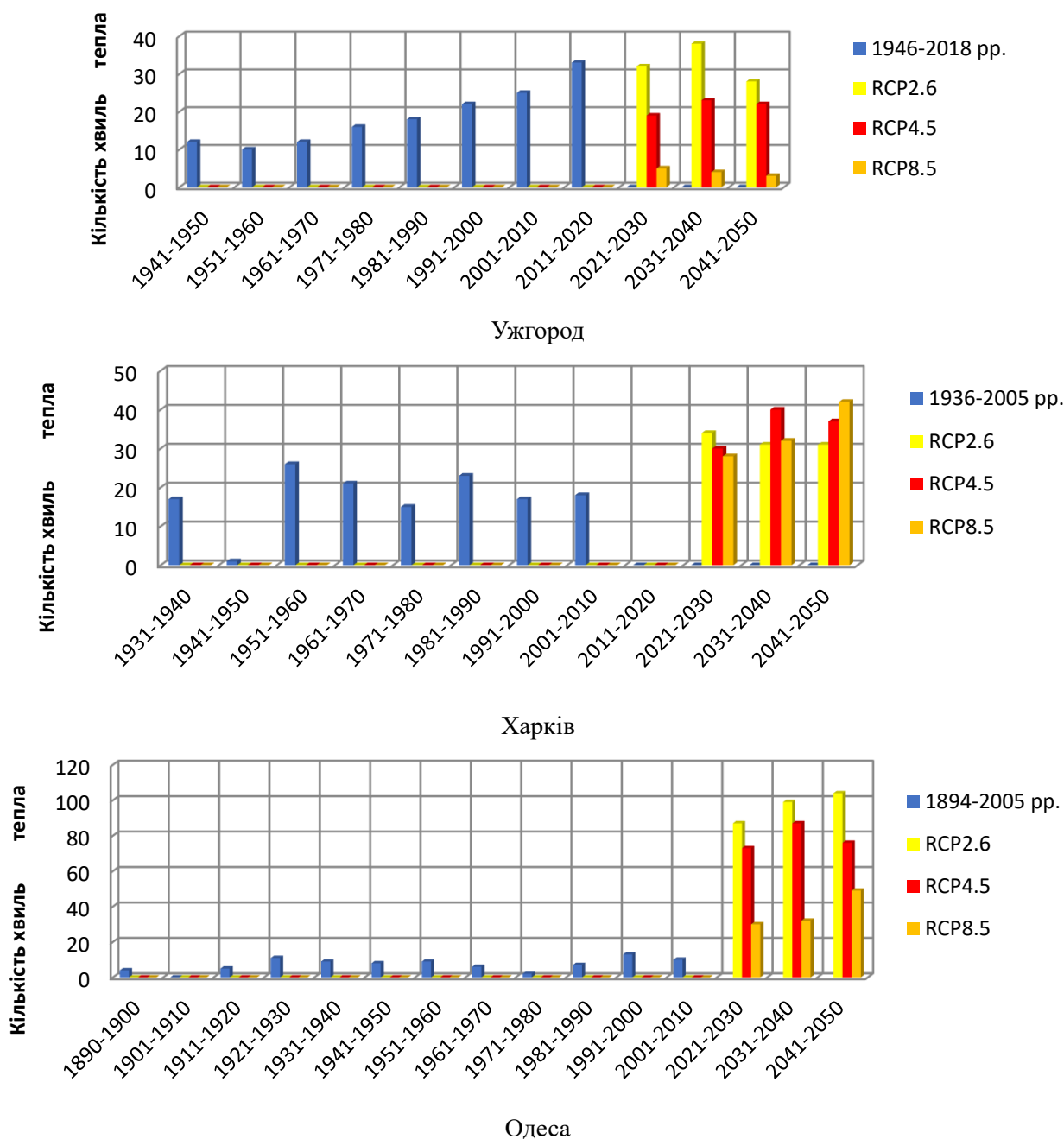


Рис. 3. Динаміка кількості хвиль тепла (фактичних і за різними сценаріями) по десятиріччях.
Fig. 3. Dynamics of the number of heat waves (actual and according to the different scenarios) by decades

ний і теплий періоди). У Харкові згідно фактичних даних найдовше хвиля тепла тривала 17 днів у теплий період, а згідно всіх використаних нами сценаріїв – у холодний період: 26 днів (RCP4.5 і RCP8.5) і 30 днів (RCP2.6).

Ще однією характеристикою інтенсивності хвилі тепла є амплітуда хвилі тепла, тобто різниця між найвищим та найнижчим значенням середньої добової максимальної температури під час хвилі тепла.

За досліджувані періоди найвищу фактичну кумулятивну температуру T_{max} холодний період було зафіксовано: в Ужгороді – 56,0 °C (січень 2007р.), Харкові – 79,5 °C (квітень 1938 р.), Оде-

сі – 63,0 °C (лютий-березень 2002 р.), у теплий період – в Ужгороді – 56,2 °C (серпень 2015 р.), Харкові – 75,9 °C (серпень-вересень 1938 р.), Одесі – 37,8 °C (липень 2002 р.) (табл. 3). За даними, наведеними в роботі [21], які було здобуто для цих станцій в період до 2011 року, кумулятивна температура суттєво підвищилась в Харкові та Одесі і відповідно становила 117,0 °C та 46,4 °C у 2010 році, в Ужгороді – не змінилась.

Абсолютні максимуми температури повітря та найінтенсивніші хвилі тепла спостерігаються в один і той же час в Одесі й Харкові; в Ужгороді – в рік, коли зафіксовано абсолютний максимум температури повітря, спостерігалися потужні

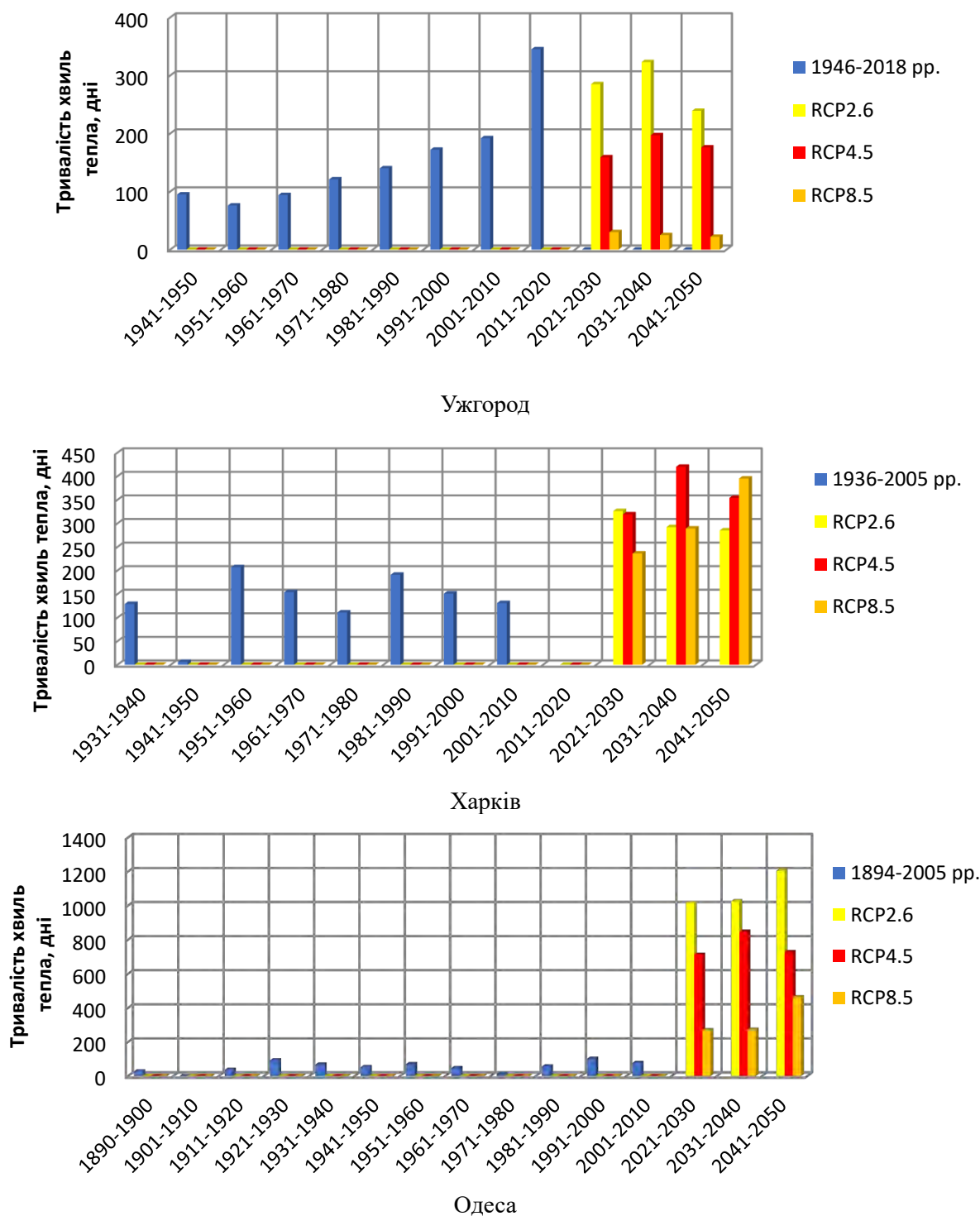


Рис. 4. Динаміка тривалості хвиль тепла (фактичних і за різними сценаріями) за десятиріччями.

Fig. 4. Dynamics of heat wave duration (actual and according to the different scenarios) by decades

хвилі тепла [21].

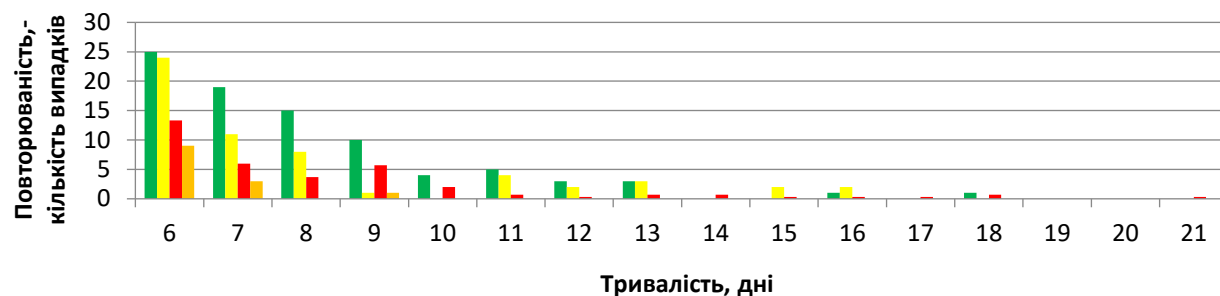
Слід зазначити, що спостерігається досить значна узгодженість між всіма регіонами в повторюваності хвиль тепла в залежності від кумулятивної температури та амплітуди хвилі тепла, оскільки для всіх станцій найбільша кількість випадків з хвилями тепла має місце при кумулятивних температурах 10-50 °C та амплітудах 2-8 °C у холодний період.

У теплий період – така ситуація спостерігається за амплітуди 2-6 °C і різних значень кумулятивної температури: 10-25 °C (Одеса), 10-30 °C (Ужгород) і 10-40 °C (Харків). Амплітуда температури повітря під час хвиль тепла у холодний період коливається в значно ширших інтервалах в Одесі і Харкові (0,7-15,7 °C та 0,9-11,6 °C відповідно), ніж у теплий, а от в Ужгороді протягом року вона майже не змінюється (1,1-9,2 °C у ХП і

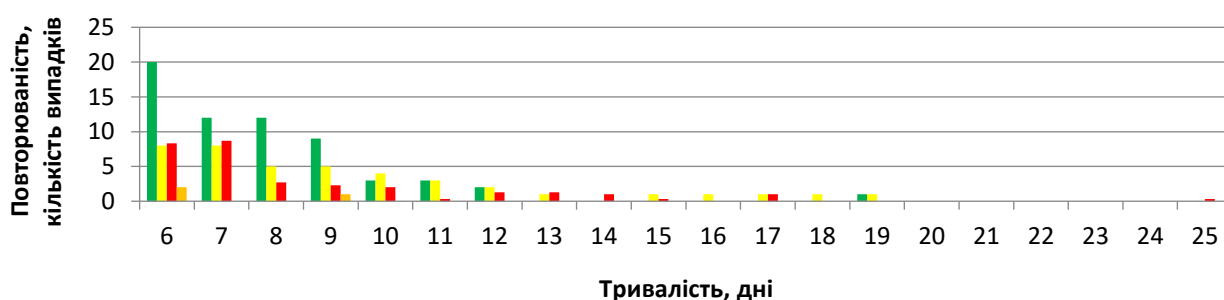
1,0-9,9 °C у ТП) про що свідчать дані, наведені в табл. 4.

Між кумулятивною температурою та амплітудою хвилі тепла також простежується суттєва залежність, особливо для випадків інтенсивних хвиль тепла. Подібного зв'язку не виявлено між

кумулятивною температурою та тривалістю хвилі тепла, тобто хвилі тепла однакової тривалості можуть мати досить різну інтенсивність. Для випадків інтенсивних хвиль тепла залежність між інтенсивністю та тривалістю стає більш помітною, що вказує на те, що найбільш інтенсивні



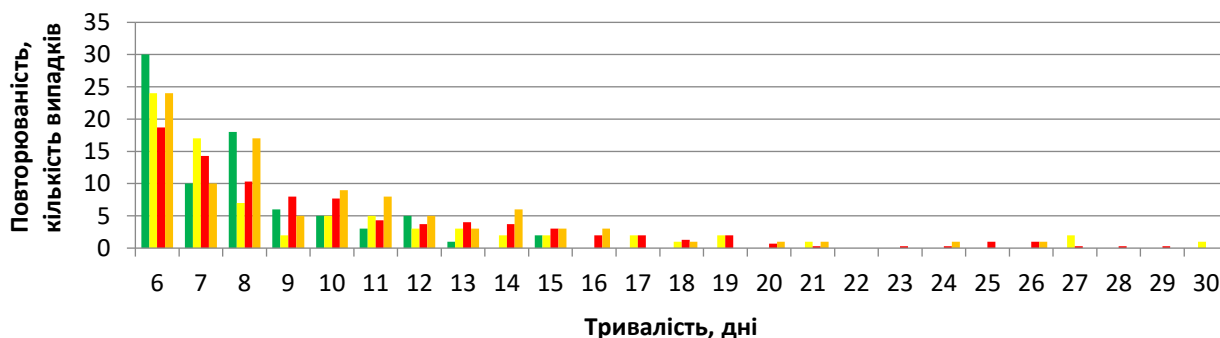
ХП



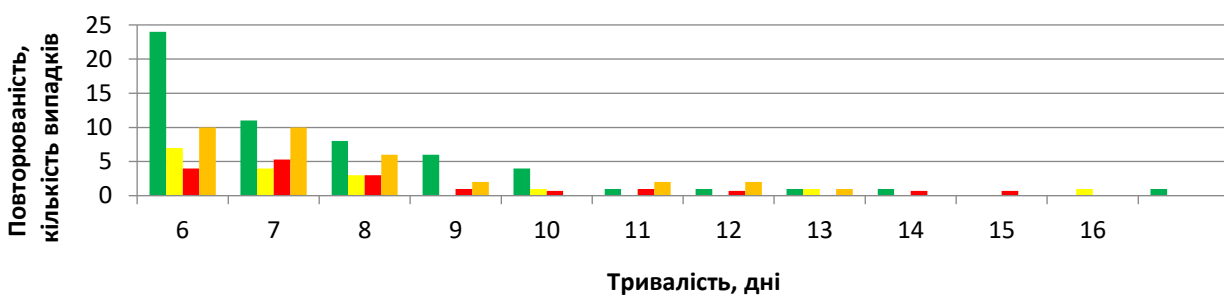
■ 1946-2018 pp. ■ RCP 2.6 ■ RCP 4.5 ■ RCP 8.5

ТП

Рис. 5. Повторюваність тривалості хвиль тепла (фактичних і за різними сценаріям) – Ужгород.
Fig. 5. Repeatability of heat wave duration (actual and according to the different scenarios) – Uzhgorod



ХП



■ 1936-2005 pp. ■ RCP 2.6 ■ RCP 4.5 ■ RCP 8.5

ТП

Рис. 6. Повторюваність тривалості хвиль тепла (фактичних і за різними сценаріям) – Харків.
Fig. 6. Repeatability of heat wave duration (actual and according to the different scenarios) – Kharkiv

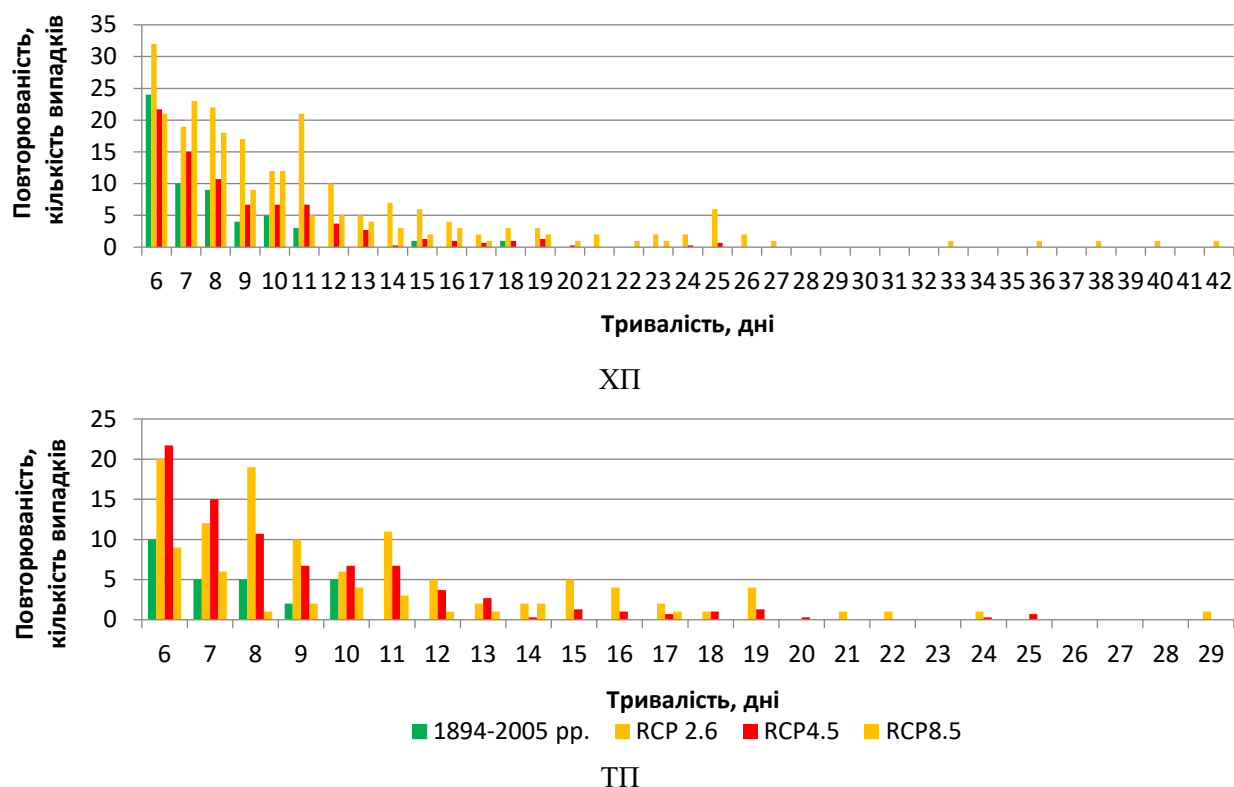


Рис. 7. Повторюваність тривалості хвиль тепла (фактичних і за різними сценарієм) – Одеса.
Fig. 7. Repeatability of heat wave duration (actual and according to the different scenarios) – Odessa

Таблиця 3

Показники інтенсивності найпотужніших хвиль тепла протягом досліджуваних періодів.
Indicators of the intensity of the most powerful heat waves during the study periods

Станція	T _{MAX} , °C		Тривалість, дні		Амплітуда, °C	
	ХП	ТП	ХП	ТП	ХП	ТП
Ужгород	56,0	56,2	16	12	6,7	3,4
Харків	79,5	75,9	12	18	11,6	6,0
Одеса	63,0	37,8	10	10	9,7	5,8

Таблиця 4

Показники хвиль тепла / Indicators of heat waves

Станція	Кількість хвиль тепла		Кумулятивна температура, °C		Амплітуда, °C	
	ХП	ТП	ХП	ТП	ХП	ТП
Ужгород	86	62	7,9–56,0	4,2–56,2	1,1–9,2	1,0–9,9
Харків	80	57	4,9–79,5	3,5–75,9	0,9–11,6	1,4–9,8
Одеса	57	27	5,4–63,0	6,0–37,8	0,7–15,7	1,8–5,9

хвилі тепла є найбільш тривалими

В Ужгороді під час фактичних хвиль тепла кумулятивна температура змінювалась в межах 7,9–56,0 °C у холодний період і від 4,2 до 56,2 °C – у теплий. При цьому вона коливалась від 10 до 50 °C у 91% за тривалості їх 6–14 днів у холодний період, у 87% – за тривалості 6–12 днів у теплий. Кумулятивна температура у Харкові змінювалась в інтервалах 4,9–79,5 °C (з них 88% припадає на 10–60 °C) з жовтня по квітень і 3,5–

75,9 °C (з них 88% припадає на 10–50 °C) з травня по вересень. В Одесі кумулятивна температура коливалась в інтервалі 5,4–63,0 °C (82% знаходиться в межах від 10 до 50°C) у холодний період і від 6,0 до 37,8 °C – у теплий (78% – в межах від 10 до 30°C).

Отже, інтенсивність хвиль тепла, яка виражена кумулятивною температурою, у холодний період декілька перевищує цей показник у теплий період на заході та північному сході й суттє-

во перевищує його на півдні країни.

Аналіз очікуваних характеристик хвиль тепла за різними сценаріями дозволяє зазначити наступне. Кількість хвиль тепла у холодний період буде суттєво домінувати порівняно з теплим періодом, особливо на півдні країни. Так в Одесі їх кількість за майбутні тридцять років у 2-3 рази може перевищити наявні за 104 роки в обидва періоди. В Одесі і Харкові з жовтня по квітень хвилі тепла будуть більш інтенсивними, ніж з травня по вересень, про що свідчать і значення кумулятивної температури і амплітуди температури. Не так однозначна ситуація в Ужгороді.

Висновки. На заході України спостерігається тенденція зростання кількості хвиль тепла та їх тривалості за досліджуваний період за десятиріччями, на північному сході й півдні – ці показники зазнали коливань. Виявлено, що у всіх ре-

гіонах за фактичними даними найбільшу повторюваність (82% від загальної кількості хвиль за рік) мали хвилі тепла тривалістю 6–9 днів; за даними сценарію RCP2.6 їх повторюваність максимально зменшиться (до 52%) на півдні країни.

За всіма використаними траєкторіями кліматичних змін до 2050 року найбільша кількість хвиль тепла очікується на півдні України, причому з максимумом у холодну пору року (жовтень-квітень). Інтенсивність хвиль тепла холодного періоду є вищою, ніж теплового у всіх регіонах України, особливо південних.

Отримані результати стосовно показників і тенденцій змін хвиль тепла важливі для розробки комплексу профілактичних й захисних заходів у плані ризиків для здоров'я населення, спричинених впливом кліматом.

Список використаної літератури

1. Воздействие жары на здоровье: информация и рекомендации по охране здоровья населения. Основные факты / ВОЗ. <https://www.who.int/global-change/publications/heat-and-health/ru/> (дата звернення 7.09.2021 р.).
2. Ревич Б.А. Изменения климата и здоровье населения России: Анализ ситуации и прогнозные оценки/ Б.А. Ревич, В.В. Малофеев. – Москва: ЛЕНАНД, 2011. – 208 с.
3. Шапошников Д.А. О некоторых подходах к вычислению рисков температурных волн для здоров'я / Д.А. Шапошников, Б.А. Ревич // Анализ риска здоровью. – 2018. – № 1. – С. 22–31. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.1.03>
4. Изменение климата в Восточной Европе. Беларусь, Молдова, Украина. <http://archive.zoinet.org/web/sites/default/files/publications/CCEE-Ebook-pdf> (дата звернення 02.02.2020 р.)
5. Периоды сильной жары: угрозы и ответные меры // Серия: Здоровье и глобальное изменение окружающей среды/ ВМО. – 2005. – № 2. – 122 с.
6. Катеруша Г.П. Наслідки змін клімату для здоров'я людей / Г.П. Катеруша, О.В. Катеруша // Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України / за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового – Одеса: «ТЕС», 2015. – С. 202–256.
7. Слизька К. П. Дефініція поняття «хвиля тепла» / К. П. Слизька // Географія та туризм. – 2012. – № 22. – С. 332–339.
8. Steadman, R.G. The Assessment of Sultriness, Part I: A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science. *Journal of Applied Meteorology*, July 1979. – P. 861–873.
9. Клещенко Л.К. Волны тепла и холода на территории России / Л.К. Клещенко // Анализ изменений климата и их последствий. Сборник трудов Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных. – 2010. – № 175. – С. 76–91.
10. Ревич Б.А. Климатические условия, качество атмосферного воздуха и смертность населения Москвы в 2000–2006 гг./ Б.А. Ревич, Д.А. Шапошников. // Климат, качество атмосферного воздуха и здоровье москвичей / под ред. Б.А. Ревича. – Москва: АдамантЪ, 2006. – С. 102–140.
11. Морозова С.В. Статистическое исследование волн тепла и холода в Северо-Западном регионе зимой и летом (на примере Санкт-Петербурга)/ С.В. Морозова // Учёные записки. Метеорология. – 2014. – № 36. – С. 50–53.
12. Кузевская И.В. Температурные волны тепла как отражение изменчивости современных климатических условий жизнедеятельности на территории Томской области/ И.В. Кузевская, Д.В. Поляков, М.А. Волкова, Н.К. Барашкова // Экология человека. – 2015. – № 2. – С. 3–9.
13. Сніжко С.І. Методологія дослідження хвиль тепла / С.І. Сніжко, К.П. Слизька // Науковий часопис національного педагогічного університету імені М.П. Драгоманова. Серія 4: Географія та сучасність. – 2012. – Вип. 17(29). – С. 2–37.
14. Шевченко О.Г. Хвилі тепла та основні методологічні проблеми, що виникають при їх дослідженні / О.Г. Шевченко, С.І. Сніжко // Український гідрометеорологічний журнал. – 2012. – № 10. – С. 57–63.
15. Слизька К.П. Підходи до вивчення високих температур повітря на території України в контексті сучасних змін клімату/ К.П. Слизька // Геополітика і екогеодинаміка регіонів. – 2014. – Вип. 3. – С. 860–866.
16. Хоменко І.А. Зміни максимальних температур повітря в місті Одеса в контексті сучасних змін клімату / І.А. Хоменко, О.О. Дерев'яга // Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей. – 2014. – № 2 (17). – С. 96–105.

17. Григорьева Е.А. Волны тепла в Хабаровске и здоровье населения / Е.А. Григорьева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Том 16. – №5(2). – С. 843–846.
18. Клевец Н.Н. Волны тепла в Беларуси. Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата/Н.Н. Клевец, В.И. Мельник, Е.В. Комаровская//Материалы Международной научн. конф. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: П.С. Лопух (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2015. – С. 233–236.
19. Шевченко О.Г. Дослідження хвиль тепла літнього сезону, що спостерігалися в Києві за період 1911-2010 рр. / О.Г. Шевченко // Український гідрометеорологічний журнал. – 2013. – № 12. – С. 142–149.
20. European Climate Assessment & Dataset (ECAD). URL: <http://www.ecad.eu/> (дата звернення 17.09.2021 р.).
21. Shevchenko O., Lee H., Snizhko S., Mayer H. Long-term analysis of heat waves in Ukraine // International Journal of Climatology. – 2013. – Vol. 33, Issue 15. – P. 104–115. <https://doi.org/10.1002/joc.3792>

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Особенности динамики волн тепла в отдельных городах Украины

Тамерлан Абисалович Сафранов¹,

д. геол.-мин. н., профессор, зав. кафедры экологии и охраны окружающей среды

¹Одесского государственного экологического университета,

ул. Львовская, 15, г. Одесса, 65016, Украина;

Галина Павловна Катеруша¹,

к. геогр. н., доцент кафедры метеорологии и климатологии;

Елена Владимировна Катеруша¹,

ассистент кафедры экологии и охраны окружающей среды;

Камбиз Яраи²,

доктор клинических лабораторных наук, доктор клинической микробиологии,

директор клинической лаборатории,

²Региональный медицинский центр Коалинга, Фелпс авеню 1191, Коалинга, Калифорния 93210, США

Теперь, когда глобальное потепление является доказанным, оценка изменений термического режима и его влияния на здоровье населения стала одним из приоритетных направлений деятельности Всемирной метеорологической организации (ВМО) и Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ). В этой связи особую важность приобретают исследования экстремальных проявлений в режиме температуры воздуха отдельных регионов. Современные изменения климата сопровождаются ростом повторяемости и интенсивности волн тепла (периодов с экстремально высокой температурой), поэтому именно волнам тепла сейчас уделяется большое внимание. Кроме того, ожидается, что в будущем негативный характер последствий этих изменений будет усиливаться. В работе проведен анализ режима максимальной суточной температуры воздуха по фактическим данным за периоды, превышающие шестьдесят лет, и ожидаемых – за 2021–2050 годы для трёх станций (Ужгород, Харьков, Одесса). Для каждого дня года рассчитан так называемый «абсолютный порог температуры» согласно рекомендаций ВМО. Определено наличие волн тепла, исходя из её дефиниции, то есть период, когда максимальная суточная температура воздуха больше 5 последовательных дней превышает среднюю максимальную температуру для данного календарного дня за основной период (1961–1990 гг.) больше, чем на 5 °С. Выявлены волны тепла на основе фактических данных и модельных рядов по сценариям низкого (RCP2.6), среднего (RCP4.5) и высокого (RCP8.5) уровней выбросов парниковых газов; проанализированы их физико-статистические характеристики и прогноз динамики до 2050 года в разных регионах Украины. Наименьшее за год количество волн тепла зафиксировано на юге страны, а максимальная продолжительность волны тепла примерно одинаковая на всех исследуемых станциях (Ужгород, Харьков, Одесса). На западе Украины наблюдается тенденция роста количества волн тепла и их продолжительности за исследуемый период за десятилетия, на северо-востоке и юге – этим показателям характерны колебания. Обнаружено, что во всех регионах по фактическим данным наибольшую повторяемость (82% от общего количества волн за год) имели волны тепла продолжительностью 6–9 дней; по данным сценария RCP2.6 их повторяемость максимально уменьшится (до 52%) на юге страны. По всем использованным траекториям климатических изменений в грядущие тридцать лет наибольшее количество волн тепла ожидается на юге Украины, причем с максимумом в холодное время года (октябрь–апрель). Интенсивность волн тепла холодного периода выше, чем теплого во всех регионах Украины, особенно в южных регионах. Изученные волны тепла существенно влияют на самочувствие и смертность людей, поэтому полученные данные об их показателях и тенденциях изменений необходимы для разработки комплекса профилактических и защитных мероприятий в плане рисков для здоровья населения, связанных с климатом.

Ключевые слова: сценарии изменений климата, волны тепла, кумулятивная температура, временная динамика.

Features of the dynamics of heat waves in selected cities of Ukraine

Tamerlan Safranov¹,

DSc (Geology and Mineralogy), Professor, Head of Department of Ecology and Environmental Protection of
¹Odessa State Environmental University, 15 Lvivska St., Odessa, 65016, Ukraine;

Halyna Katerusha¹,

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

Olena Katerusha¹,

MSc (Ecology), Assistant of Department of Ecology and Environmental Protection;

Kambiz Yaraei²,

DSc (Clinical Laboratory), PhD (Clinical Microbiology), Clinical Laboratory Director,

²Coalinga Regional Medical Center, 1191 Phelps Ave, Coalinga, CA, 93210, USA

ABSTRACT

Formulation of the problem. One of the main manifestations of regional climate changes in Ukraine on the background of global warming is substantial rise of air temperature and increasing of extreme weather conditions. Therefore heat waves became a concern. Detection of heat waves and their physical and statistical characteristics on the territory of Ukraine was done by many researchers only during warm period of the year and on the basis of fact data. But it's interesting to find out what happens in this context during cold period as well because heat waves affect not only human health but also agriculture, transportation etc throughout the year. Besides in order to overcome negative consequences and for adaptation of people for climate changes prognostic values of meteorological indices, in particular air temperature according to modern climate change scenarios.

Review of previous publications. Consequences of thermal waves impact on population health is being studied in different countries of the world and in the main medical data base PubMed there are more than 1000 publications in this branch of research. But still there is no universal definition of heat waves which could be used as criteria for detecting this anomaly in all the researches. This can be explained that depending on challenges of scientific research or practical service of household activity waves of certain intensity or duration can be the most interesting.

Purpose. The aim of this work is detection of heat waves on the basis of actual and scenario data and analysis of their physical and statistical characteristics and dynamics until 2050.

Methods. Heat waves were detected on the base of actual data and model ranges by low (RCP 2.6), medium (RCP 4.5), high (RCP 8.5) levels of greenhouse gases emissions and also there were analyzed their physical and statistical characteristics and dynamics until 2050 in different regions of Ukraine.

Results. The smallest annual number of heat waves is recorded in the south of Ukraine and the maximum heat wave duration is approximately the same at all the research stations (Uzhgorod, Kharkiv, Odessa). According to all climate change trends that were used, the greatest number of heat waves in the next thirty years is expected in the south of Ukraine, with a maximum in the cold season (October-April). The intensity of heat waves, expressed by the cumulative temperature, during the cold period slightly exceeds this index during the warm period in the west and north-east and substantially exceeds it in the south, and heat waves of the same duration can have quite different intensities.

Conclusions. In the west of Ukraine, there is a trend of increasing the number of heat waves and their duration over the studied period by decades, in the northeast and south - these indicators have fluctuated. It was discovered that in all regions, according to actual data, heat waves of 6-9 days have the highest recurrence (82% of total amount of heat waves per year); according to the RCP2.6 scenario, their recurrence will be minimized (up to 52%) in the south of the country. According to all used climate change trends by 2050, the highest number of heat waves is expected in southern Ukraine, with a maximum during the cold season (October-April). The intensity of heat waves of the cold period is higher than during the warm period in all regions of Ukraine, especially the south.

Keywords: climate change scenarios, heat waves, cumulative temperature, time dynamics.

References

1. Health effects of heat: information and recommendations for protecting public health. Key facts/WHO. <https://www.who.int/globalchange/publications/heat-and-health/ru/>
2. Revich B.A., Maleev V.V. (2011). *Climate Change and Population Health in Russia: Situation Analysis and Forecasts*. Moscow: LENAND, 208.
3. Shaposhnikov D.A., Revich B.A. (2018). About some approaches to calculation of health risks caused by temperature waves. *Health Risk Analysis*, 1, 22–31. DOI: <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.1.03>
4. Climate change in Eastern Europe. Belarus, Moldova, Ukraine. <http://archive.zoinet.org/web/sites/default/files/publications/CCEE-Ebook-pdf>
5. Heatwaves: threats and responses. Series: Health and Global Environmental Change/WHO (2005), 2, 11.
6. Katerusha G.P., Katerusha O.V. (2015). The effects of climate change on human health. *Climate change and their impact on the Ukrainian economy*. Ed. Stepanenko S.M., Polyoviy A.M. Odessa: TPP, 202–256.
7. Slizka K.P. (2012). Definition of concept "heat wave". *Geography and tourism*, 22, 332–339.
8. Steadman R.G. (1979). The Assessment of Sultriness, Part I: A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science. *Journal of Applied Meteorology*, 861–873.

9. Kleshchenko L.K. (2010). Cold and heat waves on the RF territory. Analysis of climatic changes and their consequences: collection of works issued by the Russian Scientific-research Institute for Hydrometeorological Information – World Data Center, 175, 76–91.
10. Revich B.A., Shaposhnikov D.A. (2006). Climatic conditions, air quality and mortality in Moscow in 2000–2006 // Climate, air quality and the health of population of Moscow. Ed. prof. B.A. Revich. Moscow, Adamant. 102–140.
11. Morozova S.V. (2014). Statistical studies of heat and cold waves in the North Western region in winter and summer (St. Petersburg as the example). Scientific messages. Meteorology, 36, 50–53.
12. Kuzhevskaya I. V., Polyakov D. V., Volkova M. A., Barashkova N. K. (2015). Heat Waves as Reflection of Variability of Current Climatic Conditions of Vital Activity in Tomsk Region. Human Ecology, 2, 3–9.
13. Snizhko S.I., Slizka K.P. (2012). Methodology for the study of heat waves. Scientific journal of the National Pedagogical University named after M.P. Drahomanov. Series 4: Geography and Modernity. 17(29), 2–37.
14. Shevchenko O.G., Snizhko S.I. (2012). Waves of heat and the main methodological problems that arise in their study. Ukrainian Hydrometeorological Journal. 10, 57–63.
15. Slizka K.P. (2014). Approaches to the study of high air temperatures in Ukraine in the context of modern climate change. Journal of Geopolitics and Ecogeodynamics of Regions. 3, 860–866.
16. Khomenko I.A., Derevyaga O.O. (2014). Changes in maximum air temperatures in Odessa in the context of current climate change. Bulletin of the Hydrometeorological Center of the Black and Azov Seas. 2 (17), 96–105.
17. Grigoryeva E.A. (2014). Heat waves in Khabarovsk and health of the population. Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 16, 5(2), 843–846.
18. Klevets N.N., Melnik V.I., Komarovskaya E.V. (2015). Heat waves in Belarus. Problems of hydrometeorological support of economic activity in a changing climate. Materials of International conference. Belarusian State University. Minsk, 233–236.
19. Shevchenko O.G. (2013). Research of the heat waves of the summer season observed in Kiev during the period 1911–2010. Ukrainian Hydrometeorological Journal. 12, 142–149.
20. European Climate Assessment & Dataset (ECAD). <http://www.ecad.eu>
21. Shevchenko O., Lee H., Snizhko S., Mayer H. (2013). Long-term analysis of heatwaves in Ukraine. International Journal of Climatology, 33, 15, 104–115. <https://doi.org/10.1002/joc.3792>

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 26 July 2021
Accepted 31 October 2021

Доступність зелених зон в умовах компактного міста (на прикладі Києва)

Петро Григорович Шищенко¹,

д. геогр. наук, професор кафедри географії України

¹Київського національного університету імені Тараса Шевченка,

просп. акад. Глушкова, 2, м. Київ, МСП-680, Україна,

e-mail: petro.geogr@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9753-433X>;

Олена Петрівна Гавриленко¹,

к. геогр. наук, доцент кафедри фізичної географії та геоєкології,

e-mail: olena.geo@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7608-8588>;

Євген Юрійович Циганок¹,

аспірант кафедри фізичної географії та геоєкології,

e-mail: e.tsiganok@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4595-2705>

Статтю присвячено розробленню процедури оцінки доступності міських зелених зон (МЗЗ) в умовах компактного міста з ущільненою забудовою на прикладі Києва. Застосована методика передбачає просторовий і кількісний аналіз розподілу МЗЗ в межах міста з використанням геопросторових даних OpenStreetMap, Google Map та програмного забезпечення QGIS. У процесі дослідження на основі даних про кількість будинків і щільність населення розраховано реальну забезпеченість киян МЗЗ всіх видів, а також забезпеченість зеленими насадженнями, придатними для повсякденного відпочинку, в межах житлової забудови Києва. Виявлено, що забезпеченість МЗЗ, у межах яких здійснюється короткотермінова рекреація, значно поступається площею на душу населення порівняно із аналогічним показником, розрахованим для зелених насаджень усіх видів. Ці відмінності унаочнено на відповідних картосхемах. За допомогою буферного підходу визначено найкоротші відстані, які необхідно подолати пішки, щоб дістатися від житлового будинку до найближчої зеленої зони. Окремо виміряно доступність будь-якої наявної в Києві МЗЗ та доступність зелених насаджень загального користування, придатних для повсякденного відпочинку. В результаті досліджень виявлено істотні відмінності цих показників. За даними розрахунку доступності МЗЗ всіх видів, Київ насправді виглядає «зеленим» містом, де майже на всій забудованій території відстань до найближчої зеленої зони не перевищує 1000 м. Однак оцінка доступності зелених насаджень, придатних для короткострокової рекреаційної діяльності, демонструє брак МЗЗ у межах щонайменше одинадцяти житлових масивів міста. Ці розбіжності також відображено на відповідних картосхемах. Згідно проведених розрахунків, високою пішохідно-часовою доступністю МЗЗ для повсякденного відпочинку на відстані не більше 500 м забезпечено лише 45,4% киян. Населення різних вікових і соціальних груп, яке у радіусі 1 км взагалі не має доступу до жодного місця відпочинку, становить 15,5% мешканців Києва. Також виявлено істотні відмінності доступності МЗЗ у різних адміністративних районах, що свідчить про недосконалість управління всією зеленою інфраструктурою міста. Розроблений та апробований на прикладі м. Київ алгоритм оцінки доступності зелених зон може бути застосований для будь-якого компактного міста, що дозволить максимально точно визначати житлові масиви або інші локації, які потребують першочергового озеленення.

Ключові слова: міські зелені зони, компактне місто, повсякденний відпочинок, буферний підхід, оцінка пішохідної доступності зелених зон.

Як цитувати: Шищенко П. Г. Доступність зелених зон в умовах компактного міста (на прикладі Києва) / П. Г. Шищенко, О. П. Гавриленко, Є. Ю. Циганок // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2021. – Вип. 55. – С. 245-256. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-18>

In cites: Shyshchenko P. H., Havrylenko O. P., Tsyhanok Ye. Yu. (2021). Accessibility of green spaces in the conditions of a compact city: case study of Kyiv. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (55), 245-256. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-18> [in Ukrainian]

Актуальність теми. В умовах прискореної урбанізації міста набуватимуть вирішального значення для відвернення глобальної екологічної катастрофи. За оцінками ЮНЕП, на міста припадає 75% світових викидів вуглекислого газу, що робить їх внесок у глобальну зміну клімату ключовим [14]. Необхідним компонентом створення здорових, стійких та придатних для життя міст є міські зелені насадження (МЗЗ). Про це йдеться у звіті Європейського регіонального бюро ВООЗ «Urban Green Space Interventions and Health» (2017). Збільшення МЗЗ може забезпечити поліпшення екологічної ситуації та здоров'я всіх

груп населення. Оцінка доступності МЗЗ має бути спрямована на забезпечення оптимального розвитку міських громад [24]. Покращення доступу до МЗЗ є однією з цілей сталого розвитку ООН: Ціль 11.7 передбачає до 2030 року забезпечити загальний доступ до безпечних, інклюзивних зелених та громадських зон, зокрема для жінок та дітей, людей похилого віку та людей з інвалідністю [23].

Згідно концепції компактного міста як центральної парадигми урбанізму, компактність, щільність, різноманітність, змішане землекористування, стійкий транспорт і зелені насадження є

нині основними стратегіями міського планування і розвитку. У рамках цієї парадигми, підкріпленої концепцією зеленої структури, розвиваються, наприклад, шведські міста Гетеборг і Гельсінгборг [13]. Обмеженість простору в компактних містах передбачає планування багатофункціональної міської зеленої інфраструктури. Раціональне ущільнення урбанізованих територій потребує проведення просторової оцінки всіх МЗЗ з урахуванням їх соціальних, екологічних і економічних функцій. Стратегічне планування компактного міста ґрунтується на цілеспрямованому управлінні багатофункціональними зеленими зонами [15].

Постановка проблеми. Нині розроблено різні підходи до визначення доступності МЗЗ, однак єдності щодо їх застосування в умовах компактного міста поки що немає. Важливим чинником якості життя і ключовим компонентом сталого міського планування при цьому стає доступ до екосистемних послуг, що надаються зеленими насадженнями. Проблема полягає у відсутності такого компоненту в розробників планувальних стратегій розвитку міст України. Зокрема, основними містобудівними недоліками розвитку мережі озелених територій столиці у проекті Генерального плану Києва визнано недостатню забезпеченість населення озеленими територіями загального користування та нерівномірність їх розподілу за адміністративними районами. Виправляти ці недоліки планується переважно шляхом перетворення міських лісів на буферні парки, які при цьому отримають статус зелених зон загального користування [6]. Однак реальну доступність МЗЗ для киян це ніяким чином не збільшить.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження, присвячені розвитку міської зеленої інфраструктури, пропонують оцінювати доступність зелених насаджень за допомогою інструментарію ГІС [19, 25, 27]. Якщо при цьому оцінювати якість зелених насаджень у різних міських кварталах, простіше знайти резерви для поліпшення доступу різних груп міського населення до МЗЗ [22]. Наприклад, оцінка екологічної нерівності у великих містах Німеччини виявила, що 92,8% населення мають доступ до МЗЗ у межах 500-метрової відстані від місця проживання. У середньому кожен мешканець великого міста проживає на відстані 183 м від найближчої зеленої зони і має доступ до 4,4 га МЗЗ в межах 500 м буферної зони [25].

Інтегрована оцінка просторового розподілу МЗЗ та їх доступності є підставою для прийняття рішень щодо планування територій, які потребують пріоритетного озеленення [20; 26]. Приклад оцінки пішохідної доступності МЗЗ шляхом

розрахунку середньозваженого часу ходьби від перехрестя доріг до входів у міські парки наведено у праці [18]. Методологію моделювання доступності МЗЗ для міських мешканців, що базується на дистанційному зондуванні з використанням наборів даних ГІС, розглянуто у праці [19]. Наголошується, що визначені можливості пішого переходу від однієї точки до іншої дозволить приймати обґрунтовані рішення щодо поліпшення фізичного здоров'я жителів та якості навколишнього середовища. Крім цього, об'єктивним виміром рівня озеленення вулиць може слугувати модифікований індикатор Green View Index (GVI), а для ландшафтного планування і управління ефективнішим є використання зображень Google Street View (GSV) у поєднанні з GVI [17].

Відомі зарубіжні дослідження, присвячені питанням оцінки доступності зелених насаджень у містах, свідчать про зростання актуальності цієї важливої проблеми. В Україні ж поки що бракує досліджень, пов'язаних не лише з оцінкою доступності МЗЗ, але й із загальними питаннями планування зелених насаджень міст. Одну з небагатьох праць [12] присвячено аналізу підходів до озеленення урбаністичного середовища, зокрема становленню концепцій зеленого простору і зеленої інфраструктури в Україні. Головні вади Державних будівельних норм (ДБН) у сфері нормування озеленення населених пунктів України розглянуто у праці [2], де акцентовано на відсутності жодних нормативів щодо забезпеченості жителів усіма категоріями зелених насаджень, як це прийнято у більшості країн світу і регламентовано ВООЗ.

Оригінальні ідеї щодо введення у міських районах з ущільненою забудовою вертикальних і горизонтальних «зелених конструкцій» викладено у праці [10]. В умовах загострення екологічної ситуації в містах України вони виконуватимуть не тільки санітарно-гігієнічну і естетичну функції, але й сприятимуть збереженню видового різноманіття міської фауни. Порівняльний аналіз норм озеленення міст у країнах Європи та світу з наступним визначенням нормативної площі озеленення у великих містах України наведено у праці [4]. Крім того, розглянуто сучасні підходи до озеленення міського простору без радикального перетворення міського середовища та наведено приклади нетрадиційних рішень в містах України.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. У більшості розвинутих країн «зеленість» міста визначається не тільки забезпеченістю мешканців МЗЗ, але й часткою зелених технологій у енергетичній і транспортній інфраструктурі, якістю повітря, обсягами

утилізації відходів тощо. В Україні ж поняття «зелене місто» сприймається виключно як наявність у ньому значних площ МЗЗ. Будь-яке українське місто налічує безліч екологічних проблем, але найбільше їх концентрується у столиці Києві. Це забруднення повітря і водойм, неконтрольована забудова узбережжя і заплав Дніпра, незаконне викачування піску з водойм, переповненість міських сміттєзвалищ тощо. Одним з негативних трендів Києва, що формує загальний екологічний стан міста, є знищення зелених насаджень під житлову забудову.

На тлі суттєвого погіршення майже всіх екологічних показників, офіційний Київ проголосив політику створення компактного і зеленого міста, що відображено у Стратегії розвитку Києва до 2025 року та у проекті Генерального плану міста до 2040 року. Одним з п'яти ключових пріоритетів Стратегії розвитку Києва є екологічно чисте та зелене місто. У новій версії Стратегії оновлено індекс комфорту життя, одним з індикаторів якого є забезпеченість мешканців зеленими зонами загального користування [9].

Норми озеленення в українських містах регулюються ДБН, що набули чинності 2019 року. Важливою новелою цих ДБН є введення у містобудівну документацію поняття «зелені лінії», за допомогою яких обмежується забудова цінних озелених територій. Нові будівельні норми передбачають частку великих парків площею понад 100 га та лісопарків площею понад 500 га не менше 10% від загальної площі озелених територій міст. Також унормовано транспортну доступність, яка до міських парків має становити не більше 20 хвилин, а до районних парків – не більше 15 хвилин. Важливим застереженням для планувальників є вимога максимального збереження існуючих зелених насаджень при проектуванні парків, садів, скверів і бульварів. Крім цього, новими ДБН передбачено запровадження інноваційних способів збільшення площі МЗЗ: створення вертикальних садів і парків, мобільних систем озеленення, зелених екранів і стін, садів безперервного цвітіння [5].

Формулювання мети статті. Метою дослідження є розроблення алгоритму оцінки доступності зелених зон в умовах компактного міста на прикладі Києва. Для досягнення мети вирішувалися такі завдання: 1) розрахувати загальну площу всіх наявних МЗЗ в межах Києва та проаналізувати їх просторовий розподіл у різних районах столиці; 2) визначити середню забезпеченість кожного мешканця Києва зеленими насадженнями всіх видів; 3) на основі даних про кількість будинків і щільність населення розрахувати реальну забезпеченість киян МЗЗ всіх видів та окремо – забезпеченість МЗЗ для корот-

кострового відпочинку в межах житлової забудови Києва; 4) оцінити пішохідно-часову доступність МЗЗ для киян у двох вимірах: з урахуванням усього наявного рослинного покриву та окремо доступність МЗЗ загального користування для повсякденного відпочинку в різних мікрорайонах Києва.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Декілька десятиліть тому Київ вважався одним із найзеленіших міст світу. Однак нині, через масове зведення зелених зон під забудову та суттєве погіршення екологічної ситуації, місто ці позиції втратило. Підтвердженням тому є рейтинг *Husqvarna Urban Green Space Index (HUGSI)* 2020 року, в якому Київ посів 100-те місце зі 155 міст світу. HUGSI розраховується за такими індикаторами, як рівень озеленення міста, якісний стан і просторовий розподіл МЗЗ, а також забезпеченість зеленими насадженнями на душу населення [21]. Спеціальний статус міста Київ, як головного політико-адміністративного центру України, надає йому багато переваг в управлінні об'єктами зеленої інфраструктури у його межах. Водночас, такі переваги не зупиняють деградацію цінних міських ландшафтів, скорочення рекреаційних зон, різке погіршення якості повітря і питної води. Тобто, не зважаючи на офіційно проголошену політику створення компактного і зеленого міста, на практиці триває хаотична забудова не лише центральних, але й периферійних районів Києва.

Згідно діючої Програми екологічного благоулуччя м. Київ на 2019-2021 роки, загальна площа МЗЗ всіх видів становить 565 км² (67,4% території міста). З них 21,6 тис га розташовано в межах міської забудови. До кінця 2021 року забезпеченість МЗЗ загального користування має збільшитися з 22,0 до 23,5 м²/особу. Ресурсами цього зростання вказано культивування зелених насаджень на прибудинкових територіях новобудов [8]. Дані, наведені у проекті Генерального плану Києва, дещо відрізняються. Зокрема, загальна площа МЗЗ всіх видів у межах міста становить 450,4 км² (54,5% території міста) [6]. Не співпадають наведені показники також і у рейтингу HUGSI, згідно якого частка МЗЗ становить лише 44% території Києва, а забезпеченість ними на душу населення – 82,3 м² [21].

З огляду на такі розбіжності у офіційних документах щодо визначення важливих характеристик МЗЗ, ми зробили власні розрахунки усіх індикаторів, необхідних для оцінки доступності зелених насаджень у Києві. За визначенням ВО-ОЗ [24], міська зелена зона (*urban green space*) – це міський простір, вкритий рослинністю будь-якого виду, що включає вуличні дерева та придорожню рослинність; насадження, недоступні для

загального доступу чи відпочинку (зелені дахи та насадження на приватній території); загально-доступні зелені насадження, які забезпечують важливі соціальні та рекреаційні функції (парки, сквери, міські ліси, поліфункціональні природоохоронні території).

Використавши геопросторові дані Open-Street Map та Google Map, а також програмне забезпечення QGIS, ми нанесли на карту всі наявні МЗЗ в межах Києва та визначили їх загальну площу, яка становить 452,8 км², тобто 54,8% від території міста. При цьому виявили дуже нерівномірний просторовий розподіл МЗЗ у різних районах столиці. Найнижчий рівень озеленення (всього 14,8%) має Солом'янський район, а найбільш озелененими є Деснянський, Святошинський, Оболонський і Дарницький райони Києва, в яких частка МЗЗ перевищує 60%. Характерною рисою цих районів є наявність великих масивів міських лісів, розташованих переважно у їх периферійних частинах. Одним з таких масивів є Біличанський ліс, який у 2014 р. було приєднано до єдиного в Україні міського національного природного парку «Голосіївський». І хоча це надало Біличанському лісу заповідного статусу, його межі в натуру й досі не винесено. А у проєкті Генплану Києва і зовсім передбачається перетворити його на чотири буферні парки [7], що за рахунок переведення у категорію «зелені насадження загального користування» дозволить номінально збільшити середню забезпеченість МЗЗ в Києві. Це, своєю чергою, відкриє шлях до забудови нових мікрорайонів, оскільки ДБН де-юре порушено не буде.

У складі МЗЗ нами виокремлено міські природоохоронні території (МПІОТ), загальна площа яких у м. Київ нині становить 159,18 км², або 18,83% території міста. Діапазон коливання ступеня заповідності різних районів міста виявився дуже широким – від 0,33% у Солом'янському до 50,41% у Святошинському районі [11]. Це значно перевищує загальний середній рівень заповідності в Україні, який на 01.01.2020 становив усього 6,77% (за офіційними даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України). Водночас, через брак фінансування та неефективне управління, чимало створених у Києві МПІОТ швидко втрачають свою екосистемну цінність в умовах посилення неминучих конфліктів з урбаністичним оточенням. Тому декларативне збільшення рівня заповідності в місті не призводить до повноцінного виконання МПІОТ функцій, закріплених українським законодавством. Не сприяє цьому і дуже нерівномірний просторовий розподіл МПІОТ в межах Києва.

Для того, щоб визначити середню забезпеченість кожного мешканця Києва зеленими наса-

дженнями всіх видів, достатньо розрахувати співвідношення їх площі з кількістю населення Києва. МЗЗ всіх видів у межах міста включають парки, сквери, ліси і лісопарки, клумби і газони, МПІОТ, а також окремі вуличні дерева, кладовища, насадження уздовж доріг і залізниць тощо. Дані про кількість постійного населення взято з офіційного веб-сайту Головного управління статистики в м. Київ. Виявилося, що середня забезпеченість МЗЗ коливається від 329,65 м²/особу в Голосіївському районі до 15,75 м²/особу в Солом'янському районі. Середній показник забезпеченості МЗЗ всіх видів для міста в цілому становить 154,77 м²/особу. З огляду на те, що райони Києва значно відрізняються один від одного за площею і чисельністю населення, середня забезпеченість їх жителів МЗЗ всіх видів не може бути індикатором комфортного і безпечного міського середовища.

Планування МЗЗ, повною мірою інтегрованих у здоров'я та якість життя людей, потребує оцінки зелених зон, *придатних для повсякденного відпочинку і релаксації*. Тому із МЗЗ всіх видів слід виключити вуличне озеленення, придорожні насадження, кладовища, клумби тощо. Для найбільш точної оцінки доступності зелених зон Києва їх було розділено на п'ять умовних категорій: дрібні (площею до 1 га), малі (1,1-10), середні (10,1-100), великі (100,1-1000) та дуже великі (більше 1000 га). Виявилося, що на 62% всіх МЗЗ припадають лише 9 контурів, а 2802 контури МЗЗ мають площу до 1 га (рис. 1). Для оцінки забезпеченості зелених насаджень на душу населення та їх доступності дрібні МЗЗ не враховувались.

З урахуванням основних підходів, які застосовуються у європейських містах для планування мережі зелених насаджень на обмеженому просторі компактних міст [15], нами розраховано забезпеченість МЗЗ всіх видів та МЗЗ, придатних для щоденного відпочинку, в межах житлової забудови у розрахунку на душу населення. На основі аналізу офіційної статистики, містобудівної документації та відкритих даних визначено кількість житлових будинків (багатоповерхових і приватних) на кожен квадратний кілометр (100 га) території Києва. Усього нараховано близько 1,4 млн домогосподарств. За допомогою даних [1, 3] щодо типу планування, поверховості будинків та введення нового житла у експлуатацію визначено відповідну щільність населення (рис. 2). Як видно з рис. 2, найбільш перенаселеними мікрорайонами з ущільненою забудовою, окрім Центру, є Позняки, Троєщина, Оболонь і Виноградар. Середня густина населення у межах житлової забудови Києва становить 6175 осіб/км².

На підставі отриманих даних було виявлено найбільш точну забезпеченість мешканців Києва МЗЗ всіх видів (рис. 3). Доступ до екосистемних послуг, що надаються зеленими насадженнями, наразі сприймається як важливий чинник якості життя в місті [22], особливо у житлових масивах з ущільненою забудовою. Саме тому важливим індикатором оцінки комфортності проживання в них є забезпеченість МЗЗ на душу населення.

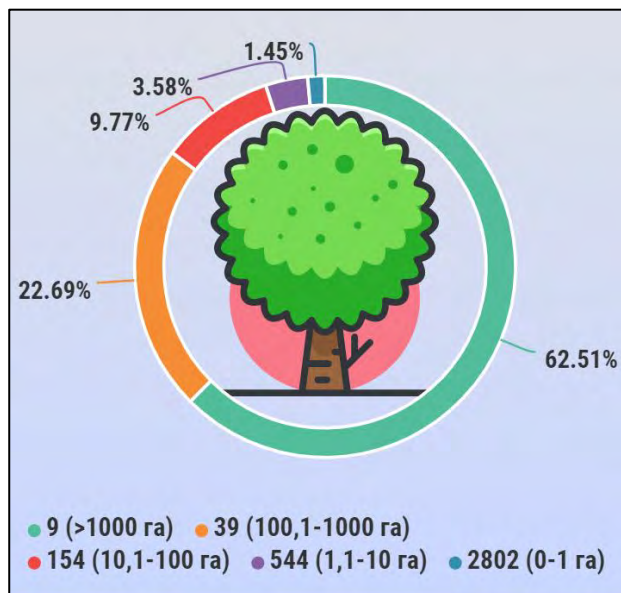


Рис. 1. Співвідношення кількості контурів МЗЗ та їх площі в межах Києва.

Fig. 1. The ratio of the UGS contours number and their area within Kiev

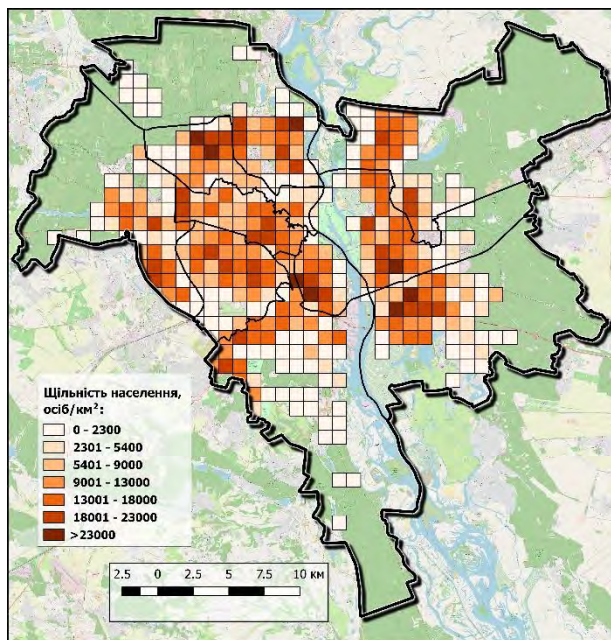


Рис. 2. Щільність населення у межах житлової забудови Києва.

Fig. 2. Population density within residential development area of Kyiv

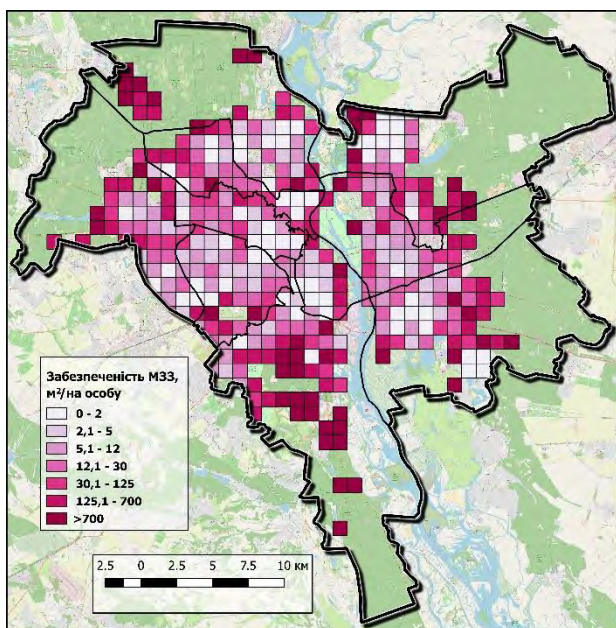


Рис. 3. Забезпеченість мешканців Києва МЗЗ всіх видів.

Fig. 3. Provision of Kyiv residents with UGS of all kinds

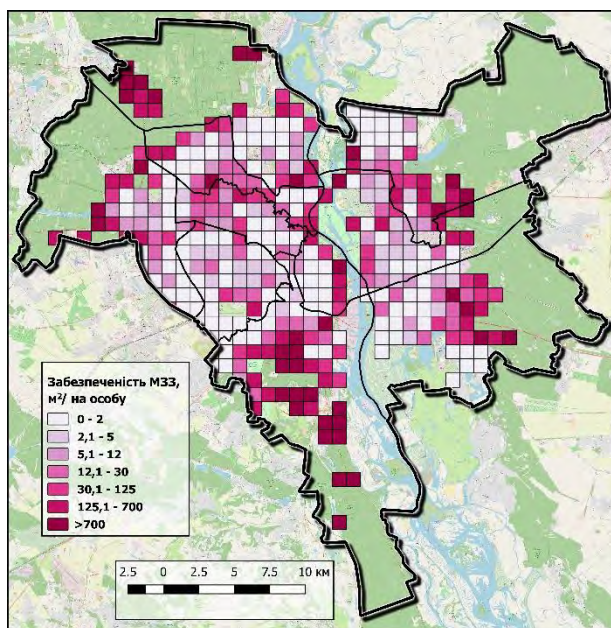


Рис. 4. Забезпеченість мешканців Києва МЗЗ для повсякденного відпочинку.

Fig. 4. Provision of Kyiv residents with UGS for daily recreation

рвоний Хутір, Нова Дарниця, частково Позняків і північної частини Виноградяра. Майже не забезпечені зеленими насадження центральні мікрорайони міста з найбільш щільною забудовою, а також Вітряні гори, Бортничі, Південна і Микільська Борщагівка, Поділ, щільно заселена Троєщина, Мінський масив, значна частина Оболоні та Позняків.

Отримані результати лягли в основу вимірювання доступності МЗЗ для киян. Пішохідна доступність зелених насаджень визначається як відстань, пройдена від житлового будинку до найближчої зеленої зони. Якщо прийняти у якості середньої швидкості руху пішоходів усіх вікових груп 3 км/год, то відстань у 500 м долається за 10 хв., а відстань у 1000 м – відповідно за 20 хв. Враховуючи нелінійність маршрутів та наявність перешкод (будинки, паркани, автодороги), навколо МЗЗ було створено буферні зони шириною в 300 та 700 м, що приблизно дорівнює пішохідним дистанціям 500 та 1000 м відповідно. Коректність таких параметрів підтверджується моделюванням пішохідної доступності за допомогою мережевого аналізу засобами GRASS GIS: побудовані ізохрони доступності з урахуванням пошуку найкоротшої дистанції за графом дорожньої мережі повністю збігаються з буферами обраної нами ширини.

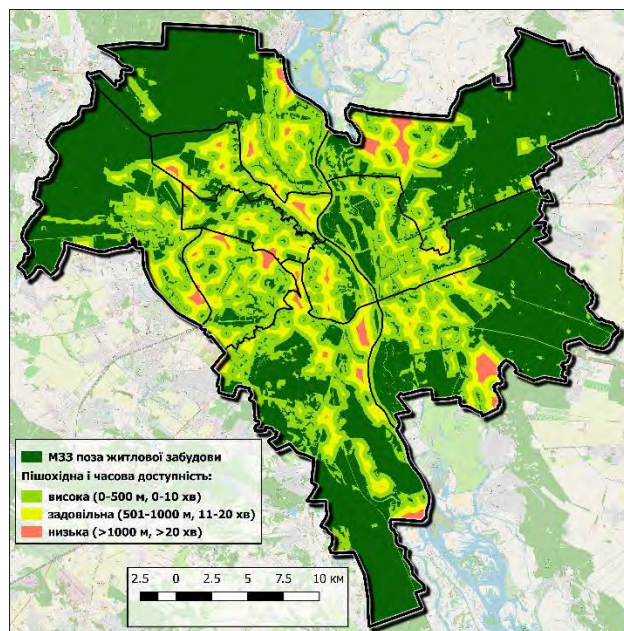


Рис. 5. Доступність МЗЗ всіх видів у межах Києва

Fig. 5. Accessibility of UGS of all kinds within Kyiv

У вихідні дні пересічний житель Києва найчастіше вирішує питання «де відпочити?» на користь лісопарку чи МПОТ, розташованих здебільшого на околицях міста. Переваги мають кияни, які мешкають у пішохідній доступності до них, і у цьому полягає певна соціальна нерів-

З огляду на багатофункціональність МЗЗ, враховано весь наявний рослинний покрив, включаючи насадження уздовж доріг і залізниць, клумби і газони, окремі кущі й дерева тощо. В результаті отримали «дуже зелене» місто, де навіть у центрі та посеред щільно забудованих масивів відстань до найближчої МЗЗ не перевищує 1000 м (рис. 5). Серед «гарячих точок», де в межах 20-хвилинної пішохідної доступності відсутні будь-які зелені насадження, виділяються Шулявка, Печерськ, Бортничі, Троєщина. Доступність МЗЗ всіх видів має значення, якщо треба оцінити екосистемні послуги, отримувані громадою від рослинних біоценозів (очищення повітря, захист від екстремальних погодних явищ тощо). Така доступність достатньо чітко корелюється із показниками забезпеченості МЗЗ всіх видів на душу населення.

Для того, щоб з'ясувати, наскільки МЗЗ загального користування доступні мешканцям різних мікрорайонів Києва для повсякденного відпочинку, довелося окремо визначити відстані до найближчих парків, скверів, лісопарків та поліфункціональних МПОТ із рекреаційними зонами (рис. 6). Пішохідна доступність парків, скверів і навіть бульварів має пріоритетне значення для здійснення короткострокових прогулянок, що надзвичайно важливо для зниження стресу в умовах мегаполісу.

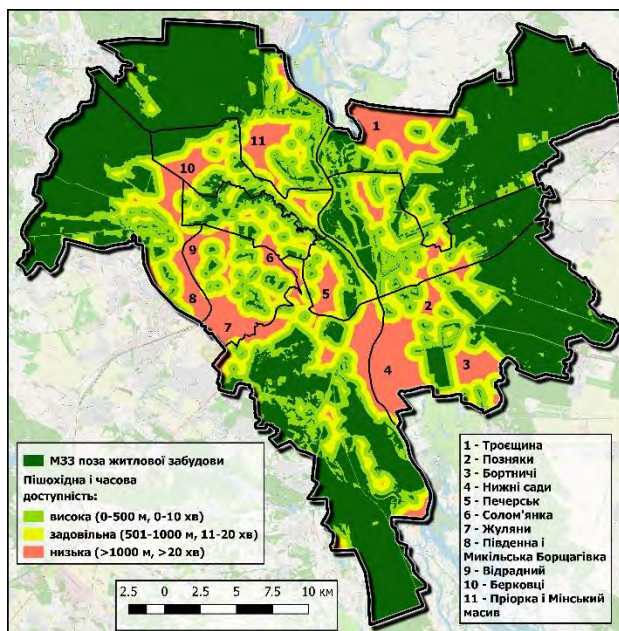


Рис. 6. Доступність МЗЗ Києва для короткострокового відпочинку

Fig. 6. UGS accessibility for short-term recreation in Kyiv

ність. Однак і з центральних районів групи людей масово вирушають на вихідні у Голосіївський ліс, Феофанію чи Гідропарк, витрачаючи значно більше часу та посилюючи рекреаційне навантаження на природні екосистеми.

Оцінка доступності зелених насаджень підкреслює якісні аспекти комфортності проживання у місті, які часто не співпадають із кількісними параметрами просторового розподілу МЗЗ. Такі дослідження надають можливість планувальникам виділяти МЗЗ, найбільш чутливі до впливу природних і антропогенних чинників [16]. Рис. 6 дає чітке уявлення про те, які житлові масиви Києва потребують першочергового збільшення рівня озеленення. Причому найбільші «гарячі» локації з низькою доступністю МЗЗ розташовані здебільшого не у центральних районах міста, а на периферії забудованої території. Що підтверджує кореляцію доступності зелених зон не лише із просторовими параметрами озеленення, але й із щільністю домогосподарств у різних мікрорайонах, родини яких мають можливість пішки дістатися до найближчої МЗЗ протягом найкоротшого часу.

Для порівняння ми розраховували співвідношення буферних зон, за розмірами яких оцінювався рівень доступності МЗЗ у межах забудова-

ної території Києва. Найбільша частка (46,53%) припадає на буферну зону до 500 м, де кияни мають високий рівень доступу до МЗЗ. Частка буферної зони розміром 501-1000 м, у межах якої можна пішки дістатися до найближчого парку чи скверу за 11-20 хв., становить 31,22%. Найменшою (15,47%) виявилася частка територій з низьким рівнем доступу до МЗЗ, де у межах кілометрової доступності немає жодних зелених насаджень, придатних для короткострокового відпочинку. Саме тут проявляється соціальна нерівність окремих груп населення, зокрема людей похилого віку та людей з інвалідністю, позбавлених пішохідного доступу до будь-яких МЗЗ. Ми визначили співвідношення киян, які мають різний рівень доступу до МЗЗ, придатних для короткострокового повсякденного відпочинку (рис. 7). Також порівняли середню забезпеченість зеленими насадженнями всіх видів та МЗЗ, придатними для повсякденного відпочинку, в розрізі районів Києва (рис. 8). Як бачимо, між районами існують значні розбіжності: якщо у Шевченківському районі майже всі наявні МЗЗ придатні для короткострокової рекреації, то у Дарницькому, Святошинському, Печерському та Солом'янському районах між цими параметрами існує колосальний розрив.

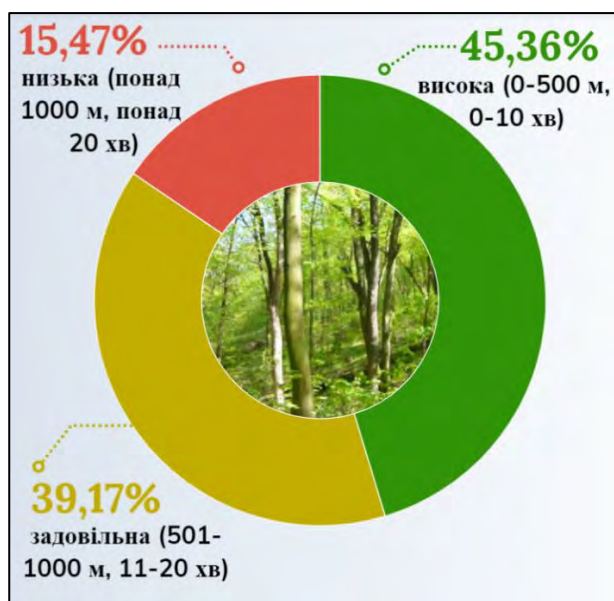


Рис. 7. Розподіл населення Києва за рівнем пішохідно-часової доступності МЗЗ

Fig. 7. Distribution of the Kyiv population according to the level of pedestrian-time UGS accessibility

В умовах компактного мегаполісу з ущільненою забудовою у центральних районах, інтенсивним зведенням новобудов на околицях та важкодоступними лісовими масивами на периферії, необхідно запроваджувати додаткові зони екологічного комфорту. Наприклад, в ареалах



Рис. 8. Забезпеченість МЗЗ на душу населення в районах Києва (м²/особу)

Fig. 8. Provision of the UGS per capita in the Kyiv districts (m²/person)

старої малоповерхової забудови, де неможливо розбити парки і сквери, доцільно озеленювати міжбудинкові проходи і проїзди, фасади і дахи будівель, створювати екопарковки. Такі зони комфорту, крім продукування кисню, очищення повітря і зменшення рівня шуму, створюють

охладжувальний ефект в теплу пору року, зменшують навантаження на дощове водовідведення, виконують естетичну функцію. У багатьох країнах вертикальне й дахове озеленення закріплено на законодавчому рівні.

Висновки. Планування компактного міста значною мірою ґрунтується на управлінні багатofункціональними зеленими зонами. Раціональне ущільнення урбанізованих територій потребує проведення просторової оцінки всіх МЗЗ з урахуванням їх екологічних і соціально-економічних функцій. Зручна пішохідна доступність МЗЗ надзвичайно важлива для забезпечення фізичного і психічного благополуччя мешканців мегаполісів. Розроблений алгоритм оцінки доступності зелених зон в умовах компактного міста на прикладі Києва передбачає кількісний і просторовий аналіз МЗЗ; визначення забезпеченості киян зеленими насадженнями всіх видів та забезпеченості МЗЗ загального користування, придатних для короткострокового відпочинку в межах кілометрової буферної зони; оцінку пішохідно-часової доступності МЗЗ так само за двома

параметрами – з урахуванням МЗЗ всіх видів та придатних для повсякденного відпочинку зелених зон.

За результатами дослідження, у м. Київ виявлено щонайменше одинадцять крупних локацій у різних мікрорайонах, жителі яких позбавлені доступу до МЗЗ у межах кілометрової відстані. Ці локації переважно співпадають з найбільш перенаселеними житловими масивами з ущільненою забудовою і найнижчими показниками забезпеченості зеленими насадженнями на душу населення. Також виявилось, що високий доступ до МЗЗ (до 500 м) мають усього 45,4% населення Києва, а 15,5% киян на відстані в 1 км взагалі не забезпечені жодним місцем для відпочинку, крім лавочки у дворі. Істотні відмінності виявлено також при порівнянні пішохідного доступу до МЗЗ у різних адміністративних районах міста: у Печерському районі лише 20% родин мають можливість за 10 хвилин дістатися до найближчої МЗЗ, а у Дніпровському, навпаки, майже всі мешканці забезпечені зеленими насадженнями для відпочинку в радіусі 1 км (рис. 9).

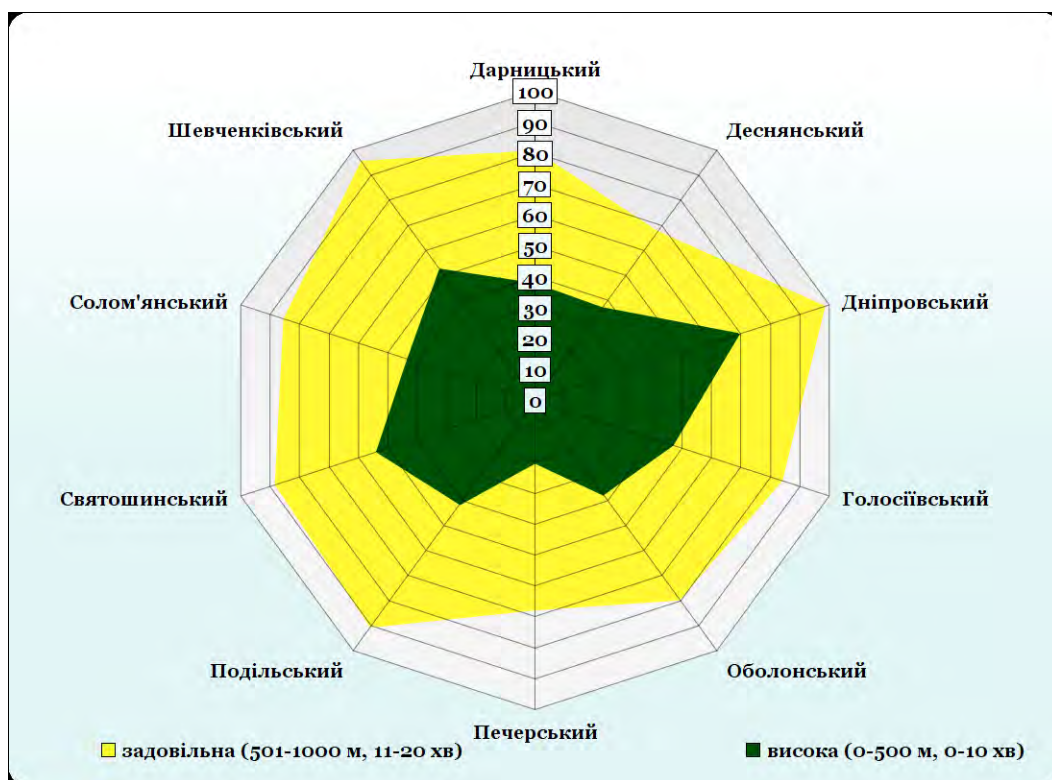


Рис. 9. Пішохідна доступність МЗЗ у районах Києва (%).

Fig. 9. Pedestrian UGS accessibility in the Kyiv districts (%).

З огляду на те, що пішохідна доступність до найближчих парків, скверів та інших місць відпочинку має важливе значення для зниження стресу в умовах мегаполісу, результати дослідження можуть бути використані планувальниками для визначення житлових масивів Києва, які першочергово потребують збільшення рівня

озеленення. У перспективі вибір пріоритетних локацій можна конкретизувати шляхом врахування груп населення, найбільш уразливих до впливу стресогенних чинників, тобто літніх людей та людей з особливими потребами. У процесі планування необхідно забезпечити рівний доступ до громадських зелених зон всіх груп насе-

лення міста у певному радіусі від місця проживання. Планування розширення рекреаційних можливостей зелених зон в ущільненому просторі компактного міста за рахунок реконструкції

існуючих МЗЗ та озеленення мікрорайонів з найнижчою забезпеченістю і доступністю зелених насаджень має бути закріплено у Генеральному плані та Стратегії розвитку Києва.

Список використаної літератури

1. Де в Києві найближче до парків і скверів? [Електронний ресурс] / ЛУН Місто. – Режим доступу: <https://misto.lun.ua/ozelenennya>
2. Зібцева О.В. Аналітична оцінка осучаснених норм озеленення міст [Текст] / О.В. Зібцева, В.Ю. Юхновський // Біоресурси і природокористування. – 2019. – Т. 11. – № 5-6. – С. 131-140. <http://dx.doi.org/10.31548/bio2019.05.014>
3. ЛУН Місто [Електронний ресурс] / Офіційний сайт, 2020. – Режим доступу: <https://misto.lun.ua/#rec279021961>
4. Очеретний В.П. Сучасна тенденція скорочення площі зелених насаджень в світі [Текст] / В.П. Очеретний, Т.Е. Потапова, Д.М. Кузьміна, В.М. Сологор // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2017. – № 2. – С. 69-76.
5. Планування та забудова територій. ДБН Б.2.2-12:2019 [Електронний ресурс] / Київ: Мінрегіон України, 2019. – Режим доступу: <https://dreamdim.ua/wp-content/uploads/2019/07/DBN-B22-12-2019.pdf>
6. Проєкт Генерального плану міста Києва [Електронний ресурс] / Офіційний сайт КО «Київгенплан», 2020. – Режим доступу: <http://kyivgenplan.grad.gov.ua/>
7. Проєкт Генплану Києва пропонує створити 17 буферних парків біля житлових масивів (+перелік) [Електронний ресурс] / Офіційний портал Києва, 2020. – Режим доступу: <https://kyivcity.gov.ua/news/proyekt-genplanu-kiyeva-proponuye-stvoriti-17-bufernikh-parkiv-bilya-zhitlovikh-masiviv-perelik/>
8. Про затвердження Комплексної міської цільової програми екологічного благополуччя міста Києва на 2019-2021 роки : рішення Київської міської ради від 18.12.2018 [Електронний ресурс] / Офіційний веб-сайт Київської міської ради, 2018. – Режим доступу: <https://kmr.gov.ua/uk/content/rishennya-kyivskoyi-miskoyi-rady-97>
9. Стратегія розвитку міста Києва до 2025 року (нова редакція) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dei.kyivcity.gov.ua/files/2017/7/28/Strategy2025new.pdf>
10. Ткаченко Т.М. Зелені конструкції як ефективний спосіб стабілізації та поліпшення стану довкілля урбоценозів (на прикладі Солом'янського району м. Києва) [Текст] / Т.М. Ткаченко, Д.В. Гулей // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. – 2018. – № 1(17). – С. 46-56.
11. Шищенко П.Г. Заповідні території в умовах мегаполісу: дисерсія та шляхи відновлення (на прикладі окремих природоохоронних територій Києва) [Текст] / П.Г. Шищенко, О.П. Гавриленко, Є.Ю. Циганок // Український географічний журнал. – 2020. – № 4. – С. 49-56. <https://doi.org/10.15407/ugz2020.04.049>
12. Юхновський В.Ю. Порівняльний аналіз класифікації зелених насаджень населених пунктів України та пострадянських країн [Текст] / В.Ю. Юхновський, О.В. Зібцева // Наукові праці Лісівничої академії наук України. – 2018. – Вип. 16. – С. 90-98. <https://doi.org/10.15421/411810>
13. Bibri S.E. Compact city planning and development: Emerging practices and strategies for achieving the goals of sustainability [Text] / S.E. Bibri, J. Krogstie, M. Kärrholm // Developments in the Built Environment. – 2020. – Vol. 4. – 100021. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100021>
14. Cities and climate change [Electronic resource] / UNEP Official site. – Available at: <https://www.unenvironment.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/cities/cities-and-climate-change>
15. Hansen R. Planning multifunctional green infrastructure for compact cities: What is the state of practice? [Text] / R. Hansen, A.S. Olafsson, A.P.N. van der Jagt, E. Rall, S. Pauleit // Ecological Indicators. – 2019. – Vol. 96(2). – P. 99-110. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.09.042>
16. Jang K.M. Urban Green Accessibility Index: A Measure of Pedestrian-Centered Accessibility to Every Green Point in an Urban Area [Text] / K.M. Jang, J. Kim, H.-Y. Lee, H. Cho, Y. Kim // International Journal of Geo-Information. – 2020. – Vol. 9(10). – 586. <https://doi.org/10.3390/ijgi9100586>
17. Li X. Assessing street-level urban greenery using Google Street View and a modified Green View Index [Text] / X. Li, C. Zhang, W. Li, R. Ricard, Q. Meng, W. Zhang // Urban Forestry & Urban Greening. – 2015. – Vol. 14(3). – P. 675-685. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.06.006>
18. Liang H. Walking accessibility of urban parks in a compact megacity [Text] / H. Liang, D. Chen, Q. Zhang // Urban Design and Planning. – 2017. – 170(2). – P. 59-71. <https://doi.org/10.1680/jurdp.16.00030>
19. Lwin K.K. Modelling of urban green space walkability: Eco-friendly walk score calculator [Text] / K.K. Lwin, Y. Murayama // Computers, Environment and Urban Systems. – 2011. – Vol. 35(5). – P. 408-420. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2011.05.002>
20. Niu Q. Detailed Assessment of the Spatial Distribution of Urban Parks According to Day and Travel Mode Based on Web Mapping API: A Case Study of Main Parks in Wuhan [Text] / Q. Niu, Y. Wang, Y. Xia, H. Wu, X. Tang // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2018. – Vol. 15(8). – 1725. <https://doi.org/10.3390/ijerph15081725>
21. Ranking: Kyiv [Electronic resource] / HUGSI Official site, 2020. – Available at: <https://www.hugsi.green/city/?Kyiv>

22. Stessens P. *Analysing urban green space accessibility and quality: A GIS-based model as spatial decision support for urban ecosystem services in Brussels* [Text] / P. Stessens, A.Z. Khan, M. Huysmans, F. Canters // *Ecosystem Services*. – 2017. – Vol. 28. – P. 328-340. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.10.016>
23. *The 17 Goals* [Electronic resource] / United Nations: Department of Economic and Social Affairs. Sustainable Development. – Available at: <https://sdgs.un.org/goals>
24. *Urban Green Space Interventions and Health* [Electronic resource] / WHO Regional Office for Europe, 2017. – Available at: https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0010/337690/FULL-REPORT-for-LLP.pdf
25. Wüstemann H. *Access to urban green space and environmental inequalities in Germany* [Text] / H. Wüstemann, D. Kalisch, J. Kolbe // *Landscape and Urban Planning*. – 2017. – Vol. 164. – P. 124–131. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.04.002>
26. Ye Y. *Measuring daily accessed street greenery: A human-scale approach for informing better urban planning practices* [Text] / Y. Ye, D. Richards, Y. Lu, X. Song, Y. Zhuang, W. Zeng, T. Zhong // *Landscape and Urban Planning*. – 2019. – Vol. 191. – 103434. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.08.028>
27. Yu Z. *Dynamics of Hierarchical Urban Green Space Patches and Implications for Management Policy* [Text] / Z. Yu, Y. Wang, J. Deng, Z. Shen, K. Wang, J. Zhu, M. Gan // *Sensors*. – 2017. – Vol. 17(6). – 1304. <https://doi.org/10.3390/s17061304>

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Доступность зеленых зон в условиях компактного города (на примере Киева)

Петр Григорьевич Шищенко¹,

д. геогр. наук, профессор кафедры географии Украины

¹Киевского национального университета имени Тараса Шевченко,
просп. акад. Глушкова, 2, г. Киев, МСП-680, Украина;

Елена Петровна Гавриленко¹,

к. геогр. наук, доцент кафедры физической географии и геоэкологии;

Евгений Юрьевич Цыганок¹,

аспирант кафедры физической географии и геоэкологии

Статья посвящена разработке процедуры оценки доступности городских зеленых зон (ГЗЗ) в условиях компактного города с уплотненной застройкой на примере Киева. Примененная методика предусматривает пространственный и количественный анализ распределения ГЗЗ в пределах города с использованием геопространственных данных OpenStreetMap, Google Map и программного обеспечения QGIS. В процессе исследования на основе данных о количестве домов и плотности населения рассчитана реальная обеспеченность киевлян ГЗЗ всех видов, а также обеспеченность зелеными насаждениями, пригодными для повседневного отдыха, в пределах жилой застройки Киева. Выявлено, что обеспеченность ГЗЗ, в пределах которых осуществляется краткосрочная рекреация, значительно уступает площадью на душу населения по сравнению с аналогичным показателем, рассчитанным для зеленых насаждений всех видов. Эти различия показаны на соответствующих картохемах. С помощью буферного подхода определены кратчайшие расстояния, которые необходимо преодолеть пешком, чтобы добраться от жилого дома до ближайшей зеленой зоны. Отдельно измерены доступность любых имеющихся в Киеве ГЗЗ и доступность зеленых насаждений общего пользования, пригодных для повседневного отдыха. В результате исследований выявлены существенные различия этих показателей. По данным расчета доступности ГЗЗ всех видов, Киев на самом деле выглядит «зеленым» городом, где почти на всей застроенной территории расстояние до ближайшей зеленой зоны не превышает 1000 м. Однако оценка доступности зеленых насаждений, пригодных для краткосрочной рекреационной деятельности, демонстрирует недостаток ГЗЗ в пределах не менее одиннадцати жилых массивов города. Эти различия также отражены на соответствующих картохемах. Согласно проведенным расчетам, высокой пешеходно-временной доступностью ГЗЗ для повседневного отдыха на расстоянии не более 500 м обеспечено только 45,4% киевлян. Население различных возрастных и социальных групп, которое в радиусе 1 км вообще не имеет доступа ни к одному месту отдыха, составляет 15,5% жителей Киева. Также выявлены существенные различия доступности ГЗЗ в разных административных районах, что свидетельствует о несовершенстве управления всей зеленой инфраструктурой города. Разработанный и апробированный на примере г. Киев алгоритм оценки доступности зеленых зон может быть применен для любого компактного города, что позволит максимально точно определять жилые массивы или другие локации, требующие первоочередного озеленения.

Ключевые слова: городские зеленые зоны, компактный город, повседневный отдых, буферный подход, оценка пешеходной доступности зеленых зон.

Accessibility of green spaces in the conditions of a compact city: case study of Kyiv

Petro Shyshchenko¹,

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

¹Taras Shevchenko National University of Kyiv, 2A Glushkov Av., Kyiv, 03680, Ukraine;

Olena Havrylenko¹,

PhD (Geography), Associate professor of Department of Physical Geography and Geoecology;

Yevhen Tsyhanok¹,

PhD Student of Department for Physical Geography and Geoecology

Purpose. The goal of the study is to develop an algorithm for assessing urban green space (UGS) accessibility in conditions of a compact city with high-density development by the example of Kyiv.

Methodology. The research technique provides for spatial and quantitative analysis of UGS distribution within city limits by using OpenStreetMap, Google Map geospatial data and the QGIS software. The pedestrian accessibility to greenery is determined as the distance walked from the residential building to the nearest green space. If the average speed of walking of all age groups is taken to be 3 km/hr, then 10 minutes are needed to cover a distance of 500 m, and 20 minutes, for 1,000 m. To account for curved paths and obstacles (buildings, fences, motorways), UGS were surrounded with buffer areas 300 m and 700 m wide. This equals the walking distances of 500 and 1,000 m respectively.

Results. We plotted on the map all available UGS within Kyiv limits, determined their total area and found a very uneven spatial UGS distribution in different city districts. Then we found the average provision of each Kyiv resident with greenery of all kinds, including not only parks, mini parks, and urban forests, but also cemeteries, flowerbeds and grass lawns, separate street bushes and trees, and roadside hedgerows.

Based on the data of the number of buildings and the population density within Kyiv's residential development area, we calculated the actual provision of Kyiv residents with UGS of all kinds, and with greenery suitable for daily recreation. In so doing, we found that the provision of UGS, where short-term recreation is possible, is significantly smaller in area per head of population as compared to an identical indicator calculated for greenery of all kinds. This is confirmed by the built map charts.

Using the buffer approach, we determined the shortest distances to be covered to reach a UGS nearest to a residential building. Independently, we measured pedestrian accessibility to any green cover in Kyiv and UGS accessibility for public use, which are suitable for daily recreation in different Kyiv micro districts. The findings yielded a significant difference in these indicators.

According to the calculations of UGS accessibility of all kinds, Kyiv really looks like a "green" city where almost in all the developed territories the distance to the nearest UGS is within 1,000 m. However, an assessment of the accessibility to greenery suitable for short-term daily recreation is indicative of a deficiency of UGS in at least eleven residential complexes in the city. All the locations with different UGS accessibility are also plotted on relevant map charts.

Scientific novelty. The study has shown that only 45.4% of Kyiv residents are provided with high pedestrian accessibility within a distance of 500 m to UGS for daily recreation. The residents of different age and social groups who, within a 1-km radius, have no access at all to any recreation site make up 15.5% of Kyiv residents. Substantial disproportions in UGS accessibility were also found in different administrative districts and residential complexes. This is indicative that the management of the entire city's green infrastructure is not perfect.

Practical importance. The algorithm for assessing green space accessibility that was developed and tested for Kyiv can be used for any compact city. This will help city planners to identify accurately the micro districts and other locations requiring priority planting of greenery.

Keywords: urban green space, compact city, daily rest, buffer approach, assessment of pedestrian urban green space accessibility.

References

1. Where in Kyiv is the closest to parks and squares? LUN City (2019). Available at: <https://misto.lun.ua/ozelenennya>
2. Zibtseva O., Yukhnovskyi V. (2019). Analytical evaluation of developed norms for greening of cities. *Biological Resources and Nature Management*, 11(5–6), 131–140. <http://dx.doi.org/10.31548/bio2019.05.014>
3. LUN City (2020). Available at: <https://misto.lun.ua/#rec279021961>
4. Ocheretnyj V., Potapova T., Kuzmina D., Solohor V. (2017). A modern tendency of reducing the space of green plants in the world. *Modern Technology, Materials and Design in Construction*, 2, 69–76.
5. Planning and development of territories. DBN B.2.2-12: 2019. Kyiv, Ministry of Regional Development of Ukraine (2019). Available at: <https://dreamdim.ua/wp-content/uploads/2019/07/DBN-B22-12-2019.pdf>
6. Draft Master Plan of the city of Kyiv. Official site of "Kyivgenplan" (2020). Available at: <http://kyivgenplan.grad.gov.ua/>
7. The draft Master Plan of Kyiv proposes to create 17 buffer parks near residential areas (+ list). Official portal of Kyiv (2020). Available at: https://kyivcity.gov.ua/news/proyekt_genplanu_kiyeva_proponuye_stvoriti_17_bufernih_parkiv_bilya_zhitlovikh_masiviv_perelik/

8. On approval of the Integrated City Target Program of Environmental Well-being of the Kyiv City for 2019-2021: decision of the Kyiv City Council of 12/18/2018. Official website of the Kyiv City Council (2018). Available at: <https://kmr.gov.ua/uk/content/rishennya-kyivskoyi-miskoyi-rady-97>
9. Kyiv City Development Strategy until 2025 (new edition). Available at: <https://dei.kyivcity.gov.ua/files/2017/7/28/Strategy2025new.pdf>
10. Tkachenko T. M., Hulei D. V. (2018). Green structures as an effective way to stabilize and improve the environment of urbocenoses (on the example of Solomyansky district of Kyiv). *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*, 1(17), 46-56.
11. Shyshchenko P.H., Havrylenko O.P., Tsyhanok Ye.Yu. (2020). Protected areas under the conditions of megapolis: digression and recovery ways (on the example of Kyiv). *Ukrainian Geographical Journal*, 4, 49-56. <https://doi.org/10.15407/ugz2020.04.049>
12. Yukhnovskiy V., Zibtseva O. (2018). Comparative analysis of settlements green plantations classification in Ukraine and post-Soviet countries. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 16, 90-98. <https://doi.org/10.15421/411810>
13. Bibri S.E., Krogstie J., Kärrholm M. (2020). Compact city planning and development: Emerging practices and strategies for achieving the goals of sustainability. *Developments in the Built Environment*, 4, 100021. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100021>
14. Cities and climate change. UNEP Official site. Available at: <https://www.unenvironment.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/cities/cities-and-climate-change>
15. Hansen R., Olafsson A.S., van der Jagt A.P.N., Rall E., Pauleit S. (2019). Planning multifunctional green infrastructure for compact cities: What is the state of practice? *Ecological Indicators*, 96(2), 99-110. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.09.042>
16. Jang K.M., Kim J., Lee H.-Y., Cho H., Kim Y. (2020). Urban Green Accessibility Index: A Measure of Pedestrian-Centered Accessibility to Every Green Point in an Urban Area. *International Journal of Geo-Information*, 9(10), 586. <https://doi.org/10.3390/ijgi9100586>
17. Li X., Zhang C., Li W., Ricard R., Meng Q., Zhang W. (2015). Assessing street-level urban greenery using Google Street View and a modified Green View Index. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(3), 675-685. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.06.006>
18. Liang H., Chen D., Zhang Q. (2017). Walking accessibility of urban parks in a compact megacity. *Urban Design and Planning*, 170(2), 59-71. <https://doi.org/10.1680/jurdp.16.00030>
19. Lwin K.K., Murayama Y. (2011). Modelling of urban green space walkability: Eco-friendly walk score calculator. *Computers, Environment and Urban Systems*, 35(5), 408-420. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2011.05.002>
20. Niu Q., Wang Y., Xia Y., Wu H., Tang X. (2018). Detailed Assessment of the Spatial Distribution of Urban Parks According to Day and Travel Mode Based on Web Mapping API: A Case Study of Main Parks in Wuhan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(8), 1725. <https://doi.org/10.3390/ijerph15081725>
21. Ranking: Kyiv. HUGSI Official site (2020). Available at: <https://www.hugsi.green/city/?Kyiv>
22. Stessens P., Khan A.Z., Huysmans M., Canters F. (2017). Analysing urban green space accessibility and quality: A GIS-based model as spatial decision support for urban ecosystem services in Brussels. *Ecosystem Services*, 28, 328-340. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.10.016>
23. The 17 Goals. United Nations: Department of Economic and Social Affairs. Sustainable Development. Available at: <https://sdgs.un.org/goals>
24. Urban Green Space Interventions and Health. WHO Regional Office for Europe (2017). Available at: https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0010/337690/FULL-REPORT-for-LLP.pdf
25. Wüstemann H., Kalisch D., Kolbe J. (2017). Access to urban green space and environmental inequalities in Germany. *Landscape and Urban Planning*, 164, 124-131. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.04.002>
26. Ye Y., Richards D., Lu Y., Song X., Zhuang Y., Zeng W., Zhong T. (2019). Measuring daily accessed street greenery: A human-scale approach for informing better urban planning practices. *Landscape and Urban Planning*, 191, 103434. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.08.028>
27. Yu Z., Wang Y., Deng J., Shen Z., Wang K., Zhu J., Gan M. (2017). Dynamics of Hierarchical Urban Green Space Patches and Implications for Management Policy. *Sensors*, 17(6), 1304. <https://doi.org/10.3390/s17061304>

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 3 Mars 2021

Accepted 16 Mars 2021

ЕКОЛОГІЯ

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-19>
UDC 551.24.548:242.7

Received 23 February 2021
Accepted 2 November 2021

Ways of optimization of lead-polluted black earth soils in the soil-plant system

Yana O. Biletska¹,

DSc (Engineering), Professor, Department of International E-Commerce and Hotel and Restaurant Business,
¹V. N. Karazin Kharkiv National University, 6 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,
e-mail: monika3384@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-8060-6579>;

Alla N. Nekos¹,

DSc (Geography), Professor, Department of Ecological Safety and Ecological Education,
Educational and Scientific Institute of Ecology
e-mail: alnekos999@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1852-0234>;

Anastasia O. Bekhter²,

Postgraduate Senior Secretary, Secretary of the Department of Ecological Biotechnology,
²Lodzinskiy University of Technology, 3B, 605 Polytechnic St., Lodz, 90-535, Poland,
e-mail: bekhteranastasiia@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6024-5278>;

Anna S. Krivtsova¹,

PhD (Economics), Associate Professor,
Department of International E-Commerce and Hotel and Restaurant Business,
e-mail: anna.perepelytsia@karazin.ua, <http://orcid.org/0000-0002-2306-7975>;

Olga I. Brayninger³,

PhD Student, ³State Biotechnological University,
44 Alchevskych St., Kharkiv, 61000, Ukraine,
e-mail: olya.braininger@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7730-713X>

ABSTRACT

Formulation of the problem. Ecological safety of soils and cultivation of ecologically safe food products of plant origin is one of the most urgent problems of today. Ensuring the environmental safety of food raw materials and food products is one of the main tasks that determine the health of the human population and the preservation of its gene pool.

Analysis of recent research and publications. Toxic effects of Pb on human bodies have been confirmed by numerous clinical studies that have shown the negative effects of heavy metals on the nervous, cardiovascular, immune systems and oncology. The works is devoted to the development of detoxification techniques, in which scientists proposed to reduce the content of heavy metals in chernozems by detoxifying soils by growing battery plants on them, which will «extract» heavy metals from soils disinfecting them. The disadvantage of the proposed technologies is the economic costs borne by farmers, producers and consumers. Farmers will suffer financial losses due to idle sown areas and the cost of seed. Producers will be forced to raise prices for the final food product as a result of reduced consumer purchasing power.

Formulation of the purpose of the article. The aim of the article is to determine ways to optimize lead-contaminated chernozem soils in the system «soil – plant» (on the example of chernozem soils within the test sites on the territory of the collection nursery «Agrotek» in Kyiv region).

Presentation of the main research material. The article presents the results of a study of ways to optimize lead-contaminated chernozem soils in the system «soil – plant». The objects of the study were soybean and chickpea varieties of different vegetation varieties, namely: ultra-early varieties, maturation period 95... 105 days. Medium, maturation period 100...115 days. Medium-ripe varieties maturation period 115...125 days. Early ripening varieties of chickpeas growing period 95...115 days, and medium-ripe sotu chickpeas, growing period 115...125 days. Experimental studies were conducted during 2019 – 2021 within the test sites on the territory of the collection nursery «Agrotek» in Kyiv region. The method of ion exchange and liquid chromatography on the liquid chromatograph Shimadzu LC-20 (Japan). Studied the variability of nutrients (protein, fat, carbohydrates) in soybeans and chickpeas of different vegetation varieties. With the help of the MATLAB program, mathematical optimization was carried out and the five-year dynamics of protein, fat, and carbohydrate content in legumes grown on chernozem soils of the «Agrotek» collection nursery in the Kyiv region was determined. By the method of inversion-voltammetry with the help of voltammetric analyzer «ABA-3» (Russia) which is equipped with an indicator electrode for the determination of lead, the concentration of Pb in chernozems and soybeans and chickpeas with different protein content was studied. Concentrations of Pb in soybean and chickpea grains depending on the chemical composition of soils for cultivation were grown and studied at the test sites of the «Agrotek» collection nursery.

Conclusions. As a result of experimental studies, it was found that the contamination of chernozem soils Pb and subsequent processes of its translocation in the system «soil – plant» have negative consequences and are manifested in the accumulation of toxic

cants in plants. It is significant that the largest metal-accumulating properties have cultivated early-ripening legumes, and the smallest – medium-ripe. It was determined that the indicators of Pb concentration in the storage organs of legume assimilants are influenced to a greater extent by the protein content in them than by mobile forms of Pb, which come due to translocation from soils contaminated with Pb. It is established that with the increase of protein in the organs of plant assimilators, the indicators of accumulation of toxic concentrations of Pb increase. Given that the genetic characteristics of chernozems allow us to consider them the most environmentally friendly soils in terms of anthropogenesis, however, they deposit contaminants and, accordingly, require optimization and development of detoxification methods. It has been experimentally established that when growing legumes of different vegetation varieties on chernozems contaminated with Pb, the intensity of their detoxification to obtain environmentally friendly plant products can be distributed as follows: $N_{180}P_{180}K_{180} + Pb + \text{lime} + \text{manure} > N_{360}P_{360}K_{360} + Pb > N_{180}P_{180}K_{180} + Pb + \text{lime} > N_{180}P_{180}K_{180} + Pb + \text{manure}$. The obtained laws provide an opportunity to develop recommendations and propose ways to detoxify contaminated Pb soils. Which will provide an opportunity to significantly reduce budget expenditures, which is socially necessary and cost-effective.

Keywords: soils, chernozems, pollution, heavy metals, lead, detoxification methods, legumes.

In cites: Biletska Ya. O., Nekos A. N., Bekhter A. O., Krivtsova A. S., Brayninger O. I. (2021). Ways of optimization of lead-polluted black earth soils in the soil-plant system. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (55), 257-273. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-19>

Formulation of the problem. Ecological safety of soils and cultivation of ecologically safe food products of plant origin is one of the most urgent problems of today. Ensuring the environmental safety of food raw materials and food products is one of the main tasks that determine the health of the human population and the preservation of its gene pool. Up to 70 % of pollutants of various origins enter the human body from the environment with food. According to the World Health Organization, lead (Pb) is a global polluter that causes a large number of diseases [1]. The main strategy of the project developed by the UN «Health of the Nation in the fight against COVID – 19» is to reduce heavy metal intoxication that enters the human body with food [2]. The migration of Pb into food depends on many factors, among which the most important is the quality of the soil for growing food raw materials, which is used as an ingredient in food [3]. The absorption and accumulation of toxic concentrations of heavy metals in food raw materials are influenced by many factors, including the quality of soils, fertilizers, pesticides, precipitation and the ability of plants to bioaccumulate substances from the environment in which they are grown. Legumes have a great accumulating ability among plants, soybeans and chickpeas occupy leading positions in this chain [4]. In studies [5], it was determined that trace elements and heavy metals accumulate 90...97 % in legume cotyledons, and the content of native protein in the grain is directly proportional to the content of the accumulated substance. Given the fact that the source of toxic soil contamination on Pb are industrial enterprises, vehicle emissions, recycling plants and the fact that it belongs to the first class of danger – an important scientific and practical task is to conduct research under the system «soil – plant» with in order to develop methods of detoxification of soils on which cultivated plants are grown. It seems important to obtain patterns for determining the varieties of legumes (soybeans and chickpeas), which have the lowest bioaccumulative properties to

the accumulation of lead through the process of translocation from soil to plants during their life cycle.

Analysis of recent research and publications.

Toxic effects of Pb on human bodies have been confirmed by numerous clinical studies that have shown the negative effects of heavy metals on the nervous, cardiovascular, immune systems and oncology [6]. The work [7] is devoted to the development of detoxification techniques, in which scientists proposed to reduce the content of heavy metals in chernozems by detoxifying soils by growing battery plants on them, which will «extract» heavy metals from soils disinfecting them.

The disadvantage of the proposed technologies is the economic costs borne by farmers, producers and consumers. Farmers will suffer financial losses due to idle sown areas and the cost of seed. Producers will be forced to raise prices for the final food product as a result of reduced consumer purchasing power.

In the question [8] of studying the means of chemicalization for the accumulation of lead and zinc in potatoes, table beets and beans grown on chernozems is raised. Scientists have proven that the application of lime and the combined application of lime and manure reduce the accumulation of Pb in plants. It is determined that the most favorable for the bioaccumulation of heavy metals are beans.

Scientists have studied different groups of agricultural plants, which allowed us to determine only the group of plants that is most suitable for the accumulation of heavy metals from the soil. It is considered expedient to choose one group of plants of different vegetative varieties as the object of research, which makes it possible to establish optimal patterns during the development of detoxification methods.

A similar approach is described in [9], where scientists have studied different varieties of soybeans of the western ecotype. Scientists studied about 40 samples, and the results were optimized,

which made it possible to eliminate the percentage of deviations and establish patterns with an error of up to 3 percent. The direction of the above research concerned only the influence of climatic conditions, and the issue of accumulation of heavy metals, in particular Pb in soybeans of different vegetation varieties was partially investigated.

In the work [10] where the chemical composition of legumes was studied, the issue of research of Pb content remained unresolved, the reason for this may be the difficulties associated with the complexity and financial importance of the experimental study.

Atomic absorption mass spectrophotometry is widely used for medical purposes to determine lead in urine. The method of atomic absorption spectrophotometry with electron-thermal atomization has been proposed for determination in beverages [11]. Each of the above methods is designed to determine lead, or in «Newtonian fluids» and is not suitable for the control of Pb in soybeans and chickpeas. When determining the lead content in metals or rocks, the method of direct polarography is used [12], but its use is appropriate only when the mass fraction of metal is significant, which provides a clear peak on the polarogram, and the content of related elements does not interfere with determination.

An option to overcome the above difficulties may be to use the method of inversion – voltammetry on a voltammetric analyzer «AVA», developed at the research and production enterprise «Burevesnik» (St. Petersburg, Russia). A significant advantage of the AVA analyzer is that this device can determine the mass fraction of Pb not only in different types of food, but also in feed, drugs and biological objects (blood, urine). The AVA analyzer is completely focused on the personal computer [13].

Selection of previously unsolved parts of the overall problem. To date, there are no in-depth studies to determine the nutritional value (protein, fats, carbohydrates) of soybeans and chickpeas of different vegetation varieties grown on Ukrainian chernozems. Taking into account the scientific results [14], where it is proved that the degree of accumulation of trace elements (in our case lead) in the grain during the growing season is influenced by the protein content in native grain, it is important to conduct the above studies. Which will scientifically substantiate the dependences on the protein content in the grain and the degree of accumulation of lead in it.

The mechanism of accumulation of Pb grains of soybeans and chickpeas of different vegetation varieties grown on contaminated Pb chernozems is little studied. The influence of nutrients (protein) in legumes in this process has not been scientifically substantiated.

Conducting experimental studies within the system «soil – plant» to determine the content of accumulated lead in soybeans and chickpeas of different vegetation varieties will establish patterns that will form the basis for developing a method of soil detoxification, which is certainly socially necessary and cost – effective because will preserve the health of human society, as a consequence of the state budget, which is intended for hospital care and disability benefits.

Formulation of the purpose of the article.

The aim of the article is to determine ways to optimize lead-contaminated chernozem soils in the system «soil – plant» (on the example of chernozem soils within the test sites on the territory of the collection nursery «Agrotek» in Kyiv region).

To achieve this goal, the following tasks were set:

- to determine the indicators of Pb concentration in chernozem soils on test sites and storage bodies of legume assimilation (soybeans and chickpeas) with different protein content;
- to study the five-year dynamics of the content of protein, fats, carbohydrates in legumes grown on chernozem soils of the collection nursery «Agrotek» in the Kyiv region;
- to determine the indicators of lead concentration in soybeans and chickpeas of different vegetation varieties grown on chernozems, test sites of the collection nursery «Agrotek» in Kyiv region.

Presentation of the main research material.

Experimental studies were conducted during 2019 – 2021 within the test sites on the territory of the collection nursery «Agrotek» in Kyiv region. There, biological material was selected for research – samples of legumes (soybeans and chickpeas) grown on chernozem soils. Ultra-early varieties were used for research: «Adamos», «Anastasia», «Annushka», «Alexandrit», «Bilyavka», «Vilshanka», «Vorskla», «Deni», «Elena», «Fairy» (period of maturation) 75...85 days; early ripening: «Diamond», «Angelica», «Kyivska 98», «Phaeton», «Medea», «PSV 808», «Thanks», «Khortytsia», «South 30», «Rusa», PM 95...105 days; medium-early: «Artemis», «Delta», «Ivanka», «Tavria», «Golden», «Tavria 7», «Sprint», «Kharkiv», «Charm», «South 40», (PM 100...115 days); medium-ripe varieties «Agate», «Knight 50», «Colby», «Poltava», «Silver», «Success», «Masha», «Deimos», «Anna», «Podillya» (PM 115...125 days). Studies of the content of PFC in legumes were performed by ion exchange and liquid chromatography on a liquid chromatograph Shimadzu LC-20 (Japan).

Characteristics of samples of soybean and chickpea grains of different growing periods with determination of maximum and minimum yield during 3 years of research, are given in table 1.

During the experimental studies it was found

Table 1

Characteristics of legume samples (soybeans and chickpeas), selected within the test site of the collection nursery «Agrotek» (for the period 2019 – 2021)

Varieties legumes	Vegetation period, days	Max and min yield, tons per hectare
<i>Soy</i>		
Ultra-early	75 – 85	3,3 – 3,5
Early ripening	95 – 105	3,3 – 3,6
Medium early	105 – 115	3,8 – 4,2
Medium ripe	115 – 125	4,1 – 4,6
<i>Chickpeas</i>		
Early ripening	95 – 115	3,3 – 3,6
Medium ripe	115 – 125	3,8 – 4,2

that the periods of soybean and chickpea ripening ranged from 75 to 125 days, which is optimal for the climatic conditions of Ukraine. The study of four vegetation periods of soybean ripening and two vegetation periods of ripening of chickpea grains (late-ripening varieties of chickpeas with a ripening period of 180 – 220 days were considered irrelevant to study due to immaturity in Ukraine) allowed to conclude that yields for soybeans 2019–2021 were from 3,3 to 4,6 tons per hectare, chickpeas 3,3 to 4,2 tons per hectare, which indicates the high yield and favorableness of our climate zone for growing the above legumes.

The variability of nutrients, namely proteins, fats and carbohydrates in soybeans of different vegetation varieties grown on chernozems of the test site of the collection nursery «Agrotek» (2019 – 2021), are presented in table 2–5.

With the help of the MATLAB program, a mathematical model for the optimization of different varieties of soybeans grown on chernozems of the Kyiv region was created. The mathematical model is

based on the results of research over 3 years, mathematically processed 200 indicators. Criteria for optimization: maximum amount of protein, minimum growing period, average fat and carbohydrate content. The above criteria were selected to determine the bioaccumulative properties of plants during the location of the pollutant in the system «soil – plant».

The obtained data (Tables 2–5) and the results of mathematical processing (Fig. 1 – 4) allow us to state that ultra-fast soybean varieties have an average protein content of 38,55%, fats – 17,90% of carbohydrates – 43,50% ; early ripening contains 42,75% protein, 14,50% fat and 42,75% carbohydrates.

However, medium-early are characterized by the following chemical composition – 37,40% protein, 20,50% fat, 42,10% carbohydrates; medium-ripe – 35,1% protein, 22,20% fat, 42,7 0% carbohydrates. It should be noted that the difference between the chemical composition of soybeans is probably due to different ripening periods, climatic

Table 2

Nutrient variability (PFC) of ultra-early soybean grains, grown on chernozems of the test site of the collection nursery «Agrotek» (Kyiv region, 2019–2021), %

№	Year of research	2019			2020			2021		
	Indexes (P – protein, F – fat, C – carbohydrate), %	P	F	C	P	F	C	P	F	C
1	Adamos	40,9	19,1	40,0	41,4	19,0	39,6	39,9	20,1	40,0
2	Anastasia	40,3	17,9	41,8	41,3	18,2	39,5	39,3	18,7	42,0
3	Annushka	37,9	18,0	44,1	38,4	16,9	44,7	40,9	17,9	41,2
4	Alexandrit	36,8	19,3	43,9	37,5	18,0	44,5	36,9	19,4	43,7
5	Bilyavka	37,9	18,7	43,4	37,3	17,2	45,5	38,0	18,0	44,0
6	Vilshanka	34,3	19,0	46,7	35,2	18,4	46,4	34,5	18,9	46,6
7	Vorskla	36,9	18,6	44,5	37,2	18,0	44,8	36,5	18,6	44,9
8	Deni	39,6	18,3	42,1	40,4	17,8	41,8	39,3	18,0	42,7
9	Elena	38,2	18,8	43,0	39,1	18,9	42,0	38,2	17,9	43,9
10	Fairy	39,4	18,1	42,5	40,3	16,9	42,8	39,2	18,0	42,8

Note: P – proteins, %; F – fat, %; C – carbohydrates %. (p> 0,5)

Table 3

Nutrient variability (PFC) of early ripening soybeans, grown on chernozems of the test site of the collection nursery «Agrotek» (Kyiv region, 2019–2021), %

№	Year of research	2019			2020			2021		
	Indexes (P – protein, F – fat, C – carbohydrate), %	P	F	C	P	F	C	P	F	B
1	Diamond	45,2	13,6	41,2	43,3	14,0	42,7	42,8	15,2	42,0
2	Angelica	41,9	13,8	44,3	42,9	13,1	44,0	41,6	12,7	45,7
3	Kyivska 98	40,3	16,2	43,5	41,4	17,0	41,6	41,2	16,8	42,0
4	Phaeton	41,2	14,9	43,9	42,9	13,9	43,2	41,4	14,2	44,6
5	Medea	42,0	15,6	42,4	41,8	15,1	43,1	42,0	14,4	43,6
6	PSV 808	40,9	15,4	43,7	41,9	14,1	44,0	41,0	13,8	45,2
7	Thanks	40,8	16,0	43,2	42,0	15,3	42,7	42,1	15,2	42,7
8	Khortytsia	43,9	12,0	44,1	43,5	11,9	44,6	41,9	11,9	46,2
9	South 30	43,9	13,1	43,0	43,9	12,9	43,2	42,0	13,9	44,1
10	Rusa	43,8	12,9	43,3	44,0	12,0	44,0	43,9	12,5	43,6

Note: P – proteins, %; F – fat, %; C – carbohydrates %. ($p > 0,5$)

Table 4

Nutrient variability (PFC) of medium-early soybeans, grown on chernozems of the test site of the collection nursery «Agrotek» (Kyiv region, 2019–2021), %

№	Year of research	2019			2020			2021		
	Indexes (P – protein, F – fat, C – carbohydrate), %	P	F	C	P	F	C	P	F	B
1	Artemis	36,9	20,1	43,0	35,9	19,6	45,5	36,4	19,8	43,8
2	Delta	35,0	21,3	43,7	34,6	20,1	45,3	35,9	19,9	44,2
3	Ivanka	36,5	18,9	44,6	36,4	18,7	45,2	36,9	19,3	43,8
4	Tavria	35,5	19,4	45,1	35,2	19,1	45,7	35,9	19,9	44,2
5	Golden	38,8	18,5	42,7	39,9	18,6	41,5	39,6	18,8	41,6
6	Tavria 7	39,3	18,9	41,8	38,9	18,3	42,8	38,2	19,2	42,6
7	Sprint	35,0	22,6	42,4	34,6	20,8	44,6	35,4	20,9	43,7
8	Kharkiv	37,9	20,9	41,2	36,2	21,0	42,8	37,0	20,7	42,3
9	Charm	37,2	22,4	40,4	37,5	21,9	40,6	36,9	21,7	41,4
10	South 40	35,0	21,9	43,1	34,9	22,0	43,1	35,0	22,1	42,9

Note: P – proteins, %; F – fat, %; C – carbohydrates %. ($p > 0,5$)

Table 5

Nutrient variability (PFC) of medium-ripe soybeans, grown on chernozems of the test site of the collection nursery «Agrotek» (Kyiv region, 2019–2021), %

№	Year of research	2019			2020			2021		
	Indexes (P – protein, F – fat, C – carbohydrate), %	P	F	C	P	F	C	P	F	B
1	Agate	33,9	23,8	42,3	33,8	23,9	42,3	33,9	23,1	43,0
2	Knight 50	34,0	23,9	42,1	33,9	23,7	42,4	34,6	23,3	42,1
3	Colby	36,6	22,1	41,3	33,3	22,1	41,6	36,4	22,6	41,0
4	Poltava	34,9	23,7	41,4	34,2	23,5	42,3	34,8	23,9	41,3
5	Silver	34,4	21,1	44,5	34,7	21,9	43,4	33,9	22,4	43,7
6	Success	35,2	21,3	43,5	35,6	21,5	42,9	36,0	21,9	42,1
7	Masha	39,9	22,9	43,2	34,5	23,1	42,4	33,9	23,3	42,8
8	Deimos	36,3	20,4	43,3	35,9	21,0	43,1	35,5	21,2	43,3
9	Anna	33,7	22,9	43,4	33,3	22,4	44,3	33,2	21,6	45,2
10	Podillya	34,9	22,6	42,5	34,0	21,9	44,1	33,9	22,1	44,0

Note: P – proteins, %; F – fat, %; C – carbohydrates %. ($p > 0,5$)

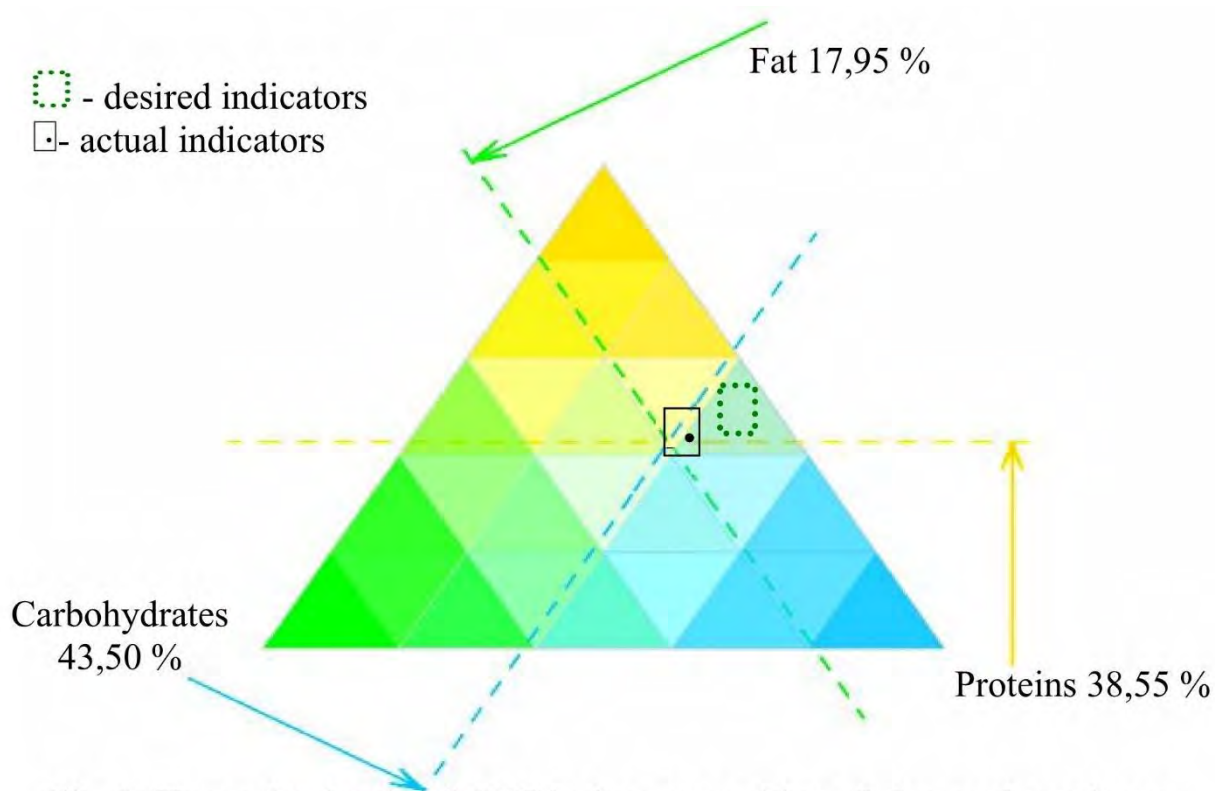


Fig. 1. The optimal ratio of PFC in the composition of ultra-early soybean varieties, %

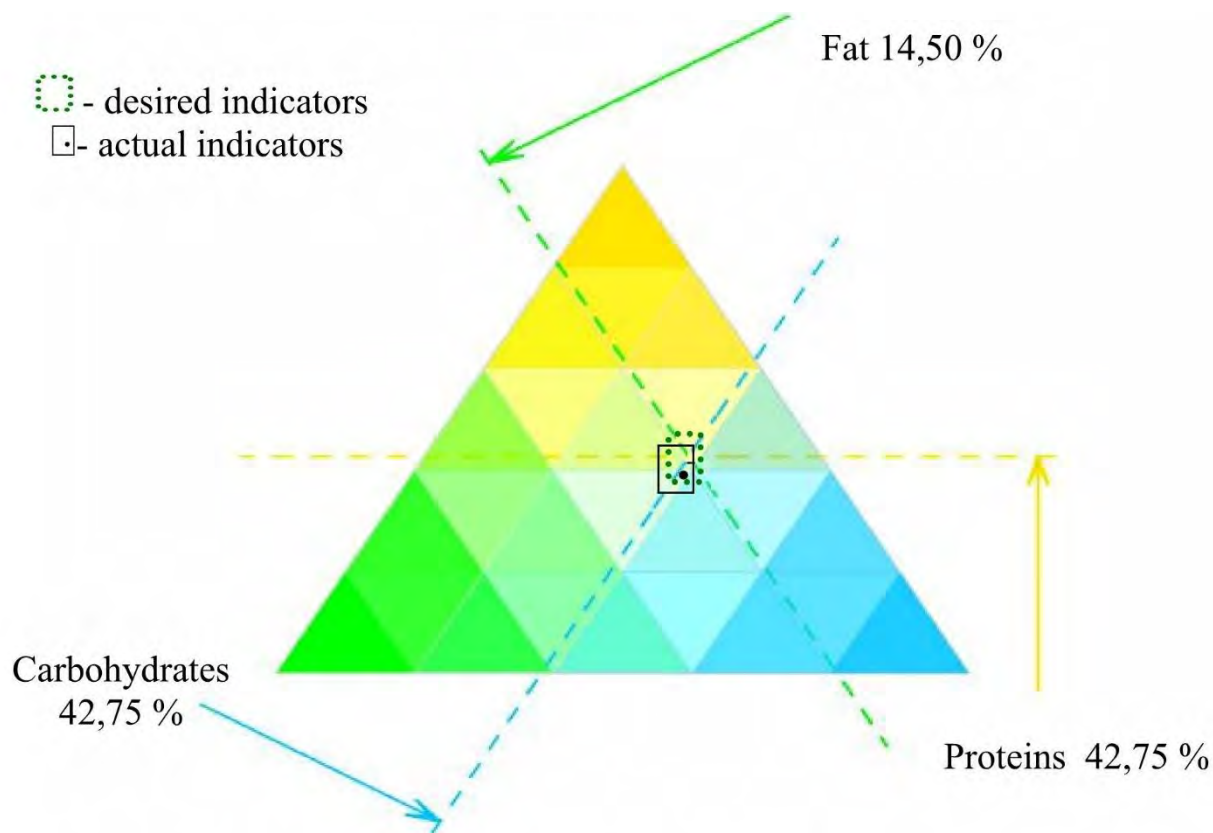


Fig. 2. The optimal ratio of PFC in the composition of early soybean varieties, %

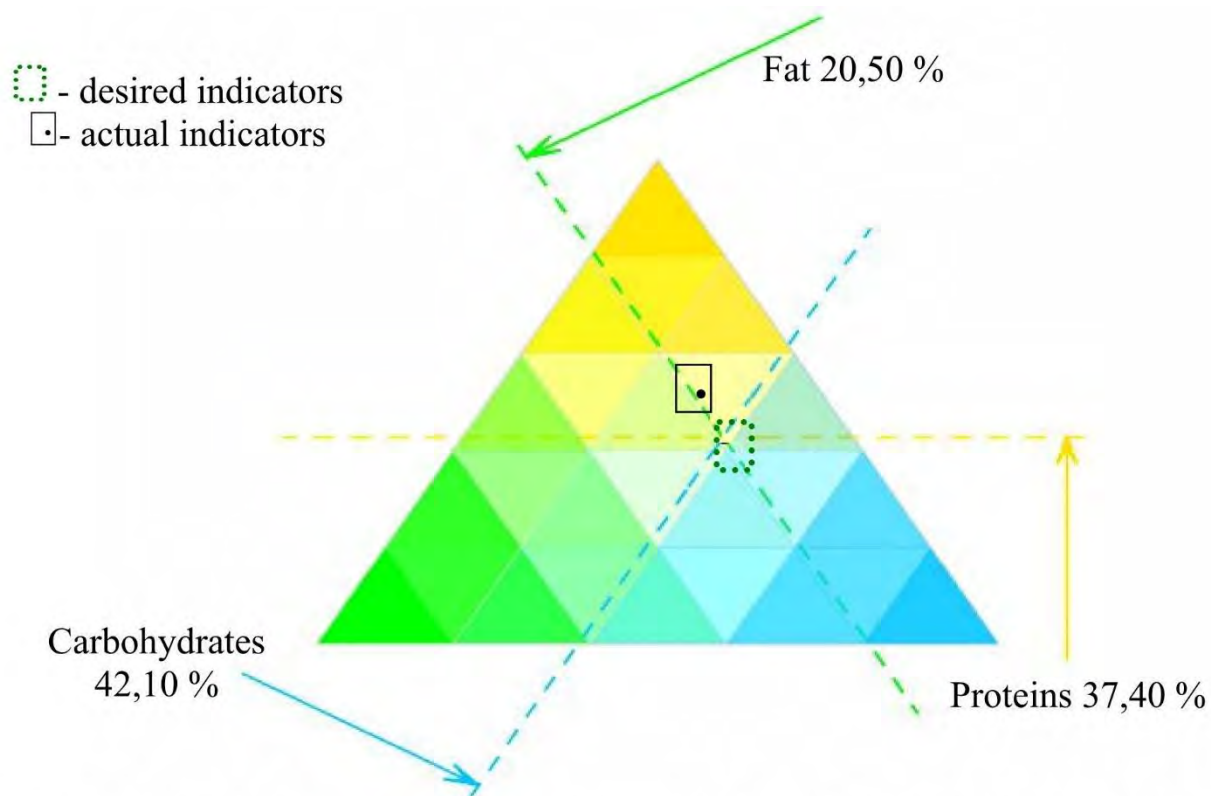


Fig. 3. The optimal ratio of PFC in the composition of medium-early soybean varieties, %

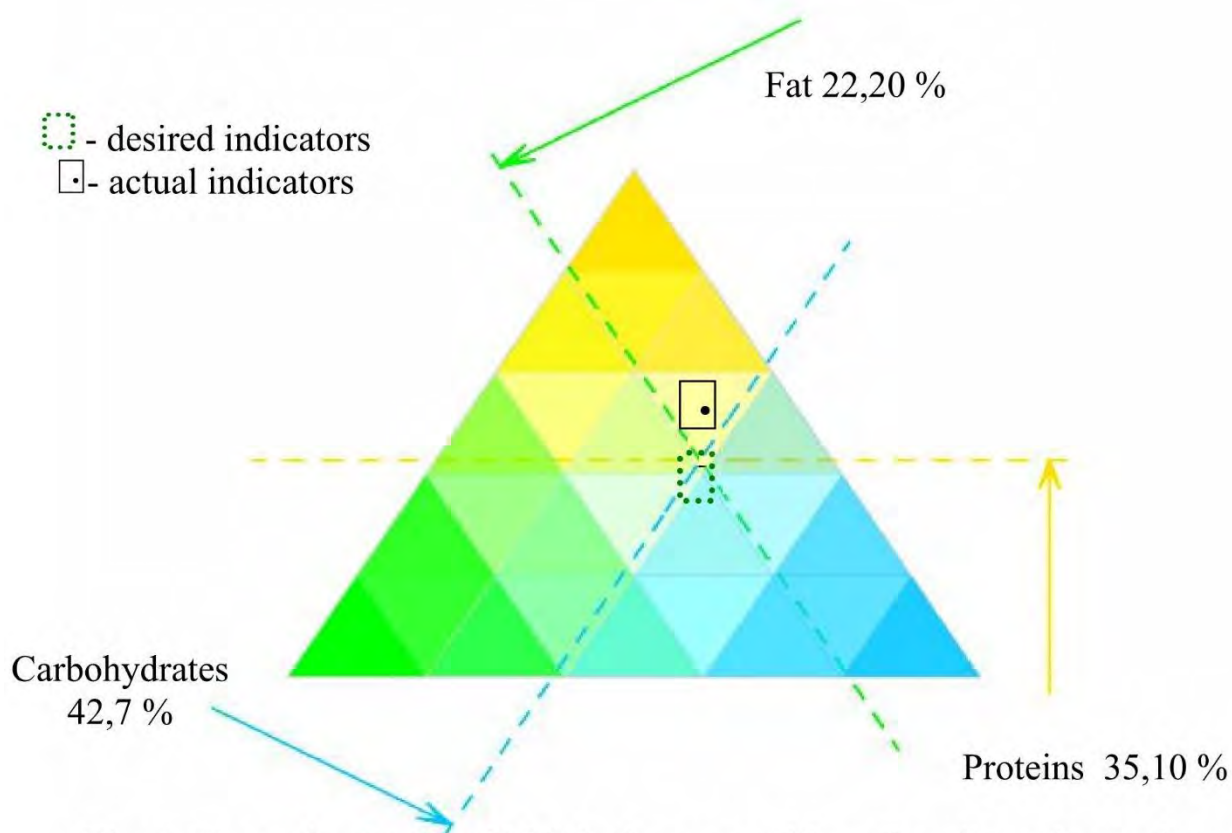


Fig. 4. The optimal ratio of PFC in the composition of medium-ripe soybean varieties, %

factors (number of hot and rainy days), which significantly affect the chemical composition of legumes. Early soybean varieties (42,75% protein, 14,50% fat, 42,75% carbohydrates) and a short growing season (up to 95...105 days) have the maximum protein content. It should be noted that the growing period is an important indicator given the economic benefits for the «manufacturer», which is not imposed on winter crops and, as a consequence, to idle sown areas.

Ultra-early soybean varieties are 4,2% inferior to early-maturing soybeans in terms of protein content, medium-early and medium-ripening varieties

are 5,35% and 7,65% lower, respectively. In terms of fat and carbohydrate content, medium-early and medium-ripe ones do not differ significantly, but have a difference of 10...15 days between the period of bean ripening. In the table 6-7 presents the results of studies of variability of nutrients, namely proteins, fats and carbohydrates in chickpea grains of different vegetation varieties grown on chernozems of the test site of the collection nursery «Agrotek» for the period 2019 – 2021. The optimal ratio of PFC in the composition of chickpea varieties grown on chernozems of the Kyiv region are shown in Fig. 5–6.

Table 6

Nutrient variability PFC of early ripe chickpea grains, grown on chernozems of the test site of the collection nursery «Agrotek» (Kyiv region, 2019–2021), %

№	Year of research	2019			2020			2021		
	Indexes (P – protein, F – fat, C – carbohydrate), %	P	F	C	P	F	C	P	F	B
1	Hyatt	22,9	16,5	60,6	22,3	16,7	61,0	23,4	16,0	60,6
2	Erdem	16,5	24,9	58,6	16,0	22,9	61,1	16,7	24,2	59,1
3	Star World	24,7	15,4	59,9	23,4	15,8	60,8	23,5	16,0	60,5
4	Elite	22,1	16,6	61,3	22,0	16,9	61,1	22,2	16,5	61,3
5	Ecord	21,4	15,8	62,8	21,2	15,7	63,1	19,9	15,5	64,6
6	Alexandrite	21,1	17,2	61,7	19,9	17,6	62,5	19,8	17,7	63,2
7	Rosana	22,6	15,8	61,6	22,0	15,7	62,3	21,9	16,2	61,9
8	Edda	27,3	21,4	51,3	27,3	21,4	51,3	27,3	21,4	51,3
9	Lamb's Horn	21,3	16,9	61,8	20,3	16,4	63,3	21,7	17,0	61,3
10	Lilac	21,6	15,5	62,9	21,9	15,9	62,2	21,5	16,0	62,5

Note: P – proteins, %; F – fat, %; C – carbohydrates %. ($p > 0,5$)

Table 7

Nutrient variability PFC of medium-ripe chickpea grains, grown on chernozems of the test site of the collection nursery «Agrotek» (Kyiv region, 2019–2021), %

№	Year of research	2019			2020			2021		
	Indexes (P – protein, F – fat, C – carbohydrate), %	P	F	C	P	F	C	P	F	B
1	Vector	19,3	15,1	65,6	19,8	15,0	65,2	19,3	15,7	65,0
2	Boyarinya	20,2	15,0	64,8	20,7	14,6	64,7	20,9	14,3	64,8
3	Budzhak	20,2	15,9	63,9	19,6	16,4	64,0	19,1	16,2	64,7
4	Anatoly	17,9	14,0	68,1	17,4	13,4	69,2	17,8	13,6	68,6
5	European	15,2	19,2	65,6	15,7	19,5	64,8	15,9	19,7	64,4
6	South-East	15,6	16,7	67,7	15,4	16,2	68,4	15,9	16,8	67,3
7	Gypsy	16,5	17,6	65,9	15,2	16,9	67,9	16,4	17,8	65,8
8	Jubilee/k-2405	14,5	15,4	70,1	14,8	15,2	70,0	14,3	14,9	69,9
9	Bashkir	19,9	16,8	63,3	19,3	16,6	64,1	19,2	16,1	64,7
10	Flower	20,2	15,6	64,2	20,2	15,9	63,9	20,2	16,0	63,8

Note: P – proteins, %; F – fat, %; C – carbohydrates %. ($p > 0,5$)

The objects of the study were twenty varieties of chickpeas of different growing season. Varieties with early and medium ripening matures were studied. The following varieties of chickpeas were used

during the study: «Hyatt», «Erdem», «Star World», «Elite», «Ecord», «Alexandrite», «Rosana», «Edda», «Lamb's Horn», «Lilac» growing period 95...115 days, and medium-ripe sot chickpeas:

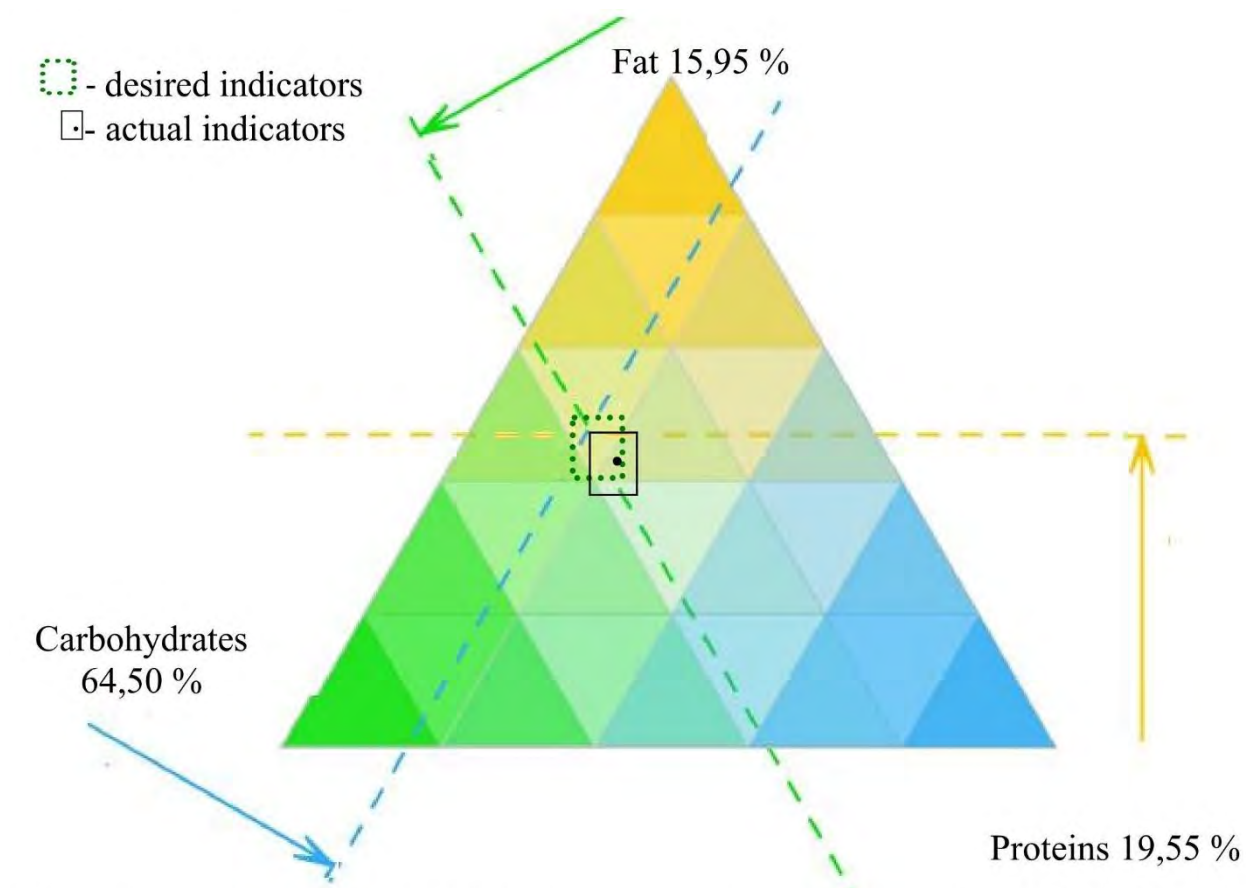


Fig. 5. The optimal ratio of PFC in the composition of early varieties of chickpeas, %

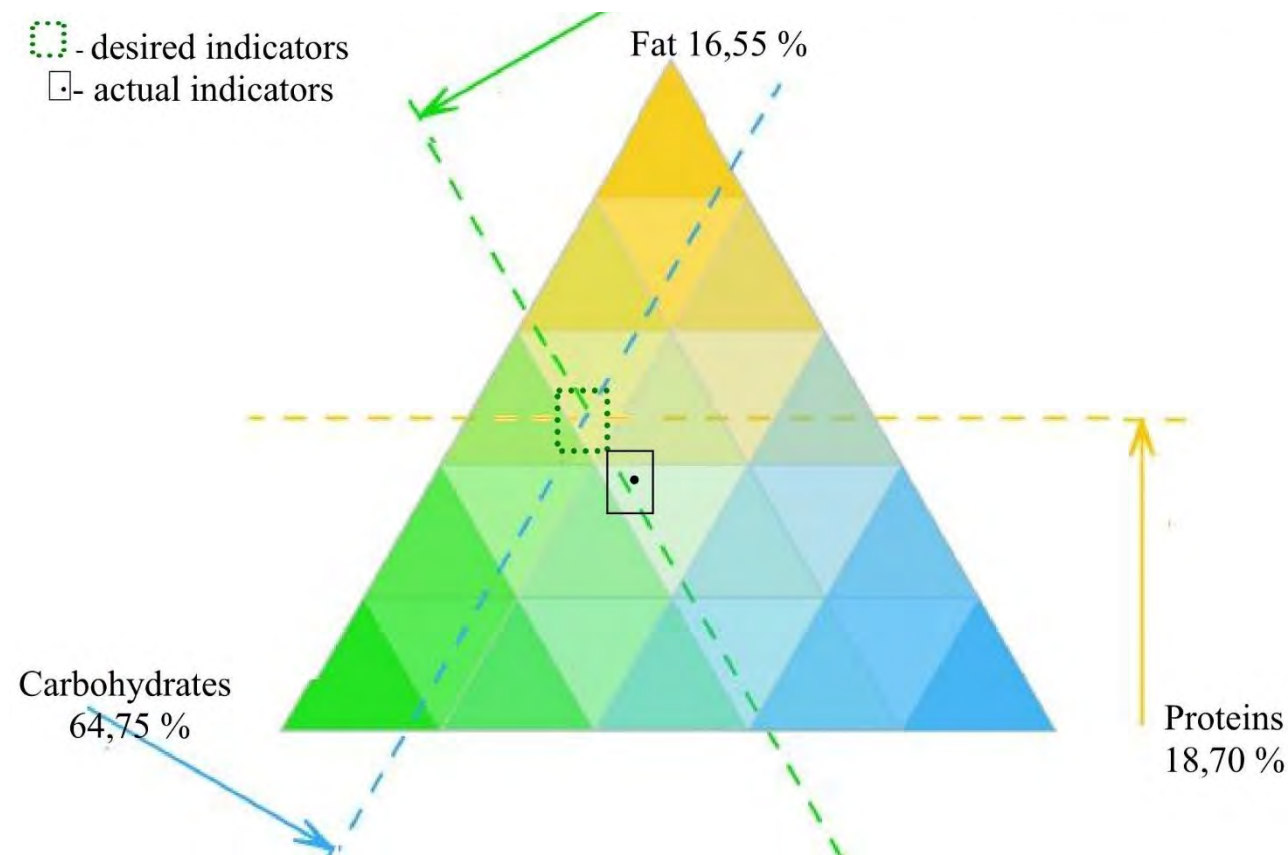


Fig. 6. The optimal ratio of PFC in the composition of medium-ripe varieties of chickpeas, %

«Vector», «Boyarinya», «Budzhak», «Anatoly», «European», «South-East», «Gypsy», «Jubilee/k-2405», «Bashkir», «Flower», growing period 115...125 days.

The results of the research were mathematically processed and optimized according to the criteria that were dominant during the research with soybeans (*max* amount of protein, *min* growing period, average fat and carbohydrate content).

As a result of the study it was found that the protein content in chickpea grains is much lower than the protein content in soybeans, according to [15], it is based in the range from 13 to 24%. It was experimentally determined that the optimal ratio in terms of protein content has early-ripening varieties of chickpeas (19,55%), fats – 15,95%, carbohydrates – 64,5%. Medium-ripe varieties of chickpeas have – 18,7% protein, 15,95% fat and 64,75% carbohydrates.

From the experiment it is possible to conclude that as an object of study to establish the dependencies on the protein content in grain and the degree of accumulation of lead in it from the soil on which legumes are grown, the most interesting are early-maturing soybean and chickpea varieties 5,35 and 0,85% (respectively), and during the growing season

ripen 20 – 25 days earlier.

The next stage of the study was to determine the Pb content in the grains of early-maturing soybean and chickpea varieties with different PFC content. The objects of the study were soybean variety: «Diamond» (44,2% protein content, 13,4% fat content, 42,4% carbohydrate content) with the maximum protein content and early-maturing soybean variety «South 30» (30,1% protein content, 17,7% fat content, 52,2 % carbohydrate content) with a minimum protein content. Early-ripening chickpea variety «Edda» (27,3 % protein content, 21,4% fat content, 51,3 % carbohydrate content) with the maximum protein content and early-ripening chickpea variety «Erdem» (16,7% protein content – 24,2 % fat content, 59,1% carbohydrate content) with a minimum protein content. Experimental studies were conducted on the basis of the State Institution «Scientific Center for Preventive Toxicology, Food and Chemical Safety named after Academician LI Bear of the Ministry of Health of Ukraine» by the method of inversion-voltammetry using a voltammetric analyzer «AVA-3» which is equipped with an indicator electrode for the determination of lead. The results of the study are presented in table 8 and fig. 7.

Table 8

Indicators of Pb concentration in chernozems and early ripening grains varieties of soybeans and chickpeas with different protein content

Objects of research	Early-maturing varieties of soybeans		Early ripening varieties of chickpeas	
	Diamond	South 30	Edda	Erdem
	Protein 42,2%	Protein 30,1%	Protein 27,3%	Protein 16,7%
Mass fraction of Pb, $\mu\text{g/kg}$				
Chernozem, (before sowing legumes)	7,24 \pm 0,04	6,52 \pm 0,04	7,88 \pm 0,04	10,17 \pm 0,04
Chernozem (after harvest)	6,96 \pm 0,05	5,93 \pm 0,05	7,44 \pm 0,05	9,72 \pm 0,05
Bean grain (seed material)	0,34 \pm 0,004	0,31 \pm 0,002	0,30 \pm 0,004	0,27 \pm 0,002
Legumes (harvest)	0,41 \pm 0,003	0,39 \pm 0,003	0,38 \pm 0,005	0,32 \pm 0,003

It was experimentally established that the mass fraction of Pb in chernozem at the test site of the collection nursery «Agrotek» in the Kyiv region before sowing legumes was in the range from 6,52 to 10,17 $\mu\text{g/kg}$. After harvesting legumes, there is a decrease in lead content in the soil by 0,45 – 0,59 $\mu\text{g/kg}$.

An increase in the mass fraction of Pb in grains from the yield compared to seed material by 0,07 and 0,08 $\mu\text{g/kg}$ in soybean varieties «Diamond» and «South – 30» (respectively) and by 0,8 and 0,05 $\mu\text{g/kg}$ in the varieties «Edda» and «Erdem» (respectively). Sample B – visualizes the content (accumu-

lation on the surface of the electrode) of lead in the early-ripening variety of chickpeas (harvest) «Erdem», protein content of 16,7%. On experimental sample A – visualized lead content in early-maturing soybean variety «Diamond», protein content 42,2%.

Analyzing experimental studies (Table 8 and Fig. 7), it is possible to conclude that the accumulation of Pb in legumes is significantly affected by the protein content in the grain. It is known [16] that one of the main ways of moving mobile forms of heavy metals to the plant is the process of their location from the soil and absorption by plant roots. Plants and their storage organs of assimilates are ab-

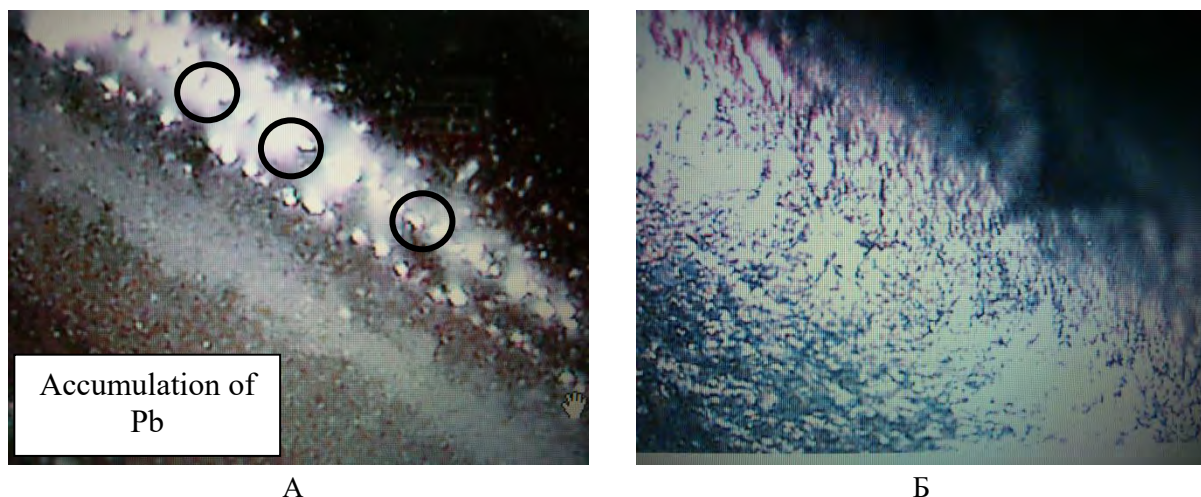


Fig. 7. Accumulation of Pb on the surface of the working electrode of the ABA-3 analyzer in grains of early-ripening varieties of soybean and chickpeas with different contents protein, (1000 times magnification): A – early-ripening soybean variety «Diamond», protein content 42,2%; B – early-ripening variety of chickpeas «Erdem» protein content of 16,7%

le to accumulate Pb during the growing season, where the process of accumulation with protein takes place, and the concentration of Pb depends on the protein content. The obtained experimental studies are reflected in [17], where it is substantiated that heavy metals entering the plant from the soil through the root system are actively moved metabolically or by diffusion processes in contact with cell walls and a number of mineral and organic compounds contained in cells. Scientists have proven [18] that the uptake of heavy metals by plants and their subsequent accumulation along the food chain is a potential threat to human and animal health. This leads to mass degradation of Ukrainian chernozems concentrated in areas with developed industry. Also, a specific feature of soil contamination with heavy metals is a very low rate of soil self-cleaning. As for Pb, its high concentrations in the soil lead to degradation and reduction of the number and diversity of soil microbiocenoses. Based on the above, it is important to study the concentration of Pb in soybeans and chickpeas depending on the chemical composition of soils for cultivation. The results of experimental studies are given in table 9–10.

Lime and manure were selected for joint application to reduce the concentration of lead in the soil for joint application to test plots with chernozem soils. The research was conducted according to the following scheme:

Site control (without fertilizers and artificial application of Pb);

$N_{180}P_{180}K_{180}$;

$N_{180}P_{180}K_{180} + Pb$;

$N_{180}P_{180}K_{180} + \text{lime (4 t/ha)} + Pb$;

$N_{180}P_{180}K_{180} + \text{manure (50 t/ha)} + Pb$;

$N_{180}P_{180}K_{180} + \text{lime (4 t/ha)} + \text{manure (50 t/ha)} + Pb$;

$N_{360}P_{360}K_{360} + Pb$.

Agrochemical parameters of the experimental site: humus content – 5,8%, pHK1 – 5,6, mobile phosphorus – 312 mg/kg, metabolic potassium – 173 mg/kg, nitrogen – 175 mg/kg, lead – 21,5 mg/kg. The area of the experimental plot is 10,5 m². Heavy metals in concentrations: Pb (CH₃COO) 2 * Pb (OH) 2 (82,0 g/m²), each made separately, premixed with soil. Analysis of the content of Pb was determined using the method of inversion voltammetry.

The results of experimental studies showed that the lowest concentration of Pb in soybeans obtained from plants grown on lead-contaminated soils was obtained in areas using lime, manure and mineral fertilizers – scheme $N_{180}P_{180}K_{180} + Pb + \text{lime} + \text{manure}$.

Experimental areas with lead-contaminated chernozems, where a double dose of mineral fertilizers and manure was used, have the same tendency to accumulate toxic metal in soybean cotyledons.

Less impact on the detoxification process than a double dose of mineral fertilizers – scheme $N_{360}P_{360}K_{360} + Pb$ and manure – scheme $N_{180}P_{180}K_{180} + Pb + \text{manure}$, has an introduction into artificially contaminated lead soil – lime (scheme $N_{180}P_{180}K_{180} + Pb + \text{lime}$).

The results of research on the concentration of lead in chickpea grains of different vegetation varieties depending on the chemical composition of soils are given in table 10.

It has been experimentally proven that changes in the chemical composition of the soil affect the accumulation of lead in the storage organs of soy and chickpea assimilators. It was found that the intensity of Pb accumulation decreases with the com-

Table 9

The concentration of Pb in soybeans of different varieties depending on the chemical composition of soils

Formula chemical composition of soils	Ultra-early varieties of soybeans, (75...85 days)	
	Adamos	Anastasia
Control	0,47±0,002	0,48±0,004
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀	0,46±0,003	0,47±0,002
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ + Pb	0,70±0,002	0,70±0,003
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ + Pb + lime	0,69±0,001	0,62±0,002
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ + Pb + manure	0,51±0,002	0,53±0,002
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ + Pb + lime + manure	0,42±0,003	0,45±0,001
N ₃₆₀ P ₃₆₀ K ₃₆₀ + Pb	0,49±0,002	0,47±0,002
Formula chemical composition of soils	Early-maturing varieties of soybeans, (95...105 days)	
	Diamond	South 30
Control	0,50±0,003	0,50±0,003
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀	0,49±0,001	0,48±0,003
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ + Pb	0,73±0,002	0,75±0,002
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ + Pb + lime	0,64±0,004	0,68±0,002
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ + Pb + manure	0,59±0,002	0,57±0,004
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ + Pb + lime + manure	0,33±0,002	0,32±0,002
N ₃₆₀ P ₃₆₀ K ₃₆₀ + Pb	0,41±0,002	0,42±0,001
Formula chemical composition of soils	Medium-ripe varieties of soybeans (115...125 days)	
	Agate	Silver
Control	0,42±0,002	0,41±0,004
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀	0,43±0,003	0,44±0,002
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ + Pb	0,64±0,002	0,61±0,003
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ + Pb + lime	0,6±0,001	0,62±0,002
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ + Pb + manure	0,49±0,002	0,50±0,002
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ + Pb + lime + manure	0,39±0,003	0,40±0,001
N ₃₆₀ P ₃₆₀ K ₃₆₀ + Pb	0,43±0,002	0,45±0,002

Table 10

The concentration of Pb in chickpea of different varieties depending on the chemical composition of soils

Formula chemical composition of soils	Early ripening varieties of chickpeas, (95...115 days)	
	Edda	Erdem
Control	0,41±0,004	0,40±0,001
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀	0,40±0,002	0,40±0,004
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ + Pb	0,53±0,003	0,52±0,003
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ + Pb + lime	0,49±0,001	0,47±0,002
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ + Pb + manure	0,45±0,003	0,46±0,004
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ + Pb + lime + manure	0,21±0,002	0,25±0,003
N ₃₆₀ P ₃₆₀ K ₃₆₀ + Pb	0,29±0,001	0,27±0,003
Formula chemical composition of soils	Medium-ripe varieties of chickpeas, (115...125 days)	
	Bashkir	Flower
Control	0,40±0,002	0,38±0,002
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀	0,38±0,001	0,38±0,001
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ + Pb	0,51±0,002	0,50±0,003
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ + Pb + lime	0,43±0,003	0,45±0,004
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ + Pb + manure	0,46±0,002	0,44±0,004
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ + Pb + lime + manure	0,28±0,0024	0,29±0,003
N ₃₆₀ P ₃₆₀ K ₃₆₀ + Pb	0,31±0,002	0,34±0,003

bined use of mineral fertilizers, lime and manure. The use of one lime does not significantly affect the detoxification process.

According to the intensity of detoxification of soybeans and chickpeas of different vegetation varieties during cultivation on chernozems contaminated with lead, can be distributed as follows:

$N_{180}P_{180}K_{180} + Pb + \text{lime} + \text{manure} > N_{360}P_{360}K_{360} + Pb > N_{180}P_{180}K_{180} + Pb + \text{manure} > N_{180}P_{180}K_{180} + Pb + \text{lime}.$

It is hypothesized that the periods of maturation (the number of days for which the grain matures from seed to fruit) in lead-contaminated soils does not affect the increase in the concentration of Pb in the grain of legumes. The relationship between protein content in grain and Pb concentration indicators has been established. Soybean and chickpea varieties with the lowest protein content, namely medium-ripe, are not very suitable for accumulation. A similar result of experimental studies is given in [19-20], which describes the process of germination of chickpeas in a solution of sodium hydrosulphite ($NaHSeO_3$). Studies have shown the distribution of selenium by the anatomical parts of the sprouted grain and proved that in the composition of the sprouted grain of chickpeas 95...99% of selenium is in the cotyledon, we assume that in the protein fraction. This indicates a high degree of conversion of selenium into organic form during germination in $NaHSeO_3$ solution.

The performed research provided an opportunity to determine ways to optimize lead-contaminated chernozem soils in the «soil – plant» system (on the example of chernozem soils within test sites on the territory of the collection nursery «Agrotek» in Kyiv region). The obtained research results are important for solving environmental problems of various profiles. Which is socially necessary and economically beneficial, because it will preserve the health of the population.

Conclusions. Experimental studies were conducted at the test site within the collection nursery «Agrotek» in the Kyiv region. It was experimentally established that the mass fraction of artificially introduced into the chernozem soil before sowing legumes was in the range from 6,52 to 10,17 μkg . After harvesting legumes, a decrease in the concentration of Pb in the soil to 0,45...0,59 μkg was observed. Indicators of lead concentration in soybean and chickpea grains with maximum and minimum protein content were also studied. An increase in the mass fraction of lead in grains from the harvest compared to seed material by 0,07 and 0,08 μ / kg in soybean varieties «Diamond» and «South – 30» (respectively) and by 0,08 and 0,05 μ / kg in the varieties «Edda» and «Erdem» (respectively).

Indicators of Pb concentration in soybean and

chickpea grains depending on the chemical composition of soils as an experimental medium for growing legumes were determined. It was found that the lowest concentration of lead in soybeans and chickpeas on lead-contaminated soils was obtained in areas where lime, manure and mineral fertilizers were used. Legumes obtained from plants grown in artificially contaminated lead test areas, where a double dose of mineral fertilizers and manure was used, have the same tendency to accumulate toxicant. The intensity of lead accumulation by legumes is not affected by the length of the growing season of plants growing on lead-contaminated soils, but is significantly affected by the protein content in the grain, which increases the concentration of lead. Early-ripening varieties have the highest bioaccumulating ability, and medium-ripening soybean and chickpea varieties have the lowest. According to the intensity of detoxification of soybean and chickpea grains of different vegetation varieties during the growing season, grown on chernozems artificially contaminated with lead, can be distributed as follows: $N_{180}P_{180}K_{180} + Pb + \text{lime} + \text{manure} > N_{360}P_{360}K_{360} + Pb > N_{180}P_{180}K_{180} + Pb + \text{lime} > N_{180}P_{180}K_{180} + Pb + \text{manure}.$

Studies of protein, fat, carbohydrates in soybeans and chickpeas of different vegetation varieties over a five-year period grown on chernozem soils of the test site showed that ultra-fast soybean varieties have an average protein content of 38,55%, fat – 17,90% of carbohydrates – 43,50%; early ripening contains 42,75% protein, 14,50% fat and 42,75% carbohydrates. However, medium-early are characterized by the following chemical composition – 37,40% protein, 20,50% fat, 42,10% carbohydrates; medium-ripe – 35,1% protein, 22,20% fat, 42,70% carbohydrates. The study of the content of protein, fats, carbohydrates in chickpea grains of different vegetation varieties made it possible to establish that early-ripening varieties of chickpeas have an average protein content of 19,55%, fats – 15,95%, carbohydrates – 64,5%. Medium-ripe varieties of chickpeas have an average protein content of 18,7% protein, 15,95% fat and 64,75% carbohydrates.

Experimental studies have shown that early maturing varieties of legumes are of the greatest interest for establishing the relationships in test plants between the protein content of legumes and Pb concentration (due to translocation processes from the soil on which plants are grown and bioaccumulation).

The results of research are important for solving environmental problems of various profiles, because the results highlight the patterns of determining the impact of heavy metals on environmental components, methods of detoxification of chernozem soils, environmentally friendly plant products,

food safety and, consequently, people's health. All this is socially necessary and economically beneficial, because it will preserve the health of the popu-

lation and save the state budget funds allocated for hospital care.

Bibliography

1. Білик, Т.І. Екологічна оцінка забруднення свинцем ґрунту та рослинності біля автозаправних станцій [Текст] / Т.І. Білик // Наукоємні технології. – 2009. – №3. – С. 1-3.
2. Петринич, В. В. Свинець: токсикологічні, гігієнічні та біологічні аспекти [Текст] / В.В. Петринич, Л.І. Вла- сик, О.А. Петринич // Наукові огляди. Клінічна та експериментальна патологія. – 2017. – Т.16, №2 (60). – С. 97-102
3. Трахтенберг, І.М. Свинець – небезпечний політанта. Проблема стара і нова [Текст] / І.М. Трахтенберг, Н.М. Дмитруха, С.П. Луговський, І.С. Чекман, В.О. Купрій, А.М. Дорошенко // Український журнал сучасних про- блем токсикології. – 2015. №3. – 14-24.
4. Biletska, Y. Substantiation of expediency to use iodine-enriched soya flour in the production of bread for special die- tary consumption [Text] / R. Plotnikova, N. Danko, , M. Bakirov, M. Chuiko, A Perepelytsya // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies – (2019). – №5 (11(101)). – P. 48–55. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.179809>
5. Biletska, Ya. Development of technology of soya flour enriched with iodine [Text] / R. Plotnikova, M. Bakirov, O Vereshchynskyi // Journal of food science and technology Ukraine. – 2020. – №14 (2). – P. 87 – 95. doi: <https://doi.org/664.641.2:664.748:546.15>
6. Лазаренко, І. А. Вплив макродисперсної та наноформи свинцю на накопичення його в організмі [Текст] / Л.І. Лазаренко // Актуальні проблеми транспортної медицини. – 2012. – №2 (28). – С. 95 – 97.
7. Дослідження вмісту важких металів у харчокопцентах [Текст] / Н. Ф. Ющенко, Н. П. Буяльська, Н. М. Денисова // Новітні технології у науковій діяльності і навчальному процесі : збірник тез доп. Всеукр. наук.- практ. конф. студентів, аспірантів та молодих учених (квіт. 2020) – Чернігів : НУ «Чернігівська політехні- ка», 2020. – С. 437-438.
8. Лицуков, С. Д. Накопление тяжелых металлов растениями фасоли на черноземе типичном / С. Д. Лицуков // Вестник курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – №3. – С. 48 – 57.
9. Мальцев, В. Ф. Накопление тяжелых металлов в почве и растениях [Текст] / В. Ф. Мальцев, С. А Бельченко, А. Е. Сорокин // Сборник научных трудов. Биологизация земледелия в Нечерноземной зоне России. – 2015. – №5. – С. 42.
10. Biletska, Y. Identification of promising chickpea varieties for enrichment with selenium [Text] / Y. Biletska, M. Baki- rov // Technology audit and production reserves. – 2019. – №3 (49). – P. 41–44. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.185137>
11. Biletska, Y. Substantiating the use of sprouted beans flour in the production of sour milk products based on goat milk [Text] / Y. Biletska, V. Babenko, A. Krivtsova, R. Plotnikova, O. Skyrda, T. Ryzhkova // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2020. – №4 (11 (106)). – P. 6–13. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209514>
12. Biletska, Y. Studying the influence of mungbean use on the structure-forming indicators of meat-plant systems based on veal, pork, chicken meat [Text] / Y. Biletska, T. Ryzhkova, V. Novikova, R. Plotnikova I. Hnoievyi, I. Yatsenko, K. Silchenko, T. Danilova, R. Severin, L. Karpenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies – 2021. – №3.(11 (111)) – P. 70-79. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.234987>
13. Palomo, M. Se metallomics during lactic fermentation of Se-enriched yogurt [Text] / M. Palomo, A. M. Gutierrez, M. C. Perez-Conde, C. Camara, Y. Madrid // Food Chemistry – 2014. – №12 (4) – P. 371–379. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.007>
14. Янович Д. Визначення свинцю в борошні методом мас-спектрометрії з індуктивно зв'язаною плазмою [Текст] / Д. В. Янович, Є. Г. Заріцька, А. В. Галабурда // Державний науково-дослідний контрольний інсти- тут ветеринарних препаратів та кормових добавок. Хлібопекарь. – 2019. – № 1. – С. 6–11.
15. Biletska, Y. Investigation of change of quality indicators of gluten-free bread during storage [Text] / Biletska, Y., Djukareva, G., Nekos, A., Husliev, A., Krivtsova, A., Bakirov, M. et. al. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2020. – №5 (11 (107)). – P. 54–61. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.215019>
16. Некос, А. Н. Трофогеографія: теорія і практика [Текст] : монограф. / А. Н. Некос, Ю. В. Холін ; ХНУ імені В. Н. Каразіна. – Х. : Університет, 2015. – 296 с. – Бібліогр. с. 210 – 246 : – ISBN 978-966-285-076-5
17. An Overview of the Phytoremediation of Lead and Mercury [Text] : National Network of Environmental Manage- ment Studies (NNEMS) Report / J. R. Henry. - Washington DC., 2000. – 55 p.
18. Деменко, О. В. Способы детоксикации почв загрязненных тяжелыми металлами, с помощью природных сорбентов [Текст] / О.В. Деменко, Е. А. Борисовская // Український гірничий форум. – 2015. – Т. 3. – С 204 – 210.
19. Мальцев, В.Ф. О накоплении тяжелых металлов (ТМ) в почве и растениях [Текст] / В.Ф. Мальцев, С.А. Бельченко, А.Е. Сорокин, С.В. Фесенко // Биологизация земледелия в Нечерноземной зоне России. Научные труды. – 2015 – Вып 2. – С. 174 - 185.

20. Лицуків, С. Д. Еколого-агрохімічні аспекти вирощування сільськогосподарських культур в ЦЧР : дис. ... д-р. с.-х. наук [Текст] / С. Д. Лицуків. – Б., 2011. – 289 с. Доступно на: <http://www.dslib.net/agro-ximia/jekologo-agrohimicheskie-aspekty-vozdehlyvanija-selskohozjajstvennyh-kultur-v-cchr.html>

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

References

1. Bilyk, T. I. (2009). Ecological assessment of lead contamination of soil and vegetation near gas stations. *Science-intensive technologies*, 3, 1-3. Available at: <https://jrnل.nau.edu.ua/index.php/SBT/article/view/5107/5401>
2. Petrinich, V.V., Vlasyk, L. I., Petrynich, O. A. (2017). Lead: toxicological, hygienic and biological aspects. *Clinical and experimental pathology*, 2 (60), 97-102. Available at: <http://cep.bsmu.edu.ua/article/download/1727-4338.XVI.2.60.2017.20/108629>
3. Trakhtenberg, I. M., Dmytrukha, N. M., Lugovskiy, S. P. and others (2015). Lead is a dangerous pollutant. The old and new problem. *Current problems of toxicology, food and chemical safety*, 3, 14-24. Available at: <http://protox.medved.kiev.ua/index.php/ua/issues/2015/3/item/450-lead-is-a-dangerous-pollutant-the-old-and-new-problem>
4. Biletska, Y., Plotnikova, R., Danko, N., Bakirov, M., Chuiko, M., & Perepelytsya, A. (2019). Substantiation of expediency to use iodine-enriched soya flour in the production of bread for special dietary consumption. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5, (11(101)), 48–55. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.179809>
5. Biletska, Ya., Plotnikova, R., Bakirov, M., & Vereshchynskiy, O. (2020). Development of technology of soya flour enriched with iodine. *Journal of food science and technology Ukraine*, 2, 87–95. doi: <https://doi.org/664.641.2:664.748:546.15>
6. Lazarenko, I. (2012). Influence of macrodisperse and nanoforms of lead on its accumulation in the body. *Actual problems of transport medicine*, 2 (28), 95-97. Available at: <http://protox.medved.kiev.ua/index.php/ua/issues/2015/3/item/450-lead-is-a-dangerous-pollutant-the-old-and-new-problem>
7. Yushchenko, N. (2020). Research of the content of heavy metals in food concentrates. *New technologies in scientific activity and educational process. Scientific-practical conf. students, graduate students and young scientists*, April 8-9, 2020, Chernihiv, 437-438. Available at: <http://ir.stu.cn.ua/handle/123456789/22875?locale-attribute=uk>
8. Litsukov S. (2015). Accumulation of heavy metals by bean plants on chernozems. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*, 3, 48 – 57. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/nakoplenie-tyazhelyh-metallov-rasteniyami-fasoli-na-chernozeme-tipichnom>
9. Maltsev, V., Belchenko, S., Sorokin, A. (2015). Accumulation of heavy metals in soil and plants. *Collection of scientific works. Biologization of agriculture in the Non-Chernozem zone of Russia*, 5, 42. Available at: <https://cyberleninka.ru/journal/n/vestnik-kurskoy-gosudarstvennoy-selskohozyaystvennoy-akademii?i=1089791>
10. Biletska, Y., Bakirov, M. (2019). Identification of promising chickpea varieties for enrichment with selenium. *Technology audit and production reserves*, 3 (49), 41–44. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.185137>
11. Biletska, Y., Babenko, V., Krivtsova, A., and others (2020). Substantiating the use of sprouted beans flour in the production of sour milk products based on goat milk. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4, (11 (106)), 6–13. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209514>
12. Biletska, Y., Ryzhkova, T., Novikova, V., and others. (2021). Studying the influence of mungbean use on the structure-forming indicators of meat-plant systems based on veal, pork, chicken meat. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3, (11 (111)), 70-79. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.234987>
13. Palomo, M., Gutierrez, A. M., Perez-Conde, M. C., Camara, C., & Madrid Y. (2014). Se metallomics during lactic fermentation of Se-enriched yogurt. *Food Chemistry*, 12 (4), 371–379. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.007>
14. Yanovich, D. (2019). Determination of lead in flour by mass spectrometry with inductively coupled plasma. *State Research Control Institute of Veterinary Drugs and Feed Additives Baker*, 1, 6–11. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ntbibt_2015_16_2_73
15. Biletska, Y., Djukareva, G., Nekos, A., Husliev, A., Krivtsova, A., Bakirov, M. et. al. (2020). Investigation of change of quality indicators of gluten-free bread during storage. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (11 (107)), 54–61. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.215019>
16. Nekos, A., Kholin, Yu. (2015). *Trophogeography: theory and practice: monograph*. Kharkiv: VN KhNU Karazina, 296. Available at: <http://ekhnuir.univer.kharkov.ua/bitstream/123456789/Трофозеографія.pdf>
17. Henry, J. R. (2000). An Overview of the Phytoremediation of Lead and Mercury. *National Network of Environmental Management Studies (NNEMS)*, 9 – 22 Available at: https://www.researchgate.net/publication/2327243_An_Overview_of_the_Phytoremediation_of_Lead_and_Mercury
18. Demenko O. V., Borisovskaya E. A. (2015). Methods for detoxifying soils contaminated with heavy metals using natural sorbents. *National Mining University, Ukraine*. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/nakoplenie-tyazhelyh-metallov-rasteniyami-fasoli-na-chernozeme-tipichnom>
19. Maltsev, V., Belchenko, S., Sorokin, A. (2015). Accumulation of heavy metals in soil and plants. *Collection of scientific works. Biologization of agriculture in the Non-Chernozem zone of Russia*. Bryansk. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/nakoplenie-tyazhelyh-metallov-rasteniyami-fasoli-na-chernozeme-tipichnom>

20. Lytsukov, A. (2021). *Ecological and agrochemical aspects of cultivation of agricultural crops at accumulation of lead (Doctoral dissertation)*. BelGU, Belgorod. Available at: <http://www.dslib.net/agro-ximia/jekologo-agrohimicheskie-aspekty-vozdelyvaniya-selskohozjajstvennyh-kultur-v-cchr.html>

Пути оптимизации загрязненных свинцом черноземных почв в системе почва – растение

Яна Александровна Белецкая¹,

к. т. н., доцент, кафедра международной электронной коммерции
и гостинично-ресторанного дела,

¹Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина,
пл. Свободы, 4, г. Харьков, 61022, Украина;

Алла Наумовна Некос¹,

д. геогр. н., профессор, кафедра экологической безопасности и экологического образования;

Анастасия Бехтер²,

аспирант, секретарь кафедры экологической биотехнологии,

²Лодзинский технологический университет,

ул. Политехника 3Б, 605, г. Лодзь, Польша, 90-535;

Анна Сергеевна Кривцова¹,

к. экон. н., кафедра международной электронной коммерции и гостинично-ресторанного дела;

Ольга Ивановна Брайнингер³,

аспирант, ³Государственный биотехнологический университет,

ул. Алчевских, 44, г. Харьков, Украина, 61002

Экологическая безопасность почв и выращивание экологически безопасных пищевых продуктов растительного происхождения является одной из наиболее актуальных проблем современности. Обеспечение экологической безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов является одной из главных задач, определяющих здоровье популяции человека и сохранение его генофонда. С пищей в организм человека из окружающей среды поступает до 70% загрязняющих веществ разного происхождения. По данным Всемирной организации здравоохранения, свинец (Pb) является глобальным загрязнителем, который вызывает большое количество заболеваний. Основная стратегия разработанного в ООН проекта «Здоровье нации в борьбе с COVID-19» заключается в уменьшении интоксикации тяжелыми металлами, поступающими в организм с пищей. В статье представлены результаты исследования путей оптимизации загрязненных на свинец черноземных почв в системе «почва – растение». Объектами исследования были вариации сои и нута разных сортов растительности. Исследовано содержание белка, жиров, углеводов в зернах сои и нута разных вегетационных сортов за период 3 лет, выращенных на черноземах Киевской области. Изучено содержание свинца в зернах сои и нута с максимальным и минимальным содержанием белка. Научно обоснован процесс аккумуляции свинца зернами сои и нута в зависимости от состава почв для выращивания. Установлено, что по интенсивности детоксикации зерен сои и нута различных вегетационных сортов при выращивании на черноземах загрязненных свинцом можно распределить следующим образом: $N_{180}P_{180}K_{180} + Pb + \text{известь} + \text{навоз} > N_{360}P_{360}K_{360} + Pb > N_{180}P_{180}K_{180} + Pb + \text{навоз} > N_{180}P_{180}K_{180} + Pb + \text{навоз}$.

Полученные результаты исследований важны для научного сообщества, так как освещенные закономерности, которые позволяют дать рекомендации по выращиванию сои и нута, сорта которых имеют минимальную способность к накоплению тяжелых металлов. Это социально необходимо и экономически выгодно, потому что позволит сохранить здоровье населения, чем сэкономит средства государственного бюджета, предназначенные для больничных содержаний и выплат по инвалидности.

Ключевые слова: почвы, черноземы, загрязнения, тяжелые металлы, свинец, методы детоксикации, бобовые.

Шляхи оптимізації забруднених свинцем чорноземних ґрунтів у системі ґрунту – рослина

Яна Олександрівна Білецька¹,

к. т. н., доцент, кафедра міжнародної електронної комерції та готельно-ресторанної справи,
¹Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,
пл. Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна;

Алла Наумівна Некос¹,

д. геогр. н., професор, кафедра екологічної безпеки та екологічної освіти;

Анастасія Бехтер²,

аспірант, секретар кафедри екологічної біотехнології,

²Лодзинський технологічний університет,

вул. Політехніка 3Б, 605, м. Лодзь, Польща, 90-535;

Анна Сергіївна Кривоцова¹,

к. екон. н., кафедра міжнародної електронної комерції та готельно-ресторанної справи;

Ольга Іванівна Брайнінгер³,

аспірант, ³Державний біотехнологічний університет,

вул. Алчевських, 44, м. Харків, Україна, 61002

Екологічна безпека ґрунтів та вирощування екологічно безпечних харчових продуктів рослинного походження є однією з найактуальніших проблем сучасності. Забезпечення екологічної безпеки продовольчої сировини та харчових продуктів є одним із головних завдань, що визначають здоров'я популяції людини та збереження її генофонду. З їжею в організм людини з довілля надходить до 70 % забруднюючих речовин різного походження. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, свинець (Pb) є глобальним забруднювачем, який викликає велику кількість захворювань. Основна стратегія розробленого ООН проекту «Здоров'я нації в боротьбі з COVID-19» полягає у зменшенні інтоксикації важкими металами, що надходять в організм людини з їжею. У статті представлені результати дослідження шляхів оптимізації забруднених на свинець чорноземних ґрунтів у системі «ґрунт – рослина». Об'єкти дослідження були варіації сої та нуту різних сортів рослинності. Досліджено вміст білка, жирів, вуглеводів у зернах сої і нуту різних вегетаційних сортів за період 3 років, вирощених на чорноземах Київської області. Вивчено вміст свинцю у зернах сої та нуту із максимальним та мінімальним вмістом білка. Науково обґрунтовано процес акумуляції свинцю зернами сої та нуту в залежності від хімічного складу ґрунтів для вирощування. Встановлено, що за інтенсивністю детоксикації зерен сої та нуту різних вегетаційних сортів під час вирощування на чорноземах забруднених свинцем можна розподілити таким чином: $N_{180}P_{180}K_{180} + Pb + \text{вапно} + \text{гній} > N_{360}P_{360}K_{360} + Pb > N_{180}P_{180}K_{180} + Pb + \text{гній} > N_{180}P_{180}K_{180} + Pb + \text{вапно}$. Отримані результати досліджень є важливими для наукової спільноти, тому, що висвітлені закономірності дають змогу надати рекомендації до вирощування сортів сої та нуту, які мають найменшу здатність до накопичення тяжких металів. Що є соціально необхідним та економічно вигідним, тому що дозволить зберегти здоров'я населення чим заощадить кошти державного бюджету, які призначені для лікарняних утримань та виплат по інвалідності.

Ключові слова: ґрунти, чорноземи, забруднення, важкі метали, свинець, методи детоксикації, бобові.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 23 лютого 2021 р.
Прийнята 2 листопада 2021 р.

Influence of green infrastructure objects for quality of surface runoff (on the example of green roofs in Kharkiv)

Nadiya V. Maksymenko¹,

DSc (Geography), Professor, Head of the Department of Environmental Monitoring and Protected Areas,

¹V. N. Karazin Kharkiv National University, 6 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,

e-mail: nadezdav08@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7921-9990>;

Svitlana V. Burchenko¹,

PhD Student of the Department of Environmental Monitoring and Protected Areas,

e-mail: sveta.burchenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5366-5397>;

Kateryna B. Utkina¹,

PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Ecological Safety and Environmental Education,

e-mail: k.utkina@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0002-0632-1273>;

Marharyta V. Buhakova¹,

MSc Student of the Department of Environmental Monitoring and Protected Areas,

e-mail: bugakova.mw@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5575-1181>

ABSTRACT

Relevance. Modern urbanization processes in Kharkiv are accompanied by an increase in anthropogenic pressure on the natural component, compaction of buildings and reduction of green areas. The concept of green infrastructure is used in many countries around the world; it is the best way to reorganize urban space into modern cities.

The purpose of the article is a determination of quality changes of water runoff after passing through of green roofs in Kharkiv, Ukraine.

Material and methods. A green roof is the roof of a build, partially or completely covered with vegetation and soil layer. Green roofs are divided into “intensive” and “extensive” types. In the research was studied the frequency of use of green roofs in construction and landscaping on the example of Kharkiv, was conducted an inventory of green roofs in Kharkiv. As the number of green roofs in Kharkiv is rather small, is optimal to choose the particular test sites for research. For chemical analysis, were taken samples of snow, surface runoff from the flat, and sloping green roofs and roof without greening for the content of pollutants. Chemical analysis of the samples was performed by the Laboratory of Analytical Ecological Research of V.N. Karazin Kharkiv National University. The laboratory has the attestation and certificate of ISO 10012:2005 № 01-0155/2019. The study determined the following indicators: pH, nitrites, nitrates, transparency, smell, turbidity, chlorides, general rigidity, total alkalinity, ammonia, zinc, copper, manganese, cadmium, total iron, chromium. Two types often represent green roofs in Kharkiv: parking roofs and cellars. Points of samples are located at Shevchenkivsky and Kholodnohirsky districts.

Results and discussion. Results of a study of snow and runoff sampling after a green roof and a roof without landscaping show that most water quality indicators improve after water passes through green areas. Thus, at points the pH, general rigidity, alkalinity, concentration of chlorides, chromium are decrease. The green roof of the first point (parking) also reduces the concentration of nitrites, ammonia, zinc and manganese. The concentration of iron also decreases in the second point. However, there is an increase in the concentration of heavy metals in the water due to their accumulation in the substrate of the green roof. The results of the study are can be used by the Post-Soviet countries, as previously the impact of surface runoff was considered only in terms of the flow of pollutants from storm sewers to water bodies.

Conclusion. The results of the study indicate that green roofs contribute to the treatment of runoff, natural replenishment of surface water bodies and groundwater and reduce the load on municipal wastewater treatment plant.

Keywords: green infrastructure, green roofs, stormwater regulation, urban water, surface runoff.

In cites: Maksymenko N. V., Burchenko, S. V., Utkina K. B., Buhakova M. V. (2021). Influence of green infrastructure objects for quality of surface runoff (on the example of green roofs in Kharkiv). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (55), 274-284. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-20>

Introduction. Green urban space in Post-Soviet Union countries is a disparate network of linear and planar plantations. At the same time, the modern practice of construction, especially in large cities with a population of more than 1 million people, has a continuous using of “grey” solution. Urbanization is leading to more frequent floods in urban areas. Municipal stormwater collection and sewerage systems do not cope with the anomalous amount of precipitation and have an outdated material and technical fund. Researches of green infra-

structure objects were conducted in different countries of Europe and Ukraine (Kuzyk, 2017; Kuzyk and Tsaryk, 2020). Ukrainian legislation on urban landscaping is based mainly on GBN B 1.1-14 (GBN 1.1-14, 2012). In previous studies, we also studied both the theoretical features of the organization of green infrastructure and landscape urban planning (Maksymenko, Burchenko, 2019; Klieshch et al., 2017; Bezliubchenko et al. 2011) and its particular objects (Maksymenko et al., 2021; Burchenko, 2021).

Green areas in cities provide a number of benefits: improving the quality of living space, atmospheric air, regulation of temperature and microclimate, regulation of surface runoff, adaptation to climate change, etc. The concept of green infrastructure is used in many countries around the world; it is the best way to reorganize urban space into modern cities. Using of green infrastructure in urban conditions contributes to the development of spatial processes, planning and management of which draws special attention to the impact of non-environmental solutions generated by the urban context (Shkaruba et al., 2021; H. Skryhan et al., 2020).

A green roof is the roof of a build, partially or completely covered with vegetation and soil layer. This green space created by the addition over traditional roofing system additional layer of fertile soil and plants. A green roof is also called an ecological and/or living roof.

Flat roofs are considered to have a slight slope, but not less than 2%, and sloping roofs can have a slope of 20% or more. The flat roof returns less than

1% of moisture to the atmosphere. A thin layer of vegetable soil 10 cm thick, covered with grass, holds up to 20% of precipitation. Green roofs can hold up to 80% of rainwater, which reduces the load on the city's sewage system, which often does not cope with rainwater volumes and cause flooding (Miniailo and Filonenko, 2015).

The existing types of architectural and planning solutions for green roofs can be reduced to several main types (Miniailo and Filonenko, 2015):

- a) grass roofs in low-rise construction;
- b) gardens on terraces;
- c) gardens on the roofs of outbuildings (garages, shops);
- d) gardens on the roofs of high-rise buildings.

According to the type of structure, green roofs are also divided into "intensive" and "extensive". Intensives are large enough facilities that typically require relatively complex engineering solutions (Fig. 1). Such roofs can accommodate even small ponds, swimming pools, trees and large recreation areas such as cafes or gyms.

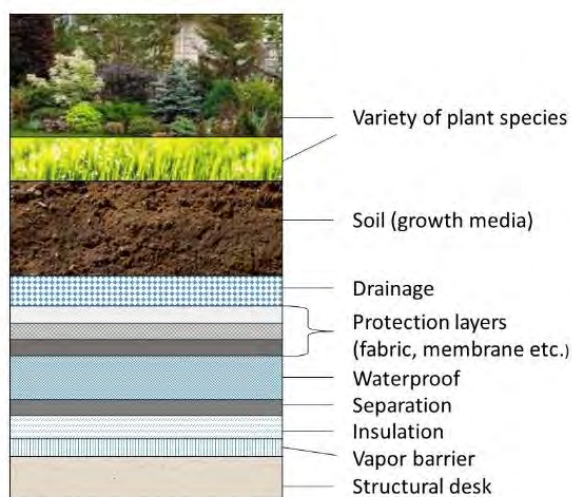


Fig. 1. Intensive type of green roof

Extensive green roofs are roofs with a thin plant carpet of low grass, moss, lichens and other low and unpretentious plants. This type of green roof can be created independently on an existing house; as usual, the house does not require significant reconstruction (Fig. 2).

The intermediate type between extensive and intensive green roofs is quite popular. These are roofs where it is possible to grow garden crops, accessible for small group of visitors and as a recreation area. It is important that these areas do not interact directly with the earth's surface and may consist of different types of soil. They play an important role in the regulation of surface runoff, life and development of urban flora and fauna, provide protection against overheating of buildings, noise and cold

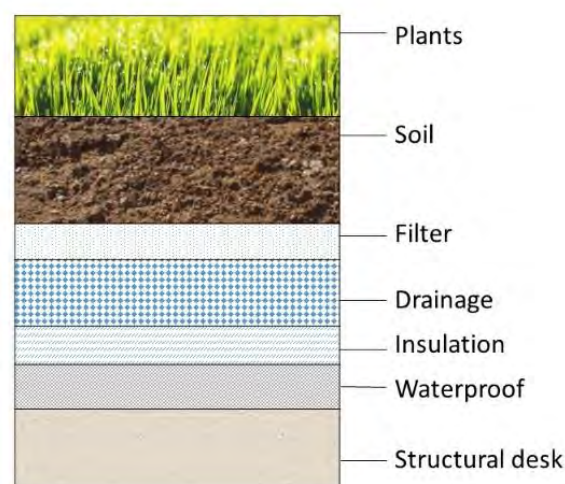


Fig. 2. Extensive type of green roofs

and forming a comfortable microclimate (Bronz, 2017).

Green roofs are divided into sever and container types. However, the sever type of coating retains precipitation and provides wastewater treatment better than modular. And the calculation of the content of surface runoff can be carried out (Culligan et al., 2014) as ratio of the amount of runoff during the study period to the surface of the green roof.

In addition, it is necessary to pay attention to the need to fertilize the extensive green roof with fertilizers, which can come with runoff to nearby reservoirs (Gilmore et al., 2012).

For example, green roofs are actively used in Lviv, Ukraine on private builds, business centres, study and research institutions.

Retention of surface runoff by greenery, in particular green roofs, is confirmed in various studies (Talebi et al., 2019; Minova and Vranayova, 2020).

Drainage attenuation depends on local precipitation characteristics and individual roof design, but can reach up to 90% for intensive roofs. The peak flow is maintained for 15 minutes, which means relief for the sewer system. Because the green roof drain is filtered, the water can be used to feed groundwater or as tap water on the farm (NWRM project).

For example, green roofs in Geneva, Switzerland have been installed on the roof of a hospital (0.55 ha) to reduce flood risks in urban areas. Indeed, this green roof is designed to retain about 30.25 m³ of water per day in the soil and plants and prevent it from running off (NWRM project).

A pilot research project on the benefits of green roofs was developed in Finland. We studied the impact on the quality of wastewater, pollinating insects, the survival of Finnish endangered arid meadow species on various types of substrates, etc. Obviously, one green roof or several scattered roofs have little or no effect on stormwater regulation. However, simulations have shown that there are potential benefits for large-scale rooftop greening projects in urban areas (NWRM project).

The ability of plants to survive on green roofs depends on certain factors, such as plant species, solar radiation, rainfall, average annual temperatures. It was found (Lönnqvist et al., 2020) that spontaneous vegetation has a higher survival rate and performs ecosystem services than the vegetation chosen for the green roof.

The type of vegetation also affects the water retention efficiency of green roofs. The efficiency of water retention in almost does not depend on increasing the capacity of the substrate (Talebi et al., 2019).

However, the retention of water by the substrate and the filter layer affects the maintenance of temperature depending on the thickness of the layer (Tan et al., 2017).

On the negative side, it is determined (Raimondo et al., 2015) that green roofs are a very unfavourable environment for plant growth due to the small depth of the substrate, high temperatures and light, as well as the effects of wind. As a result, there is a need for a very precise selection of vegetation for a green roof. This in turn will reduce operating costs, ensure all the benefits of a green roof and extend its service life.

According to statistics, the total area of existing greenery in Kharkiv is about 15.4 thousand hectares, which is 44% of the total area of the city (which is 35.0 thousand hectares). However, almost half of all greenery has a significant age threshold. In other

words, the level of landscaping in Kharkiv is not more than 25% - 30% with a regulatory value of 45%. In this research were studied, the frequency of use of green roofs in construction and landscaping, the quality of surface runoff after passing through the substrate of the green roof, on the example of Kharkiv.

Material and methods. In the course of the research was conducted an inventory of green roofs in Kharkiv by field survey and with the remote sensing and GIS (QGIS 3.16, SAS Planet). Samples were taken for chemical analysis of surface runoff samples from flat and sloping roofs, as well as analysis of snow samples for the content of pollutants. Was performed chemical analysis of surface runoff water from green roofs by the Educational Research Laboratory of Analytical Ecological Research of V.N. Karazin Kharkiv National University. The laboratory has the attestation and certificate of ISO 10012:2005 № 01-0155/2019.

Aqueous pH was determined using a pH meter. This method, in contrast to paper or special strips, allows to set the acidity and/or alkalinity of the liquid to the nearest hundredths.

The turbidity of the water is determined using a filter. First step is weighing the filter and second – weighing the filter after passing the sample of water through it, then dry the filter and weighing again. The difference in the mass of the filter will indicate the proportion of suspended solids in the water.

The transparency of the water is determined by the Snellen method, with the help of a glass cylinder with a flat bottom 30 cm high. The water must be mixed and poured into the cylinder to its full height. Under the bottom of the cylinder, it is necessary to put a paper with a standard font. Then, looking through the cylinder at the inscription, drain the water from it until the font becomes clear. The height of the water, expressed in centimetres, will indicate transparency.

To determine the smell at room temperature + 20°C, first shake the water well in a test tube, cover it with glass and then remove the glass and inhale the aroma through the nose.

Alkalinity was determined by acid-base titration within 24 hours after sampling. Previously, the acidity was measured using a pH meter. Next, water samples were titrated with HCl solution with methyl orange indicator. The methyl orange color change indicator indicates total alkalinity.

The general rigidity was determined by titration with a solution of disodium salt (Trilon B and complex III) in an alkaline medium using the indicator chromogen black.

Heavy metals, namely zinc (Zn), iron (Fe), manganese (Mn), copper (Cu), cadmium (Cd), chromium (Cr) were determined by atomic absorption

spectrometry and optical emission spectrometry.

Ammonia, or ammonium nitrogen, was determined using a photo-electro-colorimeter instrument ULAB 102UV under laboratory conditions. This device automatically determines the intensity of the image by comparing the selected water and standard solution with a known concentration of solution.

Nitrites were determined by the Gris method in the laboratory.

Nitrates were determined in the laboratory using a photo-electro-colorimeter.

The concentration of chlorides in water was determined in the laboratory by titrometric method.

Results and discussion. In the city of Kharkiv, the green infrastructure is represented mainly by parks, gardens, squares, linear plantings along roads and special purpose plantations (sanitary protection zones, green areas of enterprises and organizations). Green roofs are not very popular among architects and owners, so their number in the city is quite small. Green roofs in Kharkiv are often represented by two types: parking roofs (fig. 3) and cellars (fig. 4). The latter type is quite common, due to the traditions that have historically developed in the area. Cellars are used for storage of vegetables and canning and are located mainly near apartment buildings.

The first sampling point was parking at the Bakulina street near the residential complex (fig.3). The area is located in the yard of the private sector and plays the role of the roof of the parking. The area is 10 square meters (0.001 ha) with an angle of 25°, this position plays a role in the rate of water runoff from the surface. The lowest point of the roof is at a distance of 40 cm from the ground, the highest reaches about 4 meters. Vegetation is grown on the site artificially on a specially selected substrate (soil mixture), the ecosystem itself is up to 3 years old. The thickness of the surface layer is up to 10 cm of soil mixture. According to the Ukrainian legislation, for functional purposes, this area is for special use, i. e. access by unauthorized persons is prohibited.

The second sampling point for sampling was the area of the surface of the cellars at the Heroiv Pratsi street (fig.4). The plot is located near the garages in the courtyard of residential buildings. The green roof has an area of about 50 square meters (0.005 ha), with an angle of 0-3°. The height above the ground averages 1 meter. The roof is a typical soil of urban soil, which grows ruderal vegetation. The age of this ecosystem is about 20 years.

The third sampling point for comparison was the roof of a private house without landscaping at the Kholodnohirsky district of Kharkiv.

In the field, two samples were taken from each area. The first sample was water from the surface,

namely melted snow, the second sample – water soaked through the surface of the green roof and taken from the drain. In the third sample, snow and melt water were taken from the drain. The study determined the following indicators: pH, nitrites, nitrates, transparency, smell, turbidity, chlorides, general rigidity, total alkalinity, ammonia, zinc, copper, manganese, cadmium, total iron, chromium. Comparison of samples of surface and drainage water from the first point at Bakulina street (table 1). All indicators do not exceed the norm of maximum permissible concentrations according to State Sanitary Norms And Rules 2.2.4-171.10 “Hygienic requirements for human water consumption”, but the percentage of chemicals changes when passing through the soil mixture of the green roof. Therefore, the following changes can be observed:

- pH of surface water after impregnation decreased by 5.3%, nitrites by 50%, chlorides by 6.2%, general rigidity decreased by 39.5%, total alkalinity decreased by 21.30%, ammonia by 75%, zinc decreased by 13.6%, manganese by 69.3% and chromium by 100%.

These results tell us that the vegetation and substrate of the green roof do retain most of the chemical elements and clean the surface runoff. But instead there are indicators of the percentage of concentration which has increased:

- The smell of drainage water was 100% stronger than the surface and had a woody hue. The reason for this was the remains of leaves at the point of runoff.
- Heavy metals – cadmium and iron increased by 10 and 19 percent, respectively. The reason for this was the accumulation of chemical particles in the soil due to the constant inflow of surface water

In addition to variables, there are also those that remain at the initial concentration after water seepage through the surface of the green roof: copper (0.003 mg / dm³), nitrates (0 mg / dm³), turbidity (1.5) and transparency (25).

Summarizing the analysis of the first samples and their changes, it can be argued that the green roof on Bakulina Street plays an improving role as a surface runoff. Due to the fact that surface water concentrations of chemicals are initially within normal limits, even a small percentage increase in heavy metals is imperceptibly true for the quality of drainage water.

The study area at the Heroiv Pratsi street had the following results (Table 2):

- the concentration of impregnated water decreased compared to the surface at the following percentages: pH by 8.5%, chlorides \approx 4.2%, general rigidity \approx 87.8%, total alkalinity \approx 81.5%, iron \approx 1.6 %, chromium \approx 100%;

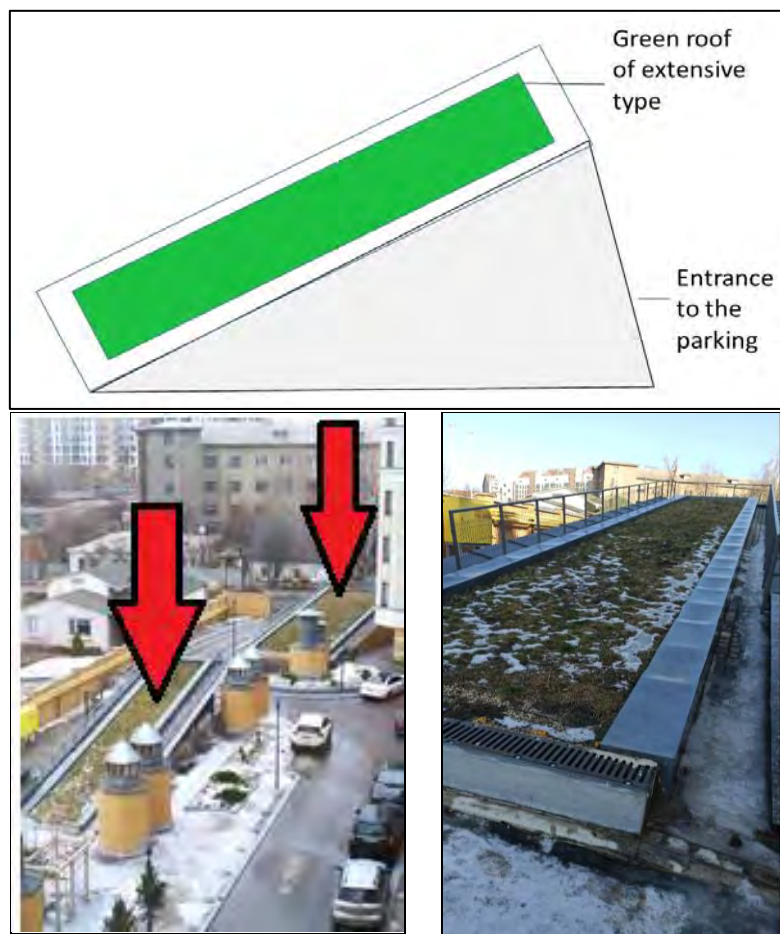


Fig.3. Green roofs on a parking



Fig. 4. Cellar

- the concentration increased after drainage through the green roof in the following indicators: smell by 100%, turbidity by 15%, in heavy metals – zinc (\nearrow 9%), copper (\nearrow 75%), manganese (\nearrow 77%), cadmium (\nearrow 50%).

The increase in the content of heavy metals after the infiltration of water through the surface, occurred due to their accumulation in urban soil. Especially that the ecosystem has existed for about 20 years and is constantly under anthropogenic interference.

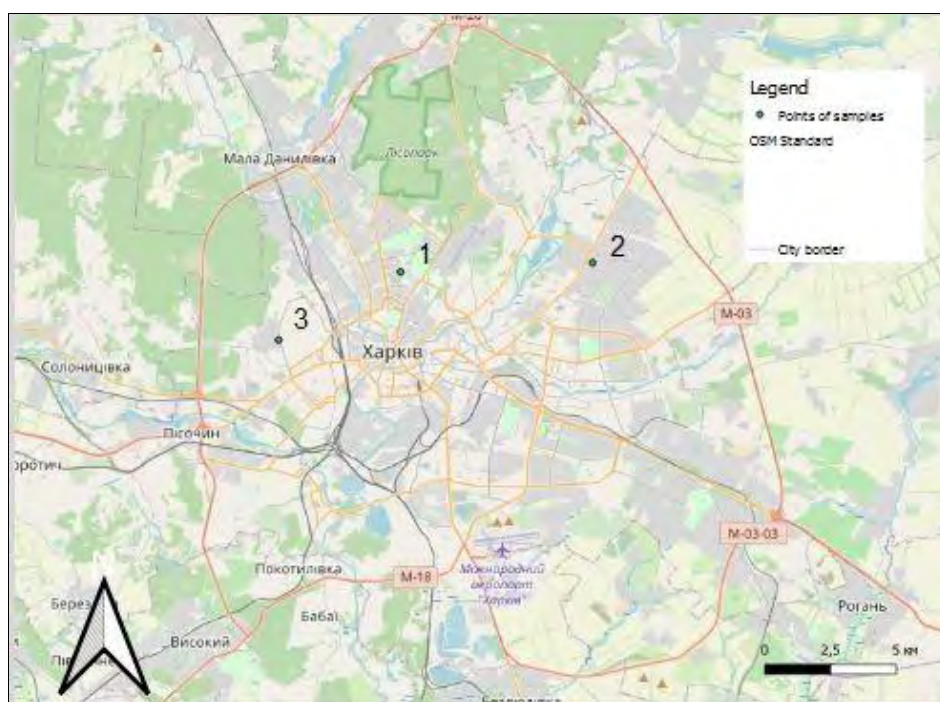


Fig. 5. Sampling points

Table 1

Comparison of samples of surface and drainage water from the first point at Bakulina street

Indicator	Units of measurement	Standard value	Sloping surface with grassy vegetation (green roof)	Drain after passing through the green roof	Changing in the concentration of the substance	The percentage change of the indicator
pH	-	6.5-8.5	8.266	7.83	↘	5.30 %
Nitrates (NO ₃)	mg/dm ³	<50	0	0	—	0
Nitrites (NO ₂)	mg/dm ³	<3.3	0.004	0.002	↘	50.0 %
Transparency	sm	>30	25	25	—	0
Smell	point	2	0	1	↗	100 %
Turbidity		<1	1.5	1.5	—	0
Chlorides (Cl)	mg/dm ³	<250	196	184	↘	6.2 %
General rigidity	mmol/dm ³	<7 (<10)	1.3	0.8	↘	39.5 %
Alkalinity general	mg/dm ³	0.5-6.5	1.65	1.3	↘	21.3 %
Ammonia (NH ₃)	mg/dm ³	<2	0.08	0.2	↘	75.0 %
Zinc (Zn)	mg/dm ³	<1	0.0432	0.0373	↘	13.6 %
Copper (Cu)	mg/dm ³	<1	0.0003	0.0003	—	0
Manganese (Mg)	mg/dm ³	<0.05	0.00065	0.0002	↘	69.3 %
Cadmium (Cd)	mg/dm ³	<0.01	0.00045	0.0005	↗	10.0 %
Total iron (Fe)	mg/dm ³	<0.2	0.01935	0.0217	↗	19.0 %
Chrome (Cr)	mg/dm ³	<0.05	0.0003	0	↘	100 %

rence (for example, the roadway for vehicles or trampling). But if comparing the numerical values, even an increase in heavy metals corresponds to the norm State Sanitary Norms And Rules 2.2.4-171.10 "Hygienic requirements for human water consumption". Only one indicator – turbidity, was initially not in the normal range and after drainage its value did not increase. This was due to the presence in the soil of various fine residues that remained in the wa-

ter in a suspended state.

- The concentration remained unchanged after impregnation: nitrates (0 mg / dm³), nitrites (0.001 mg / dm³), transparency (25), ammonia (0.08 mg / dm³).

Summing up the sample of surface and drainage water at the Heroiv Pratsi street, it can be argued that the green roof is more of a barrier to relatively light chemical elements. Due to the long life and irr-

Table 2

Comparison of samples of surface and drainage water from the second point at the Heroiv Pratsi street

Indicator	Units of measurement	Standard value	Sloping surface with grassy vegetation (green roof)	Drain after passing through the green roof	Changing in the concentration of the substance	The percentage change of the indicator
pH	-	6.5-8.5	7.292	7.252	↘	8.5 %
Nitrates (NO ₃)	mg/dm ³	<50	0	0	—	0
Nitrites (NO ₂)	mg/dm ³	<3.3	0.001	0.001	—	0
Transparency	sm	>30	25	25	—	0
Smell	point	2	0	2	↗	100 %
Turbidity		<1	1.5	2	↗	15 %
Chlorides (Cl)	mg/dm ³	<250	192	184	↘	4.2 %
General rigidity	mmol/dm ³	<7 (<10)	1.8	0.4	↘	87.80 %
Alkalinity general	mg/dm ³	0.5-6.5	2.8	0.8	↘	81.5 %
Ammonia (NH ₃)	mg/dm ³	<2	0.08	0.08	—	0
Zinc (Zn)	mg/dm ³	<1	0.0417	0.0458	↗	9 %
Copper (Cu)	mg/dm ³	<1	0.0001	0.0004	↗	75 %
Manganese (Mg)	mg/dm ³	<0.05	0.0001	0.0003	↗	77 %
Cadmium (Cd)	mg/dm ³	<0.01	0.0002	0.0004	↗	50 %
Total iron (Fe)	mg/dm ³	<0.2	0.0066	0.0065	↘	1.6 %
Chrome (Cr)	mg/dm ³	<0.05	0.0001	0	↘	100 %

regular cleaning of the territory, the ecosystem cannot be quickly renewed.

Comparing the role of the green roof in two areas, common features and differences were found:

- Cadmium and smell in both samples increased in the water composition after drainage through the surface;
- Concentration of indicators: pH, Chlorides, total alkalinity, general rigidity, Chromium decreased after drainage in both samples;
- the values of Nitrates and transparency in both cases remained unchanged after passing through the soil layer;

through the soil layer;

- Iron, Manganese and Zinc were the opposite. If in 1 sample (Bakulina Street) the concentration of zinc and manganese decreased, in the second (Heroiv Pratsi Street) the opposite increased after drainage; Iron in the first sample increased and in the second decreased;
- Nitrites and Copper in the first sample decreased, in the second remained unchanged;
- Copper and turbidity in the second sample increased their concentration after drainage, in the first were static.

Table 3

Comparison of samples of surface and drainage water from the third point at Kholodnohirskiy district

Indicator	Units of measurement	Standard value	Sloping surface with grassy vegetation (green roof)	Drain after passing through the green roof	Changing in the concentration of the substance	The percentage change of the indicator
pH	-	6.5-8.5	6.185	7.685	↗	24.25 %
Nitrates (NO ₃)	mg/dm ³	<50	0	0	—	0
Nitrites (NO ₂)	mg/dm ³	<3.3	0.001	0.001	—	0
Transparency	sm	>30	30	30	—	0
Smell	point	2	0	0	—	0
Turbidity		<1	1.5	1.5	—	0
Chlorides (Cl)	mg/dm ³	<250	184	200	↗	8%
General rigidity	mmol/dm ³	<7 (<10)	1	2.0	↗	50%
Alkalinity is general	mg/dm ³	0.5-6.5	0.8	2.0	↗	60 %
Ammonia (NH ₃)	mg/dm ³	<2	0.2	0.08	↘	60 %
Total iron (Fe)	mg/dm ³	<0.2	0.05	0.05	—	0

Research area without landscaping at Kholodnohirsky district had following results:

- increase pH, Chlorides, general rigidity and alkalinity
- reduction of ammonia after passing through the stormwater collection system
- indicators of nitrates, nitrites, iron, transparency, turbidity, smell remained unchanged.

Conclusion. The methods and forms of organization of green infrastructure are different in each city according to geographical, environmental, socio-economic conditions, the goals they pursue remain the same. Identification and expansion of green infrastructure is one of the most important strategies for implementing an ecosystem approach to spatial planning. One type of green infrastructure objects is a green roof.

Green roofs are the optimal urban green infrastructure due to their multifunctionality: they can be converted into existing buildings, they provide space for urban wildlife, and they can enrich public spaces for the city residents. In addition, green roofs make previously unfriendly places pleasant, as well as provide a new open space for office workers.

The main types of green roofs are extensive and intensive, sedum and container. They also differ from the typical vegetation and substrate. These fac-

tors will affect the maintenance of the green roof before the maintenance and treatment of stormwater runoff.

In the Post-Soviet countries, surface runoff was considered as a pollutant, which was sent to sewage treatment plants through the storm sewer system or to the water bodies directly. Our study shows positive aspect of green roofs on the qualitative characteristics of surface runoff.

In this study, were identified two types of green roofs – at the parking and typical for the Post-Soviet countries at the form of a cellar.

The results of a study of snow and runoff sampling after a green roof and a roof without landscaping show that most water quality indicators improve after water passes through green areas. Thus, at both points the pH, general rigidity, alkalinity, concentration of chlorides, chromium are decrease. The green roof of the first point (parking) also reduces the concentration of nitrites, ammonia, zinc and manganese. The concentration of iron also decreases in the second point. The increase in the content of individual elements (smell, turbidity, iron, zinc, copper, manganese, cadmium) is associated with the specific features of each area where the green roof is located and do not have regular repetition.

Bibliography

1. Кузик І. Р. До проблеми сталого функціонування комплексної зеленої зони міста Тернополя / І. Р. Кузик // Вісник Тернопільського відділу Українського географічного товариства, 2017. – №1(1). – С. 38–42.
2. Кузик І. Р. Геоекологічна оцінка структури комплексної зеленої зони міста Тернопіль та її оптимізація / І. Р. Кузик, Л. П. Царик // Людина та довкілля. Проблеми неоекології, 2020. – № 34. – С. 8–18. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2020-34-01>
3. ДБН Б.1.1-14:2012. Склад та зміст детального плану території: затв. наказом від 12.03.2012 № 107 Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України // Інформаційний бюлетень Мінрегіонрозвитку, будівництва та ЖКГ України, 2012. – № 4. – 37 с.
4. Максименко Н. В. Теоретичні основи стратегії зеленої інфраструктури: міжнародний досвід / Н. В. Максименко, С. В. Бурченко // Людина та довкілля. Проблеми неоекології, 2019. – № 31. – С. 16–25. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2019-31-02>
5. Безлюбченко О. С. Планування і благоустрій міст: навч. пос. / О.С. Безлюбченко, О.В. Завальний, Т.О. Черносорова. – Харків: ХНАМГ, 2011. – 191 с.
6. Клець А. А. Територіальна структура природокористування міста Харків / А. А. Клець, Н. В. Максименко, П. Р. Пономаренко // Людина і довкілля. Проблеми неоекології, 2017. – № 1–2 (27). – С. 23–34.
7. Maksymenko N. Inventory of green roofs in Kharkiv (Ukraine) and Edinburgh (Scotland): current occurrence, future potential and implications for biodiversity and ecosystem services / N. Maksymenko, S. Burchenko, K. Miller, L. Cohen, V. Krivtsov // Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та запобігання: зб. тез доповідей I Міжнародної Інтернет-конференції. – Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2021. – С. 127–128.
8. Burchenko S. Green roofs for cities surface runoff regulation. 25th international scientific conference ENVIRO 2021: book of abstracts / S. Burchenko. – Nitra: Slovak University of Agriculture in Nitra, 2021. – P. 44. DOI: <https://doi.org/10.15414/2021.9788055224084>
9. Shkaruba A. Development of sustainable urban drainage systems in Eastern Europe: an analytical overview of the constraints and enabling conditions / Shkaruba A., Skryhan H., Likhacheva O. et al. // Journal of Environmental Planning and Management. 2021. – Vol. 64. – № 13. – P. 2435–2458. DOI: <https://doi.org/10.1080/09640568.2021.1874893>
10. Skryhan H. Sustainable urban drainage systems in Eastern Europe: policy transfer and legacy effects / H. Skryhan, A. Katona, V. Kireyeu et al. // 1st international iale-russia online conference „landscape science and landscape ecology: considering responses to global challenges”: book of abstracts. – Moscow: Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, 2020. – P. 211.

11. Minaiilo M. A. Roof gardens and their socio-economic impact / M. A. Minaiilo, O. I. Filonenko // Collection of scientific works construction, materials science, engineering. 2015. – Vol. 81. – P. 111–118.
12. Bronz I. A. Graphical Approach to Analysis of Individual GSI Project Stormwater Mitigation in Urban Settings. University of Pennsylvania / I. A. Bronz // Scholarly Common: веб-сайт. URL: https://repository.upenn.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1002&context=msag_projects (дата звернення: 13.06.2021).
13. Culligan P. J. Evaluation of Green Roof Water Quantity and Quality Performance in an Urban Climate / P. J. Culligan, T. B. Carson, S. Gaffin et al. – U.S. Environmental Protection Agency. – P. 79. URL: <http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100KI19.pdf>
14. Gilmore, K. Impacts of Runoff Water Quality from Extensive Green Roofs / K. Gilmore, R. Shopiro, R. Crago, J. M. Gutzman // Proceedings of the Water Environment Federation, 2012. – Vol. 11. – P. 4948–4965.
15. Talebi A. Water retention performance of green roof technology: A comparison of Canadian climates / A. Talebi, S. Bagg, B. E. Sleep, D. M. O'Carroll // Ecological Engineering, 2019. – Vol. 126. – P. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.10.006>
16. Minova Z. Green Roofs and Water Retention in Košice / Z. Minova, Z. Vranayova. – Slovakia, 2020. – 133 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-24039-4>
17. Case Study Green Roofs of Vienna. Natural Water Retention Measures project (NWRM): веб-сайт. URL: <http://nwrn.eu/> (дата звернення: 13.06.2021).
18. Lönnqvist J. Temperatures and precipitation affect vegetation dynamics on Scandinavian extensive green roofs / J. Lönnqvist, H. M. Hanslin, B. G. Johannessen et al. // International Journal of Biometeorology, 2020. – Vol. 65. – № 6. – P. 837–849. URL: <https://dx.doi.org/10.1007/s00484-020-02060-2>
19. Tan C. L. Impact of soil and water retention characteristics on green roof thermal performance / C. L. Tan, P. Y. Tan, N. H. Wong et al. // Energy and Buildings, 2017. – Vol. 152. – P. 830–842. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.011>
20. Raimondo F. Plant performance on Mediterranean green roofs: Interaction of species-specific hydraulic strategies and substrate water relations / F. Raimondo, P. Trifilo, M. A. Lo Gullo et al. // AoB PLANTS, 2015. – Vol. 7. DOI: <https://doi.org/10.1093/aobpla/plv007>

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

References

1. Kuzyk, I. R. (2017). On the problem of sustainable functioning of the comprehensive green area of the city Ternopil. Visnyk of the Ternopil department of the Ukrainian Geographical Society, 1(1), 38–42. [in Ukrainian]
2. Kuzyk, I. R., Tsaryk, L. P. (2020). Geoecological Assessment for The Structure of the Complex Green Zone of Ternopil City and its Optimization. Man and Environment. Issues of Neocology, 34, 8–18. [in Ukrainian] <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2020-34-01>
3. GBN B.1.1-14: 2012. Composition and content of a detailed plan of the territory. Y. M. Bilokon State Enterprise Ukrainian State Research Institute of Urban Design „Dipromisto“ [in Ukrainian]
4. Maksymenko N.V., Burchenko S.V. (2019). Theoretical Basis of the Green Infrastructure Strategy: International Experience. Man and Environment. Issues of Neocology, 31, 16–25. [in Ukrainian] <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-50-14>
5. Bezliubchenko O.S., Zavalnyi O.V., Chernonosova T.O. (2011). Urban planning and improvement. Tutorial, 191. [in Ukrainian]
6. Klieshch A. A., Maksymenko N. V., Ponomarenko P. R. (2017). Territorial structure of the land use of Kharkiv city. Man and Environment. Issues of Neocology, 27(1-2), 23–34. [in Ukrainian] URL: <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/9168>
7. Maksymenko N., Burchenko S., Miller K., Cohen L., Krivtsov V. (2021). Inventory of green roofs in Kharkiv (Ukraine) and Edinburgh (Scotland): current occurrence, future potential and implications for biodiversity and ecosystem services. Current issues of formal and nonformal education in environmental monitoring and conservation Abstracts of I International Internet-conference, 127–128. <https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2021/02/akt-probl-form-i-neform-osv-z-monit-dovk-ta-zapov-spr-2021.p>
8. Burchenko S. (2021). Green roofs for cities surface runoff regulation. 25th international scientific conference EN-VIRO 2021. June 3–4.
9. Shkaruba A., Skryhan H., Likhacheva O., Katona A., Maryshevych O., Kireyev V., Sepp K., Shpakivska I. (2021). Development of sustainable urban drainage systems in Eastern Europe: an analytical overview of the constraints and enabling conditions. Journal of Environmental Planning and Management. 2435–2458. <https://doi.org/10.1080/09640568.2021.1874893>
10. Skryhan H., Katona A., Kireyev V., Likhacheva O., Maryshevych O., Sepp K., Shkaruba A., Shpakivska I. (2020). Sustainable urban drainage systems in Eastern Europe: policy transfer and legacy effects. 1st international iale-russia online conference „landscape science and landscape ecology: considering responses to global challenges“, 211.
11. Minaiilo, M. A., Filonenko, O. I. (2015). Roof gardens and their socio-economic impact. Collection of scientific works construction, materials science, engineering, 81, 111–118.

12. Bronz, I. (2017). *A Graphical Approach to Analysis of Individual GSI Project Stormwater Mitigation in Urban Settings. Master of Science in Applied Geosciences Project Designs*, 39. https://repository.upenn.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1002&context=msag_projects
13. Culligan, P. J., Carson, T.B., Gaffin S. et al. (2014). *Evaluation of Green Roof Water Quantity and Quality Performance in an Urban Climate. U.S. Environmental Protection Agency*, 79. <http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100K119.pdf>
14. Gilmore, K., Shopiro, R., Crago, R., Guzman, J. M. (2012). *Impacts of Runoff Water Quality from Extensive Green Roofs. Proceedings of the Water Environment Federation*, 11, 4948–4965.
15. Talebi, A., Bagg, S., Sleep, B. E., O'Carroll, D. M. (2019). *Water retention performance of green roof technology: A comparison of Canadian climates. Ecological Engineering*, 126, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.10.006>
16. Minova, Z., Vranayova, Z. (2020). *Green Roofs and Water Retention in Košice, Slovakia*, 133. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-24039-4>
17. *Natural Water Retention Measures project (NWRM). Case Study Green Roofs of Vienna*, 13. <http://nwrm.eu/>
18. Lönnqvist J., Hanslin H. M., Johannessen B. G., et al. (2020). *Temperatures and precipitation affect vegetation dynamics on Scandinavian extensive green roofs. International Journal of Biometeorology*, 65, 6, 837–849. <https://dx.doi.org/10.1007%2Fs00484-020-02060-2>
19. Tan, C. L., Tan, P. Y., Wong, N. H. et al. (2017). *Impact of soil and water retention characteristics on green roof thermal performance. Energy and Buildings*, 152, 830–842. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.011>
20. Raimondo, F., Trifilo, P., A Lo Gullo, M. et al. (2015). *Plant performance on Mediterranean green roofs: Interaction of species-specific hydraulic strategies and substrate water relations. AoB PLANTS*, 7, plv 007. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plv007>

Влияние зеленой инфраструктуры на качество поверхностного стока (на примере зеленых крыш в г. Харькове)

Надежда Васильевна Максименко¹,

д. геогр. н., профессор, зав. кафедрой экологического мониторинга и заповедного дела,

¹Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, пл. Свободы, 6, г. Харьков, 61022, Украина;

Светлана Владимировна Бурченко¹,

аспирант кафедры экологического мониторинга и заповедного дела,

Екатерина Богдановна Уткина¹,

к. геогр. н., доцент кафедры экологической безопасности и экологического образования;

Маргарита Васильевна Бугакова¹,

магистрант кафедры экологического мониторинга и заповедного дела

Современные процессы урбанизации в Харькове сопровождаются усилением антропогенного давления на природную составляющую, уплотнением зданий и уменьшением зелёных зон. Концепция зеленой инфраструктуры используется во многих странах мира, это самый лучший способ реорганизовать городское пространство в современные устойчивые города. Целью исследования является определение качественных изменений химического состава поверхностного стока после прохождения через зеленые крыши в Харькове. Зеленая крыша – это крыша здания, частично или полностью покрыта растительностью и слоем грунта. Зеленые крыши делятся на два типа: экстенсивные и интенсивные. В исследовании изучалась частота использования и особенности зеленых крыш в зеленой инфраструктуре Харькова, проведена инвентаризация зеленых крыш в Харькове. Поскольку в Харькове достаточно небольшое количество зеленых крыш оптимальным является выбор отдельных тестовых полигонов для проведения исследований. Отобраны образцы для химического анализа поверхностного стока воды и снега от плоских и наклонных зеленых крыш и крыши без озеленения на содержание загрязняющих веществ. Химический анализ проб был проведен аттестованной лабораторией аналитических экологических исследований УНИ экологии Харьковского национального университета имени В.Н. Каразина, имеющая сертификат ISO 10012:2005 № 01-0155/2019. В ходе исследования определялись в воде следующие показатели: pH, нитриты, нитраты, прозрачность, запах, мутность, хлориды, общая жесткость, общая щелочность, аммиак, цинк, медь, марганец, кадмий, общее железо, хром. В Харькове зеленые крыши представлены преимущественно двумя типами: паркинг и погреб. Сравнение проб снега и стока после зеленой кровли и крыши без озеленения свидетельствует о том, что большинство показателей качества воды улучшаются после прохождения через зеленые насаждения крыш (снижаются показатели pH, общей жесткости, щелочности, концентрация хлоридов, хрома). Зеленая крыша первого участка (паркинг) уменьшает концентрацию нитритов, аммиака, цинка и марганца. На втором участке также уменьшается концентрация железа. Увеличение содержания отдельных элементов (запах, мутность, медь, марганец, кадмий) связано со специфическими особенностями каждого участка, где расположена зеленая крыша и не имеют регулярного повторения. Результаты исследования могут быть использованы постсоветскими странами, поскольку ранее влияние поверхностного стока рассматривалось только с

точки зрення поступлення забруднюючих речовин з ливневої каналізації в водні об'єкти. і зменшують навантаження на міські очисні споруди.

Ключеві слова: зелена інфраструктура, зелені дахи, ливневе регулювання, міські води, поверхневий стік.

Вплив зеленої інфраструктури на якість поверхневого стоку (на прикладі зелених дахів у м. Харків)

Надія Василівна Максименко¹,

д. геогр. н., професор, зав. кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи,

¹Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, майдан Свободи, 6, м. Харків, 61022, Україна;

Світлана Володимирівна Бурченко¹,

аспірант кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи;

Катерина Богданівна Уткіна¹,

к. геогр. н., доцент кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти;

Маргарита Василівна Бугакова¹,

магістрантка кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи

Сучасні процеси урбанізації в Харкові супроводжуються посиленням антропогенного тиску на природну складову, ущільненням будівель та зменшенням зелених насаджень. Концепція зеленої інфраструктури використовується в багатьох країнах світу, це найкращий спосіб реорганізувати міський простір у сучасні сталі міста. Метою дослідження є визначення якісних змін хімічного складу поверхневого стоку після проходження через зелені дахи у м. Харків. Зелений дах – це дах будівлі, частково або повністю вкритий рослинністю і шаром ґрунту. Зелені дахи поділяються на два типи: екстенсивні та інтенсивні. У дослідженні вивчалася частота використання та особливості зелених дахів у зеленій інфраструктурі м. Харкова, проведена інвентаризація зелених дахів у Харкові. Оскільки, у Харкові досить невелика кількість зелених дахів оптимальним є вибір окремих тестових полігонів для проведення досліджень. Відібрано зразки для хімічного аналізу поверхневого стоку води і снігу з плоских і похилих зелених дахів, та даху без озеленення на вміст забруднюючих речовин. Хімічний аналіз проб було проведено атестованою лабораторією аналітичних екологічних досліджень ННІ екології Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна яка має сертифікат ISO 10012:2005 № 01-0155/2019. В ході дослідження визначались у воді такі показники: рН, нітрити, нітрати, прозорість, запах, каламутність, хлориди, загальна жорсткість, загальна лужність, аміак, цинк, мідь, марганець, кадмій, загальне залізо, хром. У Харкові зелені дахи представлено переважно двома типами: паркінг і погребі. Порівняння проб снігу та стоку після зеленого даху та даху без озеленення свідчать про те, що більшість показників якості води покращуються після проходження через зелені насадження дахів (знижуються показники рН, загальної жорсткості, лужності, концентрація хлоридів, хрому). Зелений дах першої ділянки (паркінг) зменшує також концентрацію нітритів, аміаку, цинку та марганцю. На другій ділянці також зменшується концентрація заліза. Збільшення вмісту окремих елементів (запах, каламутність, мідь, марганець, кадмій) пов'язане зі специфічними особливостями кожної ділянки, де розташовано зелений дах та не мають регулярного повторювання. Результати дослідження можуть бути використані пострадянськими країнами, оскільки раніше вплив поверхневого стоку розглядався лише з точки зору надходження забруднюючих речовин із зливової каналізації до водних об'єктів. Дослідженням доведено, що зелені дахи сприяють очищенню стоку, природному поповненню поверхневих водних об'єктів та ґрунтових вод та зменшують навантаження на міські очисні споруди.

Ключові слова: зелена інфраструктура, зелені дахи, ливневе регулювання, міські води, поверхневий стік.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 23 вересня 2021 р.

Прийнята 19 листопада 2021 р.

Оцінювання екологічних ризиків розвитку підземної транспортної інфраструктури методом BOCR*

Наталія Дмитрівна Панкратова¹,

д. т. н., проф., член-кор. НАНУ, заступник директора з наукової роботи Інституту прикладного системного аналізу ¹НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна;

e-mail: natalidmp@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-6372-5813>;

Надія Іванівна Недашківська¹,

д.т.н., доцент, кафедра ММСА, Інститут прикладного системного аналізу,

e-mail: nedashkivska@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8277-3095>;

Геннадій Іванович Гайко¹,

д. т. н., проф., кафедра геоінженерії, Інститут енергозбереження та енергоменеджменту,

e-mail: gayko.kpi@meta.ua, <https://orcid.org/0000-0002-4263-5958>;

Володимир Стефанович Білецький²,

д. т. н., проф., кафедра видобування нафти, газу та конденсату,

²НТУ "Харківський політехнічний інститут", вул. Кирпичова, 21, м. Харків, 61002, Україна,

e-mail: biletsk@i.ua, <https://orcid.org/0000-0003-2936-9680>

Проаналізовані характерні екологічні та техногенні загрози міському середовищу. Розглянуто пріоритетні для безпеки людини і суспільства задачі мінімізації екологічних і техногенних ризиків в умовах швидко зростаючих мегаполісів. Оцінено можливості підземних споруд взяти на себе функції найбільш небезпечних та ризикованих поверхневих об'єктів і комунікацій. Побудовано моделі підтримки прийняття рішень для оцінювання альтернатив трас автомобільних тунелів у місті Києві. Розкрито методику й проведено оцінювання моделей розвитку підземної транспортної інфраструктури столиці методом BOCR (критерії доходів, можливостей, витрат і ризиків). Розглянуто задачу оцінювання пріоритетності моделей (альтернативних варіантів) розвитку підземної інфраструктури міста, яка характеризується умовами унікальності, можливої неповноти, неточності, нечіткості вхідної інформації. При цьому використано результати експертного оцінювання об'єктів. Розраховано агреговані за мережею параметрів пріоритети альтернатив для трас тунелів м. Києва і обґрунтовано доцільну послідовність їх будівництва за критеріями зниження екологічних і техногенних ризиків урбанізованого простору. Зокрема, застосування методу BOCR дозволило вибрати найбільш пріоритетну альтернативу – тунель №5 за Генеральним планом розвитку Києва до 2025 року. Метод є гнучким, за його допомогою можуть бути оцінені будь-які інші території (траси) потенційного підземного будівництва у великих містах. Отже, практичне значення роботи полягає в створенні й апробації універсальної методики, що дає інвесторам і міським державним адміністраціям ефективний інструментарій оцінки першочерговості будівництва об'єктів підземної інфраструктури для регулювання міського розвитку з метою підвищення екологічних стандартів і безпеки життєдіяльності мегаполісів.

Ключові слова: урбаністичний простір, підземна інфраструктура, екологічні ризики, техногенні ризики, системний аналіз.

Як цитувати: Панкратова Н. Д. Оцінювання екологічних ризиків розвитку підземної транспортної інфраструктури методом BOCR / Н. Д. Панкратова, Н. І. Недашківська, Г. І. Гайко, В. С. Білецький // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2021. – Вип. 55. – С. 285-298. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-21>

In cites: Pankratova N. D., Nedashkovskaya N. I., Haiko H. I., Biletskyi V. S. (2021). Assessment of environmental risks of underground transport infrastructure development by BOCR method. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (55), 285-298. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-21> [in Ukrainian]

Вступ. Однією з характерних рис сучасності є стале збільшення мегаполісів, розширення міської інфраструктури, зростання населення, різке збільшення кількості автомобілів, що призводить до значного ускладнення управління ризиками у великих містах. Найбільш характерними загрозами міському середовищу є забруднення повітря викидами автомобільного транспорту, динамічні та шумові прояви, негативні впливи промислових зон, сховищ відходів і сміття, прориви в системах каналізації, водо- та енергопостачання, перевантаженість очисних споруд, транспортні аварії та дорожні затори, зсувні явища та інші

небезпечні процеси геологічного середовища, що привертає постійну увагу дослідників та екологічних організацій [1-4]. Так, головною причиною серцево-судинних і онкологічних захворювань, ушкоджень органів дихання мешканців міст є викиди токсичних речовин автомобілів, а пов'язане з ними шумове забруднення є причиною розладу слухової й нервової систем, причому довготривалий вплив гучного шуму на людину призводить до зниження працездатності до 60% [5, 6]. Транспортні аварії створюють найбільші ризики травмування й загибелі містян у мирний час. Саме тому вирішення проблем міських

транспортних комунікацій, зокрема постійно зростаючої інтенсивності автомобільного руху в мегаполісах є одним з головних напрямків мінімізації екологічних і техногенних ризиків великих міст. Світові концепти екологізації міського середовища значну увагу приділяють можливостям підземного простору взяти на себе функції найбільш небезпечних та ризикованих поверхневих об'єктів і комунікацій, оскільки вплив будь-якого підземного об'єкту на навколишнє середовище значно нижчий, порівняно з подібним на поверхні, й кращою мірою може контролюватися [7-10]. При цьому планування розвитку підземної транспортної інфраструктури повинно спиратися на системну методологію та інструментарій аналізу складних систем [11].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Дослідження розвитку транспортних систем великих міст з точки зору мінімізації екологічних та техногенних ризиків залишаються в центрі уваги багатьох дослідників [3, 4, 6, 12 та ін.], проте більшість з них зосереджені на традиційних підходах щодо вдосконалення організації наземного транспорту (обмеження його міського функціонування) та екологізації автомобілів. Серед публікацій останніх років, присвячених освоєнню підземного простору мегаполісів, є обґрунтування екологізованих автомобільних тунелів, які здатні істотно знизити екологічні та техногенні небезпеки (вихлопні гази з тунелю можна відвести та утилізувати, як це роблять, наприклад, у скандинавських країнах) [10, 13-15]. Проте лише системний комплексний підхід до розвитку підземної інфраструктури може забезпечити якісне покращення екології та безпеки урбанізованого простору. Методи системного аналізу, які застосовувались до поверхневого містобудівництва [16, 17] не можуть бути прямо перенесені на підземний простір, оскільки визначальну роль тут має геологічне середовище, доступ через підземні виробки, принципово інша просторова організація тощо. Перша ґрунтова робота щодо застосування системної методології для аналізу розвитку підземної урбаністики [11] зосереджувалась на проблемі прогностичної оцінки сприятливості геологічного середовища будівництву підземних комплексів. Проте питання мінімізації екологічних і техногенних ризиків при плануванні підземної інфраструктури, пріоритетність і раціональна черговість будівництва підземних транспортних об'єктів залишалися недостатньо дослідженими.

Мета роботи полягає в застосуванні системного інструментарію (метод BOCR – критерії доходів, можливостей, витрат і ризиків) для планування підземної транспортної інфраструктури великих міст для забезпечення мінімізації еколо-

гічних і техногенних ризиків урбаністичного простору та виділення пріоритетів (першочерговості) будівництва автомобільних тунелів (на прикладі Генерального плану міста Києва).

Методика BOCR для оцінювання альтернатив пріоритетності моделей. Для державних і міських адміністрацій в умовах обмеженості бюджету постає задача оцінювання важливості, пріоритетності моделей альтернативних варіантів розвитку підземної інфраструктури міста для подальшого вибору об'єктів для першочергової реалізації. Це завдання стосується слабо структурованих задач підтримки прийняття рішень. Їх особливості, як відомо, полягають у відсутності строго формалізованої цілі функціонування об'єкту керування і, відповідно, оптимального розв'язку в класичному розумінні, а також відсутності детермінованої інформації в обсязі, необхідному для отримання розв'язку.

Задача оцінювання важливості, пріоритетності моделей (альтернативних варіантів) розвитку підземної інфраструктури міста характеризується унікальністю, неповнотою, неточністю, нечіткістю вхідної інформації. Для її вирішення можуть застосовуватися математичні методи аналізу ієрархій, вхідна інформація для яких – це кількісні дані та якісні оцінки експертів. У [18 – 22] запропоновано складові методології та інструментарію підтримки прийняття рішень для розрахунку пріоритетів альтернатив на основі ієрархічних та мережових моделей критеріїв. Методи ієрархічних моделей підтримки прийняття рішень та оцінок експертів використовують для розв'язання задач сталого розвитку міських територій [23, 24], для планування мегаполісів та підземного будівництва [25, 26]. Напрацювання авторів робіт [23 – 26], однак, мають обмеження, серед яких: недостатньо обґрунтовано рівень узгодженості, не реалізовано оцінювання і підвищення узгодженості оцінок експертів; недостатньо формалізовано розв'язки на основі нечітких експертних оцінок; недостатньо проводиться аналіз чутливості та стійкості отриманих розв'язків. Вказаних обмежень не має розроблений модифікований метод BOCR до оцінювання альтернатив рішень з урахуванням доходів, витрат, можливостей та ризиків [20].

Розглянемо як ці методи та інструментарій можуть бути застосовані до вирішення задачі оцінювання пріоритетності моделей (альтернатив) розвитку підземної інфраструктури міста Києва. Використовуючи матеріали Генерального плану розвитку Києва до 2025 р. [27], оцінки, надані вітчизняними експертами, та досвід зарубіжних країн, будується мережа підтримки прийняття рішень, на основі якої на наступному етапі виконується оцінювання пріоритетності

моделей (альтернатив) розвитку підземної інфраструктури міста Києва.

Мережа підтримки прийняття рішень (ППР) містить наступні елементи [20]:

$$S = \{V, L, E, PCM\},$$

- V – множина вершин графу $V = \{C_1, C_2, \dots, C_N\}$ – це множина кластерів $C_i = \{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{ini}\}$, де кластери містять окремі елементи задачі ППР. Наприклад, один з кластерів містить альтернативні варіанти рішень – тунелі, інші кластери містять характеристики та параметри альтернатив, за якими відбувається їх оцінювання, а також чинники, які впливають на вибір тієї чи іншої альтернативи. В подальшому ці характеристики називатимуться критеріями рішень.

- L – множина направлених ребер графу. В мережі є зв'язки двох типів: зовнішні залежності між елементами різних кластерів показують, що елементи одного кластеру впливають на елементи іншого; внутрішні залежності – петлі в графі – показують взаємний вплив між елементами одного кластеру.

- E – множина оцінок елементів графу, наданих експертом в шкалі.

- PCM – множина обернено симетричних матриць парних порівнянь елементів графу, які будуються на основі експертних оцінок з множини E .

Часто до мережі ППР включають критерії доходів, можливостей, витрат та ризиків, скорочено BOCR, від реалізації досліджуваних альтернатив. Під час порівняння альтернатив рішень відносно доходів і можливостей визначається, яка з альтернатив принесе більший дохід або має більше можливостей. При порівнянні альтернатив рішень відносно витрат і ризиків питання ставиться відносно того, яка з альтернатив є більш витратною або ризикованою. На практиці найчастіше використовують мережі BOCR ППР, які містять складові, наведені на рис. 1, 2.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Розглянемо застосування модифікованого методу BOCR до оцінювання пріоритетності моделей (альтернатив) розвитку підземної інфраструктури міста Києва. Особливості методу в тому, що агреговані пріоритети альтернатив рішень (тунелів) розраховуються за мережею підтримки прийняття рішень з урахуванням факторів ризиків на основі експертних оцінок парних порівнянь; є можливість підвищити узгодженість оцінок експерта щодо елементів мережі без участі експерта; є можливість комплексно оцінити чутливість розв'язків, отриманих на кожному етапі методу. В результаті розраховуються агреговані за множиною параметрів пріоритети альтернатив

тунелів і вибираються найбільш пріоритетні з них для першочергової реалізації.

Етапи модифікованого методу BOCR описано в [20]. Вхідні дані для цього методу – оцінки, отримані від експерта і представлені обернено симетричними матрицями парних порівнянь (МПП) $D_{n \times n} = \{(d_{ij})\}$, $d_{ij} > 0$, $d_{ji} = 1/d_{ij}$ елементів мережі. Розглянемо, як виконується аналіз якості чітких МПП. В [18] запропоновано спосіб підвищення узгодженості чітких МПП D без участі експерта. Розглянемо його за умови, що узгодженість оцінюється за показником CI^{tr} :

1. Задати значення параметра α , $0 < \alpha < 1$. Обчислити показник узгодженості CI^{tr} МПП D .

2. В циклі, поки не виконується критерій допустимої неузгодженості $CI^{tr} > CI^{tr}_{porog}$:

- 2.1. Обчислити ваги $w = (w_1, \dots, w_n)^T$ на основі МПП D .

- 2.2. Обчислити скориговану МПП $D^* = (d_{ij}^*)$, використовуючи наведені нижче мультиплікативне або адитивне коригування.

- 2.3. Обчислити значення показника CI^{tr} скоригованої МПП D^* . Виконати присвоєння $D := D^*$.

Мультиплікативне коригування МПП базується на наступному твердженні, яке сформульовано і доведено в [19]. Нехай $D_{n \times n}^* = (d_{ij}^*)$, $d_{ij}^* = (d_{ij})^\alpha (\frac{w_i}{w_j})^{1-\alpha}$ – скоригована МПП, де $\alpha \in (0,1)$ – параметр коригування. Тоді $CI^{tr*} \leq CI^{tr}$, де CI^{tr*} – індекс узгодженості транзитивностей скоригованої МПП $D_{n \times n}^*$; CI^{tr} – індекс узгодженості початкової МПП $D_{n \times n}$; рівність $CI^{tr*} = CI^{tr}$ виконується тоді і тільки тоді, коли $D_{n \times n}$ узгоджена.

Адитивне коригування базується на аналогічному твердженні, що було доведено в [19], де скоригована МПП $D_{n \times n}^* = (d_{ij}^*)$ розраховується $d_{ij}^* = \alpha d_{ij} + (1 - \alpha) (\frac{w_i}{w_j})$, якщо $i < j$ і $d_{ij}^* = (\alpha d_{ji} + (1 - \alpha) (\frac{w_j}{w_i}))^{-1}$ для випадку $i \geq j$.

Нехай оцінки формалізуються за допомогою нечіткої матриці парних порівнянь (НМПП) $\tilde{D} = \{(\tilde{d}_{ij}) | i, j = 1, \dots, n\}$, де $\tilde{d}_{ij} = (x, \mu_{ij}(x))$ – нечітка множина, що відображає інтенсивність переваги альтернативи a_i над альтернативою a_j , $x \in \mathbb{R}$, $\mu_{ij}(x)$ – значення функції приналежності для нечіткого відношення переваги a_i над a_j , $\tilde{d}_{ii} = 1$. Оцінювання і підвищення узгодженості НМПП виконується за методом [21]:

1. Побудувати дефазифіковану МПП $D = \{(d_{ij})\} \in R_{n \times n}^+$, де $d_{ij} = Defuz(\tilde{d}_{ij})$, якщо $\tilde{d}_{ij} \geq 1$ і $d_{ij} = 1/d_{ji}$ інакше, $i, j = 1, \dots, n$.

2. Виконати оцінювання і підвищення узгодженості МПП D , використовуючи метод, запропонований вище для чіткої МПП.

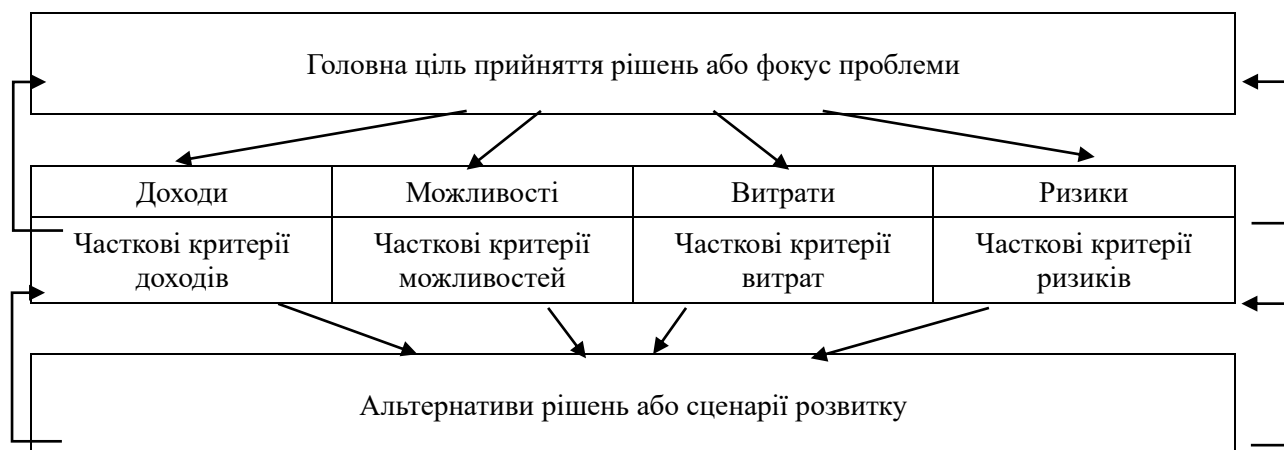


Рис. 1. Перший варіант мережі ППР оцінювання альтернатив рішень з урахуванням ризиків.
Fig. 1. The first version of the BOCR network to evaluate risk-based alternatives

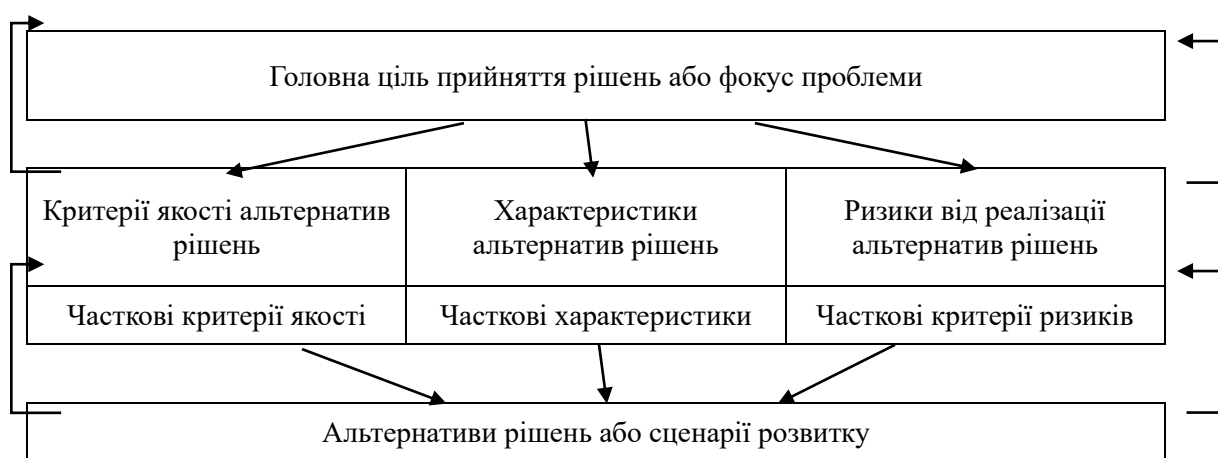


Рис. 2. Другий варіант мережі ППР з урахуванням ризиків.
Fig. 2. The second version of the BOCR network, taking into account the risks

Переваги описаного методу, порівняно з іншими існуючими, наступні:

- стає можливим визначити слабку узгодженість НМПП та оцінити допустимість неузгодженості НМПП для обчислення ваг,
- відносно легко реалізується підвищення узгодженості НМПП, знаходження найбільш неузгоджених елементів і циклів в НМПП, використовуючи апарат, розроблений для чітких МПП,
- не виникає протиріч між результатами за чіткою і відповідною їй нечіткою МПП, на відміну від відомих методів, які використовують розширені бінарні арифметичні операції; зокрема, не виникає протиріч в окремому випадку $n=2$,
- застосовується до НМПП з будь-якими типами елементів (трапецевидними, гаусівськими, а також дискретними нечіткими множинами).

В результаті для всіх елементів мережі, альтернатив тунелів та параметрів тунелів отримуємо МПП прийнятної якості, які можна використовувати на наступному етапі модифікованого методу BOCR.

Перейдемо до розгляду методу знаходження агрегованих пріоритетів елементів мережі BOCR [20]. Будується зважена блочна матриця $WWE = \{(WWE_{ji})\}$ локальних пріоритетів елементів всіх кластерів мережі, де $WWE_{ji} = WE_{ji} \cdot WC_{ji}$, $WE_{ji} \geq 0$ – матриця нормованих локальних пріоритетів елементів кластера C_j відносно елементів кластера C_i , WC_{ji} – матриця нормованих ваг кластера C_j відносно кластера C_i , $j, i = 1, \dots, N$. Якщо $I(C_i, C_j) = 0$, то WE_{ji} – нульова матриця. Матриця $WWE \geq 0$ стохастична за побудовою. На основі WWE розраховуються граничні пріоритети елементів мережі:

- якщо WWE – примітивна, то шукані пріоритети w – елементи головного власного вектору матриці WWE ;

- якщо WWE – неприводима, імпримітивна (циклічна), то шуканий вектор пріоритетів – це середнє значення стовбців матриці WWE^k при $k \rightarrow \infty$;

Агреговане значення пріоритету i -ї альтернативи за моделлю кластерів доходів, витрат, можливостей і ризиків (рис.1) здійснюються за одним з правил:

$$w_i^{aggr} = (B \cdot O) / (C \cdot R) \text{ або}$$

$$w_i^{aggr} = bB + oO + \frac{c}{C} + \frac{r}{R}$$

$$\text{або } w_i^{aggr} = bB + oO + (1 - c)C + (1 - r)R,$$

де b, c, o, r – ваги якостей доходів, витрат, можливостей та ризиків, B, C, O, R – значення локальних пріоритетів i -ї альтернативи за цими якостями.

Аналогічно, агрегований пріоритет i -ї альтернативи за моделлю на рис.2 – за одним з наступних правил:

$$w_i^{aggr} = (Q \cdot H) / R \text{ або}$$

$$w_i^{aggr} = qQ + hH + r/R$$

$$\text{або } w_i^{aggr} = qQ + hH + (1 - r)R,$$

де q, h – ваги якостей, характеристик альтернатив рішень, r – вага критерію ризиків від реалізації альтернатив, Q, H, R – значення локальних пріоритетів i -ї альтернативи за визначеними якостями, характеристиками та ризиками.

Розглянемо застосування методу БОСР до оцінювання альтернатив трас тунелів у місті Києві. Використовуючи оцінки, надані вітчизняними експертами, та досвід зарубіжних країн, побудовано мережеву модель підтримки прийняття рішень для оцінювання альтернатив тунелів у місті Києві, причому як альтернативи рішень розглянуто два варіанти тунелів, а саме, тунель 1 і частина тунелю 5 (до Дніпра), які відображають типові умови середмістя (рис. 3).



Рис. 3. Схема трасування автомобільних тунелів (Генеральний план розвитку Києва до 2025 р.).

Fig. 3. Scheme of route of road tunnels (General plan of development of Kiev till 2025)

Для оцінювання цих альтернатив тунелів у модель включено наступні основні критерії рішень (Рис. 4):

1. Геологічне середовище по трасі тунелів.
2. Характеристики ділянки будівництва.
3. Структурно-функціональні (доцільність будівництва тунелю) і екологічно-безпекові чинники.
4. Чинники ризику.

Параметри, які характеризують геологічне середовище по трасі тунелів, в свою чергу, деталізуються на підкритерії рішень:

- 1.1. Рівень динамічного навантаження.
- 1.2. Показник статичного навантаження від поверхневої забудови.
- 1.3. Показник статичного навантаження оточуючого ґрунтового масиву.
- 1.4. Вплив існуючих підземних об'єктів.
- 1.5. Генетичний тип та літологічний склад ґрунтів.
- 1.6. Розрахунковий опір ґрунту.
- 1.7. Вплив водоносних горизонтів і верховодки.
- 1.8. Тип рельєфу і морфометрія.

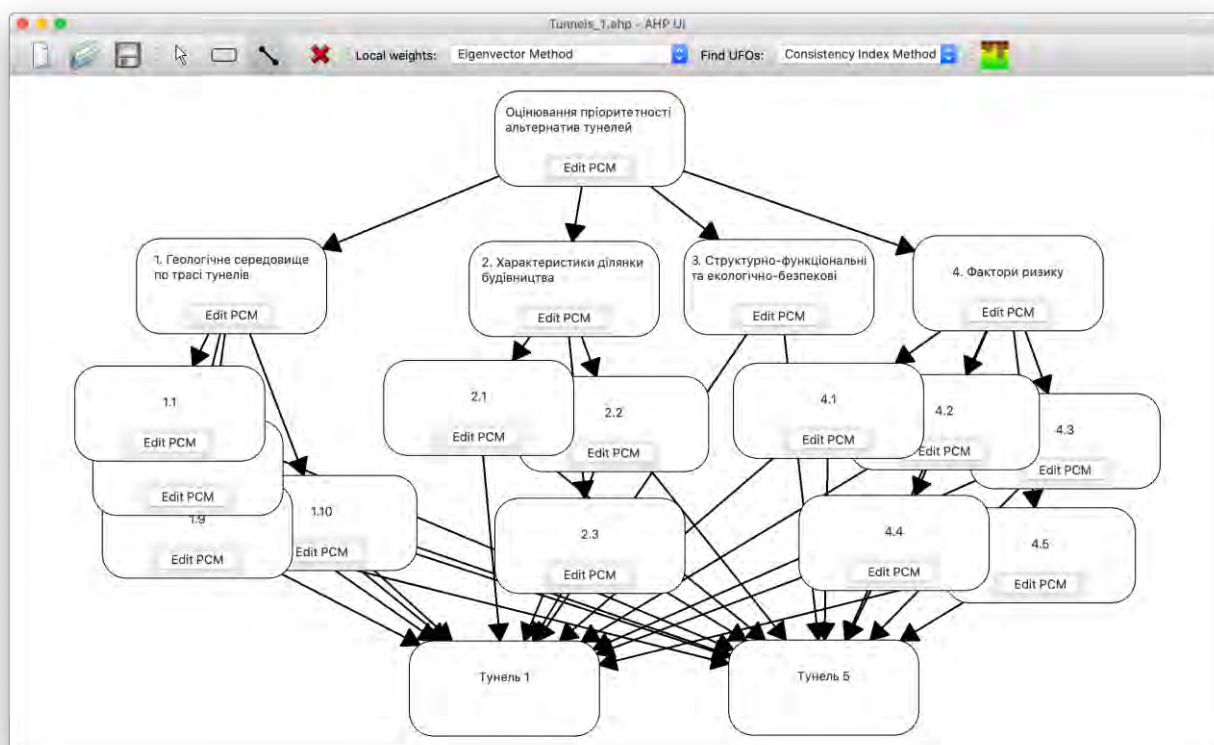


Рис. 4. Модель підтримки прийняття рішень для оцінювання альтернатив тунелів у місті Києві.
Fig. 4. Decision support model for evaluating tunnel alternatives in Kyiv

1.9. Інженерно-геологічні процеси.

1.10. Геотехнології будівництва підземних споруд.

У мережі рішень враховуються наступні характеристики ділянки будівництва:

2.1. Придатність ділянки.

2.2. Масштаб об'єкта.

2.3. Рівень забудови.

Фактори ризику деталізуються наступним чином:

4.1. Ризики, пов'язані з ділянкою будівництва.

4.2. Забруднення повітря.

4.3. Шум і динамічні впливи.

4.4. Дорожні затори.

4.5. Дорожні аварії.

Для оцінювання моделі наведеної на рис.4, експерт використовує метод парних порівнянь об'єктів та шкалу Сааті 1 – 9. Критерій «1.Геологічне середовище по трасі тунелів» виявився більш важливим за всі інші: він сильно переважає критерій «2.Характеристики ділянки будівництва» та слабо переважає критерій «4.Фактори ризику» (рис. 5 і рис. 6). Результовуюча МПП на основі цих оцінок (рис. 7) допустимо неузгоджена, про що свідчить значення індексу неузгодженості рівне 0,039, менше за відповідне порогове значення для МПП даної розмірності. Ця МПП також має додаткову бажану властивість слабкої узгодженості і, як наслідок, не містить циклів,

які призводять до нетранзитивних результовуючих ранжувань. На рис. 6 і рис. 8 наведено розраховані значення локальних пріоритетів або ваг відповідних елементів мережі.

На рис. 9 показано множину оцінок з викидом – це елемент $a[2,1] = 5$, що відмічено кольором. Викид призвів до високого рівня неузгодженості всієї множини оцінок, оскільки значення індексу неузгодженості МПП зросло до 0,344. МПП на рис. 9 є суперечливою, не допускає узгодженості й не може використовуватися для подальших розрахунків. Оберемо інструментарій «Improve Consistency» у вікні на рис. 10. У результаті система автоматично знаходить найбільш неузгоджені експертні оцінки, викиди та пропонує для них більш прийнятні значення (рис. 11). Остаточне рішення щодо коригування МПП приймає людина – аналітик або ОПР. Система також передбачає можливість ручного коригування оцінок за результатами діалогу з експертом, використовуючи форми, наведені на рис. 5 і рис. 7. Таким чином, система підтримки прийняття рішень виконує аналіз даних, отриманих від експерта стосовно всіх елементів мережі, визначає рівень узгодженості оцінок, придатність оцінок для подальшого використання, а також включає інструментарій коригування даних з або без участі експерта з метою підвищення рівня їх узгодженості.

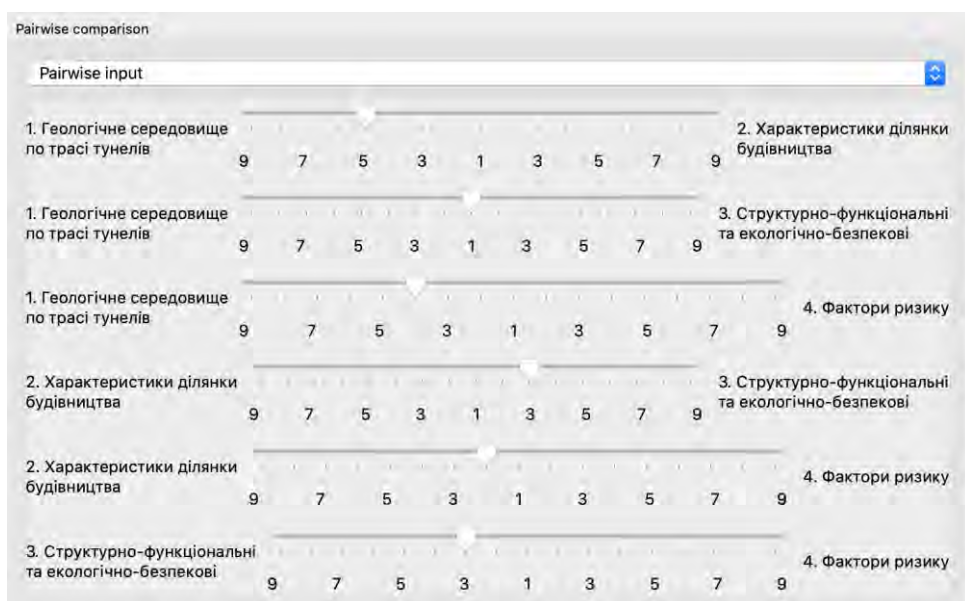


Рис. 5. Оцінки експертів щодо критеріїв рішень, виконані у прийнятій шкалі.
Fig. 5. Expert assessments of the decision criteria performed in the adopted scale

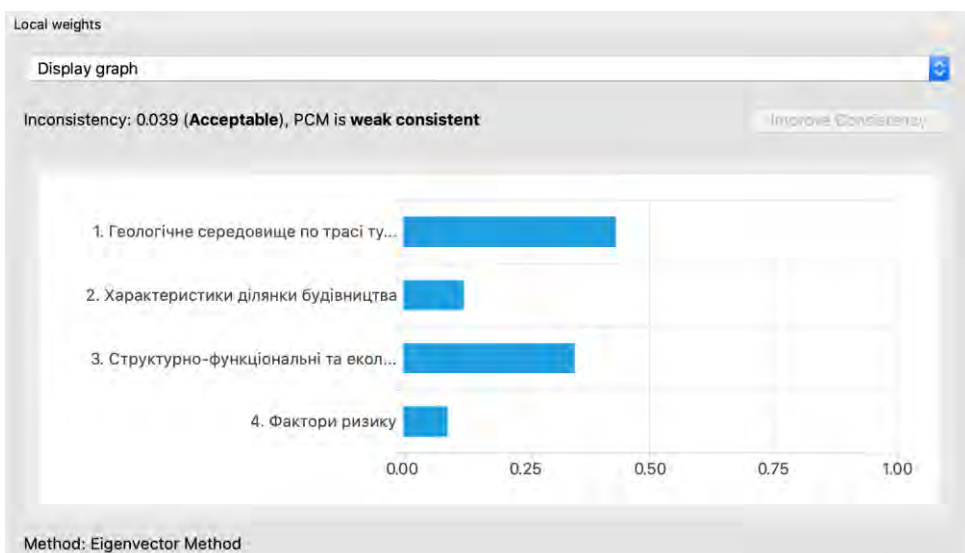


Рис. 6. Результати експертного оцінювання: локальні ваги критеріїв рішень на основі заданих оцінок.
Fig. 6. Results of expert evaluation: local weights of decision criteria based on given evaluations

Pairwise comparison

Matrix input

2. Характеристики ділянки будівництва is 2.000 times more preferable than 4. Фактори ризику

	1. Геологічне середовище по трасі тунелів	2. Характеристики ділянки будівництва	3. Структурно-функціональні та екологічно-безпекові	4. Фактори ризику
1. Геологічне середовище по трасі тунелів	1.0	5.0	1.0	4.0
2. Характеристики ділянки будівництва	0.2	1.0	0.3333333333333333	2
3. Структурно-функціональні та екологічно-безпекові	1.0	3	1.0	3
4. Фактори ризику	0.25	0.5	0.3333333333333333	1.0

Рис. 7. МПП експертного оцінювання критеріїв рішень відносно головної цілі.
Fig. 7. BOCR expert evaluation of decision criteria in relation to the main goal

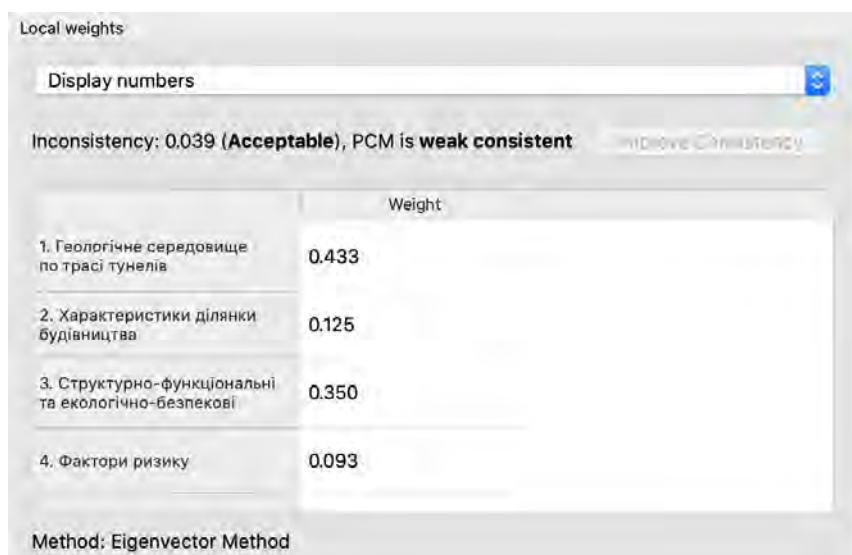


Рис. 8. Результати експертного оцінювання: локальні ваги критеріїв рішень на основі заданої МПП.
Fig. 8. Results of expert evaluation: local weights of decision criteria based on a given BOCR

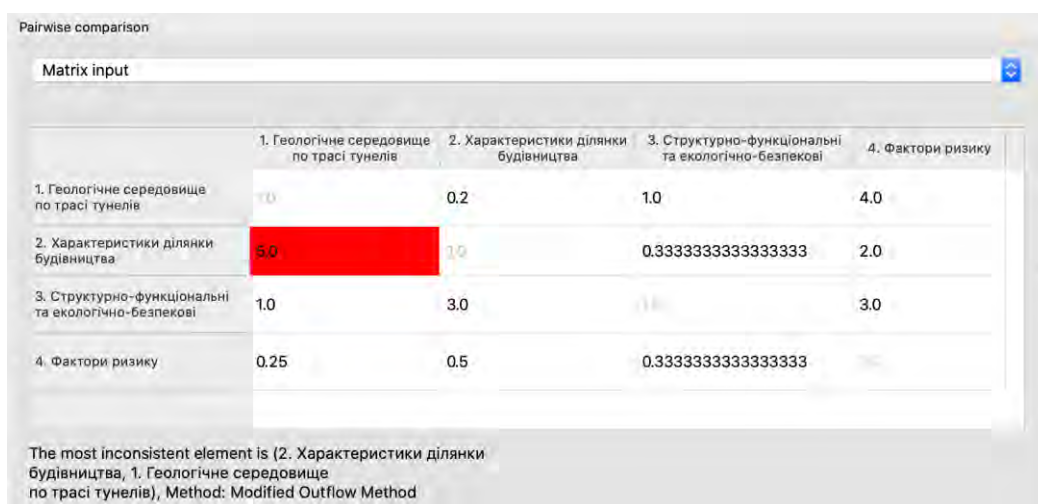


Рис. 9. Приклад сильно неузгодженої МПП критеріїв рішень.
Fig. 9. Example of a highly inconsistent BOCR decision criteria

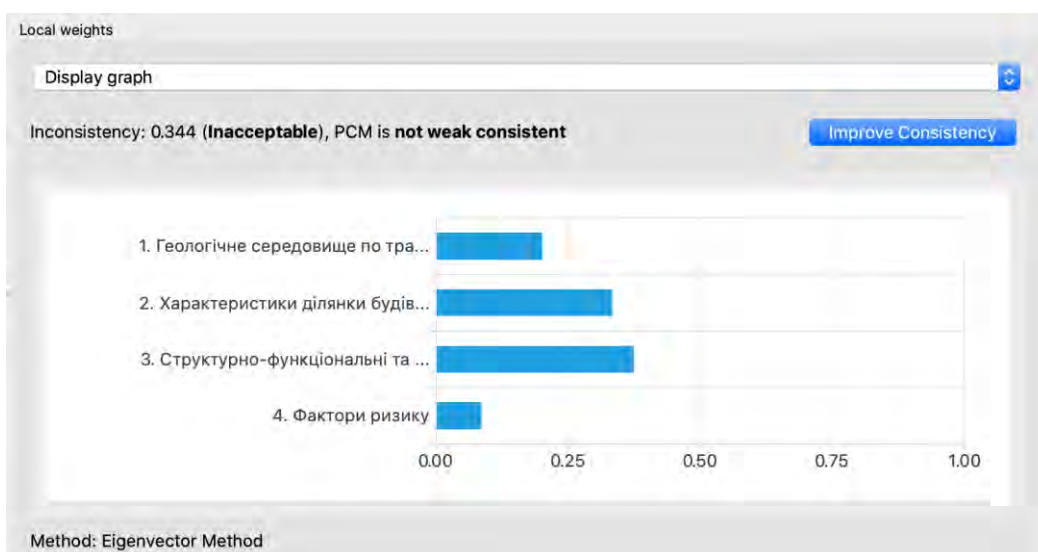


Рис. 10. Застосування методу оцінювання і підвищення узгодженості до сильно неузгодженої МПП критеріїв рішень.
Fig. 10. Applying the method of evaluation and increasing consistency to a highly inconsistent BOCR decision criteria

Improved PCM				
	1. Геологічне середовище по трасі тунелів	2. Характеристики ділянки будівництва	3. Структурно-функціональні та екологічно-безпекові	4. Фактори ризику
1. Геологічне середовище по трасі тунелів	1.000	3.000	1.000	4.000
2. Характеристики ділянки будівництва	0.333	1.000	0.333	2.000
3. Структурно-функціональні та екологічно-безпекові	1.000	3.000	1.000	3.000
4. Фактори ризику	0.250	0.500	0.333	1.000

Рис. 11. Скоригована без участі експерта МПП критеріїв рішень.

Fig. 11. Adjusted decision criterion without the participation of the BOCR expert

У даній задачі отримано наступні пріоритети критеріїв рішень: «С1. Геологічне середовище по трасі тунелів» (0,433), «С2. Характеристики ділянки будівництва» (0,125), «С3. Структурно-функціональні і екологічно-безпекові фактори» (0,350), «С4. Фактори ризику» (0,093), та ранжування критеріїв на їх основі:

$$C1 > C3 > C2 > C4.$$

Чутливість отриманого ранжування до збурень у початкових даних – оцінках експерта – можна виконати, використовуючи інструментарій «Sensitivity Analysis». Система підтримки прийняття рішень для кожного елемента МПП розраховує інтервали та індекси стійкості щодо збереження узгодженості (рис. 12а) та інтервали та індекси стійкості щодо збереження ранжування (рис. 12б).

Причому, перші інтервали – ті, в межах яких можуть змінюватися обрані оцінки, щоб узгодженість всієї МПП залишалася допустимою. Другі інтервали – в межах яких можуть змінюватися обрані оцінки так, щоб найкращий елемент або все результуюче ранжування залишалися незмінними. Індекс стійкості для елемента (i, j) МПП визначається [22]

$$\delta_{ij} = \min((SInt_{ij})^{-1}, \overline{SInt_{ij}}),$$

де $SInt_{ij}$, $\overline{SInt_{ij}}$ – лівий і правий кінці інтервалу стійкості.

Так, найбільш чутливим до зміни рівня узгодженості МПП критеріїв рішень є елемент $a[2,4]=2$ в МПП на рис. 7, оскільки він характеризується найменшим значенням індексу стійкості рівним 1,797 у відповідній матриці на рис.12а. В свою чергу, найбільш стійкий до зміни рівня узгодженості МПП критеріїв рішень – це елемент $a[2,3]=0,333$ в МПП на рис. 7, так як йому відповідає максимальне значення індексу стійкості рівне 2,848 на рис. 12а.

Найбільш стійким до зміни отриманого ранжування $C1 > C3 > C2 > C4$ критеріїв рішень виявився елемент $a[2,4]$ МПП (рис. 7) із максимальним значенням індексу стійкості рівним 240 у матриці на рис. 12б.

Система розраховує локальні ваги усіх елементів мережі, представленої на рис.4, і результати можна переглянути у вікнах, аналогічних до наведених на рис. 5 – 8.

Результат розрахунку мережі, відображеної на рис.4 – це агреговані пріоритети критеріїв, підкритеріїв, ризиків і альтернатив варіантів тунелів з урахуванням всіх зазначених зв'язків. Результуючі агреговані пріоритети двох альтернатив тунелів наведено на рис. 13. Діаграма наглядно демонструє пріоритетність будівництва тунелю №5, який значно більшою мірою впливає на мінімізацію екологічних і техногенних ризиків.

Висновки. Розглянуто застосування модифікованого методу BOCR до оцінювання пріоритетності моделей (альтернатив) розвитку підземної інфраструктури міста Києва. Особливості методу полягають у тому, що агреговані пріоритети альтернатив рішень щодо тунелів розраховуються за мережею підтримки прийняття рішень з урахуванням факторів доходів, витрат, можливостей і ризиків на основі експертних оцінок парних порівнянь; є можливість підвищити узгодженість оцінок експерта щодо елементів мережі за участю та без участі експерта; є можливість комплексно оцінити чутливість розв'язків, отриманих на кожному етапі методу. Створені моделі трас двох тунелів пройшли тестування за методом BOCR, що дозволило вибрати за критерієм мінімізації екологічних і техногенних ризиків найбільш пріоритетну альтернативу – тунель №5 за Генеральним планом розвитку Києва до 2025 р. Метод є гнучким, за його допомогою можуть бути оцінені будь-які інші території (траси) потенційного підземного будівництва у великих містах. Це дає інвесторам, мі-

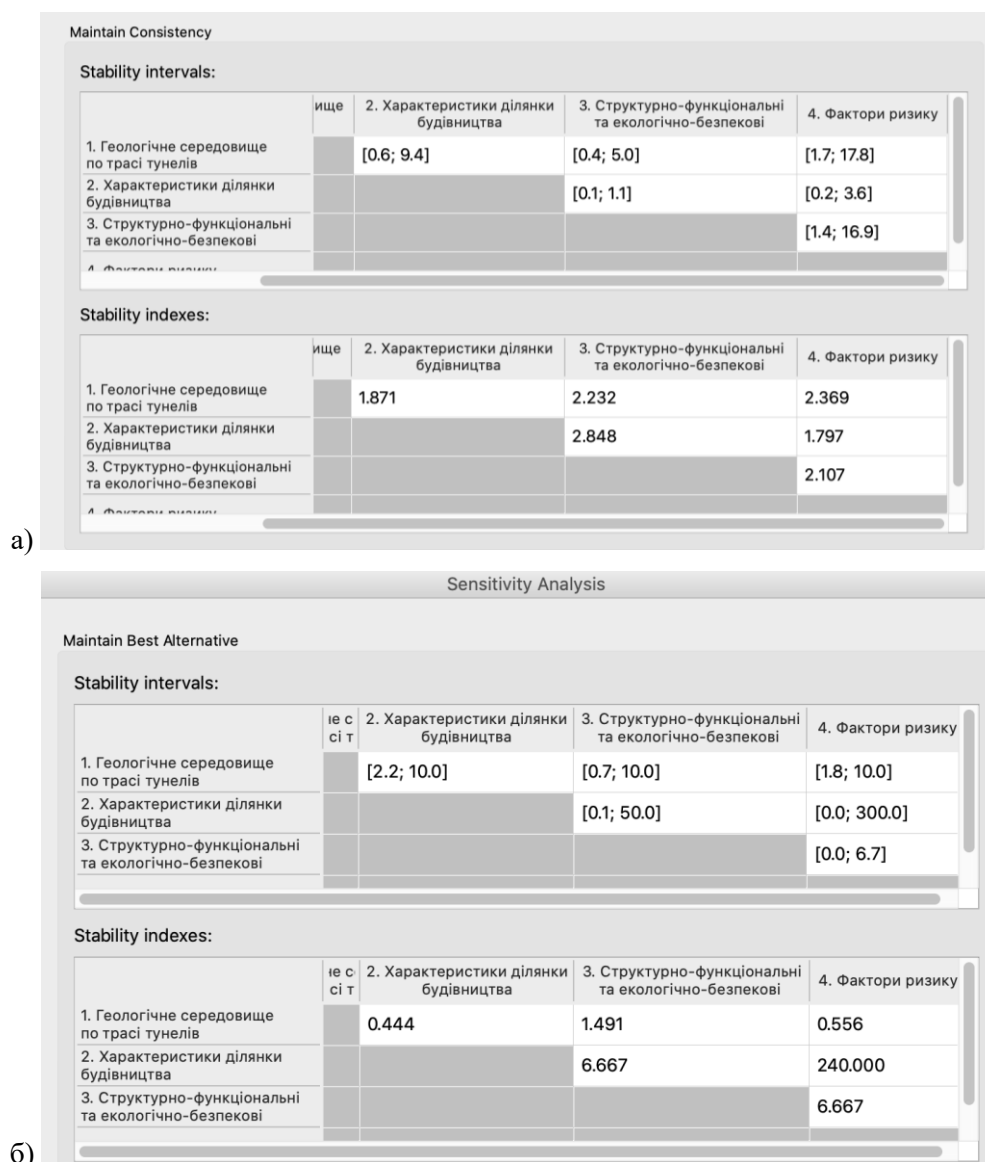


Рис. 12. Оцінювання чутливості ранжування критеріїв рішень.
Fig. 12. Evaluation of the sensitivity of ranking decision criteria

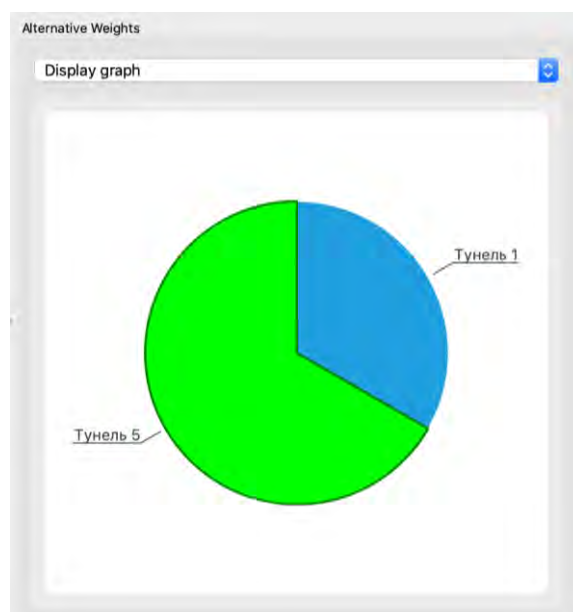


Рис. 13. Агреговані пріоритети альтернатив тунелів на основі тестових експертних оцінок.
Fig. 13. Aggregate priorities of tunnel alternatives based on test expert assessments

ським державним адміністраціям та суспільним організаціям ефективний інструментарій оцінки першочерговості будівництва об'єктів підземної урбаністики для регулювання міського розвитку з метою підвищення екологічних стандартів і безпеки життєдіяльності мегаполісів.

Список використаної літератури

1. *World Urbanization Prospects 2018: Highlights*. United Nations. – New York, 2019.
2. Регіональна доповідь про стан навколишнього середовища м. Києва за 2017 рік. – Київ: КМДА, 2018. – 128 с.
3. Климчик О. М. Екологія міських систем / О. М. Климчик, А. П. Багмет, Є. М. Данкевич, С. І. Матковська. – Житомир: Видавець О.О. Євенок, 2016. – 460 с.
4. Корендясева Е. В. Экологические аспекты управления городом / Е. В. Корендясева. – М.: МГУУ Правительства Москвы, 2017. – 162 с.
5. Экология города : учебн. / под ред. Ф. В. Стольберга. – К. : Либра, 2000. – 464 с.
6. Препотенська М. Ното Urbanus: феномен людини мегаполісу / М. Препотенська. – Дніпропетровськ: Вид. Середняк Т.К., 2014. – 420 с.
7. Голубев Г. Е. Подземная урбаністика и город / Г. Е. Голубев. – М.: МИКХуС, 2005.
8. Gilbert P. H. et al. *Underground Engineering for Sustainable Urban Development* / P.H. Gilbert et al. – Washington: The National Academies Press, 2013.
9. Картозия Б. А. Освоение подземного пространства крупных городов. Новые тенденции / Б. А. Картозия // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 1. – С. 615 – 629.
10. Гайко Г. І. Методи прогнозу оцінки сприятливості геологічного середовища будівництву об'єктів підземної урбаністики / Г. І. Гайко, І. О. Матвійчук, В. С. Білецький, П. Салуга // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія "Геологія. Географія. Екологія", 2018. – № 48. – С. 39 – 51. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-48-03>
11. Панкратова Н. Д. Розвиток підземної урбаністики як системи альтернативних проектних конфігурацій / Н. Д. Панкратова, Г. І. Гайко, І. О. Савченко. – К.: Наукова думка, 2020. – 134 с.
12. Безлюбченко О. С. Планування міст і транспорт / О. С. Безлюбченко, С. М. Гордієнко, О. В. Завальний. – Харків: ХНАМГ, 2008. – 156 с.
13. Гайко Г. І. Система автомобільних тунелів як спосіб розв'язання транспортних і екологічних проблем мегаполісу / Г. І. Гайко, В. П. Булгаков, М. О. Сіверин // Вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут», серія «Гірництво»: Збірник наукових праць, 2016. – Вип. 30. – С. 196–206.
14. Vähäaho I. Underground space planning in Helsinki / I. Vähäaho // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2014. – № 6.
15. Sterling, R. Sustainability issues for underground spaces in urban areas. *Proceedings of ICE* / R. Sterling, H. Admiraal, N. Bobylev, H. Parker, J.P. Godard, I. Vähäaho, X. Shi, and T. Hanamura. – *Urban Design and Planning*. Volume 165, Issue 4. – December 2012. – P. 241–254.
16. Ресин В. И. Развитие больших городов в условиях переходной экономики. Системный подход / В. И. Ресин, Ю. С. Попков. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. – 328 с.
17. Попков Ю. В. Системный анализ и проблемы развития городов / Ю. В. Попков, М. В. Посохин, А. Э. Гутнов, Б. А. Шмульян. – М.: Наука, 1983. – 368 с.
18. Недашківська Н. І. Системний підхід до підтримання прийняття рішень на основі ієрархічних та мережеских моделей / Н. І. Недашківська // Системні дослідження та інформаційні технології, 2018. – №1. – С. 7 – 18. <https://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2018.1.01>
19. Недашківська Н. І. Метод узгоджених парних порівнянь при оцінюванні альтернатив рішень за якісним критерієм / Н. І. Недашківська // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2013. – №4. – С. 67 – 79.
20. Pankratova N. D. Evaluation of Ecology Projects for Black Sea Odessa Region on Basis of a Network BOCR Criteria Model / Nataliya D. Pankratova., Nadezhda I. Nedashkovskaya // 2018 IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC), October 2018. <https://doi.org/10.1109/SAIC.2018.8516900>
21. Pankratova N.D., Nedashkovskaya N.I. Estimation of Consistency of Fuzzy Pairwise Comparison Matrices using a Defuzzification Method / N. D. Pankratova, N. I. Nedashkovskaya // *Advances in Dynamical Systems and Control, Studies in Systems, Decision and Control*, 2016. – Vol. 69. – P. 375-386. https://doi.org/10.1007/978-3-319-40673-2_20.
22. Недашківська Н. І. Оцінювання стійкості локальних ваг альтернатив рішень на основі методу парних порівнянь / Н. І. Недашківська // Системні дослідження та інформаційні технології, 2016. – №4. – С. 14 – 22. <https://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2016.4.02>
23. Nesticò A. Sustainability of urban regeneration projects: Novel selection model based on analytic network process and zero-one goal programming / A. Nesticò, C. Elia, V. Naddeo // *Land Use Policy*, 2020. – Vol. 99. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104831>.
24. Mohammed Ameen R.F. Urban sustainability assessment framework development: The ranking and weighting of sustainability indicators using analytic hierarchy process / R.F. Mohammed Ameen, M. Mourshed // *Sustainable Cities and Society*, 2019. – Vol. 44. – Pp. 356-366. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.10.020>

25. Doyle Michael R. Mapping urban underground potential in Dakar, Senegal: From the analytic hierarchy process to self-organizing maps / Michael R. Doyle // *Underground Space*, 2020. – Vol. 5. – Is. 3. – Pp. 267-280. <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2019.04.004>.
26. Peng Jian, Peng Fang-Le. A GIS-based evaluation method of underground space resources for urban spatial planning: Part 1 methodology / Jian Peng, Fang-Le Peng // *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2018. – Vol. 74. – Pp. 82-95. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.01.002>.
27. Генеральний план розвитку м. Києва та його приміської зони до 2025 року (проект). Режим доступу: <https://kga.gov.ua/generalnij-plan>.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Оценка экологических рисков развития подземной транспортной инфраструктуры методом BOCR

Наталья Дмитриевна Панкратова¹,

д. т. н., проф., член-корр. НАНУ, заместитель директора по научной работе Института прикладного системного анализа, ¹НТУУ «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского, просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина;

Надежда Ивановна Недашковская¹,

д.т.н., доцент, кафедра ММСА, Институт прикладного системного анализа;

Геннадий Иванович Гайко¹,

д. т. н., проф., кафедра геоинженерии, Институт энергосбережения и энергоменеджмента;

Владимир Стефанович Белецкий²,

д. т. н., проф., кафедра добычи нефти, газа и конденсата,

²НТУ «Харьковский политехнический институт», ул. Кирпичева, 21, г. Харьков, 61002, Украина

Проанализированы характерные экологические и техногенные угрозы городской среде. Рассмотрены приоритетные для безопасности человека и общества задачи минимизации экологических и техногенных рисков в условиях быстро растущих мегаполисов. Оценены возможности подземных сооружений, взять на себя функции наиболее опасных и рискованных поверхностных объектов и коммуникаций. Построены модели поддержки принятия решений для оценки альтернатив трасс автомобильных тоннелей в Киеве. Раскрыта методика и проведена оценка моделей развития подземной транспортной инфраструктуры столицы методом BOCR (критерии доходов, возможностей, расходов и рисков). Рассмотрена задача оценки приоритетности моделей (альтернативных вариантов) развития подземной инфраструктуры города, характеризующаяся условиями уникальности, возможной неполноты, неточности, нечеткости входящей информации. При этом использованы результаты экспертной оценки объектов. Рассчитаны агрегированные по сети параметров приоритеты альтернатив для трасс туннелей г. Киева и обоснована целесообразная последовательность их строительства по критериям снижения экологических и техногенных рисков урбанизированного пространства. В частности, применение метода BOCR позволило выбрать наиболее приоритетную альтернативу – тоннель №5 по Генеральному плану развития Киева до 2025 г. Метод является гибким, с его помощью могут быть оценены любые другие территории (трассы) потенциальных подземных построек в крупных городах. Таким образом, практическое значение работы заключается в создании и апробации универсальной методики, дающей инвесторам и городским государственным администрациям эффективный инструмент оценки первоочередности строительства объектов подземной инфраструктуры для регулирования городского развития с целью повышения экологических стандартов и безопасности жизнедеятельности мегаполисов.

Ключевые слова: урбанистическое пространство, подземная инфраструктура, экологические риски, техногенные риски, системный анализ.

Assessment of environmental risks of underground transport infrastructure development by BOCR method

*Nataliya Pankratova*¹,

DSc (Engineering), Professor, Corresponding Member of NASU,
Institute for Applied System Analysis (IASA), Deputy Director of IASA for Research,
¹National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»,
37 Peremogy Av., Kyiv, 03056, Ukraine;

*Nadezhda Nedashkovskaya*¹,

DSc (Engineering), Associate Professor;

*Hennadii Haiko*¹,

DSc (Engineering), Professor, Department of Geoengineering,
Institute of Energy Saving and Energy Management;

*Volodymyr Biletskyi*²,

DSc (Engineering), Professor, Department of oil, gas and gas-condensate production,

²National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute",

21 Kirpichova, St., Kharkov, 61002, Ukraine

ABSTRACT

Formulation of the problem. Solving the problems of urban transport communications, in particular the constantly growing intensity of automobile traffic in megalopolises, is one of the main directions of minimizing the environmental and man-made risks of the urban environment. Global concepts of greening large cities pay considerable attention to the possibilities of underground space to take on the functions of the most dangerous and risky surface objects and communications, since the impact of any underground object on the environment is much lower (than similar on the surface) and can be better controlled.

At the same time, planning for the development of underground transport infrastructure should be based on a systematic methodology and tools for analyzing complex systems.

Purpose. It consists in the use of system tools (BOCR method - criteria of benefits, opportunities, costs and risks) for planning underground transport infrastructure of large cities to ensure minimization of environmental and man-made risks of urban space and prioritization for the construction of road tunnels (for example, the General Plan of the Kiev city).

Methodology. A methodology and decision support toolkit for calculating the priorities of alternatives based on hierarchical and network criteria models are proposed. The modified BOCR method developed by the authors (N. Pankratova, N.I. Nedashkovskaya) was applied to assess decision alternatives taking into account benefits, costs, opportunities and risks.

Results. System models of two road tunnels, according to the General plan of the Kiev city until 2025 were developed. Assessment of the models using the BOCR method (criteria for benefits, opportunities, costs and risks) was performed. The priorities of alternatives for tunnels' routes aggregated over a network of parameters and a reasonably expedient sequence of their construction were calculated according to the criteria for reducing the environmental and man-made risks of the urbanized space.

Scientific novelty. For the first time, the target function of the system model for the development of underground infrastructure in large cities is to minimize the environmental and man-made risks of urban space. The capabilities of the modified BOCR method have been expanded and two alternative tunnel track models have been successfully tested.

Practical significance. The research methods and results provide investors, city state administrations and public organizations with an effective toolkit for assessing the priority of the construction of underground urban facilities to regulate urban development in order to improve environmental standards and the safety of life in megacities.

Keywords: urban space, underground infrastructure, environmental risks, technogenic risks, system analysis.

References

1. *World Urbanization Prospects 2018: Highlights*. United Nations. New York (2019). Available at: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf>
2. *Regional report on the state of the environment of Kyiv for 2017*. Kyiv City State Administration. Available at: <https://mepr.gov.ua/files/docs/%D0%9C.%20%D0%9A%D0%98%D0%87%D0%92.pdf>
3. Klymchyk, O. M., Bahmet, A. P., Dankevych, Ye. M., Matkovs'ka, S.I. (2016). *Ecology of urban systems*. Zhytomyr: Publisher O. O. Evenok, 460.
4. Korendyaseva, Ye. V. (2017). *Environmental aspects of city management*. Moscow: MGUU Moscow Government, 162.
5. Stolberg, F. V. (2000). *Ecology of the city*. Kyiv: Libra, 464.
6. Prepotenska, M. (2014). *Homo Urbanus: the human phenomenon of the metropolis*. Dnepropetrovsk: Ed. Serednyak T.K., 420.
7. Golubev, G. E. (2005). *Underground urbanism and the city*. Moscow: MIKHiS.

8. Gilbert, P. H. et al. (2013). *Underground Engineering for Sustainable Urban Development*. Washington: The National Academies Press.
9. Kartoziya, B. A. (2015). Development of underground space in large cities. New trends. Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal), (1), 615-629.
10. Hayko, H. I., Matviychuk, I. O., Bilets'kyi, V. S., Saluha, P. (2018). Methods of forecast assessment of the favorable geological environment for the construction of underground urban planning objects. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology"*, (48), 39-51. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-48-03>
11. Pankratova, N. D., Hayko, H. I., Savchenko, I. O. (2020). Development of underground urban planning as a system of alternative design configurations. Kyiv: Scientific thought. 134.
12. Bezlyubchenko, O. S., Hordiyenko, S. M., Zaval'nyy, O. V. (2008). *Urban planning and transport*. Kharkiv: KNAMG. 156.
13. Hayko, H. I., Bulhakov, V. P., Siveryn, M. O. (2016). The system of automobile tunnels as a way to solve transport and environmental problems of the metropolis. *Bulletin of NTUU "Kyiv Polytechnic Institute". Series "Mining"*, (30), 196-206.
14. Vähäaho, I. (2014). Underground space planning in Helsinki. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, (6).
15. Sterling, R., Admiraal, H., Bobylev, N., Parker, H., Godard, J. P., Vähäaho, I., Shi, X., and Hanamura, T. (2012). Sustainability issues for underground spaces in urban areas. *Proceedings of ICE. Urban Design and Planning*, 165(4), 241-254.
16. Resin, V.I., Popkov, YU.S. (2013). *Development of large cities in a transitional economy. Systems approach*. Moscow: Book House "LIBROKOM", 328.
17. Popkov, Yu. V., Posokhin, M. V., Gutnov, A. E., Shmul'yan, B. A. (1983). *System analysis and problems of urban development*. Moscow: Science. 368.
18. Nedashkivs'ka, N. I. (2018). 18. A systematic approach to decision support based on hierarchical and network models. *Systems research and information technology*, (1), 7-18. <https://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2018.1.01>
19. Nedashkivska, N. I. (2013). A method of consistent pairwise comparisons for decision alternatives evaluation in terms of a qualitative criterion. *System research and information technologies*, (4), 67-79.
20. Pankratova, N. D., Nedashkovskaya, N. I. (2018). Evaluation of Ecology Projects for Black Sea Odessa Region on Basis of a Network BOCR Criteria Model. *IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC)*, October 2018. <https://doi.org/10.1109/SAIC.2018.8516900>
21. Pankratova, N. D., Nedashkovskaya, N. I. (2016). Estimation of Consistency of Fuzzy Pairwise Comparison Matrices using a Defuzzification Method. V. A. Sadovnichiy and M. Z. Zgurovsky (eds.). *Advances in Dynamical Systems and Control, Studies in Systems, Decision and Control*, (69), 375-386. https://doi.org/10.1007/978-3-319-40673-2_20.
22. Nedashkovskaya, N. I. (2016). Stability of local weights of decision alternatives on basis of pairwise comparison method. *System research and information technologies*, (4), 14-22. <https://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2016.4.02>
23. Nesticò, A., Elia, C., Naddeo, V. (2020). Sustainability of urban regeneration projects: Novel selection model based on analytic network process and zero-one goal programming. *Land Use Policy*, (99). <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104831>.
24. Mohammed Ameen, R. F., Mourshed, M. (2019). Urban sustainability assessment framework development: The ranking and weighting of sustainability indicators using analytic hierarchy process, *Sustainable Cities and Society*, (44), 356-366. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.10.020>
25. Doyle, M. R. (2020). Mapping urban underground potential in Dakar, Senegal: From the analytic hierarchy process to self-organizing maps, *Underground Space*, 5 (3), 267-280. <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2019.04.004>.
26. Peng, J., Peng, F-L (2018). A GIS-based evaluation method of underground space resources for urban spatial planning: Part 1 methodology, *Tunnelling and Underground Space Technology*, (74), 82-95. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.01.002>.
27. Master plan for the development of Kyiv and its suburbs until 2025 (draft). Available at: <https://kga.gov.ua/generalnij-plan>.

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 21 May 2021

Accepted 30 June 2021

*Роботу виконано в рамках проекту Національного фонду досліджень України 2020.01/0247: «Інструментарій планування підземної інфраструктури великих міст для забезпечення мінімізації екологічних і техногенних ризиків урбаністичного простору на основі системної методології»

Історичні та геопросторові аспекти формування екомережі Закарпатської області

Мар'яна Вікторівна Теслович¹,

аспірант, кафедра конструктивної географії і картографії,

¹Львівський національний університет імені Івана Франка,

вул. Петра Дорошенка, 41, м. Львів, 79000, Україна,

e-mail: teslovich_marjana@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-9071-7077>;

Діана Анатоліївна Кричевська¹,

к. геогр. н., доцент, кафедра конструктивної географії і картографії,

e-mail: diana_kr@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3423-5943>

Розбудова екомереж сьогодні є одним із основних шляхів збереження біотичного та ландшафтного різноманіття. В Україні визначення їх структурних елементів відбувається на основі національних та європейських підходів. Не є винятком і Закарпатська область. Адже, у 2014 р. тут був затверджений проект схеми регіональної екологічної мережі, а у 2016 р. ділянки Смарагдової мережі, які ще раніше було обґрунтовано групою експертів в межах області, затверджено Постійним комітетом Бернської конвенції. З огляду на сучасні геополітичні інтереси України, а також на прикордонне розташування Закарпаття актуальними завданнями є вивчення вже визначених ключових територій та екокоридорів на предмет їхнього долучення до Смарагдової екомережі, а також – напрацювання механізмів збереження біотичного та ландшафтного різноманіття в їх межах. Метою статті було охарактеризувати головні етапи формування екомережі Закарпатської області та встановити перелік її структурних елементів, які потребують розроблення першочергових управлінських заходів щодо захисту біорізноманіття в їх межах, проведення додаткових ботаніко-зоологічних і ландшафтних досліджень. З цією метою нами проаналізовано: міжнародні та національні нормативно-правові документи щодо формування екомереж, схему планування екомережі Українських Карпат, схеми планування території та екомережі Закарпатської області, детальні плани лісонасаджень та сучасну мережу і структуру природно-заповідного фонду області із зазначенням об'єктів, цінність яких визнано на міжнародному рівні. На основі зазначених матеріалів було встановлено повний перелік структурних елементів екологічної мережі Закарпаття, із використанням програмного забезпечення QGIS3.16.0. складено карту «Структурні елементи екомережі та об'єкти природно-заповідного фонду (за категоріями) Закарпатської області». На основі аналізу даних Emerald network viewer та інших публічних джерел охарактеризовано цінність 14-ти територій особливого природоохоронного інтересу (ТО-ПІ, ASCI) Смарагдової мережі області та проаналізована їх забезпеченість об'єктами природно-заповідного фонду. Складено карту «Смарагдова мережа та об'єкти природно-заповідного фонду Закарпатської області» із використанням оцифрованих нами топографічних основ у масштабі 1:100000, планів об'єктів природно-заповідного фонду. З метою порівняння Схем регіональної екологічної мережі та Смарагдової мережі Закарпаття складено карту «Геопланувальна модель екомережі Закарпатської області із комплексом структурних елементів», на основі якої встановлено ділянки, які є перспективними для вивчення на предмет організації тут нових ТОПІ (ASCI). До них відносяться Жденіївська, Річанська, Вигорлат-Перечинська, Синяк-Чинадіївська ключові території, частина Полонинського екокоридору, яка поєднує Свидовецький і Кузій-Трибушанський масиви КБЗ, та фрагменти Вулканічного екокоридору, а також місцевості, що охоплюють верхів'я р. Латориця з припливом Вича, долини річок Рипинка та Студений, які формують верхню течію р. Ріка, значну частину долин р. Уж та р. Боржава.

Ключові слова: Закарпатська область, природно-заповідний фонд, екологічна мережа, Смарагдова мережа, Територія Особливого Природоохоронного Інтересу.

Як цитувати: Теслович М. В. Історичні та геопросторові аспекти формування екомережі Закарпатської області / М. В. Теслович, Д. А. Кричевська // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2021. – Вип. 55. – С. 299-317. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-22>

In cites: Teslovych M. V., Krychevska D. A. (2021). Historical and geospatial aspects of formation of the eco-network of the Transcarpathian region. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (55), 299-317. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-22> [in Ukrainian]

Вступ. Формування екологічних мереж визнане сьогодні науковцями та практиками природоохоронної справи одним із головних засобів збереження біотичного та ландшафтного різноманіття певного природного регіону та Землі в цілому. В Україні сучасна організація структурних елементів екологічної мережі відбувається двома шляхами, що обумовлено певними відмінностями методичного характеру у національних та європейських підходах. Перший підхід базується на національному законодавстві [3,4], ме-

тодиках планування території із врахуванням її геоботанічних та ландшафтних особливостей [16,20]. За другим підходом ділянки екомережі організовують відповідно до вимог Європейського Союзу, зокрема, Бернської Конвенції [35] та супутніх Директив [39,41] із використанням ГІС технологій [53].

Такий подвійний процес формування екомережі характерний і для Закарпаття. На основі чинного національного законодавства в області була розроблена Програма перспективного роз-

витку природно-заповідної справи та екологічної мережі на 2006-2020 роки [7], у 2014 році затверджений Проект схеми регіональної екологічної мережі Закарпатської області [20]. З іншого боку на території області триває процес формування Смарагдової мережі (Emerald Network) за європейськими підходами, 14 ділянок якої вже окреслені на кадастровій карті України.

На теперішній час питання функціонування екомережі Закарпатської області як цілісної системи залишається відкритим. У Звітних документах Департаменту екології Закарпатської ОДА [12] екомережа характеризується як перелік об'єктів ПЗФ та земельних угідь екстенсивного використання без їхньої прив'язки до ключових, сполучних та відновлюваних територій. Не всі структурні елементи, які окреслені на Схемі регіональної екомережі області, в реальності виконують свої завдання, їх межі не завжди є достатньо обґрунтовані і не винесені в натуру. Подібна ситуація є і з ділянками Смарагдової мережі. Інформація щодо важливості охорони видів та оселищ не донесена до місцевих громад, на території яких знаходяться ділянки екомережі, не ведеться робота щодо обґрунтування та спорудження «зелених переходів» через автомагістралі та залізничні колії. У результаті у Закарпатті в останні роки почастишали конфлікти між інтересами бізнесу, місцевих громад і охорони довкілля. На нашу думку, сьогодні існує потреба у створенні геопросторової моделі екомережі області, яка б відображала комплекс найважливіших структурних елементів, які обґрунтовані за різними підходами. Важливо встановити значення кожної ділянки для збереження біологічного і ландшафтного різноманіття області, із подальшим винесенням їх меж в натуру та розробленням менеджмент-планів їхнього функціонування, де буде визначено режим охорони та допустимі види господарської діяльності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проведений нами огляд сучасних закордонних публікацій щодо геопросторових аспектів формування екомереж вказує на те, що дослідження фахівців спрямовані переважно на вирішення питань пошуку найефективнішого підходу до визначення структурних елементів [40,42], забезпечення їхньої інтеграції до сфери планування землекористування. Попри значний розвиток теоретичних та правових основ формування екомереж досі триває дискусія щодо ефективності забезпечення збереження біорізноманіття виключно шляхом поєднання окремих природних «островів» у цілісну систему [45]. Натомість деякі автори наголошують на необхідності врахування передусім розмірів та якісних характеристик середовищ існування [32,43], що мають за-

безпечити сприятливі умови для повноцінного перебігу процесів життєдіяльності видів і їх взаємодії між собою. Для посилення зв'язності середовища важливим завданням є не відтворення традиційних шляхів міграції, а створення можливостей для періодичних контактів між локальними популяціями [32]. При цьому необхідно зосереджувати увагу не на окремих ключових видах, як це було раніше [33,34], а на забезпеченні функціональних зв'язків між різними видами [42]. Зазначені підходи застосовано у країнах Європи при визначенні структурних елементів NATURA-2000.

Розроблення теоретичних та методичних підходів до формування екомережі в Україні відбувалося на національному, регіональному та локальному рівнях і супроводжувалося залученням європейського досвіду. Оцінку ефективності підходів до створення екомереж, які базуються на національному та європейському законодавстві було здійснено у працях Кагала О.О. та Проця Б.Г. [13,18]. Крім того, авторами визначені особливості впровадження оселищної концепції до збереження біорізноманіття в Україні. Ці напрацювання мали переважно загальнотеоретичний характер і були спрямовані на обґрунтування необхідності залучення європейських підходів до формування екомережі.

Проблематика формування та функціонування регіональної екологічної мережі Закарпаття розглянута у ряді наукових публікацій вітчизняних авторів [20,23,24] та у звіті про НДР Карпатського екологічного клубу «Рутенія» [20]. Значимо, що перші варіанти ключових та сполучних територій екомережі області були представлені у працях С.Ю. Поповича (2007) [19], В.П. Брусака [16], В.П. Брусака, Ю. В. Зінька, Д.А.Кричевської (2008) [9] ще під час проектування і розробки заходів із впровадження екомережі в Українських Карпатах [9,16,19]. У статті Кічури А.В., Кічури В.П. (2007) [14] наголошено на вирішальному значенні структури природних ландшафтів при визначенні ключових та сполучних територій в області. У публікації Фельбаби-Клушиної Л.М. [23] основна увага зосереджена на збереженні і відновленні водно-болотних екосистем у басейні р. Тиси, більш детально розглянута екологічна мережа низовинної частини області, зокрема наголошено на необхідності створення осередків ренатуралізації ландшафтів (відновлюваних територій). Результати цих напрацювань були враховані колективом авторів (Турис Е.А. та інші) під час розробки проекту схеми екологічної мережі Закарпатської області [20]. Визначення ключових, сполучних, буферних та відновлюваних територій вище наведеними авторами базувалося переважно на геоплану-

вальних методиках та національному законодавстві.

Важливим геопланувальним документом, де окреслені структурні елементи екомережі є «Схема комплексної оцінки території. Природно-ресурсний потенціал», яка є складовою Схеми планування області, яка затверджена у 2013 році на розрахунковий період до 2031 року [30]. На цій схемі окреслено території існуючих та проєктованих природоохоронних установ, межі яких в цілому відповідають межах ключових територій, які зазначені на Схемі екомережі Карпат (Попович С. Ю., 2007). Крім того на цій схемі окреслено чотири типи екокоридорів.

Перші спроби застосування європейських підходів до визначення елементів екологічної мережі Закарпаття були здійснені авторами Кіш Р.Я, Андрик Є.Й. та Мірутенко В.В. [15], які проводили інвентаризацію біотопів Закарпатської низовини на основі переліку з Директиви №92/43/ЄС про збереження природного середовища існування дикої флори та фауни. На сьогодні значного розвитку набув процес визначення та затвердження Територій особливого природоохоронного інтересу (ТОПІ), до якого залучені переважно ботаніки та зоологи: Т.І. Микітчук, Ю.В. Канарський та ін. [21]. Їхні дослідження базуються на інвентаризації типів оселищ та видів із переліків відповідних резолюцій Бернської конвенції. Сьогодні в області виділено та затверджено 14 таких ТОПІ.

Аналіз зазначених вище публікацій, геопланувальних документів та звітних матеріалів Департаменту екології та природних ресурсів Закарпатської ОДА показує, що на сьогодні сформовано декілька геопланувальних схем екомережі Закарпаття. Відмінності полягають у кількості ключових територій та екокоридорів, їхніх назвах, наявності буферних та відновлюваних територій як елементів екомережі тощо. Зазначимо, що на Схемі екомережі Закарпаття (2014) більшість ключових територій сформовано за принципом ототожнення їх з об'єктами ПЗФ, назви і кількість ключових територій не наведено у відповідному звіті, на схемі відсутні Синяк-Чинадіївська, Жденіївська та Вигорлат-Перечинська ключові території, які представлені на інших схемах (Схемі екологічної мережі Українських Карпат та Схемі планування території Закарпатської області). Дискусійним є питання про ефективність функціонування сполучних територій, оскільки не наведено даних про реальні міграційні шляхи видів флори і фауни між ключовими територіями. Існує питання щодо потреби визначення буферної території, площа якої становить близько 25% області, та до функцій зон відновлення.

На нашу думку, сьогодні існує потреба у комплексному просторовому аналізі існуючих на теперішній час планувальних моделей регіональної екомережі Закарпаття та встановленні найбільш важливих для охорони біорізноманіття ділянок. З огляду на потребу наближення стандартів України у сфері охорони навколишнього середовища до вимог Європейського Союзу, актуальними завданнями є вивчення вже визначених ключових територій та екокоридорів на предмет їхнього долучення до Смарагдової екомережі, а також – напрацювання механізмів збереження біологічного та ландшафтного різноманіття в їх межах.

Мета нашого дослідження – охарактеризувати головні етапи формування екомережі Закарпатської області та встановити перелік структурних елементів екомережі, які потребують розроблення першочергових управлінських заходів щодо захисту біорізноманіття в їх межах, проведення додаткових ботаніко-зоологічних і ландшафтних досліджень.

Вихідні дані та методика досліджень. Для досягнення цієї мети нами проаналізовані літературні джерела з тематики досліджень, ряд геопланувальних моделей та документів: Схема планування екомережі Українських Карпат [16], Схема екомережі Закарпатської області [20], Схема планування території Закарпатської області [30], Структурні елементи Смарагдової мережі в межах області [26,53], мережа природоохоронних об'єктів та їх крупномасштабні плани [28], детальні плани лісонасаджень лісових господарств Закарпатського обласного управління лісового та мисливського господарства [29].

На базі «Схеми комплексної оцінки території. Природно-ресурсний потенціал» [30] та Схеми екомережі Карпат та даних щодо мережі природоохоронних об'єктів області нами складено картосхему «Структурні елементи екомережі та об'єкти природно-заповідного фонду (за категоріями) Закарпатської області» з відзначенням назв ключових територій та екокоридорів. Її аналіз дозволив виділити структурні елементи екомережі, які не забезпечені об'єктами ПЗФ і потребують розроблення першочергових заходів для збереження біорізноманіття в їх межах.

На основі аналізу даних Emerald Network Viewer [53] та інших публічних джерел [21,26,27,28] складено картосхему «Смарагдова мережа та об'єкти природно-заповідного фонду Закарпатської області», охарактеризована цінність територій особливого природоохоронного інтересу (ТОПІ, ASCI), проаналізована їх забезпеченість об'єктами природно-заповідного фонду. Геопросторовий аналіз двох вище зазначених картосхем дозволив виявити ділянки, які потребують

додаткових ботаніко-зоологічних і ландшафтних досліджень.

Представлені у дослідженні карти складені із використанням оцифрованих нами топографічних основ у масштабі 1:100000, планів об'єктів природно-заповідного фонду, геопланувальних документів, детальних планів лісонасаджень із використанням програмного забезпечення QGIS 3.16.0.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Розбудова екологічної мережі у світі базується на міжнародно-правових актах, що визначають основні принципи, норми, теоретичні та методичні рекомендації щодо її формування та ефективного функціонування. В основі концепції створення екомереж лежить Конвенція про біорізноманіття (м. Ріо-де-Жанейро, 1992 р.), яка у 1994 році була ратифікована, а в 1995 році стала чинною в Україні. У 1995 році на Третій конференції міністрів «Довкілля для Європи» (м. Софія, Болгарія, 23-25 жовтня) прийнята Всеєвропейська стратегія збереження біологічного та ландшафтного різноманіття [1], в рамках якої було запропоновано формувати Загальноєвропейську екологічну мережу. Для її розбудови ключове значення має Конвенція про охорону дикої флори та фауни і природних середовищ існування в Європі (Бернська конвенція) [35], яка набула чинності в Україні у 1999 році. Згадані документи стали нормативною базою для розвитку національного законодавства у сфері охорони біотичного та ландшафтного різноманіття. Так, зокрема, у 2000 році ухвалено Закон України «Про Загальнодержавну програму формування національної екологічної мережі України на 2000-2015 роки [4], у 2004 р. – Закон України «Про екологічну мережу України» [3]. У 2000-2002 рр. обґрунтовано картосхему «Територіальна організація національної екологічної мережі», що увійшла до матеріалів Генеральної схеми планування території України, яка визначала концептуальні питання планування та використання території держави до 2020 року [31].

Зазвичай базовими елементами для формування екологічної мережі будь-якого регіону чи країни є природоохоронні території та об'єкти, сформовані протягом багатьох десятиріч на засадах національного законодавства. Саме в їх межах фахівці проводять найбільш повномасштабні польові інвентаризаційні дослідження на предмет виявлення рідкісних і типових видів фауни і флори, рослинних угруповань тощо. Перші заповідні об'єкти на території області було організовано ще у 1930-х роках ХХ століття. Сьогодні Закарпаття вирізняється серед інших областей України досить високим показником заповідності, який станом на березень 2021 року

становить 15,79% [8,27,28]. Майже 85% природоохоронних територій області мають загальнодержавне значення. Найбільшу частку у структурі ПЗФ займають національні природні парки: «Ужанський», «Синевир», «Зачарований край» (50%), кластери Карпатського біосферного заповідника (29%), 56 заказників (10,08%) та регіональні ландшафтні парки: «Притисянський» та «Синяк» (7%). Інші категорії в межах області представлені заповідними урочищами (12), пам'ятками природи (359), парками-пам'ятками садово-паркового мистецтва (34), дендрологічними парками (2) та ботанічним садом (1). Частина з них входить до складу територій інших об'єктів природно-заповідного фонду, саме тому фактичний показник заповідності є нижчим за офіційно зазначений на 0,36 % і становить 15,43%.

Слід зазначити, що у ХХІ ст. розширенню мережі природоохоронних територій області значною мірою посприяла Карпатська конвенція або Рамкова конвенція про охорону та сталий розвиток Карпатських гір [2], підписана у Києві у 2003 році. В Україні Конвенція є чинною з 2006 року. З метою реалізації її цілей у 2007 році розпорядженням Кабінету Міністрів України була схвалена «Стратегія виконання Рамкової конвенції про охорону та сталий розвиток Карпат», а у 2008р. Закарпатською обласною державною адміністрацією затверджено «План заходів, спрямованих на реалізацію Стратегії виконання Рамкової конвенції про охорону та сталий розвиток Карпат на 2008-2020 роки по Закарпатській області». Заплановані заходи передбачали зокрема збільшення площ окремих об'єктів природно-заповідного фонду в області та створення нових – міжнародного біосферного резервату “Марамороські гори”, процес формування якого на сьогодні ще не завершений, а також регіонального ландшафтного парку “Притисянський”, який функціонує з 2008 року. У 2017 році було підписано Закон «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо охорони пралісів згідно з Рамковою конвенцією про охорону та сталий розвиток Карпат», який передбачає створення пралісових пам'яток природи. Відповідні зміни були внесені у Закон «Про природно-заповідний фонд України» [5] та Лісовий, Адміністративний і Кримінальний кодекси, а сам процес створення регламентується затвердженою наказом Мінекології «Методикою визначення належності лісових територій до пралісів, квазі-пралісів і природних лісів» [6]. Ідентифікація пралісових ділянок в області розпочалася ще у 2014 році, але перші 9 пам'яток природи було затверджено лише у 2020 році. На сьогодні існує вже 30 таких об'єктів ПЗФ загальною площею

4327,4 га в межах 8-ми держлісгоспів [8, 27].

Важливо відзначити, що частина об'єктів ПЗФ області має природоохоронні статуси міжнародного рівня: Біосферного резервату ЮНЕСКО, Місць світової спадщини ЮНЕСКО, Рамсарських водно-болотних угідь. Наявність вище зазначених ініціатив підкреслює цінність ландшафтів Закарпаття не лише на регіональному та національному, але й на глобальному рівні. До Світової мережі біосферних резерватів, які організовуються за спеціальною програмою ЮНЕСКО «Людина і біосфера», відносяться Карпатський біосферний заповідник та Ужанський національний природний парк. Останній є складовою частиною українсько-польсько-словацького біосферного резервату «Східні Карпати». До Місць світової природної спадщини, які створюють відповідно до Конвенції про охорону світової культурної і природної спадщини [37], відносяться 15 масивів старовікових букових фітоценозів (1 – в Ужанському НПП, 5 – в КБЗ, 4 – у НПП «Синевир», 2 – у НПП «Зачарований край»), які разом утворюють частину транскордонного комплексу «Давні первозданні букові ліси Карпат та інших регіонів Європи» (2017 р). Загалом букові праліси області становлять близько 30% від загальної площі цього міжнародного об'єкту. До Рамсарських угідь відносять водно-болотні екосистеми в межах Карпатського біосферного заповідника (3 об'єкти), національних природних парків «Синевир» та «Зачарований край», а також регіонального ландшафтного парку «Притисянський» (0,18% території області). Зазначимо, що Рамсарська конвенція (Конвенція про водно-болотні угіддя, що мають міжнародне значення, головним чином як середовища існування водоплавних птахів [36]) закликає Сторони захищати такі угіддя на території Європейського континенту, оскільки вони найчастіше є структурними елементами Всеєвропейської екомережі і сприяють збереженню мігруючих популяцій птахів.

Перші напрацювання щодо формування структурних елементів екологічної мережі Закарпатської області пов'язані із розробленням у 2005–2007 рр. Схеми екологічної мережі Українських Карпат [9,16]. Методологія її формування базувалася на аналізі структури природних ландшафтів, на вивченні розміщення цінних природних територій, об'єктів природно-заповідного фонду, місць поширення рідкісних видів. Відповідно до цієї Схеми екомережу Українських Карпат формують п'ять транскарпатських екокоридорів загальною площею 12077 тис. га, які поєднують між собою 28 ключових територій національного значення загальною площею 1457,2 тис. га. [16]. В межах Закарпатської

області повністю або частково представлені 16 ключових територій: Стужицько-Сянська, Ждєніївська, Ждимирська, Полонинсько-Горганська, Свидовецько-Чорногірсько-Горганська, Кузійсько-Мармароська, Річанська, Вигорлат-Перечинська, Синяк-Чинадіївська, Іршавська, Шаянська, Хустська, Чопсько-Великодоброньська, Берегівська, Юлівська та Чорногірська. Вони поєднані трьома екокоридорами: Вододільно-Карпатським середньогірно-високогірним, Вулканічнокарпатським низькогірним та Тисянсько-Закарпатським низовинним.

Проект Схеми регіональної екологічної мережі Закарпатської області, у якому обґрунтовано просторове розташування її структурних елементів, був розроблений у 2013 р. науковцями Карпатського екологічного клубу «Рутенія» під керівництвом Турис Е.В. [20]. Водночас структурні елементи екомережі, зокрема шість екологічних коридорів, існуючі та проєктовані території ПЗФ окреслено на карті «Схема комплексної оцінки території. Природно-ресурсний потенціал», яка входить до матеріалів Схеми планування території Закарпатської області, яка розроблена фахівцями ДП «Діпромісто» на розрахунковий період до 2031 року [30]. У 2013 - 2014 роках ці геопланувальні документи було затверджено на сесіях Закарпатської обласної ради. Обґрунтування щодо розміщення структурних елементів екомережі на зазначених Схемах базується на національних законодавчих документах [3,4,7], відповідно до яких екологічну мережу потрібно формувати із врахуванням існуючої мережі об'єктів природно-заповідного фонду та інших територій, які мають важливе значення для збереження біотичного та ландшафтного різноманіття, включати землі водного та лісового фонду, сільськогосподарські угіддя екстенсивного використання, території рекреаційного призначення тощо. При визначенні ключових та сполучних територій враховано досвід проєктування загальнокарпатської екомережі [16,19].

За Схемою екологічної мережі Українських Карпат (Турис Е.В та інш., 2013) ключові території сформовані переважно на базі існуючих та проєктованих територій ПЗФ Закарпаття. На зазначеній Схемі назви ключових територій відсутні або дублюють назви об'єктів ПЗФ. Їх мережа складається з 16 значних за площею територій та 10 окремих невеликих природоохоронних об'єктів.

Загалом згідно з Програмою перспективного розвитку природно-заповідної справи та екологічної мережі Закарпатської області на 2006-2020 роки [7] передбачалося, що частка ключових територій тут має займати близько 20% від площі області.

До сполучних територій (екологічних корид-

орів), відповідно до Схеми екомережі Закарпатської області (Турис Е.В та інш., 2013), належать 16 екокоридорів: Свидовецько-Кузійський, Свидовецько-Марамороський, Чорногірсько-Полонинський, Білотисянський, Горгансько-Чорнотисянський, Синевирсько-Свидовецький, Синевирсько-Хустський, Угольсько-Ужанський, Синевирсько-Бескидський, Шаянсько-Вигорлатський, Мараморошсько-Шаянський, Шаянсько-Юліївський, Юліївсько-Чопський, Боржавський, Тисянський, Латорицький [11,20]. Вони представлені землями водного і лісового фонду та гірськими пасовищами. Згідно з обґрунтуванням Схеми загальна площа екологічних коридорів становить близько 467,5 тис.га, відповідно вони займають 35% від території області [20]. Проте за нашими обчисленнями, проведеними на основі оцифрованих даних, площа екологічних коридорів є значно меншою і становить близько 145 тис.га (11%).

До буферних зон відповідно до Схеми регіональної екологічної мережі (Турис Е.В та інш., 2013), віднесено землі лісового фонду, що розташовані навколо населених пунктів, біля виробничих об'єктів і історично виконували буферну функцію, а також - сіножаті, ремізи, пасовища, рідколісся, чагарники, яруги, тощо. Крім того, до буферної зони відійшли землі рекреаційного призначення. Їх загальна площа становить 320,7 тис. га – близько 25% області.

До відновлюваних територій екомережі належать кам'яні розсипи, піски, солончаки, деградовані землі, земельні ділянки, в межах яких є об'єкти, що мають особливу природну цінність. Разом вони займають 14,8 тис.га – близько 1% області.

Найбільш повна інформація щодо рідкісних і типових видів фауни і флори, рослинних угруповань є лише по ключових територіях, які представлені природно-заповідними установами. Аналогічна інформація в межах екологічних коридорів та буферної зони, які разом становлять за офіційними даними близько 60% області, відсутня. Ці території на практиці не мають чітко визначених правових механізмів захисту від господарського впливу, відповідно їхня роль для збереження біорізноманіття та ландшафтів є низькою і не достатньо обґрунтованою. На теперішній час в межах буферної території ведеться інтенсивне лісгосподарське природокористування, що зумовлює її фрагментарність та погіршення якості природних ландшафтів.

Аналіз матеріалів Схеми планування території Закарпатської області [30], показав, що автори відповідної карти окреслили тут ключові території, які в цілому відповідають аналогічним елементам, зазначеним на Схемі екомережі Карпат

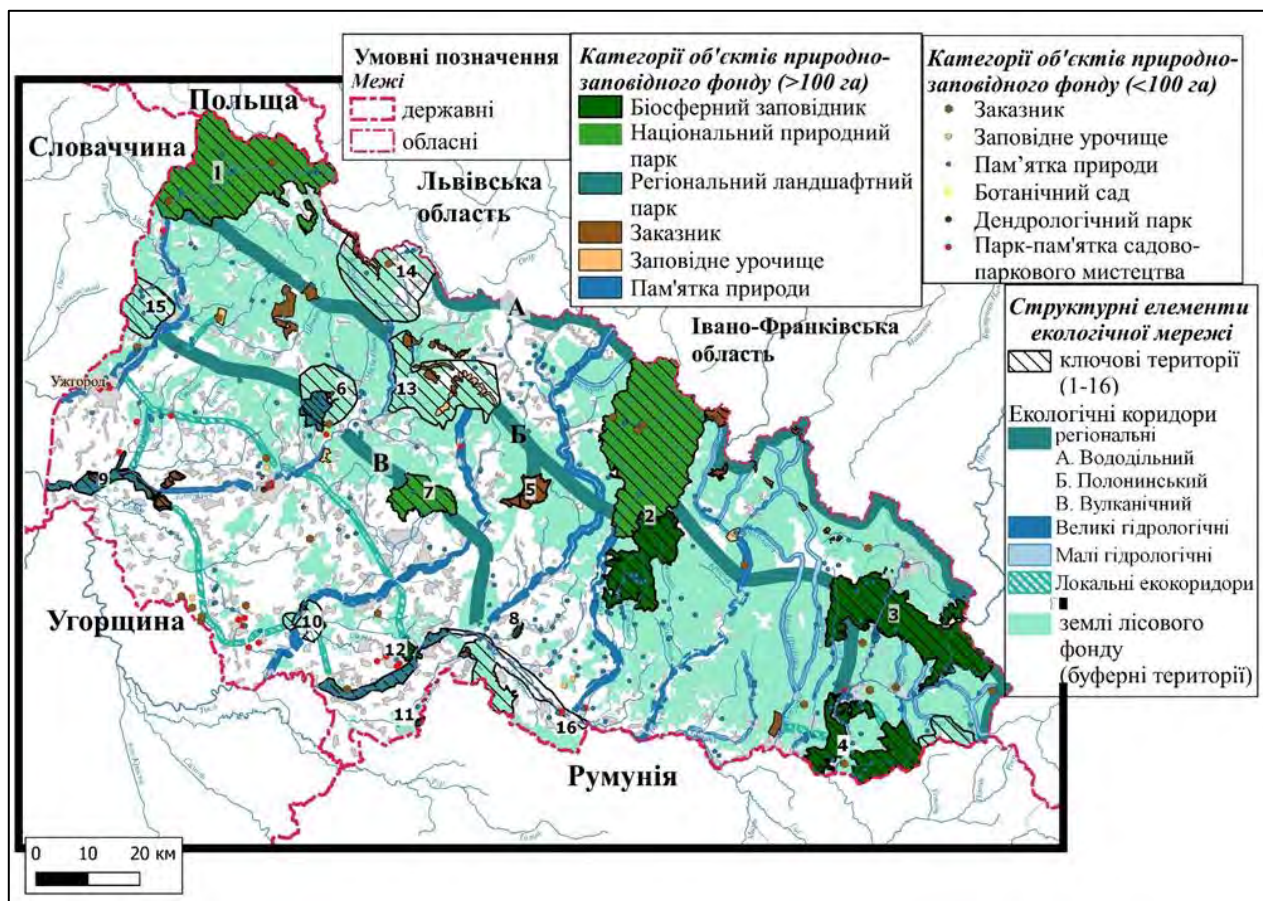
(Попович С. Ю., 2007). На Схемі виділено також шість типів екологічних коридорів (рис. 1): ділянки Вододільного, Полонинського, Вулканічного екокоридорів проходять вздовж головних гірських хребтів, а Великі та Малі гідрологічні екокоридори простягаються уздовж головних річок області та їх припливів. Декілька незначних за протяжністю сполучних елементів віднесені до Локальних екокоридорів. Буферна зона та відновлювані території як структурні елементи екомережі на цій Схемі не зазначаються, проте позначені землі лісового фонду та ділянки відновлення ландшафтів.

Отже, проведений нами аналіз вище зазначених Схем та Екологічного паспорту Закарпатської області (2020) засвідчує недостатню узгодженість геопланувальних підходів при формуванні екомережі області. На сьогоднішній день існує брак актуальної, детальної та систематизованої інформації про поширеність видів та оселищ у межах всіх структурних елементів екомережі, про міграційні шляхи пріоритетних видів фауни. До цього часу в області не створено ряду запланованих природно-заповідних установ, не впроваджено заходів для збереження і захисту прибережних смуг, водоохоронних захисних зон, приполонинних лісів та полонин.

Ждимирська ключова територія, охорону якої мав забезпечувати проєктований НПП «Ждимир» (до 21, 6 тис.га), на сьогодні представлена лише окремими заказниками («Росішний», «Потік Оса», «Красна долина», «Пінава», «Приборжавський», «Темнатик» (частково)), заповідними урочищами «Боржавські праліси» та «Березниківські праліси». Натомість у 2020 році група фахівців Інституту екології Карпат та інших наукових установ Львова, Києва та Ужгорода підготували наукове обґрунтування щодо створення тут регіонального ландшафтного парку (РЛП) «Боржавські полонини» орієнтовною площею 4016 га [25].

Для забезпечення природоохоронного режиму в межах Жденіївської ключової території Програмою перспективного розвитку природно-заповідної справи та екологічної мережі Закарпатської області на 2006-2020 роки було заплановано створити національний природний парк «Жденіївський» (до 10 тис.га). На теперішній час ця ключова територія представлена лише пам'ятками природи та невеликими заказниками.

Шаянська та Вигорлат-Перечинська ключові території, які були окреслені авторами Схеми загальнокарпатської екомережі, відсутні на Схемах регіональної екологічної мережі Закарпатської області. Натомість невеликими ключовими територіями позначені заказники «Соколові скелі», «Річанський», «Ріка», «Апшинецький», «Го-



Умовні позначення: ключові території: 1 – Стужицько-Сянська, 2 – Полонинсько-Горганська, 3 – Свидовецько-Чорногірсько-Горганська, 4 – Кузійсько-Мармароська, 5 – Річанська, 6 – Синяк-Чинадіївська, 7 – Іршавська, 8 – Хустська, 9 – Чопсько-Великодоброньська, 10 – Берегівська, 11 – Юлівська, 12 – Чорногірська, 13 – Ждимирська, 14 – Жденіївська, 15 – Вигорлат-Перечинська, 16 – Шаянська.

Рис. 1. Структурні елементи екомережі та об'єкти природно-заповідного фонду (за категоріями) Закарпатської області (складено за [16,19,27,28,29,30]).

Fig. 1. Structural elements of the ecological network and objects of the nature reserve fund (by categories) of the Zakarpattia region (compiled for [16,19,27,28,29,30])

ргани і Тавпіширка», «Гладинський», «Смерекові Карпати», «Чорнянський деренковач» та «Холмовецька гора», заповідне урочище «Усть-Чорнянські праліси».

Іншим підходом до створення екомережі Закарпатської області є організація тут ділянок Смарагдової мережі, яка є головним інструментом виконання завдань Бернської конвенції. Вперше такі ділянки були визначені тут групою фахівців ще у 2001 - 2009 роках та затверджені Постійним комітетом у 2016 р. Зазначимо, що у сучасних умовах на Європейському континенті формується дві екомережі: NATURA 2000, яка сформована в країнах Європейського Союзу і Emerald Network (Смарагдова мережа), ділянки якої розташовані в межах країн, що не входять до ЄС. Для NATURA 2000 та Смарагдової мережі характерні спільність підходів та принципів формування, подібність порядку затвердження природоохоронних територій з метою збереження цінних та вразливих європейських видів та

типів оселищ. В основі формування мережі NATURA 2000 лежать дві Директиви ЄС у сфері охорони природи: Директива №2009/147/ЄС про захист диких птахів [41] та Директива №92/43/ЄС про збереження природного середовища існування дикої флори та фауни [39], яка є законодавчим актом, призначеним впровадити положення Бернської конвенції в країнах ЄС. Її перевагами є деталізація положень Конвенції, наявність чітких рекомендацій щодо їх впровадження та обов'язковість реалізації. Метою Конвенції є об'єднання зусиль країн для формування єдиної екологічної мережі за біогеографічним підходом, яка не має залежати від державних кордонів та інших адміністративних меж. Для України формування Смарагдової мережі є початковим етапом до впровадження положень Оселищної Директиви, що передбачено Додатком XXX Угоди про асоціацію з Європейським Союзом, а відтак визначені Території Особливого Природоохоронного Інтересу (ТОПІ, англ. –

Areas of Special Conservation Interest, ASCI) після вступу до ЄС набувають статусу Територій особливої охорони (Special Area of Conservation, SAC) – елементів мережі NATURA 2000. Створення Смарагдової мережі було погоджено у 1989 році Постійним комітетом Бернської конвенції шляхом прийняття Рекомендації №16 про Території Особливого Природоохоронного Інтересу [51]. У Рекомендації №16 зазначено, що Договірні Сторони мають прийняти законодавчі або інші заходи для визначення ASCI та забезпечення їх збереження. Реальне втілення ідеї створення Смарагдової мережі розпочалося лише у 1998 році, після прийняття Постійним комітетом Конвенції у 1996 році Резолюції № 3 щодо створення

Пан-Європейської екологічної мережі [46] та у 1998 році Резолюції № 5 стосовно Правил для Смарагдової мережі [48]. Постійний комітет Конвенції прийняв також Резолюції №4 [47] та №6 [49], у яких було визначено відповідно типи оселищ та види, що потребують особливих заходів для їх збереження.

З метою реалізації цілей Конвенції в Україні було визначено перелік територій, які можуть бути включені до Смарагдової мережі, розглянуто на біогеографічних семінарах та затверджено Постійним комітетом Бернської конвенції. Серед них в межах Закарпаття станом на 2021 рік визначено 14 об'єктів (табл. 1, рис. 2).

За нашими обчисленнями загальна площа ді-

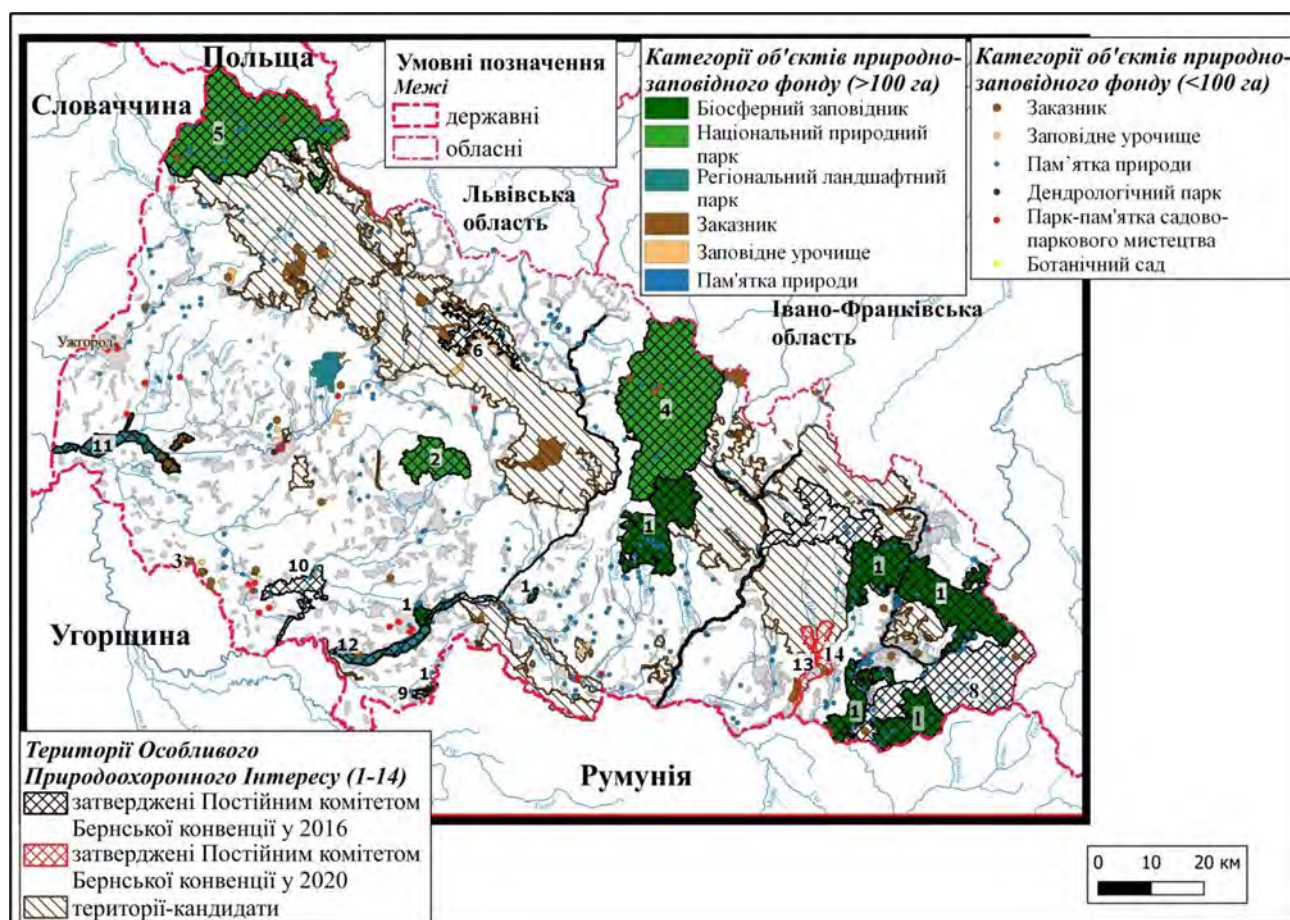


Рис. 2. Смарагдова мережа та об'єкти природно-заповідного фонду (категорії) Закарпатської області станом на 2021 р. (складено за [8,21,26,27,28,53]).

Fig. 2. Emerald network and objects of the nature reserve fund (categories) of the Transcarpathian region as of 2021 (compiled for [8,21,26,27,28,53])

лянок Смарагдової мережі становить 16,4% від площі області. Найбільшим об'єктом є Карпатський біосферний заповідник, в межах якого виявлено 50 типів оселищ (82,28% території об'єкту), зазначених у Резолюції 4 Бернської конвенції.

Сьогодні у чинному національному законодавстві України затверджені Постійним комітетом Бернської конвенції ТОПІ (ASCI) не мають чіткого визначення. Для подальшого управління

ними відповідно до рекомендації Ради Європи потрібно запровадити національні заходи, тобто ухвалити у Верховній Раді Закон «Про території Смарагдової мережі», проект якого підготовлено відповідною групою фахівців та внесено на розгляд Верховної Ради України (реєстр. № 4461 від 04.12.2020).

Порівнюючи територіальну структуру об'єктів природно-заповідного фонду з елемен-

тами Смарагдової мережі Закарпатської області (рис. 2), зазначимо, що більшість її ділянок сформовані на базі територій ПЗФ Закарпаття. Розташовані вони переважно в межах гірської частини області. Не представлені природно-заповідними установами такі ТОПІ: верхів'я Боржавського хребта (UA0000263 Полонина Боржава), Східна частина гірського масиву Свидовець разом із прибережними смугами річок Тересва з припливами Брустуранка і Мокрянк (UA0000259 Східний Свидовець), прибережна смуга ріки Ріка (UA0000269 Виноградівська Тиса), Мараморські та Чивчинсько-Гринявські гори

разом із прибережними смугами Тиси з припливом Біла Тиса (UA0000117 Мараморські та Чивчинсько-Гринявські гори), долина річки Шопурка (UA0000374 Долина річки Шопурка та UA0000345 Кобила), пониззя долини ріки Боржава (UA0000270 Пониззя Боржави).

Зазначимо також, що затверджені Постійним комітетом ТОПІ не охоплюють всіх ключових територій екомережі Закарпаття, які визначені за національними підходами. До таких належать Жденіївська, Річанська, Вигорлат-Перечинська, Синяк-Чинадіївська ключові території (рис. 3).

Таблиця 1

Об'єкти Смарагдової мережі Закарпатської області (складено за даними [17,22,26,53])

№	Назва ТОПІ (код територій) Кількість типів оселищ та видів	Площа, га	Назви переважаючих оселищ (площа в га) з резолюції №4 Бернської конвенції	Наявність об'єктів ПЗФ України (пло- ща, га)
1	Карпатський біосфе- рний заповідник UA00000006 • 48 типів оселищ 92 види	58296	<ul style="list-style-type: none"> • E1.71 Угруповання <i>Nardus stricta</i> (800) • E2.2 Рівнинні та низькогірні сіноко- сні луки (100) • E3.4 Мокрі або вологі евтрофні і ме- зотрофні луки (100) • E4.3 Кислі альпійські та субальпійсь- кі трав'яні угруповання (400) • E4.4 Кальцифітні альпійські та суба- льпійські трав'яні угруповання (100) • E5.5 Субальпійські мокрі або вологі високотравні і папоротеві ділянки (100) • G1.6 Букові ліси (24600) • G1.7 Термофільні листопадні ліси (200) • G1.A1 Дубово-ясенево-грабові ліси на евтрофних і мезотрофних ґрунтах (840) • G1.A4 Яружні та схилів ліси (200) • G3.1В Альпійські та Карпатські суба- льпійські ялинові ліси (19982) • G3.1F Острівні ялинові ліси (100) • G3.E Заболочені хвойні ліси немора- льної зони (100) • X04 Комплекси верхових боліт (100) 	<ul style="list-style-type: none"> • Карпатський біосферний заповідник (58035,8); • Заказники «Юлівська гора» (176), «Кісва» (400) • 30 пам'яток природи (180,1)
2	"Зачарований край" національний приро- дний парк UA00000041 • 13 типів оселищ 37 видів	6116	<ul style="list-style-type: none"> • E1.71 Угруповання <i>Nardus stricta</i> (10) • G1.12 Борео-альпійські прирічкові галереї (25) • G1.51 Березові ліси зі сфагновими мохами (30) • G1.6 Букові ліси (5500) • G1.A1 Дубово-ясенево-грабові ліси на евтрофних і мезотрофних ґрунтах (20) 	<ul style="list-style-type: none"> • Національ- ний природ- ний парк «Зачарований край» (6101) • Заказник «Зачарована долина» (150) • 1 пам'ятка природи (15)

3	Косонь UA0000271 • 3 типи оселищ; 125 видів	253	<ul style="list-style-type: none"> • E1.2 Багаторічні трав'яні кальцифітні угруповання та степи (120) • G1.7 Термофільні листопадні ліси (42) 	<ul style="list-style-type: none"> • Заповідне урочище «Гора Біганська» (5)
4	«Синевир» національний природний парк UA0000026 • 33 типи оселищ 50 видів	40436	<ul style="list-style-type: none"> • E1.71. Угруповання <i>Nardus stricta</i> (2000) • E2.2 Рівнинні та низькогірні сінокосні луки (2000) • E4.3 Кислі альпійські та субальпійські трав'яні угруповання (200) • F4.2 Сухі пустища (800) • G1.6 Букові ліси (11000) • G1.A4 Яружні та схилі ліси (160) • G3.1В Альпійські та Карпатські субальпійські ялинові ліси (6000) 	<ul style="list-style-type: none"> • НПП «Синевир» (43000) • Заказники «Кантина» (25) та «Озірце» (322,2) • 5 пам'яток природи (2,5)
5	Ужанський національний природний парк UA0000032 • 28 типів оселищ 65 видів	39500	<ul style="list-style-type: none"> • E1.71. Угруповання <i>Nardus stricta</i> (900) • E2.2 Рівнинні та низькогірні сінокосні луки (6000) • E3.4 Мокрі або вологі евтрофні і мезотрофні луки (800) • G1.12 Борео-альпійські прирічкові галереї (150) • G1.6 Букові ліси (16500) • G1.A1 Дубово-ясеневі-грабові ліси на евтрофних і мезотрофних ґрунтах (1000) • G1.A4 Яружні та схилі ліси (160) • G3.1В Альпійські та Карпатські субальпійські ялинові ліси (2000) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ужанський НПП (39159) • 7 заказників (477,6). • 17 пам'яток природи (108,8)
6	Полонина Боржава UA0000263 • 12 типів оселищ 20 видів	4520	<ul style="list-style-type: none"> • E1.71. Угруповання <i>Nardus stricta</i> (1900) • E4.3 Кислі альпійські та субальпійські трав'яні угруповання (280) • E5.5 Субальпійські мокрі або вологі високотравні і папоротеві ділянки (135) • F4.2 Сухі пустища (1800) • G1.6 Букові ліси (170) 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 пам'ятка природи (2,3)
7	Східний Свидовець UA0000259 • 24 типи оселищ 34 види	15138	<ul style="list-style-type: none"> • C3.62 Незарослі гравійні береги річок (100) • E4.3 Кислі альпійські та субальпійські трав'яні угруповання (6000) • E5.5 Субальпійські мокрі або вологі високотравні і папоротеві ділянки (100) • G1.11 Прирічкові вербові ліси (300) • G1.6 Букові ліси (2800) • G3.1В Альпійські та Карпатські субальпійські ялинові ліси (1900) 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 заповідне урочище – частково (425,8) • 4 пам'ятки природи (5,2)
8	Мараморські та Чивчинсько-Гринявські гори UA0000117 • 22 типи оселищ 57 видів	25108	<ul style="list-style-type: none"> • E2.2 Рівнинні та низькогірні сінокосні луки (100) • G1.12 Борео-альпійські прирічкові галереї (130) • G1.6 Букові ліси (5600) • G1.A1 Дубово-ясеневі-грабові ліси на евтрофних і мезотрофних ґрунтах 	<ul style="list-style-type: none"> • 3 заказники (7,5) • 12 пам'яток природи (18,1)

			(450) • G3.1В Альпійські та Карпатські субальпійські ялинові ліси (6100)	
9	Оклі Гед UA0000268 • 6 типів оселищ 11 видів	300	• G1.7 Термофільні листопадні ліси (40) • G1.A1 Дубово-ясеневі-грабові ліси на евтрофних і мезотрофних ґрунтах (220)	• 1 пам'ятка природи (0,3)
10	Пониззя Боржави UA0000270 • 13 типів оселищ 40 видів	4106	• G1.22 Мішані дубово-в'язово-ясеневі ліси великих річок (2000) • G1.A1 Дубово-ясеневі-грабові ліси на евтрофних і мезотрофних ґрунтах (1000)	• 3 заповідні урочища (335,3) • 2 пам'ятки природи (57)
11	Притисянський UA0000113 • 18 типів оселищ 51 вид	5392	• E3.4 Мокрі або вологі евтрофні і мезотрофні луки (2550) • F9.1 Прирічкові чагарники (150) • G1.11 Прирічкові вербові ліси (150) • G1.22 Мішані дубово-в'язово-ясеневі ліси великих річок (1560)	• РЛП «Притисянський» - частково (10330,7) • 1 заказник «Великодобронський» (1736)
12	Виноградівська Тиса UA0000269 • 16 типів оселищ 41 вид	6044	• C3.55 Слабо зарослі гравійні береги річок (100) • C3.62 Незарослі гравійні береги річок (400) • E3.4 Мокрі або вологі евтрофні і мезотрофні луки (900) • F9.1 Прирічкові чагарники (120) • G1.11 Прирічкові вербові ліси (2200)	• РЛП «Притисянський» - частково (10330,7) • 1 заказник «Егреш» (37,4)
13	Долина річки Шопурка UA0000374 • 12 типів оселищ 24 види	3225,26	• E2.2 Рівнинні та низькогірні сінокосні луки (325,5) • F9.3 Південні прибережні галереї і чагарникові зарості (238,5) • G1.21 Прирічкові ясеневі-вільхові ліси зі змінним зволоженням (120,5) • G1.6 Букові ліси (820) • G1.A1 Дубово-ясеневі-грабові ліси на евтрофних і мезотрофних ґрунтах (1650,5)	• 1 заказник «Арніка» (9,5)
14	Кобила UA0000345 • 7 типів оселищ 1 вид	890	• G1.6 Букові ліси (250) • G1.11 Прирічкові вербові ліси (26)	-

Крім того, Смарагдова мережа не охоплює верхів'я р. Латориця з притокою Вича, річок Рипинка та Студений, що формують верхню течію р. Ріка, значну частину р. Уж та Боржава, які згідно з національним законодавством разом із прибережно-захисними смугами є елементами екологічної мережі. Не відносяться до ТОПІ і фрагменти Вулканічного екокоридору та частина долини р. Тиса (рис. 3).

Зазначені ділянки потребують додаткових досліджень на предмет виявлення тут цінних

оселищ, видів флори та фауни з додатків Бернської конвенції.

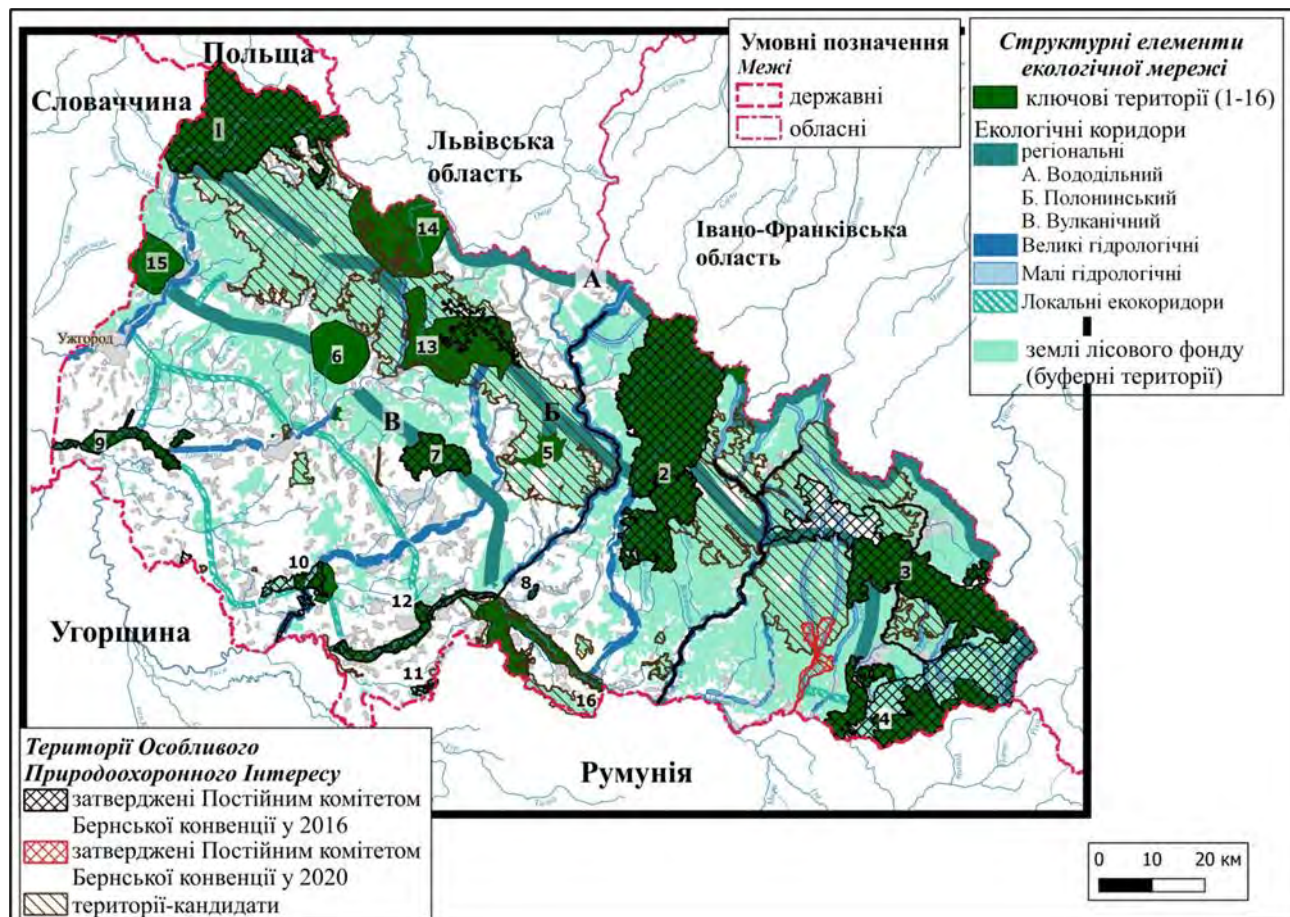
Висновки. В історії формування екологічної мережі Закарпатської області можна виділити три етапи, перший з яких характеризується створенням та розширенням мережі об'єктів природно-заповідного фонду, що стали основою для організації проведення природничих досліджень в межах області та подальшого впровадження концепції екомереж. На сьогодні їх частка від площі Закарпаття становить 15,43%. Другий етап

характеризується розробкою та затвердженням планувальних Схем екологічної мережі області відповідно до національного законодавства. Крім природоохоронних об'єктів, до Схем було залучено також земельні угіддя екстенсивного використання. Проте заходів для забезпечення природоохоронного режиму цих територій не було впроваджено.

Для третього етапу розвитку екомережі області характерне залучення європейського досвіду до формування екологічної мережі Закарпатської області, результатом якого є визначення та

затвердження у 2016 -2019 рр. Постійним комітетом Бернської конвенції 14-ти ділянок ТОПІ (ASCI) Смарагдової мережі, формування яких має забезпечити збереження видів флори і фауни європейського значення та середовищ їхнього існування. ТОПІ мають ряд переваг порівняно з елементами екологічної мережі Закарпаття, сформованої за національним підходом. Проте відсутність їх чіткого визначення у правовому полі нашої держави ускладнює їх повноцінне функціонування.

Проведений нами аналіз офіційних матеріа-



Умовні позначення: ключові території: 1 – Стужицько-Сянська, 2 – Полонинсько-Горганська, 3 – Свидовецько-Чорногірсько-Горганська, 4 – Кузійсько-Мармароська, 5 – Річанська, 6 – Синяк-Чинадіївська, 7 – Іршавська, 8 – Хустська, 9 – Чопсько-Великодоброньська, 10 – Берегівська, 11 – Юлівська, 12 – Чорногірська, 13 – Ждимирська, 14 – Жденіївська, 15 – Вигорлат-Перечинська, 16 – Шаянська.

Рис.3. Геопланувальна модель екомережі Закарпатської області із комплексом структурних елементів.
 Fig.3. Geopanning model of the ecological network of Transcarpathian region with a complex of structural elements

лів із планування екомережі області засвідчує про існування декількох планувальних моделей, які відмінні за підходами до формування екомережі, кількістю її структурних елементів та інформаційним наповненням. Аналіз Схеми планування території Закарпатської області та Смарагдової мережі дозволили встановити ділянки, які потребують розроблення першочергових управлінських заходів щодо захисту біорізноманіття в їх межах, а також - проведення додатко-

вих ботаніко-зоологічних і ландшафтних досліджень. Відповідно до Схеми планування території Закарпатської області в межах Жденіївської, Ждимирської, Вигорлат-Перечинської та Шаянської ключових територій потрібно створити установи ПЗФ, а з метою захисту екосистем визначених екокоридорів – впроваджувати заходи для збереження прибережних смуг, водоохоронних захисних зон, приполонинних лісів та полонин.

З огляду на наближення національних стан-

дартів України у сфері охорони навколишнього середовища до вимог Європейського Союзу, а також – на прикордонне розташування Закарпатської області, важливим завданням є подальше формування ділянок Смарагдової екомережі з використанням попередніх напрацювань. Так, зокрема існує потреба у додаткових природничих дослідженнях для вирішення доцільності формування нових ТОПІ в районі розташування Жденіївської, Річанської, Вигорлат-Перечинської, Синяк-Чинадіївської ключових територій,

частини Полонинського екокоридору, яка поєднує Свидовецький і Кузій-Трибушанський масиви КБЗ. Досліджень потребують також фрагменти Вулканічного екокоридору, місцевості, що охоплюють верхів'я р. Латориця з притокою Ви́ча, долини річок Рипинка та Студений, які формують верхню течію р. Ріка, значна частина долини р. Уж та р. Боржава.

Список використаної літератури

1. Всеєвропейська стратегія збереження біологічного та ландшафтного різноманіття: міжнародний документ від 25.10.1995 [Текст]. Available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_711#Text
2. Рамкова конвенція про охорону та сталий розвиток Карпат: Конвенція, Міжнародний документ від 22.05.2003 [Текст]. Available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/998_164#Text
3. Про екологічну мережу України: Закон України №1864 від 24.06. 2004 [Текст]. Available at: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1864-15>.
4. Про затвердження Загальнодержавної програми формування національної екологічної мережі на 2000-2015 роки: Закон України № 1989 від 21.09.2000 [Текст]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1989-14#Text>
5. Про природно-заповідний фонд України: Закон України № 2456 від 16.06.1992 [Текст]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12#Text>
6. Про затвердження Методики визначення належності лісових територій до пралісів, квазіпралісів і природних лісів: Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України № 161 від 18.05.2018 [Текст]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0707-18#Text>
7. Про Програму перспективного розвитку природно-заповідної справи та екологічної мережі Закарпатській області на 2006-2020 роки: рішення Закарпатської обласної ради №695 від 12.01.2006 [Текст]. Available at: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/ZA060045.html
8. Про оголошення об'єктів природно-заповідного фонду місцевого значення: рішення Закарпатської обласної ради № 153-157 від 25.02.2021 [Текст]. Available at: <https://zakarpatt-rada.gov.ua/normativni-dokumenty/rishennya-rady/viii-skykannia/2-sesiia-i-zasidannia-25-02-2021/>
9. Брусак, В.П. Географічні основи формування екологічної мережі в Українських Карпатах / В. П. Брусак, Ю.В. Зін'юк, Д. А. Кричевська // Розвиток заповідної справи в Україні і формування Паневропейської екологічної мережі : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., [Раків], 11–13 листопада 2008 р. – Раків: ЗАТ «Надвірнянська друкарня», 2008. – С. 61–68.
10. Шеляг-Сосонко, Ю.Р. Екомережа України та її природні ядра [Текст] / Ю. Р. Шеляг-Сосонко, В. С. Ткаченко, Т. Л. Андрієнко, Я. І. Мовчан // Український ботанічний журнал. – 2005. – Т.62. вип. 2. – С.142–158.
11. Турис, Е.В. До питання формування структури регіональної екологічної мережі Закарпатської області [Текст] / Е. В. Турис, В.Г. Дробнич, А.В. Мигаль та ін. // Науковий вісник Ужгородського університету: серія Біологія/голов.ред. В.І.Ніколайчук. – Ужгород : Говерла, 2015. – Вип. 38 – 39. – С. 47–51.
12. Доповідь про стан навколишнього природного середовища Закарпатської області за 2019 р. [Текст] / Департамент екології та природних ресурсів Закарпатської обласної державної адміністрації, – Ужгород, 2020. – 157 с.
13. Кагало, О. О. Принципи розбудови екомережі та вибору її територіальних елементів: українська практика та європейський досвід [Текст] / О.О. Кагало // Розвиток заповідної справи в Україні і формування Паневропейської екологічної мережі: матер. міжнар. наук.-практ. конф., [Раків]: 11–13 листопада 2008 р. – Раків: ЗАТ «Надвірнянська друкарня», 2008. – С. 195–200.
14. Кічура, А.В. Особливості формування регіональної екологічної мережі Закарпаття [Текст] / Кічура, А.В., В.П. Кічура // Природне середовище України і духовність: матер. міжнар. наук.-практ. конф., [Ужгород]: 7–9 жовтня 2008 р. – Ужгород: Видавництво УжНУ «Говерла», 2008. – С 162-165.
15. Киш, Р.Я. Біотопи Natura 2000 на Закарпатській низовині [Текст] / С.І. Андрик, В.В. Мірутенко; УжНУ – Ужгород: Мистецька лінія, 2006. – 64 с.
16. Наукове опрацювання заходів щодо створення Карпатської екомережі [Текст]: звіт про НДР (заклучний) / Національний університет “Києво-Могилянська академія”; кер. А. Г. Безусько, В. П. Брусак та ін. Київ, 2007. – 304с.
17. Національний каталог біотопів України [Текст] / за ред. А.А. Куземко, Я.П. Дідуха, В.А.Онищенко, Я. Шеффера. – К.: ФОП Клименко Ю.Я., 2018. – 442 с.
18. Оселищна концепція збереження біорізноманіття: базові документи Європейського Союзу [Текст] / за ред. О.О.Кагала, Б.Г.Проця. – Львів: ЗУКЦ, 2012. – 278с.
19. Попович, С. Ю. Основні структурні елементи Карпатської екомережі. [Текст] /С.Ю. Попович // Заповідна справа в Україні – Раків, 2007. – Т. 13, вип. 1–2. – С. 80–89.

20. Проект регіональної схеми формування екологічної мережі Закарпатської області [Текст]: звіт про НДР Карпатського екологічного клубу «Рутенія»: кер. Е.В.Турус. Ужгород, 2013 – 95 с.
21. Території, що пропонуються до включення у мережу Емеральд (Т35) Смарагдову мережу України («тіньовий список», частина 3) [Текст] / кол.авт., за ред. О.В. Василюка, А.А. Куземко, В.П. Коломійчука, Ю.К. Куцоконь – Чернівці: Друк Арт, 2020. – 408 с.
22. Тлумачний посібник оселищ Резолюції №4 Бернської конвенції, що знаходяться під загрозою і потребують спеціальних заходів охорони. Перша версія адаптованого неофіційного перекладу з англійської (третього проекту офіційної версії 2015 року) [Текст] / за ред. А.А. Куземко, С.С. Садогурської, О.В. Василюка. – Київ, 2017. – 124 с.
23. Фельбаба-Клушина Л. М. Екомережа Закарпаття: екокоридори та природні ядра [Текст] / Л.М. Фельбаба-Клушина // Актуальні питання досліджень рослинного покриву Українських Карпат: матер. міжнар. регіон. наук. конференції, присвяченої 100-річчю від дня народження проф. С.С. Фодора. [Ужгород]: 4–6 жовтня 2007 р. – Ужгород, 2007. – С. 112-114.
24. Формування регіональних схем екомережі [Текст]: метод. рекомендації / за ред. Ю. Р. Шеляга-Сосонко. – Київ: Фітосоціоцентр, 2004. – 70с.
25. Захист полонини Боржава [Електронний ресурс] / МБО «Екологія, право, людина» – Режим доступу: \www/ URL: <http://epl.org.ua/law-posts/zahyst-polonyny-borzhava/> - 12.12. 2020 р.
26. Інтерактивний картографічний веб-застосунок «Смарагдова мережа України: база даних – Species of Resolution 6. Database» [Електронний ресурс] / ГО “Українська природоохоронна група”: Режим доступу: URL: <https://cartolab.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=b07ef920c3ae48beacc6c3522e9a32a8> – 05.03. 2021 р.
27. Карти-схеми пралісових пам'яток природи місцевого значення. [Електронний ресурс] / WWF Україна. Режим доступу: \www/ URL: <https://wwf.ua/forests/> - 20.03. 2021 р.
28. Об'єкти природно-заповідного фонду в Закарпатській області [Електронний ресурс] / Департамент екології та природних ресурсів Закарпатської обласної державної адміністрації: Режим доступу: \www/ URL: <https://ecozakarp.at.gov.ua/> - 18.03. 2021 р.
29. Плани лісонасаджень Закарпатського обласного управління лісового та мисливського господарства [Електронний ресурс] / Українське державне проектне лісовпорядне виробниче об'єднання ВО "УКРДЕРЖЛІС-ПРОЕКТ": Режим доступу: \www/ URL: <https://www.lisprojekt.gov.ua/plani-lisonasadzhen> - 27.02.2021 р.
30. Схема комплексної оцінки території. Природно-ресурсний потенціал [Електронний ресурс] / ДП "Український державний науково-дослідний інститут проектування міст "ДІПРОМІСТО" імені Ю.М. Білокозя": матеріали Схеми планування території Закарпатської області. Режим доступу: \www/ URL: https://carpathia.gov.ua/sites/default/files/imce/130517_731-09.pdf - 01.02. 2021 р.
31. Територіальна організація національної екологічної мережі [Електронний ресурс] / Міністерство розвитку громад та територій України: матеріали Генеральної схеми планування території України. Режим доступу: \www/ URL: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diynalnosti/building/city-build/materiali-generalnoyi-shemi-planuvannya-teritoriyi-ukrayini/> - 30.01. 2021 р.
32. Хански, И. Ускользающий мир: Экологические последствия утраты местообитаний. Пер. с англ. 2-е изд. – М.: Т-во научных изданий КМК. 2015. – 340 с.
33. Biro, E. Indicative map of the Pan-European Ecological Network in South-Eastern Europe [Text]: technical background document (ECNC technical report series) / I. Bouwma, V. Grobelnik (Eds.) // ECNC-European Centre for Nature Conservation. – Tilburg, The Netherlands, 2006. – 110 pp.
34. Bouwma, I.M. The Indicative Map of Pan-European Ecological Network [Text]: technical background document (ECNC Technical report series) / R.H.G. Jongman, R.O. Butovsky (eds) // ECNC. – Tilburg, The Netherlands/Budapest Hungary, 2002. – 101 pp + annexes
35. Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats [Text], Bern, 19 September 1979, Council of Europe, ETS No.104. Available at: <https://rm.coe.int/CoERMPublicCommonSearchServices/DisplayDCTMContent?documentId=0900001680078aff> (Accessed: 11 December 2019)
36. Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat [Text], Ramsar, 02 February 1971, Director, Office of International Standards and Legal Affairs United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Available at: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/current_convention_text_e.pdf (Accessed: 15 February 2020)
37. Convention concerning the protection of the world cultural and natural heritage [Text], Paris, 16 November 1972, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Available at: <https://whc.unesco.org/archive/convention-en.pdf> (Accessed: 21 February 2020)
38. Council of Europe, Directorate of Democratic Governance, Culture and Diversity [Text]. The Emerald Network: A Network of Areas of Special Conservation Interest for Europe (Explanatory document and compilation of relevant texts), 2016. Available at: <https://rm.coe.int/168074669d> (Accessed: 11 April 2019)
39. Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora [1992] OJ L206/7
40. Cuirong Wang. Developing large-scale international ecological networks based on least-cost path analysis – a case study of Altai mountains / Wang Cuirong, Liu Huaxian // Open Geosciences, 2020 – Vol.12. – 840–850 pp. Available at: file:///C:/Users/user/Downloads/10.1515_geo-2020-0173.pdf

41. Directive 2009/147/EC of the European Parliament and of the Council of 30 November 2009 on the conservation of wild birds (codified version) [2009] OJ L20/7
42. Harvey, E. Bridging ecology and conservation: from ecological networks to ecosystem function [Text] / Gounand I, Colette L. W. and Altermatt F. // *Journal of Applied Ecology*, 2017. – Vol. 54. – 371–379 pp. Available at: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03000348/document>, <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12769>
43. Hodgson, J.A. Habitat area, quality and connectivity: striking the balance for efficient conservation [Text] / A. Moilanen, B.A. Wintle, C.D. Thomas // *Journal of Applied Ecology*, 2011. – Vol.48. – 148–152 pp. Available at: https://ecologia.ufba.br/sites/ecologia.ufba.br/files/Hodgson_et_al.pdf, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01919.x>
44. Jalkanen, J. Identification of ecological networks for land-use planning with spatial conservation prioritization [Text] / Toivonen, T., Moilanen, A. // *Journal of Applied Ecology*, 2020. – Vol.35. – 353–371 pp. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10980-019-00950-4#Sec1>, <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00950-4>
45. MacArthur R. H. *The Theory of Island Biogeography* [Text] / R. H. MacArthur, E. O. Wilson. – Princeton: Princeton University Press, 2001. – 224 p.
46. Resolution No 3 Concerning the setting up of a Pan-European Ecological Network [Text]. Council of Europe. The Standing Committee of the Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. 1996. Available at: <https://rm.coe.int/16807467d3> (Accessed: 11 April 2019)
47. Resolution No 4 Listing endangered natural habitats requiring specific conservation measures [Text]. Council of Europe. The Standing Committee of the Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. 1996. Available at: <https://rm.coe.int/16807469e7/> (Accessed: 11 April 2019)
48. Resolution No 5 Concerning the rules for the Network of Areas of Special Conservation Interest (Emerald Network) Council of Europe [Text]. The Standing Committee of the Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. 1998. Available at: <https://rm.coe.int/1680746bfa> (Accessed: 11 April 2019)
49. Resolution No.6 listing the species requiring specific habitat conservation measures [Text]. Council of Europe. The Standing Committee of the Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats, 1998. Available at: <https://rm.coe.int/1680746afc> (Accessed: 11 April 2019)
50. Resolution No. 8 on the national designation of adopted Emerald sites and the implementation of management, monitoring and reporting measures [Text]. Council of Europe. The Standing Committee of the Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats, 2012. Available at: <https://rm.coe.int/1680746515> (Accessed: 11 April 2019)
51. Recommendation No 16 of the standing committee on areas of special conservation interest [Text]. The Standing Committee of the Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats, 1989. Available at: <https://rm.coe.int/1680746c25> (Accessed: 11 April 2020)
52. Recommendation No. 157 on the status of candidate Emerald sites and guidelines on the criteria for their nomination [Text]. Council of Europe. The Standing Committee of the Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats, 2011. Available at: <https://rm.coe.int/1680746515> (Accessed: 11 April 2019)
53. Emerald Network - General Viewer. European Environment Agency. Available at: <https://emerald.eea.europa.eu> (Accessed: 1 February 2021)

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

История формирования и современное состояние экологической сети Закарпатской области

Марьяна Викторовна Теслович¹,

аспирант, кафедра конструктивной географии и картографии,
¹Львовский национальный университет имени Ивана Франко,
 ул. Петра Дорошенко, 41, г. Львов, 79000, Украина;

Диана Анатольевна Кричевская¹,

к. геогр. н., доцент, кафедра конструктивной географии и картографии

Создание экологических сетей сегодня является одним из основных путей сохранения биотического и ландшафтного многообразия. В Украине выделение структурных элементов экосетей происходит с использованием национальных и европейских подходов. Не является исключением и Закарпатская область. Так, в 2014 г. тут был утвержден Проект схемы региональной экологической сети, а в 2016 году участки Изумрудной сети, которые ранее были охарактеризованы группой экспертов в пределах области, утверждены Постоянным комитетом Бернской конвенции. Учитывая современные геополитические интересы Украины, а также приграничное положение Закарпатья актуальными задачами являются изучение уже установленных ключевых территорий и экоридоров с точки зрения возможности их присоединения к Изумрудной экосети, а также - наработка механизмов сохранения биотического и ландшафтного разнообразия в их пределах. Целью статьи было охарактеризовать основные этапы формирования экосети Закарпатской области и установить перечень ее структурных

элементов, требующих разработки первоочередных мер по управлению и защите биоразнообразия в их пределах, проведения дополнительных ботанико-зоологических и ландшафтных исследований.

С этой целью нами проанализированы международные и национальные нормативно-правовые документы по формированию экосетей, Схема планирования экосети Украинских Карпат, Схемы планирования территории и экосети Закарпатской области, детальные планы лесопосадок, современная сеть и структура природно-заповедного фонда области, включая объекты, ценность которых признана на международном уровне. Изучение этих материалов позволило установить полный перечень структурных элементов экологической сети Закарпаття, с использованием программного обеспечения QGIS3.16.0. создана карта «Структурные элементы экосети и объекты природно-заповедного фонда (по категориям) Закарпатской области».

На основании анализа данных Emerald Network Viewer и других публичных источников охарактеризована ценность 14-ти Территорий Особого Природоохранного Интереса (ТОПИ, АССИ) Изумрудной сети области и проанализировано наличие в их границах объектов природно-заповедного фонда. Создана карта «Изумрудная сеть и объекты природно-заповедного фонда Закарпатской области» с использованием оцифрованных нами топографических карт в масштабе 1:100000, крупномасштабных планов по заповедным объектам области.

С целью сравнения Схем региональной экологической сети и Изумрудной сети Закарпаття составлена карта «Геопланировочная модель экосети Закарпатской области с комплексом структурных элементов», что позволило нам определить участки, которые являются перспективными для изучения с точки зрения организации тут новых ТОПИ (АССИ). К ним относятся Ждениевская, Ричанская, Выгорлат-Перечинская, Синяк-Чинадиевская ключевые территории, часть Полонинского экокори́дора, которая объединяет Свидовецкий и Кузий-Трибушанский массивы КБЗ, и фрагменты Вулканического экокори́дора, а также местности, которые приурочены к верхней части долины р. Латорица с ее притокой р.Вича, к долинам рек Рипинка и Студеный в верхней части долины р. Река, значительной части долин р. Уж и р. Боржава.

Ключевые слова: Закарпатская область, природно-заповедный фонд, экологическая сеть, Изумрудная сеть, Территория особого природоохранного Интереса.

Historical and geospatial aspects of formation of the eco-network of the Transcarpathian region

Mariana Teslovych¹,

PhD Student, Department of Constructive Geography and Cartography,

¹Ivan Franko National University of Lviv, 41 Petro Doroshenko St., Lviv, 79000, Ukraine;

Diana Krychevska¹,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Constructive Geography and Cartography

ABSTRACT

Formulation of the problem. For the time being the formation of an ecological network in Ukraine is the most effective way to preserve biological and landscape diversity. This process is characterized by the use of two approaches. The first is based on national legislation, methods of spatial planning in accordance with the geobotanical and landscape features of the region. The second approach is based on the European legislation, in particular, the Bern Convention. Transcarpathian region is no exception. The project of the regional scheme of the ecological network was approved for the region and Areas of Special Conservation Interest (ASCIs – sites of the Emerald network), were determined and adopted by Standing Committee.

Purpose and methods of research. Today there is a need for a comprehensive spatial analysis of the currently existing planning models of the regional ecological network of Transcarpathia and the establishment of the most important areas for biodiversity and landscape diversity protection. The purpose of our study was to characterize the main stages of formation of the ecological network of Transcarpathian region and to establish a list of structural elements of the ecological network, for which it is important to develop measures to protect biodiversity within them.

We analyzed international and national legal documents, cartographic and planning documents to determine and characterize the main stages of development of the ecological network of the region. we compiled maps showing the spatial relationship of nature reserves, elements of the regional eco-network and areas of special conservation interest, using software QGIS 3.16.0, schemes: planning of the eco-network of the Ukrainian Carpathians, eco-network of Transcarpathian region, Transcarpathian territory planning areas; data on the Structural Elements of the Emerald Network, the network of objects of the nature reserve fund and their large-scale plans; detailed plans of forest plantations. Based on the obtained data, we conducted a spatial analysis of the elements in order to identify areas that require additional measures to preserve biotic and landscape diversity.

Results of the research. Based on the obtained data, we have identified and characterized the main stages of formation of the ecological network of the Transcarpathian region. Based on a detailed cartographic analysis, we have identified areas that require natural research on the need for additional measures to preserve biotic and landscape diversity.

Scientific novelty and practical significance. In our article for the first time a comprehensive and detailed spatial analysis of the currently existing planning models of the regional ecological network of Transcarpathia was conducted.

For the first time, areas have been identified that do not currently belong to the nature reserve fund and areas of special conservation interest, but need to be studied in terms of their value to preserve biotic and landscape diversity.

Keywords: Transcarpathian region, nature reserve fund, ecological network, Emerald network, Areas of Special Conservation Interest (ASCIs).

References

1. Pan-European Biological and Landscape Diversity Strategy, Strasbourg, 25 October 1995, Council of Europe. Available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_711#Text [in Ukrainian]
2. Framework Convention on the Protection and Sustainable Development of the Carpathians, Kyiv, 22 May 2003, Council of Europe. Available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/998_164#Text [in Ukrainian]
3. Law of Ukraine «On Ecological Network of Ukraine» dated June 24, 2004, №1864. Available at: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1864-15> [in Ukrainian]
4. Law of Ukraine «On the National Program for Creating the National Environmental Network of Ukraine for the Years 2000-2015» dated September 21, 2000, 1989. Available at: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1989-14>. [in Ukrainian]
5. Law of Ukraine «On Nature Reserve Fund of Ukraine» dated June 16, 1992, 2456. Available at: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12>. [in Ukrainian]
6. Order of the Ministry of Ecology and Natural Resources on approval of the Methodology for determining the belonging of forest territories to primeval forests, quasi-virgin forests and natural forests (№ 161, 18.05.2018). Available at: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/z0707-18> [in Ukrainian]
7. The program of natural reserves perspective development and ecological network in the Transcarpathian region in 2006-2020: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/ZA060045.html [in Ukrainian]
8. The decision of the Transcarpathian regional council «On the announcement of objects of the nature reserve fund of local significance» dated February 25, 2021, 153-157. Available at: <https://zakarpattya-rada.gov.ua/normatyvni-dokumenty/rishennya-rady/viii-skykannia/2-sesiia-i-zasidannia-25-02-2021/> [in Ukrainian]
9. Brusak V.P., Zinko Yu.V., Krychevska D.A. (2008). Gheoghrafichni osnovy formuvannja ekologichnoji merezhi v Ukrajinjskijh Karpatakh [The geographical grounds of regional ecological networks development (on Ukrainian Carpathian example)]: Rozvytok zapovidnoji spravy v Ukraini i formuvannja Pan'jeuropejskoji ekologichnoji merezhi: mater.mizhnar.nauk.-prakt.konf. Rakhiv: ZAT «Nadvirnjansjka drukarnja», 2008. 61–68. [in Ukrainian]
10. Sheljagh-Sosonko Yu.R., Tkachenko V.S. (2004). Ekomerezha Ukrainy ta jiji pryrodni jadra [Ecological network of Ukraine and its natural cores]. Ukrainian Botanical Journal (eds. Andrijenko T.L., Movchan Ja.I), 62, 2, 142-158. [in Ukrainian]
11. Turys E.V., Drobnych V. Gh., Myghalij A. V. (2015). Do pytannja formuvannja struktury rehionalnoji ekologichnoji merezhi Zakarpatskoji oblasti [On the formation of the structure of the regional ecological network of the Transcarpathian region]. Naukovyj visnyk Uzhgorodskogo universytetu. Serija Biologhija. 47–51.
12. Report on the state of the environment of the Transcarpathian region for 2019 (2020). Department of Ecology and Natural Resources of the Transcarpathian Regional State Administration, Uzhhorod. 157 [in Ukrainian]
13. Kagalo O.O. (2008). Pryncypy rozbudovy ekomerezh i ta vyboru jiji terytorijnykh elementiv: ukrajinsjka praktyka ta jeuropejskij dosvid. [Principles of eco-network development and choice of its territorial elements: Ukrainian practice and European experience]. Rozvytok zapovidnoji spravy v Ukraini i formuvannja pan'jeuropejskoji ekologichnoji merezhi: mater. mizhnar. nauk.-prakt. konf. Rakhiv: ZAT «Nadvirnjansjka drukarnja», 195–200. [in Ukrainian]
14. Kichura A.V., Kichura V.P. (2008). Osoblyvosti formuvannja rehionalnoji ekologichnoji merezhi Zakarpattja. [Features of the formation of the regional ecological network of Transcarpathia]. Materialy Mizhnarodnoji nauko-vo- praktychnoji konferenciji. Uzhgorod: Vydavnytstvo UzhNU «Ghoverla», 162-165. [in Ukrainian]
15. Kish R.Ja., Andryk Je.J., Mirutenko V.V. (2006). Biotopy Natura 2000 na Zakarpatskij nyzovyni. [Natura 2000 biotopes in the Transcarpathian lowlands]. Uzhgorod: Mystecjka linija, 64. [in Ukrainian]
16. Bezusjko A. Gh., Brusak V. P., eds (2007). Naukove opracjuvannja zakhodiv shhodo stvorennja Karpatskoji ekomerezh: zvit pro NDR (zakljuchnyj). [The scientific study of measures to create a Carpathian ecological network: research report (final)]. National University «Kyiv-Mohyla Academy». Kyiv, 304. [in Ukrainian]
17. Kuzemko A.A., Didukha Ja.P., Onyshhenka V.A., eds. (2018). Nacionalnij katalog biotopiv Ukrainy. [National Catalog of Habitats of Ukraine]. Kyiv: FOP Klymenko Ju.Ja., 442. [in Ukrainian]
18. Kagalo O.O., Proc B.H. (2012). Oselyshhna koncepcija zberezhennja bioriznomanittja: bazovi dokumenty Jevropejskogho Sojuzu. [Habitat concept of biodiversity conservation: basic documents of the European Union]. Lviv: ZUKC, 278. [in Ukrainian]
19. Popovych S. Ju. (2007). Osnovni strukturni elementy Karpatskoji ekomerezh. [The main structural elements of the Carpathian ecological network]. Protected area in Ukraine. Rakhiv, 13, 1–2, 80–89. [in Ukrainian]
20. Turys E.V., eds. (2013). Proekt rehionalnoji skhemy formuvannja ekologichnoji merezhi Zakarpatskoji oblasti: zvit pro NDR Karpatskogho ekologichnogho klubu «Rutenija» [Project of the regional scheme of formation of the ecological network of the Transcarpathian region: report on the research of the Carpathian ecological club "Ruthenia"]. Uzhhorod, 95. [in Ukrainian]
21. Vasilyuka O.V., Kuzemko A.A., Kolomyichuk V.P., eds. (2020). Terytoriji, shho proponujutsja do vkluchennja u merezhu Emerald (T35) Smaragdovu merezhu Ukrainy («tinjovij spysok», chastyna 3). [Territories proposed for

- inclusion in the Emerald (T35) network Emerald Network of Ukraine ("shadow list", part 3)]. Chernivtsi: Print Art, 408 [in Ukrainian]
22. Kuzemko A., Sadogurska S., Vasyliuk O., eds. (2017). *Tlumachnyy posibnyk oselyshh Rezoluciji №4 Berns'koho konvenciji, shho znakhodjatsja pid zagrozoju i potrebujutj specialnykh zakhodiv okhorony. Persha versija adaptovanoho neoficijnogo perekladu z anghlijs'koho (tretjogo proektu oficijnoji versiji 2015 roku). [Explanatory guide to Resolutions №4 of the Berne Convention that are under threat and in need of special protection measures. The first version of the adapted unofficial translation from English (the third draft of the official version of 2015)].* Kyiv, 124 [in Ukrainian]
 23. Felbaba-Klushyna L. M. (2007). *Ekomezha Zakarpattja: ekokorydory ta pryrodni jadra. Aktualni pytannja doslidzen roslinnogho pokryvu Ukrajins'kykh Karpat [Current issues of vegetation research in the Ukrainian Carpathians]: mater. mizhnar. rehion. nauk. konferenciji, prysvjachenoi 100-richchju vid dnja narodzhennja prof. S.S. Fodora.* Uzhgorod, 112-114 [in Ukrainian]
 24. Sheljagh-Sosonko Yu.R. (2004). *Formuvannja rehionalnykh skhem ekomezhi: metod.rekomendaciji [Formation of regional schemes of an ecological network: a method. recommendations].* Kyiv: Fitosociocentr.
 25. *Zakhyst polonyny Borzhava. Ekolohiya, pravo, lyudyna* (2019). Available at: <http://epl.org.ua/law-posts/zahyst-polonyny-borzhava/> [in Ukrainian]
 26. «Interactive cartographic web application Emerald Network of Ukraine: database – Species of Resolution 6. Database». GO "Ukrajinska pryrodookhoronna ghrupa": veb-sajt. Available at: <https://carto-lab.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=b07ef920c3ae48beacc6c3522e9a32a8> (Accessed: 14 December 2020) [in Ukrainian]
 27. Maps-schemes of virgin natural monuments of local significance. WWF Ukraine. Available at: https://drive.google.com/file/d/1PtzMeUNY3sPpsTU9u1j_IelGUOBFXJ5D/view?fbclid=IwAR0Avp8sEJZ3lBYolAPDngFb_dw5jVeTJnWXWcP0DOuY7_-fXZCP1a0WJZk (Accessed: 15 March 2021) [in Ukrainian]
 28. Objects of the nature reserve fund in the Zakarpattia region. Department of Ecology and Natural Resources of the Zakarpattia Regional State Administration. Available at: http://ecozakarp.at.gov.ua/?page_id=1655 (Accessed: 3 March 2021) [in Ukrainian]
 29. Plans of afforestation of the Transcarpathian Regional Department of Forestry and Hunting. Ukrainian State Design Forest Management Production Association VO "UKRDERZHLISPROEKT". Available at: <https://www.lisproekt.gov.ua/plani-lisonasadzhen> (Accessed: 28 March 2021) [in Ukrainian]
 30. Scheme of comprehensive assessment of the territory. Natural resource potential. State Enterprise "Ukrainian State Research Institute of Urban Design" DIPROMISTO "named after YM Bilokon": materials Schemes of planning the territory of the Transcarpathian region. Available at: https://carpathia.gov.ua/sites/default/files/imce/130517_731-09.pdf (Accessed: 10 March 2021) [in Ukrainian]
 31. Territorial organization of the national ecological network. Ministry of Development of Communities and Territories of Ukraine: materials of the General Scheme of Territorial Planning of Ukraine. Available at: <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2018/02/Teritorialna-organizatsiya-natsionalnoyi-ekologichnoyi-merezhi-jpg> (Accessed: 08 February 2021) [in Ukrainian]
 32. Hanski I.A. (2015) *Uskolzaiushchy myr: Ekologicheskiye posledstviya utraty mestoobytny. [The shrinking world: Ecological consequences of habitat loss].* translation from English. 2nd ed. M.: KMK Scientific Publishing Association. 340. [in Russian]
 33. Biro E., Bouwma I., Grobelnik V. (Eds.) (2006). *Indicative map of the Pan-European Ecological Network in South-Eastern Europe. Technical background document. ECNC technical report series, ECNC-European Centre for Nature Conservation, Tilburg, The Netherlands.*
 34. Bouwma I.M., Jongman R.H.G., Butovsky R.O. (eds) (2002). *The Indicative Map of Pan-European Ecological Network – technical background document. (ECNC Technical report series). ECNC, Tilburg, The Netherlands/Budapest Hungary, 101.*
 35. Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats, Bern, 19 September 1979, Council of Europe, ETS No.104. Available at: <https://rm.coe.int/CoERMPublicCommonSearchServices/DisplayDCTMContent?documentId=0900001680078aff> (Accessed: 11 December 2019)
 36. Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat, Ramsar, 02 February 1971, Director, Office of International Standards and Legal Affairs United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Available at: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/current_convention_text_e.pdf (Accessed: 15 February 2020)
 37. Convention concerning the protection of the world cultural and natural heritage, Paris, 16 November 1972, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Available at: <https://whc.unesco.org/archive/convention-en.pdf> (Accessed: 21 February 2020)
 38. Council of Europe, Directorate of Democratic Governance, Culture and Diversity. (2016). *The Emerald Network: A Network of Areas of Special Conservation Interest for Europe (Explanatory document and compilation of relevant texts).* Available at: <https://rm.coe.int/168074669d> (Accessed: 11 April 2019)
 39. Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora (1992). OJ L206/7
 40. Cuirong Wang and Huaxian Liu (2020). Developing large-scale international ecological networks based on least-cost path analysis – a case study of Altai mountains. *Open Geosciences* 2020; 12: 840–850. URL: <https://doi.org/10.1515/geo-2020-0173>

41. Directive 2009/147/EC of the European Parliament and of the Council of 30 November 2009 on the conservation of wild birds (codified version) (2009). OJ L20/7
42. Eric Harvey, Isabelle Gounand, Colette L. Ward and Florian Altermatt. Bridging ecology and conservation: from ecological networks to ecosystem function. *Journal of Applied Ecology* 2017, 54, 371–379. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03000348/document>, <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12769>
43. Hodgson JA, Moilanen A, Wintle BA, Thomas CD (2011) Habitat area, quality and connectivity: striking the balance for efficient conservation. *J Appl Ecol* 48:148–152. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01919.x>
44. Jalkanen, J., Toivonen, T. & Moilanen, A. Identification of ecological networks for land-use planning with spatial conservation prioritization. *Landscape Ecol* 35, 353–371 (2020). URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10980-019-00950-4#Sec1>, <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00950-4>
45. MacArthur R. H., Wilson E. O. (2001). *The Theory of Island Biogeography*. Princeton: Princeton University Press, 224.
46. Resolution No 3 Concerning the setting up of a Pan-European Ecological Network. (1996). Council of Europe. The Standing Committee of the Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. 1996. Available at: <https://rm.coe.int/16807467d3> (Accessed: 11 April 2019)
47. Resolution No 4 Listing endangered natural habitats requiring specific conservation measures. (1996). Council of Europe. The Standing Committee of the Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. Available at: <https://rm.coe.int/16807469e7/> (Accessed: 11 April 2019)
48. Resolution No 5 Concerning the rules for the Network of Areas of Special Conservation Interest (Emerald Network). (1998). Council of Europe. The Standing Committee of the Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. Available at: <https://rm.coe.int/1680746bfa> (Accessed: 11 April 2019)
49. Resolution No.6 listing the species requiring specific habitat conservation measures. 1998. Council of Europe. The Standing Committee of the Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. Available at: <https://rm.coe.int/1680746afc> (Accessed: 11 April 2019)
50. Resolution No. 8 on the national designation of adopted Emerald sites and the implementation of management, monitoring and reporting measures (2012). Council of Europe. The Standing Committee of the Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. Available at: <https://rm.coe.int/1680746515> (Accessed: 11 April 2019)
51. Recommendation No 16 of the standing committee on areas of special conservation interest. (1989). The Standing Committee of the Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. Available at: <https://rm.coe.int/1680746c25> (Accessed: 11 April 2020) [in English]
52. Recommendation No. 157 on the status of candidate Emerald sites and guidelines on the criteria for their nomination (2011). Council of Europe. The Standing Committee of the Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. Available at: <https://rm.coe.int/1680746515> (Accessed: 11 April 2019)
53. Emerald Network - General Viewer. European Environment Agency. Available at: <https://emerald.eea.europa.eu/> (Accessed: 1 February 2021)

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 23 Mars 2021

Accepted 23 June 2021

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 англомовним 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. Електронна версія оформлюється у форматі Microsoft Word, шрифт Times New Roman, розмір 14, міжрядковий інтервал 1,5, всі поля по 2 см, відступ для абзацу – 0,75 см. **Жирним** шрифтом виділяються підзаголовки у статті. Ілюстрації, включаючи графіки і схеми, мають бути розміщені безпосередньо в тексті, а також подані окремими файлами. Скрізь, де можливо, доцільніше використовувати графіки, а не таблиці. Орієнтація сторінок – книжкова. Вирівнювання слід робити по ширині сторінки.

Згідно вимог ДАК України оригінальна стаття у фаховому виданні має складатися з таких розділів:

1. **Постановка проблеми** у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.

2. **Аналіз останніх досліджень і публікацій**, в яких започатковано розв'язання порушеної проблеми, на які спирається автор; виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття.

3. **Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми**, яким присвячується стаття;

4. **Формулювання мети статті** (постановка завдання).

5. **Виклад основного матеріалу дослідження** з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

6. **Висновки** з дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі.

Для статей необхідно вказати УДК, подати назву (до 10 слів), анотацію (не менше ніж 1800 знаків) та ключові слова (8-10) українською й російською мовами.

На окремому аркуші надається інформація про авторів (прізвище, ім'я та по-батькові, повна назва організації, посада, вчений ступінь і звання, поштова адреса, телефон, e-mail, ORCID) українською, російською й англійською мовами. Кількість авторів не повинна перевищувати 3 (як виключення – до 5). Перелік посилань оформлюється згідно з ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. До переліку обов'язково повинна бути включена література за останні п'ять років, у тому числі закордонна, а сам перелік повинен містити не менше ніж 20 посилань.

Також є необхідним розгорнутий реферат англійською мовою, оформлений згідно міжнародних вимог до наукових видань. Реферат повинен мати:

- обсяг не менше ніж 2500 знаків,
- інформативність (не містити загальних слів),
- оригінальність (не бути калькою російської або української анотації),
- змістовність (відображати головний зміст статті та результати досліджень),
- структурованість (наявність обов'язкових елементів: *мета, методика, результати, наукова новизна, практична значимість, ключові слова*).

Після реферату необхідно навести **References** – перекладений англійською список використаних джерел, який має бути оформлений згідно міжнародного стандарту APA (American Psychological Association). До списків використаної літератури у статтях необхідно додавати DOI джерел (за наявності).

Рукописи, не оформлені належним чином, не приймаються до публікації.

Редакція залишає за собою право проводити редакційну правку рукопису.

У разі переробки статті авторами датою надходження рукопису статті в редакцію приймається дата її повторного надсилання. За відмови у публікації роботи рукописи статей авторам не повертаються.

При підтвердженні позитивного рішення на публікацію статті, автор має оформити та надіслати згоду на публікацію та оприлюднення персональних даних.

Зразок оформлення статті :

УДК 551.24.548:242.7:248(477)

Олексій Вацлавович Барташук,

к. геол. н., доцент, зав. відділу газових ресурсів Українського науково-дослідного інституту природних газів, Гімназійна наб., 20, м. Харків, 61010, Україна,
e-mail: alekseybart@gmail.com, <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 внутрішньоплитної геоструктури Сарматської плити. ...

Ключові слова: деформації горизонтального здвигу, структурний рисунок, механізми тектонічної течії, структурно-кінематичний парагенез.

А.В. Барташук. СИСТЕМНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ДИЗ'ЮНКТИВНОЙ ТЕКТониКИ КОНСОЛИДИРОВАННОГО ФУНДАМЕНТА ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОГО ПАЛЕОРИФТА. Статья является заключительной частью трилогии, освещающей системную организацию разломной тектоники кристаллического фундамента Днепровско-Донецкого палеорифта (ДДП). При региональных геотектонических исследованиях структурных рисунков разломных систем докембрийского фундамента впервые выявлены ансамбли структур тектонического течения, которые вызваны сдвиговыми деформациями кристаллических горных пород и горизонтальными перемещениями геомассивов, в пределах этой рифтогенной внутриплитной геоструктуры Сарматской плиты. ...

Ключевые слова: деформации горизонтального сдвига, структурный рисунок, механизмы тектонического течения, структурно-кинематический парагенез.

Вступ. Встановлено, що внутрішня кінематика літосфери проявляється у вертикальних і горизонтальних переміщеннях геомас. Відбитками перших є діапіри та магматичні осередки різного речовинного складу і глибини проникнення. Структурними проявами горизонтальних переміщень гірських порід є деформаційні структури тектонічної течії (СТТ). Тому, при вивченні тектонічної будови геоструктур слід враховувати ймовірність комбінованого ефекту двох головних структуроутворюючих факторів – магматичного та тектонічного, який реалізується за механізмами об'ємної течії гірських порід. ...

Література

1. Пейве, А. Тектоника и магматизм [Текст] / А. Пейве. – М. : Изд. АН СССР. Сер. геол., 1961. – № 3. – С. 36-54.
2. Горизонтальные перемещения по разломам и некоторые методы их изучения [Текст] / В. Буртман, А. Лукьянов, А. Пейве, С. Руженцев // Разломы и горизонтальные движения земной коры. – М. : Изд. АН СССР, 1963. – С. 5-33.

UDC 551.243.8:550.8(477)

Oleksii Bartashchuk,

PhD (Geology), Associate Professor, Head of Department of natural gas resources,
Ukrainian Scientific Research Institute of Natural Gases, 20 Gimnaziyna Naberejna, Kharkiv, 61010, Ukraine,
e-mail: alekseybart@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-7831-6134>

**SYSTEM ORGANIZATION OF DISJUNCTIVE TECTONICS OF
CONSOLIDATED BASEMENT IN DNIPRO-DONETS PALEORIFT**

ABSTRACT

Formulation of the problem. Getting knowledge of the processes and mechanisms of the rocks tectonic flow is important both for geotectonics and for oil and gas geology as horizontal displacements and rotation of geological blocks in creep dislocations form secondary deformation structures. ...

Keywords: horizontal strike-slip deformation, structural pattern, tectonic flow structure, structural kinematic paragenesis.

References

1. Peyve, A. (1961). Tectonics and magmatism. M., Academy of Sciences of USSR, Vol. Geol., 36-54.
2. Burtman, V., Luk'yanov, A., Peyve, A., Ruzhentsev, S. (1963). Horizontal displacements by faults & some methods of study. M., Academy of Sciences of USSR, 5-33.

Наукове видання

ВІСНИК
ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
імені В. Н. КАРАЗІНА

серія
«ГЕОЛОГІЯ. ГЕОГРАФІЯ. ЕКОЛОГІЯ»

Випуск 55

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Українською, російською та англійською мовами

Редактор К. А. Нємець
Технічний редактор О. В. Чуєнко
Комп'ютерне верстання О. В. Чуєнко
Відповідальний за випуск К. А. Нємець

Підписано до друку 30.11.2021 р. Формат 60x84/8. Папір офсетний.
Друк цифровий. Ум. друк. арк. 28,6. Обл.–вид. арк. 33,2.
Наклад 100 пр. Зам. № 1229/8–21. 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.