

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

Для науковців, фахівців і викладачів вищих закладів освіти.

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

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

Затверджено до друку рішенням Вченої ради Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (протокол № 9 від 30.05.2022 р.).

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

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

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

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

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

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

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

Статті пройшли внутрішнє та зовнішнє рецензування.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

INTERNATIONAL COUNCIL

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

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

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

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

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

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

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

З М І С Т

ГЕОЛОГІЯ

Boyarina N. I.

LATE PENNSYLVANIAN VEGETATION CHANGES
IN THE DONETS BASIN: SYNDYNAMIC ASPECT 8

*Височанський І. В., Яковлев А. О., Самчук І. М.,
Волосник Є. Є., Некрасов А. О., Купчинська М. В.*

УМОВИ ФОРМУВАННЯ НЕСКЛЕПІННИХ ПАСТОК ВУГЛЕВОДНІВ
У ПРИШТОКОВИХ ЗОНАХ ПІВДЕННО-СХІДНОЇ ЧАСТИНИ
ДПІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ 24

Генералова Л. В., Степанов В. Б., Хом'як Л. М., Костюк О. В., Генералов А. В.

ЗАЛІЗО-МАНГАНОВА МІНЕРАЛІЗАЦІЯ В ЕОЦЕНОВИХ ВІДКЛАДАХ
СКИБИ ПАРАШКА (СКИБОВИЙ ПОКРИВ, УКРАЇНСЬКІ КАРПАТИ) 49

Горайнов С. В.

АЛЬПІЙСЬКІ ТЕКТОНІЧНІ РУХИ І СОЛЯНА ТЕКТОНІКА СХІДНОЇ УКРАЇНИ 67

Поверенний С. Ф., Лур'є А. Й., Чуєнко О. В., Піддубна О. В.

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ГАЗОНАСИЧЕНОСТІ
ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ ГАЗОВИХ РОДОВИЩ ДДЗ
НА ОСНОВІ ПЕТРОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ 76

Хрущов Д. П., Ремезова О. О., Василенко С. П., Шевчук О. А., Яременко О. В.

ЦИФРОВА СТРУКТУРНО-ЛІТОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ І ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧНА
ХАРАКТЕРИСТИКА КОПИТКІВСЬКОГО РОДОВИЩА ФОСФОРИТІВ 88

Яковенко М. Б., Хоха Ю. В., Любчак О. В.

ГЕОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ НАКОПИЧЕННЯ І МІГРАЦІЇ
ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ТОРФАХ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ 105

ГЕОГРАФІЯ

Lavryk O. D., Korinnyi V. I., Kyryliuk L. M., Tymbaliuk V. V.

HEIGHT DIFFERENTIATION OF VALLEY-RIVER LANDSCAPES
OF THE RIGHT-BANK UKRAINE 122

Melnychuk A. L., Denysenko O. O., Hnatiuk S. S.

NEW FRAMEWORKS AND EXPERIENCES IN LOCAL PLANNING:
LUHANSK REGION AND THE STATE OF MAIN INSTRUMENTS 132

Niemets K. A., Sehida K. Yu., Niemets L. M., Kravchenko K. O.,

Kobylin P. O., Telebienieva Ie. Yu., Kliuchko L. V.

METHODOLOGY OF HUMAN-GEOGRAPHICAL RESEARCHES:
CONTEMPORARY APPROACHES AND METHODS 143

Пясецька С. І., Щеглов О. А.

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ У РОЗПОВСЮДЖЕННІ ПОЛЯ ВІДКЛАДЕНЬ ОЖЕЛЕДІ
НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ПРОТЯГОМ 1991-2020 рр. ВІДНОСНО 1981-2010 рр. 159

<i>Reshetchenko S. I., Dmitriiev S. S., Cherkashyna N. I., Tkachenko T. H., Sych V. A.</i> CLIMATE MONITORING AS AN INDICATOR OF THE HYDROLOGICAL CONDITION OF THE SIVERSKY DONETS RIVER BASIN	172
<i>Svitlychnyi O. O., Piatkova A. V.</i> PROBLEMS OF SPATIALLY DISTRIBUTED QUANTITATIVE EVALUATION OF SOIL EROSION LOSSES	184

ЕКОЛОГІЯ

<i>Denysyk H. I., Mizina S. K.</i> TRUBIZH WATER MANAGEMENT PARADYNAMIC LANDSCAPE-TECHNICAL SYSTEM	198
<i>Komilova N. K., Latipov N. F.</i> CLASSIFICATION OF SETTLEMENTS ON THE BASIS OF THE ECOLOGICAL SITUATION IN THE NAVOI REGION AND THE FACTORS AFFECTING THE HEALTH OF THE POPULATION	209
<i>Melniichuk M. M., Horbach V. V., Horbach L. M., Vovk O. P.</i> AIR POLLUTION OF THE LARGEST CITIES IN THE VOLYN REGION: PRECONDITIONS, CONSEQUENCES AND WAYS OF SOLUTION OF THIS PROBLEM	214
<i>Міхалкова Н. В., Кононенко А. В., Удалов І. В.</i> АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕХНОГЕННИХ ОБ'ЄКТІВ ЛИСИЧАНСЬКО-РУБІЖАНСЬКОГО ПРОМВУЗЛА НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА	225
<i>Rybalova O. V., Korobkova H. V., Hudzevich A. V., Artemiev S. R., Bondar O. B.</i> RISK ASSESSMENT FOR PUBLIC HEALTH FROM AIR POLLUTION IN THE INDUSTRIAL REGIONS OF UKRAINE	240
<i>Сафранов Т. А., Берлінський М. А., Ель Хадрі Ю., Сліже М. О.</i> ОЦІНКА ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЧОРНОГО МОРЯ: СТАН, ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ	255
<i>Tarikhazer S. A.</i> ASSESSMENT OF ECOLOGICAL-GEOMORPHOLOGICAL STRENGTH AND RISK OF GEOSYSTEMS OF THE NORTH-EASTERN SLOPE OF THE GREAT CAUCASUS (WITHIN AZERBAIJAN)	264
<i>Юхно А. С., Опара В. М., Бузіна І. М.</i> УДОСКОНАЛЕННЯ ПОЛОЖЕНЬ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОГО УПРАВЛІННЯ ЗЕМЕЛЬНИМИ РЕСУРСАМИ ЗА ЗОНАЛЬНИМ АСПЕКТОМ	277
ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО «ВІСНИКА ХАРКІВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ»	296

CONTENT

GEOLOGY

Boyarina Nataliia

- LATE PENNSYLVANIAN VEGETATION CHANGES
IN THE DONETS BASIN: SYNDYNAMIC ASPECT 8

*Vysochanskiy Ilarion, Yakovlev Andriy, Samchuk Iryna,
Volosnyk Yevhenii, Nekrasov Andrii, Kupchinska Mariia*

- CONDITIONS FOR THE FORMATION OF NON-ANTICLINAL
HYDROCARBON TRAPS IN ZONES AROUND SALT STOCKS
OF THE SOUTH-EASTERN PART OF THE DNEPR-DONETSK DEPRESSION 24

Heneralova Larysa, Stepanov Vladimir, Khomyak Leonid, Koctyuk Oleksandr, Heneralov Anton

- IRON-MANGANESE MINERALIZATION IN EOCENE DEPOSITS
OF PARASHKA SKYBA (SKYBOV NAPPE, UKRAINIAN CARPATHIANS) 49

Goryainov Sergey

- ALPINE TECTONIC MOVEMENTS
AND SALT TECTONICS OF EASTERN UKRAINE 67

Povieriennyi Sergey, Lurye Anatoliy, Chuienko Oleksandr, Pidubna Olena

- SPECIAL CONSIDERATIONS OF DETERMINING THE GAS SATURATION FACTOR
OF RESERVOIR ROCKS OF DNEPER-DONETS DEPRESSION GAS FIELDS
ON THE BASIS OF PETROPHYSICAL STUDIES 76

Khrushchov Dmytro, Remezova Olena, Vasylenko Svitlana, Shevchuk Olena, Yaremenko Olga

- DIGITAL STRUCTURAL-LITHOLOGICAL MODEL AND GEOLOGICAL-
GENETIC CHARACTERISTICS OF KOPYTKOVSKY PHOSPHORITE DEPOSIT 88

Yakovenko Myroslava, Khokha Yurii, Lyubchak Oleksandr

- GEOCHEMICAL FEATURES OF THE ACCUMULATION AND MIGRATION
OF HEAVY METALS IN THE PEATS OF THE LVIV REGION 105

GEOGRAPHY

Lavryk Oleksandr, Korinnyi Volodymyr, Kyryliuk Leonid, Tsymbaliuk Valentyna

- HEIGHT DIFFERENTIATION OF VALLEY-RIVER
LANDSCAPES OF THE RIGHT-BANK UKRAINE 122

Melnychuk Anatolii, Denysenko Olena, Hnatiuk Svitlana

- NEW FRAMEWORKS AND EXPERIENCES IN LOCAL PLANNING:
LUHANSK REGION AND THE STATE OF MAIN INSTRUMENTS 132

Niemets Kostiantyn, Sehida Kateryna, Niemets Liudmyla, Kravchenko Kateryna,

Kobylin Pavlo, Telebienieva Ievgeniia, Kliuchko Liudmyla

- METHODOLOGY OF HUMAN-GEOGRAPHICAL RESEARCHES:
CONTEMPORARY APPROACHES AND METHODS 142

Pyasetska Svitlana, Shcheglov Oleksandr

- CURRENT TRENDS IN THE DISTRIBUTION OF ICE DEPOSIT FIELDS
ON THE TERRITORY OF UKRAINE DURING 1991-2020 REGARDING 1981-2010 159

Reshetchenko Svitlana, Dmitriiev Sviatoslav, Cherkashyna Nadiia,

Tkachenko Tetiana, Sych Vitaliy

CLIMATE MONITORING AS AN INDICATOR OF THE HYDROLOGICAL
CONDITION OF THE SIVERSKY DONETS RIVER BASIN 172

Svitlychnyi Oleksandr, Piatkova Alla

PROBLEMS OF SPATIALLY DISTRIBUTED
QUANTITATIVE EVALUATION OF SOIL EROSION LOSSES 184

ECOLOGY

Denysyk Hryhoriy, Mizina Sofiia

TRUBIZH WATER MANAGEMENT
PARADYNAMIC LANDSCAPE-TECHNICAL SYSTEM 198

Komilova Nilufar, Latipov Normurod

CLASSIFICATION OF SETTLEMENTS ON THE BASIS
OF THE ECOLOGICAL SITUATION IN THE NAVOI REGION AND
THE FACTORS AFFECTING THE HEALTH OF THE POPULATION 209

Melniichuk Mykhailo, Horbach Victoriia, Horbach Liudmyla, Vovk Oleksandr

AIR POLLUTION OF THE LARGEST CITIES IN THE VOLYN REGION:
PRECONDITIONS, CONSEQUENCES AND
WAYS OF SOLUTION OF THIS PROBLEM 214

Mikhalkova Nina, Kononenko Alina, Udalov Igor

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF TECHNOGENIC FACILITIES
OF THE LYSYCHANSK-RUBIZHNE INDUSTRIAL HUB
ON THE ECOLOGICAL STATE OF THE NATURAL ENVIRONMENT 225

Rybalova Olha, Korobkova Hanna, Hudzevich Anatoliy, Artemiev Sergey, Bondar Oleksandr

RISK ASSESSMENT FOR PUBLIC HEALTH FROM AIR POLLUTION
IN THE INDUSTRIAL REGIONS OF UKRAINE 240

Safranov Tamerlan, Berlinsky Nikolai, El Hadri Youssef, Slizhe Mariia

ASSESSMENT OF ECOSYSTEM SERVICES OF THE NORTH-WESTERN PART
OF THE BLACK SEA: STATE, PROBLEMS AND PROSPECTS 255

Tarikhazer Stara

ASSESSMENT OF ECOLOGICAL-GEOMORPHOLOGICAL STRENGTH
AND RISK OF GEOSYSTEMS OF THE NORTH-EASTERN SLOPE
OF THE GREAT CAUCASUS (WITHIN AZERBAIJAN) 264

Iukhno Alona, Opara Volodymyr, Buzina Iryna

IMPROVING OF ECOLOGICAL AND ECONOMIC MANAGEMENT
OF LAND RESOURCES BY WITH ZONAL ASPECT 277

REQUIREMENTS TO THE MATERIALS SUBMITTED TO

THE “VISNYK OF V. N. KARAZIN KHARKIV NATIONAL UNIVERSITY” 296

ГЕОЛОГІЯ

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-01>
UDC 561+581.9:551.735.2(477.6)

Received 8 December 2021
Accepted 13 January 2022

Nataliia I. Boyarina

PhD (Geology), Senior Research, Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine,
55-b O. Gonchara St., Kyiv, 01601, Ukraine,
e-mail: nboyarina@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-5316-4090>

Late Pennsylvanian vegetation changes in the Donets Basin: syndynamic aspect

ABSTRACT

The purpose of the article. The article is devoted to the study of one from forms of syndynamics in Late Pennsylvanian time, namely phytocoenogenesis. The study of the phytocoenogenesis of ancient plant communities, i.e., the formation of new types of palaeophytocoenoses, is based on the research of vegetation diversity that is reflected in the ecological-floristic classification of the Late Pennsylvanian phytocoenoses of the Donets Basin by the Brown-Blanquet method.

Material and research methods. The phytocoenogenetic researches consisted of the analysis of the changes of the species and syntaxonomic composition of vegetation cover throughout the Late Pennsylvanian. The peculiarities and main factors of phytocoenogenesis have been identified on the palaeosyntaxa in rank of the orders of the following vegetation types: wetland forests and woodlands of coastal lowlands, wetland forests and woodlands of deltaic plains, seasonally dry woodlands of river valleys and lagoon coasts. The palaeophytocoenotic data are based on the plant fossil assemblages from lacustrine, lacustrine-swamp, lacustrine-deltaic, floodplain-lacustrine, floodplain and lacustrine-lagoon deposits in more than 17 localities and 11 boreholes located within the Bakhmutka and Kalmius-Toretska troughs.

Research results. Based on the analysis of the phytocoenogenetic processes (progressive and regressive development of plant communities) and the manifestations of phytocoenogenesis (formation of new communities and loss of old communities) in the development of the Late Pennsylvanian vegetation, three models of the formation of new communities and one model of the loss of communities from vegetation cover have been proposed. Each of the models reveals the relationship between the phytocoenogenetic processes and environmental changes. The evolution-progression model reflects the progressive development of palaeophytocoenoses that is expressed by the appearance of evolutionary new coenopopulations in the conditions of the expansion of landscape types (expanding biotopes). The migration-progression model conforms to the progressive development of palaeophytocoenoses as a result of the migration of plants from decreasing landscape types to expanding ones (expanding biotopes). The substitution-regression model is consistent with the regressive development of palaeophytocoenoses along with structure simplification and dominant substitution of plant communities due to the contraction of certain landscape types (decreasing biotopes). The elision-regression model of the loss of communities reflects the regressive development of palaeophytocoenoses that is expressed by the decrease in the number of coenopopulations and the number of individuals in remaining coenopopulations in the conditions of the contraction of some landscape types (decreasing biotopes).

The scientific novelty. For the first time, the Late Pennsylvanian vegetation dynamics (syndynamic) have been studied. The proposed three models of the formation of new communities and one model of the loss of communities reveal the main directions in evolution of palaeophytocoenoses and give the first ideas about phytocoenogenesis in late Palaeozoic times.

Keywords: *vegetation cover, phytocoenogenesis, Late Pennsylvanian, Donets Basin.*

In cites: Boyarina N. I. (2022). Late Carboniferous vegetation cover changes in the Donets Basin: syndynamic aspect. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (56), 8-23. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-01>

Introduction. The vegetation research of the geological past is based on the study of plant fossil remains along with the facial features of plant-bearing deposits and the subsequent reconstructions of palaeophytocoenoses. The Carboniferous and early Permian plant communities in varying degrees of detail have been reconstructed by W. Gothan&O. Gimm, F. Němejc, A.M. Krishtafovich, M.D. Zalessky, G.P. Radchenko, A. Cridland&J. Morris, M. Barthel, A. Scott, A.K. Shchegolev, O.P. Fisunenکو, M.V. Oshurkova, Iwaniw E., Falcon-Lang H.J., N.I. Boyarina, S.V. Naugolnykh, I.A. Ignatiev, etc.

The present study focuses on the Late Pennsyl-

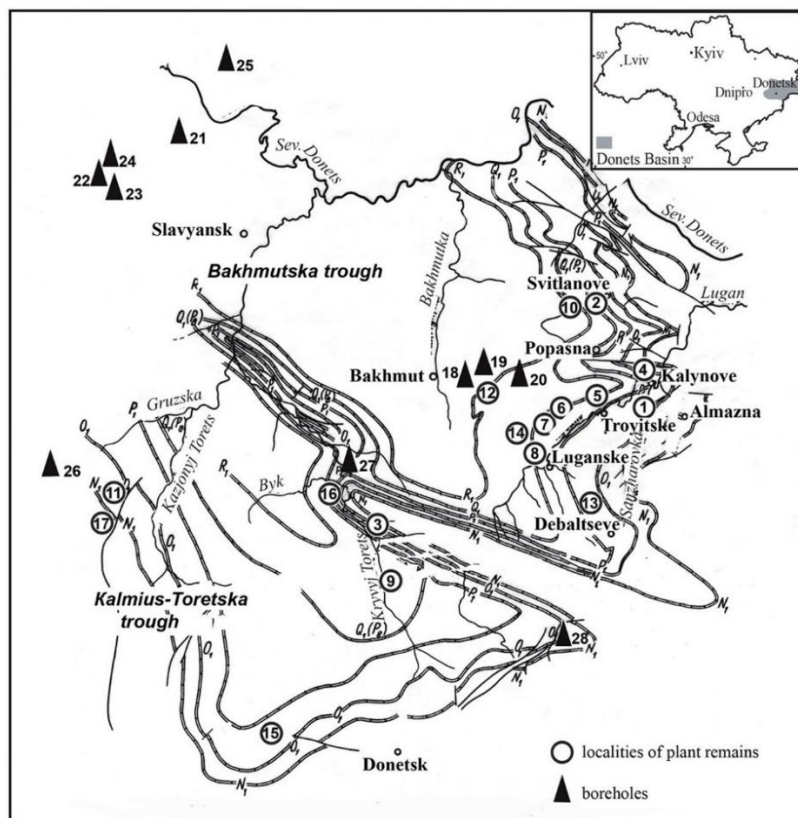
vanian vegetation dynamics (syndynamics), including the issues of the evolution of ancient plant communities, i.e., phytocoenogenesis. The phytocoenogenetic researches involve, at the outset, the identification of the floristic composition, ecological-coenotic structure and habitats of palaeophytocoenoses for successive long-time intervals, then the analysis of changing vegetation diversity reflected in the classification of phytocoenoses [22-24].

The detailed studies of the plant fossil assemblages of the Donetsk Basin from the complete strata of the upper Carboniferous deposits have been conducted by A.K. Shchegolev [27-29] and N.I.

Boyarina [6-8, 35]. The current study of vegetation dynamics is based on these published data as well as the reconstructions and classification of the late Carboniferous (Late Pennsylvanian) plant communities of the Donetsk Basin performed by the author in recent years that have been partly published [9, 10]. The detailed description of the late Carboniferous plant communities and its classification are the subject of a forthcoming publication. This paper repre-

sents the review of transformations of plant palaeocommunities and the first ideas about phytocoenogenesis in the late Carboniferous.

Geological setting and material. The Donetsk Basin located in eastern Ukraine is the part of the Dnieper-Donets intracratonic rift basin (Fig. 1). In the Carboniferous the territory of the Donetsk Basin was periodically covered by shallow epicontinental seas, resulting in the formation of the powerful strata of mi-



1 – Kartanash, 2 – Svitlanove, 3 – Chernyshove, 4 – Kalynove, 5 – Troyitske, 6 – Krasnuj Pahar, 7 – Myronivske, 8 – Luganske, 9 – Novgorodske, 10 – Kamyshvaha, 11 – quarry Kalynove, 12 – Klynove, 13 – gully near the Volchanivka village, 14 – gully near the Roty railway station, 15 – gully Memryk near the Galytsynivka village, 16 – gully Kravetska near the Ivanopilje village, 17 – quarry near the Keramik village, 18 – borehole 4377, 19 – borehole 4385, 20 – borehole 4395, 21 – borehole 4453, 22 – borehole 743, 23 – borehole 741, 24 – borehole 181, 25 – borehole 811, 26 – borehole 239, 27 – borehole 232, 28 – borehole A-3

Fig. 1. Scheme of research region with the structure plan of suite limestones (from the fund materials of PGO "Donbas geology" 1985) and the position of the localities of plant remains

xed carbonate-siliciclastic sediments. The upper Carboniferous deposits, which are consisted of the alternating fluvio-deltaic and nearshore-marine facies, was divided into suites (= formations) based of limestone marker beds and correspond to three regional stages, namely Toretskian, Kalynovian, Myronivskian [20].

The research of the Late Pennsylvanian vegetation cover was conducted on the basis of plant fossils from the Toretskian and Kalynovian deposits that were studied by A.K. Shchegolev [27-29] and from the upper Kalynovian and Myronivskian deposits studied by the author of this paper [6-8, 35]. The data about the Kasimovian (Toretskian) and Gzhelian (Kalynovian and Myronivskian) plant communities are based of the plant fossil assemblages from lacustrine, lacustrine-swamp, lacustrine-deltaic, floodplain-lacustrine, floodplain and lacustrine-lagoon deposits in more than 17 localities and 11 boreholes that located within the Bakhmutska and Kalmius-Toret-

ska troughs (Fig. 1).

Analysis of main research and publications.

The study of the Late Pennsylvanian vegetation is carried out in accordance with the views about the development of phytocoenoses in vegetation science, using the terminology, which is applied for the research of today's vegetation dynamics [1, 11-15, 24, 26, 31, 33, 39, 45]. In vegetation dynamics (syndynamics) two basic forms have been described. The various types of irreversible cyclic changes in plant communities, which resulted to the formation of already existing combinations of species, are referred as successions [13, 22-25, 45]. In contrast to successions, the evolution of phytocoenoses, as the second form of syndynamics, leads to the formation of the completely new combinations of altered flora in response to changing environmental conditions [11-12, 18-19, 22-24, 39, 44, 45]. In the evolution of phytocoenoses, florogenesis (historical process of flora formation) and phytocoenogenesis (formation of new

phytocoenoses) are distinguished. The phytocoenogenesis (or phylocoenogenesis, according to V.N. Sukachev [23-24]), as the sequential evolution of plant communities over a long geological time leading to the appearance of new types of phytocoenoses (associations, formations, vegetation types), occurs in parallel with the evolution of species constituting phytocoenoses and is traced in the change of vegetation syntaxonomic units [11, 23-24, 32-33]. Several ways of the commission or basic acts of phytocoenogenesis are differentiated: speciogenesis – gradual transformation of one community into another due to the evolutionary change of species that make up its composition, especially dominants and subdominants; esogenesis – transformation of communities by the changes of species role, in particular, when one dominant is changed by another; transgenesis – transformation of some phytocoenoses into others by invasion (embedding of niche) or elision (disappearance of niche); substitution – transformation of communities by the replacement of ecological niches due to competitive exclusion of species [12, 21]. Such phytocoenogenetic processes have been best studied for the Quaternary period of the Earth's history [14, 24].

The research of the Pennsylvanian vegetation is predominantly undertaken at the biome level [34, 36-38]. In the Pennsylvanian vegetation of the Euramerican tropical region, two tropical biomes have been identified, namely wetland and seasonally dry. Throughout Late Pennsylvanian time in the conditions of gradually increasing aridization and seasonality, the periodic changes in distribution of wetland forests and seasonally dry woodlands as well as the change of the role of major plant groups (lycophods, ferns, pteridosperms, horsetails, cordites, and conifers) in the composition of biomes have been recognized. The spread and dominance of individual biomes are correlated with the global sea-level and climate changes that are associated with the glacial-interglacial intervals of the Late Palaeozoic Ice Age [38, 40-43].

Research methods. The study of vegetation dynamics (phytocoenogenetic processes) throughout the Late Pennsylvanian consists of the analysis of the changes of the floristic composition of plant communities and the syntaxonomic composition of the Kasimovian and Gzhelian vegetation of the Donetsk Basin. The syntaxonomic composition of vegetation cover was identified based on the conducted ecological-floristic classification of the Kasimovian and Gzhelian plant communities by the Braun-Blanquet method [9, 10].

The object of the study of phytocoenogenetic processes is the florocoenotic complex that includes the sum of similar species in ecological-coenotic strategy and variability dynamics [14, 15, 30, 31]. Three groups of species are distinguished in modern

florocoenotic complexes: 1 – relict species of preceding flora, 2 – ancient core of modern flora, 3 – autochthonous products of species transformation [15]. Based on the analysis of florocoenotic complexes, four phytocoenogenetic manifestations can be identified: (1) progressive development (increase in the number of coenopopulations, increase in species abundance, strong transformation of external environments into phytocoenotic ones, mesophytization of communities); (2) regressive development (decrease in the number of coenopopulations, decrease in species abundance, weak transformation of external environments into phytocoenotic ones, xerophytization or hygrophytization of communities); (3) a loss of phytocoenoses from vegetation cover; (4) an appearance of new types of phytocoenoses [14, 15].

Taking into consideration the possibilities of the use of plant fossils in palaeophytocoenogenetic researches, the study of syndynamics concentrated on the identification of the role of individual species in florocoenotic complexes (ancient elements of flora and new species) and the foregoing directions in the development of the late Carboniferous phytocoenoses. For the definition of species abundances as the important indicator of phytocoenogenetic processes, the quantity of plant remains in fossil assemblages and the number of locations were taken into account.

Research results and discussions

Phytocoenogenetic analysis of the Late Pennsylvanian vegetation cover of the Donetsk Basin.

The study of phytocoenogenetic processes is based on the analysis of the florocoenotic complexes that include the diagnostic species of the palaeosyntaxa of the Late Pennsylvanian vegetation in the Donetsk Basin. It should be emphasized that the diagnostic species of syntaxa are considered as the indicators of environmental conditions in the Braun-Blanquet classification system and reflect the ecological-coenotic feature of phytocoenoses [18]. The peculiarities and main factors of phytocoenogenesis are identified on the basis of the palaeosyntaxa in rank of the orders of the following vegetation types: wetland forests (WF1) and woodlands (WW1) of coastal lowlands, wetland forests (WFp) and woodlands (WWp) of deltaic plains, seasonally dry woodlands of river valleys (SWv) and lagoon coasts (SWc). The changes of vegetation cover of different landscapes associated with changing tectonic processes and environmental conditions are considered for four time intervals, which correspond to the upper Carboniferous regional stratigraphic subdivisions (Fig. 2).

The Toretskian vegetation cover developed under the conditions of ascending tectonic movements in the beginning of Toretskian time and the predominance of descending movements in the next bigger part of this period [3-5]. The descending movements were accompanied by extensive transgressions as

well as the spread of swampy territories with rich wetland vegetation [27].

The Toretiskian vegetation was represented by the plant communities of three orders (Fig. 2). The florocoenotic complex of the wetland forest communities of coastal lowlands of the order *Neuroptero ovata-Crenulopteretalia lamuriana* Boyarina ms. (WF1-1) is characterised by the appearance of numerous new coenopopulations (19 form-species, including the endemic species of *Sphenopteris rossica* Zalesky) and the increase in abundance of individual species (Fig. 3). According to species abundance (rich plant fossil assemblages), the calamitaleans with stems of *Calamites suckowii* Brongniart and with foliage of *Annularia sphenophylloides* (Zenker) Gutbier, *A. stellata* Schlotheim ex Wood, *Asterophyllites equisetiformis* (Sternberg) Brongniart, the ferns with foliage of *Crenulopteris lamuriana* (Heer) Wittry et al., *P. arborescens* (Schlotheim) Brongniart, *P. hemitelioides* Brongniart, *Nemejcopteris feminaeformis* (Schlotheim) Barthel, *Sphenopteris rossica* and the pteridosperms with foliage of *Neuropteris ovata* Hoffmann played a major role in wetland forests. These changes indicate the progressive development of wetland forest communities within coastal lowlands. The analysis of the florocoenotic complex of the wetland forest communities of deltaic plains of the order *Subsigillario-Acithecetalia polymorpha* Boyarina ms. (WFp-1) testifies to the progressive development too, which was manifested in the appearance of more than 10 new coenopopulations (Fig. 4). These coenopopulations are mainly presented by the subsigillarian lycopsids, such as *Subsigillaria biangula* (Weiss) Shchegolev, *S. brardii* (Brongniart) Weiss emend. Shchegolev, *S. halensis* (Weiss) Shchegolev, *S. sulcata* (Ščurovskij) Shchegolev, *S. weisii* Shchegolev, *Syringodendron angustum* Shchegolev, *S. brardi* Shchegolev. The composition of the seasonally dry woodland communities of river valleys of the order *Cordaito principalis-Odontopteretalia subcrenulata* Boyarina ms. (SWv-1) was replenished by a few new coenopopulations at the beginning and end of Toretiskian time (Fig. 5). It should be noted that the data about the vegetation of river habitats are not sufficient, because the fossil assemblages from floodplain deposits are only composed of rare allochthonous plant remains and these fluvial sediments are presented less than lacustrine-deltaic strata in the Toretiskian section. The exception is the numerous conifer remains that were found at the base of the Toretiskian. These walchian conifers belonged to the woodland conifer-communities, which grew within river valley slopes and plakor areas, and are not considered here in phytocoenogenetic aspect. It follows from the above that the progressive development of the plant communities of coastal lowlands and deltaic plains took place in

middle and late Toretiskian times, during which the lowland areas with a humid climate were widespread.

The Kalynovian vegetation cover developed under the conditions of tectonic regime changes, namely: the short period of descending movements by the longer period of the predominance of ascending ones. The latter period was characterized by the extensive distribution of river networks in a context of the tectonic activation of demolition areas [5].

The Kalynovian vegetation was represented by the new types of wetland forest communities of coastal lowlands (WF1-2) and deltaic plains (WFp-2), as well as seasonally dry woodland communities of river valleys (SWv-1) of the same order as in Toretiskian time (Fig. 2). The florocoenotic complex of the wetland forests of coastal lowlands of the new order *Calamito suckowii-Pecopteretalia densifolia* Boyarina ms. (WF1-2) includes the new coenopopulations, which were represented by the ferns with foliage of *Pecopteris densifolia* (Goepfert) Weiss, *P. platonii* Grand'Eury, *P. oreopteridia* Brongniart. In general, this complex is characterised by the increased species abundance of the ferns with foliage of *Pecopteris densifolia*, *P. arborescens*, *P. bredovii* Germar, *P. unita* Brongniart, *Nemejcopteris feminaeformis* (Fig. 3). Consequently, the formation of new plant communities of coastal lowlands was the result of their progressive development. The wetland forest communities of the new order *Subsigillario-Odontopteretalia schlotheimii* Boyarina ms. (WFp-2) within deltaic plains were also formed due to the progressive development as evidenced by the appearance of up to 10 new coenopopulations, including the endemic species: *Subsigillaria simplex* Shchegolev, *S. donetiana* Shchegolev, *Pecopteris mironovana* Zalesky and Tschirkova (Fig. 4). The communities of deltaic plains were replenished by both new species (pteridosperms and ferns) and some species of the ferns that grew within coastal lowlands in Toretiskian time. The particularity of the plant fossil assemblages from deltaic deposits of the Kalynovian is the more common plant remains of the hygro-mesophytic pteridosperms with foliage of *Neuropteris crassinervis* Shchegolev ms. and *Odontopteris schlotheimii* Brongniart in comparison with the rare remains of subsigillarian lycopsids. The increasing role of hygro-mesophytic pteridosperms may testify about the mesophytization of deltaic plain communities that is another indication of the progressive development of these communities. The florocoenotic complex of the seasonally dry communities of river valleys (SWv-1) shows the increased number of coenopopulations from the end of Toretiskian time without the change of phytocoenotic properties of species in Kalynovian time (Fig. 5). Such phytocoenotic processes demonstrate only the increased species diversity of these woodland communities in the composi-

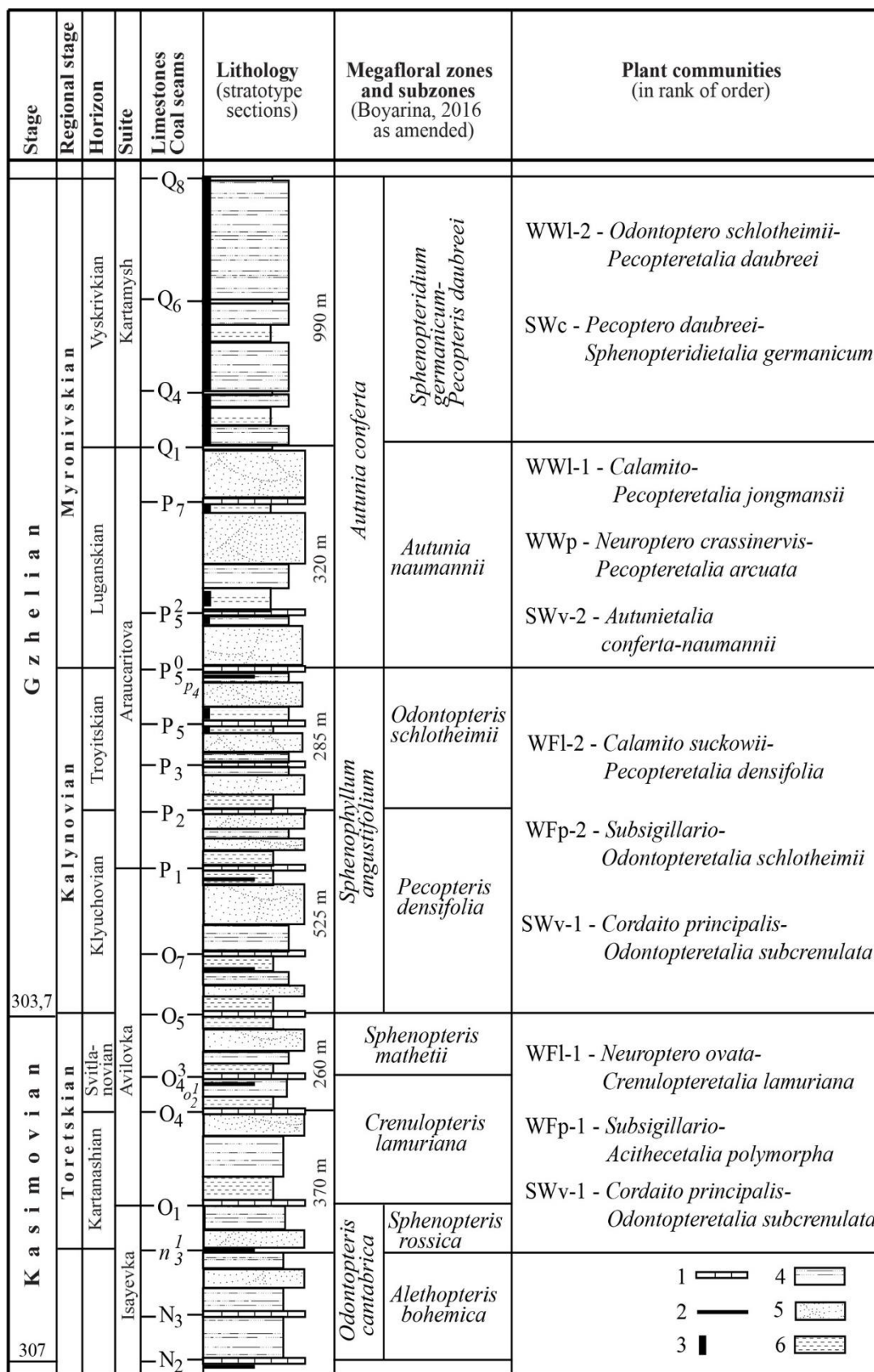
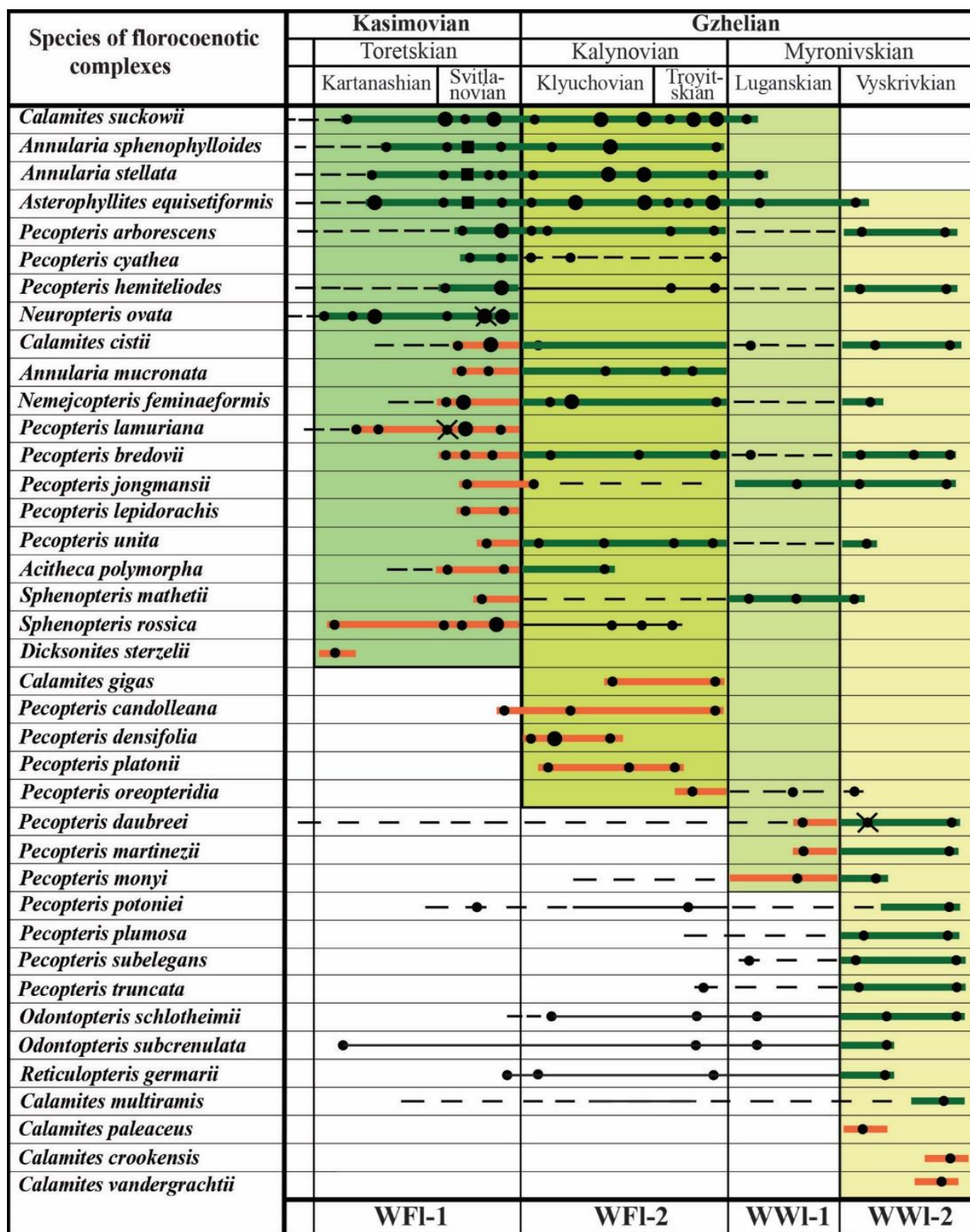


Fig. 2. The upper Carboniferous regional and megafloral subdivisions, lithostratigraphy and the late Carboniferous vegetation of the Donets Basin:
 1 – limestones; 2 – coal seams; 3 – red beds; 4 – siltstones; 5 – sandstones; 6 – mudstones;
 WF1 – wetland forests of coastal lowlands; WW1 – wetland woodlands of coastal lowlands;
 WFp – wetland forests of deltaic plains; WWp – wetland woodlands of deltaic plains;
 SWv – seasonally dry woodlands of river valleys; SWc – seasonally dry woodlands of lagoon coasts



— ancient elements of flora — spreading in other landscape
— new species - - landscape settings are not known
 Quantity of locations: ● - 1-3 ● - 4-6 ■ - 7-10
 Relative quantity of plant remains: from 30 to 50 % - ✕

Fig. 3. Composition of the florocoenotic complexes of tropical wetland forests (WFI) and woodlands (WWI) of coastal lowlands of the Donets Basin

Species of florocoenotic complexes	Kasimovian		Gzhelian		
	Toretskian		Kalynovian		Myronivskian
	Kartanashian	Svitlanovian	Klyuchovian	Troyitskian	Luganskian
<i>Annularia sphenophylloides</i>	●	●	●	●	
<i>Annularia stellata</i>	●	●	●	●	●
<i>Subsigillaria biangula</i>		●			
<i>Subsigillaria brardii</i>	●	●	●	●	●
<i>Subsigillaria halensis</i>		●			
<i>Subsigillaria sulcata</i>	●				
<i>Syringodendron angustum</i>		●	●		
<i>Syringodendron brardii</i>	●	●	●	●	
<i>Subsigillaria weisii</i>		●			
<i>Calamites multiramis</i>	●	---	---	---	---
<i>Calamites suckowii</i>	●	●	●	●	●
<i>Annularia mucronata</i>		●	●	●	
<i>Asterophyllites equisetiformis</i>	●	●	●	●	●
<i>Pecopteris hemitelioides</i>		●	●	●	
<i>Pecopteris potoniei</i>		---	---	---	---
<i>Pecopteris unita</i>		●	●	●	
<i>Pecopteris polymorpha</i>		●	●	●	
<i>Sphenopteris rossica</i>	●	●	●	●	
<i>Calamites gigas</i>			●	●	
<i>Subsigillaria donetciana</i>			●		
<i>Subsigillaria simplex</i>				●	
<i>Pecopteris mironovana</i>			●	●	
<i>Pecopteris paleacea</i>				●	
<i>Pecopteris platonii</i>			●	●	
<i>Odontopteris schlotheimii</i>		---	●	●	●
<i>Neuropteris crassinervis</i>			●	●	●
<i>Neurodontopteris auriculata</i>		●	●	●	●
<i>Reticulopteris germarii</i>		●	●	●	
<i>Pecopteris arcuata</i>					●
	Wfp-1		Wfp-2		WWp

Fig. 4. Composition of the florocoenotic complexes of tropical wetland forests (Wfp) and woodlands (WWp) of deltaic plans of the Donets Basin (legend see Fig. 3)

tion of the same order *Cordaito principalis-Odontopteretalia subcrenulata*.

The Luganskian vegetation cover evolved in the conditions of the tectonic activity of demolition areas and the gradual isolation of the Donets epicontinental sea [3-5]. The intensification of ascending movements and the growth of climate aridization since the end of Kalynovian time led to the contraction of coastal wetland territories and the most spread of river systems and interfluvial spaces. This caused the significant transformations of plant communities reflected in the vegetation composition of Luganskian time.

The Luganskian vegetation was represented by the woodland communities of three new orders (Fig. 2). The wetland woodland communities of coastal lowlands of the new order *Calamito-Pecopteretalia jongmansii* Boyarina ms. (WW1-1) were formed as a result of the considerable decline of the number of coenopopulations, as well as the decrease in species abundance of some coenopopulations, especially the

calamitaleans with foliage of *Annularia stellata*, *Asterophyllites equisetiformis* and the ferns with foliage of *Nemejcopteris feminaeformis*, *P. unita*. The decrease of plant species composition is evidenced by the fact that the calamitaleans with stems of *Calamites gigas* Brongniart and foliage of *Annularia mucronata* Schenk and also the ferns with foliage of *Pecopteris densifolia*, *P. candolleana* Brongniart, *P. cyathea* (Schlotheim) Brongniart, *P. platonii*, *Sphenopteris rossica* are unknown since early Luganskian time in the Donets Basin (Fig. 3). The ancient core of the florocoenotic complex of these woodland communities consisted of the species that were previously part of the wetland forest communities of coastal lowlands. But in doing so, the main role in these communities became to belong to the ferns, which had small pinnules (*Pecopteris arborescens*, *P. jongmansii* Wagner, *P. martinezii* Stockmans & Willière, *P. monyi* Zeiller) as well as the pinnules with fine hairs on its surface, as could be seen from the point indentations on fossil materials (*Pecopteris daubreei*

Species of florocoenotic complexes	Kasimovian		Gzhelian		
	Toretskian		Kalynovian		Myronivskian
	Kartanashian	Svitlanovian	Klyuchovian	Troyitskian	Luganskian
<i>Neurodopteris auriculata</i>		●●●	●		●
<i>Odontopteris brardii</i>				●●	●
<i>Odontopteris naumichana</i>	●		●	●	●
<i>Odontopteris schlotheimii</i>		●	●	●	●
<i>Odontopteris subcrenulata</i>	●		●	●	●
<i>Reticulopteris germarii</i>		●	●	●	●
<i>Taeniopteris gigantea</i>		●●			
<i>Taeniopteris multinervis</i>		●	●	●	●
<i>Cordaites principalis</i>	●	●●	●	●	●
<i>Cordaites cf. borassifolium</i>	●●				
<i>Sphenocallipteris scythica</i>				●	●
<i>Autunia conferta</i>					●
<i>Autunia naumannii</i>					✕
<i>Lodevia luganica</i>					●
<i>Lodevia nicklesii</i>					✕
<i>Lodevia suberosa</i>					●
<i>Dichophyllum cuneata</i>					●
<i>Dichophyllum flabellifera</i>					●
<i>Raminervia mariopteroides</i>					●
	SWv-1				SWv-2

Fig. 5. Composition of the florocoenotic complexes of tropical seasonally dry woodlands of river valleys (SWv) of the Donets Basin (legend see Fig. 3)

Zeiller). Such morphological characteristics of foliage are usually considered as xeromorphic [16] and may point to the moderate xerophytization of communities. The decreases in the number of coenopopulations and species abundances together with the xerophytization of lowland palaeophytocoenoses testify to its regressive development in Luganskian time. The communities of wetland woodlands within deltaic plains of the new order *Neuroptero crassinervis-Pecopteretalia arcuata* Boyarina ms. (WWp) included the ferns of one new species (*Pecopteris arcuata* Halle) as well as some pteridosperms and calamites that were formerly associated with the wetland forests of deltaic plains (Fig. 4). The pteridosperms *Neuropteris crassinervis* and the ferns *Pecopteris arcuata* were distinguished by increased species abundances. Whereas, the subsigillarian lycopsids and practically all ferns, which grew within deltaic plains in Kalynovian time, were absent in these communities. The considered features of the florocoenotic complexes of wetland woodland communities of coastal lowlands and deltaic plains identify the regressive development of communities that resulted in the loss of wetland forests and the formation of wetland woodlands.

At the same time as the transformation of forests into woodlands within coastal lowlands and deltaic plains, the plant communities of river valleys under-

went progressive development. It was manifested by the appearance of 10 new coenopopulations that included mainly peltasperm pteridosperms (Fig. 4). The pteridosperms *Autunia naumannii* and *Lodevia nicklesii* of them were characterized by high species abundances. These seasonally dry shrub and woodland communities of the new order *Autunietalia conferta-naumannii* Boyarina ms. (SWv-2) occupied widespread river landscapes in Luganskian time.

The Vyskrivkian vegetation cover was formed at the time of growing climate aridization and tectonic activation of demolition areas that were expanded into the Ukrainian crystalline shield, where the formation of red weathering crusts was going on. The weathering products were mainly transported by temporary or seasonal rivers and streams, resulting to the accumulation of thick red-colored deposits. According to the facies analysis of the Vyskrivkian strata, the predominant landscape types were the plain spaces with lacustrine-lagoon water bodies [2, 4].

The vegetation of Vyskrivkian time was represented by the wetland woodland communities of coastal lowlands of the new order *Odontoptero schlotheimii-Pecopteretalia daubreei* Boyarina ms. (WW1-2) and seasonally dry woodland communities of lagoon coasts of the new order *Pecoptero daubreei-Sphenopteridietalia germanicum* Boyarina ms. (SWc). The former communities consisted of the

plants that were part of the woodland communities of coastal lowlands and deltaic plains in Luganskian time (Fig. 3). The formation of these coastal lowland communities was most likely the result of both the expansion of population ranges and the migration of plants from deltaic plains to coastal lowlands. These processes were caused by the contraction of river landscapes and apparently the smoothing out of ecological-coenotic differences in the palaeophytocoenoses of these two landscape types against the background of increasing climate aridization. The change of ecological conditions led to the spread of the mesophytic pteridosperms, such as *Odontopteris subrenulata* (Rost) Zeiller and *Reticulopteris germarii* (Giebel) Gothan, within coastal lowlands, where the ferns *Pecopteris daubreei* continued to dominate. It can be interpreted as the mesophytization process of coastal lowland communities. It follows that the considered specificities of communities, namely the increase of coenopopulations and the mesophytization of communities, may testify in favor of the formation of new woodland communities of coastal lowlands due to their progressive development, but without the

evolutionary changes of flora and with maintaining low species abundances.

The seasonally dry woodland communities of lagoon coasts (SWc) were also composed of the plants of two groups. The plants of the first group (*Pecopteris daubreei*, *P. arborescens*, *P. biotii* Brongniart, *P. jongmansii*) were widespread in Luganskian and continued to grow in Vyskriivkian times within coastal lowlands (Fig. 3). The second plant group (*Pecopteris subelegans* (Potonié) Doubinger, *Sphenopteridium germanicum* (Weiss) Kerp et DiMichele) was associated with the seasonally dry woodlands of river valleys in Luganskian time. Consequently, the formation of lagoon coast communities could also be the result of plant migrations along with the expansion of some population ranges.

The discussed features of dynamics in the palaeophytocoenoses of wetland forests and woodlands of coastal lowlands and deltaic plains, as well as seasonally dry woodlands of river valleys and lagoon coasts in Kasimovian and Gzhelian times are displayed in the scheme of phytocoenogenesis (Fig. 6) that has been drawn up on the basis of the considered floroco-

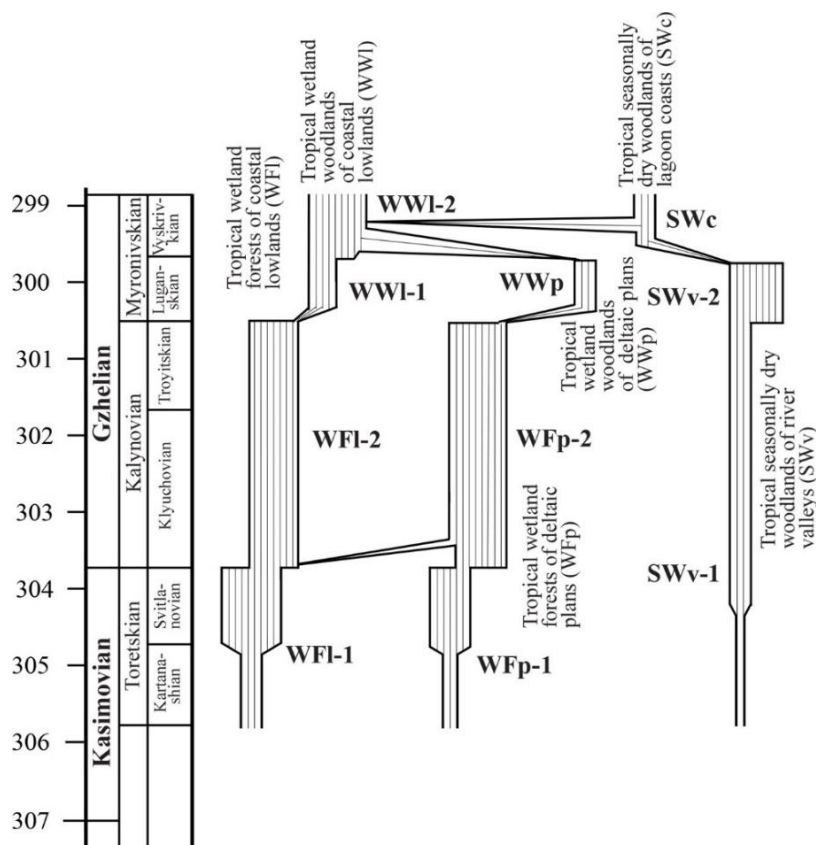


Fig. 6. The scheme of phytocoenogenesis of the Late Pennsylvanian vegetation cover in the Donets Basin

enotic complexes.

Models of phytocoenogenesis. According to the modern concepts in vegetation science, the evolution of plant communities leading to the formation of new types of phytocoenoses (phytocoenogenesis) occurs in conformity with the transformations of ecological

niches and coenotic systems that were caused by the changes of abiotic factors [12, 18]. Following these views, the relationships between the development of the Late Pennsylvanian phytocoenoses and changing landscape conditions are analyzed. In the evolution of palaeophytocoenoses, we distinguish *phytocoeno-*

genetic processes (progressive or regressive development of communities), which are caused by the changes of landscape conditions, and *manifestations of phytocoenogenesis* (formation of new communities and loss of old communities) that were generated by these phytocoenogenetic processes. The features of such transformations of palaeophytocoenoses in response to changing conditions are shown in Table 1.

As can be seen from this table, three models of the formation of new types of communities and one

model of the loss of communities from vegetation cover can be identified in Gzhelian time. During Kasimovian time, the progressive development of plant communities (WLI-1, WFp-1, SWv-1) has been only determined (Fig. 6).

Each of the phytocoenogenetic models reveals the certain phytocoenogenetic processes and factors of transformations of communities. Thus, the formation of one group of the new communities (WF1-2, WFp-2, SWv-2), which are characterized by the

Table 1

Dependence of phytocoenogenetic processes and manifestations on the changes of ecological-landscape conditions of the Donets Basin in the Late Pennsylvanian

Landscapе changes	Age	Phytocoenogenetic processes	Manifestation of phytocoenogenesis
<i>Vegetation of coastal lowlands</i>			
Expansion of coastal lowlands with humid climate	Early Kalynovian	Progressive development (appearance of new coenopopulations and increase in species abundance)	Formation of new wetland forest communities (WF1-2)
Contraction of coastal lowlands with humid climate	Early Luganskian	Regressive development (decrease in the number of coenopopulations and species abundance)	Loss of wetland forest communities (WF1-2)
		Regressive development and substitution of dominants	Formation of new wetland woodland communities (WW1-1)
Expansion of coastal lowlands and contraction of deltaic plains in the conditions of increasing aridization	Vyskrivkian	Progressive development (increase in the number coenopopulations due to the migration of plants from other landscapes)	Formation of new wetland woodland communities (WW1-2)
<i>Vegetation of deltaic plains</i>			
Expansion of deltaic plains with humid climate	Early Kalynovian	Progressive development (appearance of new coenopopulations)	Formation of new wetland forest communities (WFp-2)
Contraction of deltaic plains with humid climate	Early Luganskian	Regressive development (decrease in the number of coenopopulations and species abundance)	Loss of wetland forest communities (WFp-2)
		Regressive development and substitution of dominants	Formation of new wetland woodland communities (WWp)
Contraction of deltaic plains with humid climate	Early Vyskrivkian	Regressive development (decrease in the number of coenopopulations)	Loss of wetland woodland communities (WWp)
<i>Vegetation of river valleys</i>			
Expansion of river valleys with seasonally dry climatic conditions	Luganskian	Progressive development (appearance of new coenopopulations and increase in species abundance)	Formation of new seasonally dry woodland communities (SWv-2)
Contraction of river valleys with seasonally dry climatic conditions	Early Vyskrivkian	Regressive development (decrease in the number of coenopopulations and species abundance)	Loss of seasonally dry woodland communities (SWv-2)
<i>Vegetation of lagoon coasts</i>			
Expansion of lacustrine-lagoon plains and contraction of alluvial plains in the conditions of increasing aridization	Vyskrivkian	Progressive development (increase in the number coenopopulations due to the migration of plants from other landscapes)	Formation of new seasonally dry woodland communities (SWc)

appearance of new coenopopulations and increased species abundance (*evolution, progressive development*), refers to an *evolution-progression model*. The development of these communities took place within expanding certain landscape types (biotope expansion) and accompanied by the increasing differentiation of ecological niches.

The formation of another group of the communities (WW1-2, SWc), which is related to the increase in the number of coenopopulations (*progressive development*) owing to the migration of plants (*migration processes*) from transformed landscapes to the ecological analogs of ecotopes within expanding landscapes (biotope expansion), belongs to a *migration-progression model*. And in doing so, the coastal lowland communities (WW1-2) were augmented by the migrants from deltaic plains, whereas the communities of lagoon coasts (SWc) were formed by the migrants from coastal lowlands and river valleys.

The next two phytocoenogenetic models are connected with the regressive development of communities caused by the contraction of certain landscape types that resulted in, for one thing, the loss of forest communities and, for the other thing, the formation of the new vegetation types, namely woodland communities (Fig. 6). The formation of the new communities (WW1-1, WWp), which is associated with the decrease in the number of coenopopulations and species abundance (*regressive development*) as well as structure simplification and dominant *substitution* in palaeophytocoenoses, relates to a *substitution-regression model*. These phytocoenogenetic processes can be explained by the reduction in ecological niches because of the contraction of landscapes (biotope contraction).

The loss of communities (WF1-2, WFp-2, WWp, SWv-2) from vegetation cover, which occurred as a result of the decrease in the number of coenopopulations and individuals in remaining coenopopulations (*elision, regressive development*), is put forward as an *elision-regression model*. The data about the disappearance of species and the decrease in species abundances obtained from the upper Gzhelian plant assemblages indicate the significant decline in density and simplified structure of vegetation cover, namely forest degradation on coastal areas in Luganskian time and woodland degradation within river landscapes in Vyskrivkian time. Such transformations of communities are attributed to the contraction of certain landscape types (biotope contraction).

Phytocoenogenetic regularities in development of the Late Pennsylvanian vegetation cover. The proposed models of phytocoenogenesis reflect the main specific features of the Late Pennsylvanian vegetation dynamics in response to environmental changes. As already mentioned, the changes of environmental conditions were the consequences of, on

the one hand, the global fluctuations of sea levels and increasing climate aridization [41-43], and, on the other hand, the tectonic processes in the Donets epicontinental basin in Late Pennsylvanian times [4-5, 17]. It follows that the interaction between global sea-level (eustatic) variations and regional tectonic settings led to certain environmental changes and the changes of palaeophytocoenoses. The four models of phytocoenogenesis describe the regularities in development of the Late Pennsylvanian phytocoenoses associated with environmental changes.

The evolution-progression model of phytocoenogenesis reflects the progressive development of palaeophytocoenoses that is expressed by the appearance of evolutionary new coenopopulations in the conditions of the expansion of certain landscape types (biotopes). In early Gzhelian (Kalynovian) time, the phytocoenogenesis of wetland forest communities under this model occurred in the period of the predominance of descending movements that resulted in the expansion of coastal lowlands and deltaic plains with a humid climate. In middle Gzhelian (Luganskian) time, the phytocoenogenesis of seasonally dry woodland communities by this model took place under the conditions of predominant ascending movements that led to the expansion of river landscapes.

The migration-progression model of phytocoenogenesis conforms to the progressive development of palaeophytocoenoses as a result of the migration of plants from decreasing landscape types to expanding ones (expanding biotopes). The phytocoenogenesis of woodland communities under this model was paralleled by the shallowing of the Donets epicontinental sea and increasing climate aridization in late Gzhelian (Vyskrivkian) time. In these condition, the formation of new wetland woodland communities was due to the expansion of coastal lowlands and the contraction of deltaic plains and, also, the formation of the new seasonally dry woodland communities was due to the expansion of lacustrine-lagoon plains and the contraction of river valleys. The latter was the obvious result of the transformation of rivers into temporary rivers and streams that experienced alternating wet and dry periods.

The substitution-regression model of phytocoenogenesis is consistent with the regressive development of palaeophytocoenoses along with structure simplification and dominant substitution of plant communities due to the contraction of certain landscape types (biotopes). The phytocoenogenesis of communities by this model was caused by the transformation of wetland forest communities in woodland communities. It was a consequence of the contraction of coastal lowlands and deltaic plains with a humid climate against the background of the tectonic activity of demolition areas and gradually

increasing climate aridization in middle Gzhelian (Luganskian) time.

The elision-regression model of the loss of plant communities represents the regressive development of palaeophytocoenoses in the conditions of the contraction of some landscape types (biotopes). In late Gzhelian time, the loss of wetland forest communities was caused by the contraction of coastal lowlands and deltaic plains (early Luganskian time), as well as the loss of wetland and seasonally dry woodland communities was caused by the contraction of river landscapes with deltaic plains and river valleys (early Vyskrivkian time).

In summary, it should be pointed out that three proposed models of the formation of new plant communities reflect three main directions in the evolution of palaeophytocoenoses, in which the basic pathways of phytocoenogenesis, according to B.A. Bykov [12], manifest themselves. Namely, specio-genesis and esogenesis are reflected in the evolution-progression model with evolutionarily new species and the change of dominants. Transgenesis (invasion) and esogenesis are incorporated into the migration-progression model without the evolutionary transformations of flora, but with the increased number of species and the change of phytocoenotic properties of species. Transgenesis (elision) and esogenesis are present in the substitution-regression model with the decreased number of species and dominant substitution.

Conclusions. The composition of the Late Penn-

sylvanian (Toretskian, Kalynovian, Luganskian and Vyskrivkian) vegetation of the Donetsk Basin reflected in the ecological-floristic classification by the Brown-Blanquet method have been used for the study one from forms of syndynamics, namely phytocoenogenesis. The study of phytocoenogenesis has been carried out on the basis of the palaeosyntaxa in rank of orders including the communities of tropical wetland forests and woodlands of coastal lowlands and deltaic plains, as well as seasonally dry woodlands of river valleys and lagoon coasts. Based on the analysis of the phytocoenogenetic processes (progressive and regressive development of plant communities) and the manifestations of phytocoenogenesis (formation of new communities and loss of old communities) in development of the Late Pennsylvanian phytocoenoses, three models of the formation of new communities and one model of the loss of communities from vegetation cover have been proposed. The models of the formation of new communities reflect the main directions in the evolution of palaeophytocoenoses and reveal the relationship between phytocoenogenetic processes and environmental changes.

Acknowledgments

This study was supported in part by the Ministry of Education and Science of Ukraine (project no. 0116U004691) and the National Academy of Sciences of Ukraine (budget program with budget classification code no. 6541230 "Support for the development of priority areas of scientific research").

Bibliography

1. Александрова В.Д. Изучение смен растительного покрова [Текст] / В.Д. Александрова // Полевая геоботаника. – Т. 3. – М.-Л.: Наука, 1964. – С. 300-447.
2. Борисенко Ю.А. Особенности распространения красноцветных пород верхнего карбона в юго-западной части Донбасса [Текст] / Ю.А. Борисенко // Тез. докл. Третьей Геологической конференции «Степановские чтения». – Артемовск, 1969. – С. 11-13.
3. Борисенко Ю.А. Особенности диагностики генетических типов каменноугольных отложений Донбасса [Текст] / Ю.А. Борисенко // Вестник Харьковского университета. Серия геолого-географическая. – 1974. – № 108. – Вып. 5. – С. 3-7.
4. Борисенко Ю.А. Особенности литогенеза позднекаменноугольной эпохи в юго-западной части Донбасса [Текст] / Ю.А. Борисенко // Геология и геохимия горючих ископаемых. – 1975. – № 44. – С. 10-16.
5. Борисенко Ю.А. Фашии континентальных и субконтинентальных отложений верхнего карбона западной части Донецкого каменноугольного бассейна [Электронный ресурс] / Ю.А. Борисенко. – Харьков, 2014. – 163 с. Режим доступа: <https://www.gigabaza.ru/doc/174649-pall.html>.
6. Боярина Н.І. Пізньостефансько-ранньоотенська флора картамиської світи Донецького басейну [Текст] / Н.І. Боярина // Палеонт. зб. – 2006. – № 38. – С. 3-10.
7. Боярина Н.І. Позднекаменноугольные *Odontopteris Brongniart* Донецкого бассейна: морфология, фаціальная приуроченность и распространение [Текст] / Н.І. Боярина // Сучасні напрямки української геологічної науки: Зб. наук. пр. ІГН НАН України. – Київ, 2006. – С. 182-189.
8. Боярина Н.І. Макрофлористические зоны среднего и верхнего карбона (пенсильванской подсистемы) Донецкого бассейна [Текст] / Н.І. Боярина // Геол. журн. – 2016. – № 1 (354). – С. 21-35. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2016.1.97280>.
9. Боярина Н.І. Пізньокам'яновугільні домінуючі палеофітоценози Донецького басейну (згідно класифікації рослинності за методом Ж. Браун-Бланке) / Н.І. Боярина [Текст] // Проблеми геології фанерозою України: Матеріали VII Всеукраїнської наукової конференції. – Львів, 2016. – С. 36-39.
10. Боярина Н.І. Палеофітоценологіческие исследования позднекаменноугольной растительности Донецкого бассейна [Текст] / Н.І. Боярина // Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України. – Київ, 2017. – Том 10. – С. 4-14.

11. Быков Б.А. Геоботаника [Текст] / Б.А. Быков. – Алма-Ата: Изд-во АН Каз. ССР, 1957. – 372 с.
12. Быков Б.А. Геоботанический словарь [Текст] / Б.А. Быков. – Алма-Ата: Наука, 1973. – 215 с.
13. Вальтер Г. Общая геоботаника [Текст] / Г. Вальтер. Пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 261 с.
14. Галанин А.В. Эколого-ценотические элементы конкретной флоры (их выделение и анализ) [Текст] / А.В. Галанин // Ботан. журн. – 1973. – Т. 58. № 11. – С. 1608-1618.
15. Камелин Р.В. Флорогенетический анализ естественной флоры горной Средней Азии [Текст] / Р.В. Камелин. – Л.: Наука, 1973. – 356 с.
16. Лотова Л.И. Морфология и анатомия высших растений [Текст] / Л.И. Лотова. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 528с.
17. Лунгерсгаузен Л.Ф. Некоторые черты палеогеографии Днепровско-Донецкой впадины в верхнепалеозойское и мезозойское время [Текст] / Л.Ф. Лунгерсгаузен // Материалы по нефтеносности Днепровско-Донецкой впадины. – 1941.– Вып.1.
18. Миркин Б.М. Введение в современную науку о растительности [Текст] / Б.М. Миркин, Л.Г. Наумова. – М.: ГЕОС, 2017. – 280 с.
19. Миркин Б.М. Фитоценология: Принципы и методы [Текст] / Б.М. Миркин, Г.С. Розенберг. – М.: Наука, 1978. – 212 с.
20. Полетаєв В.І. Стратотипи регіональних стратиграфічних підрозділів карбону і нижньої пермі Доно-Дніпровського прогину Київ [Текст] / В.І. Полетаєв, М.В. Вдовенко, О.К. Щоголев, Н.І. Боярина, І.А. Макаров. – Київ: Логос, 2011. – 236 с.
21. Раутиан А.С. Модели фитоценогенеза и уроки экологических кризисов геологического прошлого [Текст] / А.С. Раутиан, В.В. Жерихин // Журн. общей биол. – 1997. – Т. 58, № 4. – С. 20-47.
22. Сукачев В. Н. 1928. Растительные сообщества (Введение в фитосоциологию). 4-е изд. [Текст] / В.Н. Сукачев. – М.–Л.: Книга, 1928. – 232 с.
23. Сукачев В. Н. О принципах генетической классификации в биоценологии [Текст] / В.Н. Сукачев // Журн. общей биол. – 1942. – № 1-3. – С. 5-17.
24. Сукачев В.Н. Некоторые общие теоретические вопросы фитоценологии [Текст] / В.Н. Сукачев. // Вопросы ботаники. – 1954. – № 1. – С. 290-300.
25. Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы [Текст] / Р. Уиттекер. – М.: Прогресс, 1980. – 328 с.
26. Харитонцев Б.С. Флорогенез, фитоценогенез, флороценогенез фитостромы Западной Сибири – общие и региональные закономерности [Текст] / Б.С. Харитонцев // Вестник Тюменского государственного университета. – 2004. – №3. – С.84-89.
27. Щеголев А.К. Дифференциация растительности в позднем карбоне вестфальской провинции [Текст] / А.К. Щеголев // Вопросы закономерности и форм развития органического мира: Тр. УП сес. ВПО. – М.: Недра, 1964. – С. 158-170.
28. Щеголев А.К. Эволюция позднекаменноугольного растительного покрова вестфальской провинции, ее закономерности и значение для стратиграфии: Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук: 04.00.09 [Текст]. – Л., 1985. – 35 с.
29. Щеголев А.К. Плауновидные и клинолисты позднего карбона [Текст] / А.К. Щеголев. – Киев: Наук. думка, 1991. – 128 с.
30. Юрцев Б.А. Гипоарктический ботанико-географический пояс и происхождение его флоры [Текст] / Б.А. Юрцев. – М.: Наука, 1966. – 94с.
31. Юрцев Б.А. Флора как базовое понятие флористики: содержание понятия, подходы к изучению [Текст] / Б.А. Юрцев // Теоритические и методические проблемы в сравнительной флористике: Мат-лы II рабочего совещания по сравнительной флористике. Неринга, 1983. – Л.: Наука, 1987. – С. 13-18.
32. Ярошенко П.Д. Основы учения о растительном покрове [Текст] / П.Д. Ярошенко. – М.: Географиз, 1953. – 352 с.
33. Ярошенко П.Д. Геоботаника [Текст] / П.Д. Ярошенко. – М.-Л.: Изд. АН СССР, 1961. – 474 с.
34. Bashforth A.R. Dryland vegetation from the Middle Pennsylvanian of Indiana (Illinois Basin): the dryland biome in glacioeustatic, palaeobiogeographic, and palaeoecologic context [Текст] / A.R. Bashforth, W.A. DiMichele, C.F. Eble, W.J. Nelson // Journal of Palaeontology. – 2016. – № 90. – P. 785-814.
35. Boyarina N.I. Late Gzhelian pteridosperms with callipterid foliage of the Donets Basin, Ukraine [Текст] / N.I. Boyarina // Acta Palaeontologica Polonica. – 2010. – Vol. 55(2). – P. 343-359.
36. DiMichele W.A. Wetland-dryland vegetational dynamics in the Pennsylvanian ice age tropics [Текст] / W.A. DiMichele // International Journal of Plant Sciences. – 2014. – Vol. 175. – P. 123-164.
37. DiMichele W.A. Cyclic changes in Pennsylvanian palaeoclimate and effects on floristic dynamics in tropical Pangaea [Text] / W.A. DiMichele, C.B. Cecil, I.P. Montañez, H.J. Falcon-Lang // International Journal of Coal Geology. – 2010. – Vol. 83. – P. 329-344.
38. DiMichele W.A. Climate and vegetational regime shifts in the late Palaeozoic ice age earth [Текст] / W.A. DiMichele, I.P. Montañez, C.J. Poulsen, N.J. Tabor // Geobiology. – 2009. – № 7. – P. 200-226.
39. Erwin D.H. Macroevolution of ecosystem engineering, niche construction and diversity [Текст] / D.H. Erwin // Trends in Ecology and Evolution. – 2008. – № 23. – P. 304-310.
40. Falcon-Lang H.J. Pennsylvanian tropical rain forests responded to glacial-interglacial rhythms [Текст] / H.J. Falcon-Lang // Geology. – 2004. – № 32. – P. 689-692.

41. Fielding C.R. The late Palaeozoic ice age – A review of current understanding and synthesis of global climate patterns [Текст] / C.R. Fielding, T.D. Frank, J.L. Isbell // *Resolving the Late Palaeozoic Ice Age in Time and Space: Geological Society of America Special Paper*. – 2008. – Vol. 441. – P. 343-354.
42. Montañez I.P. The Late Palaeozoic Ice Age: An evolving paradigm [Текст] / I.P. Montañez, C.J. Poulsen // *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. – 2013. – № 41. – P. 629-656.
43. Pfefferkorn H.W. Impact of an icehouse climate interval on tropical vegetation and plant evolution [Текст] / H.W. Pfefferkorn, R.A. Gastaldo, W.A. DiMichele // *Stratigraphy*. – 2017. – Vol. 14, № 1-4. – P. 365-376.
44. Van derMaarel E. Vegetation dynamics: patterns in Time and Space [Текст] / E. Van derMaarel. – *Vegetatio*. – 1988. – Vol. 77. – P. 7-19.
45. Whittaker R.H. A consideration of climax theory: The climax as a population and pattern [Текст] / R.H. Whittaker. – *Ecological Monographs*. – 1953. – Vol. 23. – P. 41-78.

References

1. Aleksandrova, V.D. (1964). *Izuchenie smen rastitelnogo pokrova [Study of vegetation cover changes]. Field geobotany. Moscow-Leningrad: Nauka, 3, 300-447 [in Russian]*.
2. Borisenko, Yu.A. (1969). *Osobennosti rasprostraneniya krasnotsvetnykh porod verhnego karbona v yugo-zapadnoj chasti Donbassa [Peculiarities of the distribution of red-colored rocks of the upper Carboniferous in the south-western part of the Donbass]. Abstracts of reports. Third Geological Conference "Stepanov Readings", Artyemovsk, 11-13 [in Russian]*.
3. Borisenko, Yu.A. (1974). *Osobennosti diagnostiki geneticheskikh tipov kamennougolnykh otlozhenij Donbassa [Features of the diagnosis of the Carboniferous genetic types of the Donbass]. Bulletin of V.N. Karazin Kharkov National University, series «Geology. Geography. Ecology» 108 (5), 3-7 [in Russian]*.
4. Borisenko, Yu.A. (1975). *Osobennosti litogeneza pozdnkamennougolnoj epohi v yugo-zapadnoj chasti Donbassa [Features of the late Carboniferous lithogenesis in the south-western part of the Donbass]. Geology and geochemistry of fossil fuels, 44, 10-16 [in Russian]*.
5. Borisenko, Yu.A. (2014). *Fatsii kontinentalnykh i subkontinentalnykh otlozhenij verhnego karbona zapadnoj chasti Donetskogo kamennougolnogo bassejna [Facies of continental and subcontinental sediments of the upper Carboniferous of the western part of the Donetsk Coal Basin]. Xarkov, 163 [in Russian]. URL: <https://www.gigabaza.ru/doc/174649-pall.html>*
6. Boyarina, N.I. (2006). *Piznyostefansko-rannyootenska flora kartamyskoi svity Donetskoho basejnu [Late Stephanian-Early Autunian flora of the Kartamysh Suite of the Donetsk Basin]. Palaeontological collection, 38, 3-10 [in Ukraine]*.
7. Boyarina, N.I. (2006). *Pozdnkamennouholnye Odontopteris Brongniart Donetskoho basejna: morfolohyia, fatsyalnaia pryurochennost i rasprostraneniye [Late Carboniferous Odontopteris Brongniart of the Donetsk Basin: morphology, plant-bearing facies and distribution]. Modern directions of Ukrainian geological science: Proceedings of scientific works of the Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine. Kiev, 182-189 [in Russian]*.
8. Boyarina, N.I. (2016). *Makrofloristicheskie zony srednego i verhnego karbona (pensilvanskoy podsistemy) Donetskoho baseyna [Macrofloristic zones of the middle and upper Carboniferous (Pennsylvanian subsystem) of the Donetsk Basin]. Geological Journal, 1 (354), 21-35 [in Russian]. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2016.1.97280>*
9. Boyarina, N.I. (2016). *Piznokam'ianovuhilni dominuiuchi paleofitotsenozy Donetskoho baseynu (zghidno klasyfikatsii roslynnosti za metodom Zh. Braun-Blanke) [The late Carboniferous palaeophytocoenoses of the Donetsk Basin (according to the classification of vegetation by the Braun-Blanke method)] Problems of the Phanerozoic geology of Ukraine: Proceedings of the VII All-Ukrainian Scientific Conference. Lviv, 36-39 [in Ukraine]*.
10. Boyarina, N.I. (2017). *Palaeofitocenologicheskie issledovaniya pozdnkamennougolnoj rastitelnosti Donetskoho basejna [Palaeophytocenological studies of the late Carboniferous vegetation of the Donetsk Basin]. Proceedings of scientific works of the Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, 10, 4-14 [in Russian]*.
11. Bykov, B.A. (1957). *Geobotanika [Geobotany]. Alma-Ata: Publishing house of AS of Kaz. SSR, 372 [in Russian]*.
12. Bykov, B.A. (1973). *Geobotanicheskiy slovar [Geobotanical Dictionary]. Alma-Ata: Nauka, 215 [in Russian]*.
13. Valter, G. *Obshchya geobotanika [General geobotany] Transl. Germ. Moscow: Mir, 1982, 261 [in Russian]*.
14. Galanin, A.V. (1973). *Ekologo-tsenoticheskie elementy konkretnej flory (ih vydelenie i analiz) [Ecological and coenotic elements of a specific flora (their identifying and analysis)]. Botanical journal, 58 (11), 1608-1618 [in Russian]*.
15. Kamelin, R.V. (1973). *Florogeneticheskij analiz estestvennoj flory gornoj Srednej Azii [Florogenetic analysis of natural flora of mountainous Central Asia]. Leningrad: Nauka, 356 [in Russian]*.
16. Lotova, L.I. (2001). *Morfologiya i anatomiya vysshih rastenij [Morphology and anatomy of higher plants]. Moscow: Editorial URSS, 528 [in Russian]*.
17. Lungersgauzen, L.F. (1941). *Nekotorye cherty palaeogeografii Dneprovsko-Donetskoy vpadiny v verhnepalaeozojskoe i mezozojskoe vremya [Some palaeogeographic features of the Dnieper-Donetsk depression in upper Palaeozoic and Mesozoic times]. Materials on the oil-bearing capacity of the Dnieper-Donetsk depression, 1 [in Russian]*.
18. Mirkin, B.M., Naumova, L.G. (2017). *Vvedenie v sovremenyu nauku o rastitelnosti [Introduction to Modern Vegetation Science]. Moscow: GEOS, 280 [in Russian]*.
19. Mirkin, B.M., Rozenberg, G.S. (1978). *Fitocenologiya: Principy i metody [Phytocoenology: Principles and methods]. Moscow: Nauka, 212 [in Russian]*.

20. Poletaev, V.I., Vdovenko, M.V., Shchogolev O.K., Boyarina, N.I., Makarov, I.A. (2011). *Stratotypy rehionalnykh stratygrafichnykh pidrozdiliv karbonu i nyzhnjoi permi Dono-Dniprovskoho prohynu* [Stratotypes of the Carboniferous and Lower Permian regional stratigraphic subdivisions of the Don-Dnieper Depression]. Kyiv: Logos, 236 [in Russian].
21. Rautian, A.S., Zherikhin, V.V. (1997). *Modeli filocenogeneza i uroki ekologicheskikh krizisov geologicheskogo proshlogo* [Phylocoenogenesis models and lessons of the ecological crises of the geological past]. *Journal of General Biology*, 58 (4), 20-47 [in Russian].
22. Sukachev, V.N. (1928). *Rastitelnye soobshestva (Vvedenie v fitosociologiyu)* [Plant communities (Introduction to phytosociology)]. Moscow-Leningrad: Kniga, 232 [in Russian].
23. Sukachev, V.N. (1942). *O principah geneticheskoy klassifikacii v biocenologii* [On the principles of genetic classification in biocenology]. *Journal of General Biology*, 1-3, 5-17 [in Russian].
24. Sukachev, V.N. (1954). *Nekotorye obshie teoreticheskie voprosy fitocenologii* [Some general theoretical questions of phytocoenology]. *Botany issues*, 1, 291-309 [in Russian].
25. Whittaker, R.H. (1980). *Soobshestva i ekosistemy* [Communities and ecosystems]. Moscow: Progress, 328 [in Russian].
26. Haritontsev, B.S. (2004). *Florogenez, fitocenogenez, florocenogenez fitostromy Zapadnoj Sibiri – obshie i regionalnye zakonomernosti* [Florogenesis, phytocoenogenesis, florocoenogenesis of phytostrome of Western Siberia – general and regional regularities]. *Bulletin of Tyumen State University*, 3, 84-89 [in Russian].
27. Shchegolev, A.K. (1964). *Differenciaciya rastitelnosti v pozdnem karbone vestfalskoj provincii* [Differentiation of vegetation in the late Carboniferous of the Westphalian Province]. *Questions of regularities and forms of development of the organic world: Proceedings of the VII session of the VPO*. Moscow: Nedra, 158-170 [in Russian].
28. Shchegolev, A.K. (1985). *Evolutsiya pozdnkamennougolnogo rastitelnogo pokrova vestfalskoj provintsii, ee zakonomernosti i znachenie dlya stratigrafii: Avtoref. dis. ... d-ra geol.-mineral. nauk: 04.00.09* [Evolution of the late Carboniferous vegetation cover of the Westphalian Province, its regularities and significance for stratigraphy: author's abstract. dis. ... dr. geol.-mineral. sciences. Leningrad, 35 [in Russian].
29. Shchegolev, A.K. (1991). *Plaunovidnye i klinolisty pozdnego karbona [Lycopsidea and Sphenopsida of the late Carboniferous]*. Kiev: Nauk. dumka, 128 [in Russian].
30. Yurtsev, B.A. (1966). *Gipoarkticheskij botaniko-geograficheskij pojas i proiskhozhenie ego flory* [Hypoarctic botanical-geographical belt and the origin of its flora]. Moscow: Nauka, 94 [in Russian].
31. Yurtsev, B.A. (1987). *Flora kak prirodnyaya sistema* [Flora as a natural system]. *Bulletin MOIP, Department of Biology*, 87 (4), 3-22 [in Russian].
32. Yaroshenko, P.D. (1953). *Osnovy ucheniya o rastitelnom pokrove* [Fundamentals of the vegetation doctrine]. Moscow: Geografiz, 352 [in Russian].
33. Yaroshenko, P.D. (1961). *Geobotanika* [Geobotany]. Moscow-Leningrad: Publishing house of AS USSR, 474 [in Russian].
34. Bashforth, A.R., DiMichele, W.A., Eble, C.F., Nelson, W.J. (2016). *Dryland vegetation from the Middle Pennsylvanian of Indiana (Illinois Basin): the dryland biome in glacioeustatic, palaeobiogeographic, and palaeoecologic context*. *Journal of Palaeontology* 90, 785-814.
35. Boyarina, N.I. (2010). *Late Gzhelian pteridosperms with callipterid foliage of the Donets Basin, Ukraine*. *Acta Palaeontologica Polonica*, 55 (2), 343-359.
36. DiMichele, W.A. (2014). *Wetland-dryland vegetational dynamics in the Pennsylvanian ice age tropics*. *International Journal of Plant Sciences*, 175, 123-164.
37. DiMichele, W.A., Cecil, C.B., Montañez, I.P., Falcon-Lang, H.J. (2010). *Cyclic changes in Pennsylvanian palaeoclimate and effects on floristic dynamics in tropical Pangaea*. *International Journal of Coal Geology*, 83, 329-344.
38. DiMichele, W.A., Montañez, I.P., Poulsen, C.J., Tabor, N.J. (2009). *Climate and vegetational regime shifts in the late Palaeozoic ice age earth*. *Geobiology*, 7, 200-226.
39. Erwin, D.H. (2008). *Macroevolution of ecosystem engineering, niche construction and diversity*. *Trends in Ecology and Evolution*, 23, 304-310.
40. Falcon-Lang, H.J. (2004). *Pennsylvanian tropical rain forests responded to glacial-interglacial rhythms*. *Geology*, 32, 689-692.
41. Fielding, C.R., Frank, T.D., Isbell, J.L. (2008). *The Late Palaeozoic ice age – A review of current understanding and synthesis of global climate patterns. Resolving the Late Palaeozoic Ice Age in Time and Space: Geological Society of America Special Paper*, 441, 343-354.
42. Montañez, I.P., Poulsen, C.J. (2013). *The Late Palaeozoic Ice Age: An evolving paradigm*. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 41, 629-656.
43. Pfefferkorn, H.W., Gastaldo, R.A., DiMichele, W.A. (2017). *Impact of an icehouse climate interval on tropical vegetation and plant evolution*. *Stratigraphy*, 14 (1-4), 365-376.
44. Van derMaarel, E. (1988). *Vegetation dynamics: patterns in Time and Space*. *Vegetatio*, 77, 7-19.
45. Whittaker, R.H. (1953). *A consideration of climax theory: The climax as a population and pattern*. *Ecological Monographs*, 23, 41-78.

Зміни пізньопенсильванської рослинності Донецького басейну: синдинамічний аспект

Наталія Іванівна Бояріна,

к. г.-м. н., ст. наук. співроб., Інститут геологічних наук НАН України,
вул. О. Гончара 55-б, м. Київ, 01601, Україна

Стаття присвячена вивченню еволюції пізньопенсильванських фітоценозів Донецького басейну та дає перші уявлення про фітоценогенез в пізньому палеозої. Палеофітоценотичні дослідження викопного рослинного матеріалу із озерних, озерно-болотних, дельтових, заплавних та озерно-лагунних відкладів в більш ніж 17 місцезнаходженнях та 11 свердловинах були проведені відповідно до сучасних уявлень про розвиток рослинності. Вивчення процесів фітоценогенезу базується на аналізі флористичного різноманіття, яке відображене в еколого-флористичній класифікації пізньокам'яновугільної рослинності Донецького басейну за методом Браун-Бланке. На основі аналізу флороценотичних комплексів, що являють собою набір діагностичних видів синтаксонів рослинності в ранзі порядків, розглянуто процеси і прояви фітоценогенезу та запропоновано три моделі формування нових угруповань – еволюційно-прогресивну, міграційно-прогресивну, субституційно-регресивну та одну модель випадання угруповань з рослинного покриву – елізійно-регресивну. Еволюційно-прогресивна модель відповідає прогресивному розвитку палеофітоценозів, який проявився появою еволюційно нових ценопопуляцій у їх складі. Міграційно-прогресивна модель відображає прогресивний розвиток палеофітоценозів в результаті міграції рослин із скорочуваних до широко розповсюджених типів ландшафту. Субституційно-регресивна модель відповідає регресивному розвитку палеофітоценозів при спрощенні структури та зміні (субституції) домінантів рослинних угруповань. Елізійно-регресивна модель відображає регресивний розвиток та випадіння (елізю) палеофітоценозів із складу рослинного покриву. Для кожної із моделей фітоценогенезу виявлені закономірності формування рослинних угруповань, які розкривають зв'язок динаміки рослинного покриву та змін ландшафтно-екологічних і кліматичних умов.

Ключові слова: рослинний покрив, фітоценогенез, пізній пенсильваній, Донецький басейн.

Надійшла 8 грудня 2021 р.
Прийнята 13 січня 2022 р.

Умови формування несклепінних пасток вуглеводнів у приштокових зонах південно-східної частини Дніпровсько-Донецької западини

Іларіон Володимирович Височанський¹,

д. г.-м. н., професор, кафедра геології, ¹Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна,

e-mail: visochansky_il@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-1583-1929>;

Андрій Олегович Яковлев²,

головний геолог ²ТОВ «НВФ «ГЕРА ЛТД», вул. Заліська 3а, м. Харків, 61145, Україна,

e-mail: gasgeolog@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8457-3628>;

Ірина Миколаївна Самчук¹,

к. геол. н., доцент кафедри геології,

e-mail: fedot-ira@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8117-6117>;

Євгеній Євгенійович Волосник³,

нач. відділу надрокористування Східного регіону,

³Український науково-дослідний інститут природних газів,

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

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

Андрій Олегович Некрасов³,

ст. наук. співробітник відділу надрокористування,

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

Марія Василівна Купчинська³,

інженер відділу надрокористування,

e-mail: kupchinskaya_maria@ndigas.com.ua, <https://orcid.org/0000-0002-9319-8807>

Південно-східна частина Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) вирізняється масштабними галокінетичними процесами, які зумовили формування численних діапирогенних структур трьох основних типів – надштокових, міжштокових і приштокових. Першочерговими об'єктами для введення в пошукове буріння традиційно були антиклинальні структури (першого і другого типів) і практично в їх межах до сього часу відкрито значну кількість промислових скупчень вуглеводнів, включаючи крупні і унікальні за запасами (Шебелинське, Західно Хрестищенське, Єфремівське). Основною метою роботи є визначення різновидів структурно-літологічних елементів і генетично пов'язаних з ними пасток вуглеводнів, як підґрунтя для прогнозування перспективних ділянок для подальших пошуково-розвідувальних робіт на пастки несклепінного типу. У межах ДДЗ виявлені різні моделі будови приштокових зон. Найбільш значущою особливістю будови численних соляних штоків слід вважати наявність приштокових блоків (назвемо їх блоками-сателітами), які супроводжують процес формування штоків від початкової стадії діапиризму і, нерідко, до стадії формування козирків. Розроблена типізація соляних штоків за ступенем активності їх розвитку свідчить, що наявні приштокові блоки-сателіти пов'язані, в основному, з високоактивними і активними соляними криптодіапірами. Ця обставина дозволяє обґрунтовано прогнозувати можливий їх розвиток на соляних криптодіапірах, а саме з тими соляними структурами, з якими пов'язані масштабні компенсаційні мульди. Виявлені на даний час пастки ВВ у приштокових ділянках за своєю генетичною приналежністю пов'язані з наступними різновидами структурних і літологічних елементів: шлейфами у відкладах $P_{1sl} - C_3^3$; задирами у відкладах $P_1 - C_3$; тектонічними блоками-сателітами, що охоплюють C_3, C_2b, C_{1s} ; карбонатними банками у відкладах P_1 . У створенні пасткових умов шлейфові відклади, задири, тектонічні блоки-сателіти і карбонатні банки можуть відігравати самостійну роль тоді, коли в їх межах формуються поклади з власним ГВК (газо-водним контактом). Водночас при гідрогазодинамічному зв'язку окремих із них, утворюється спільний поклад із єдиним ГВК. Ця обставина дає підстави для виділення в приштокових зонах комплексних (поєднаних) пасткових умов, а саме: поєднання шлейфів, задрів і блоків-сателітів; поєднання задрів і блоків-сателітів. З метою виявлення перспективних у нафтогазоносному відношенні об'єктів необхідно здійснити цілеспрямоване вивчення приштокових зон як комплексом спеціальних польових геофізичних досліджень, так і з використанням запропонованої раніше методики, що дозволить звузити зони відсутності достовірних сейсмічних матеріалів. Визначено першочергові об'єкти для пошуків пасток ВВ, пов'язаних зі шлейфами, задирами і блоками-сателітами.

Ключові слова: штоки, задири, блоки, шлейфи, карбонатні банки, пастки, поклади, вуглеводні.

Як цитувати: Височанський І. В. Умови формування несклепінних пасток вуглеводнів у приштокових зонах південно-східної частини Дніпровсько-Донецької западини / І. В. Височанський, А. О. Яковлев, І. М. Самчук та ін. // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 56. – С. 24-48. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-02>

In cites: Vysochanskiy I. V., Yakovlev A. O., Samchuk I. M., Volosnyk Ye. Ye., Nekrasov A. O., Kupchinskaya M. V. (2022). Conditions for the formation of non-anticlinal hydrocarbon traps in zones around salt stocks of the south-eastern part of the Dnepr-Donetsk depression. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (56), 24-48. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-02> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. Приштокові зони ДДЗ, як самостійні геологічні об'єкти, вивчалися з метою виявлення резерву для наросування запасів вуглеводнів (ВВ). Складність геологічної будови стимулювала істотне накопичення фактичних матеріалів для пізнання механізму формування діапирогенних структур. Здійснення аналізу під кутом зору пасткоутворення, спрямоване на внесення істотного елементу новизни в питання типізації пасток, сприятиме підвищенню ефективності геологорозвідувальних робіт.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Вивченню соляної тектоніки присвячені роботи численних дослідників у багатьох соляноштокових регіонах світу [10, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28 та ін.] з акцентуванням уваги на ролі у формуванні соляних структур тектонічного і гравітаційного факторів. Найголовніше питання – розгляд механізму процесів галокінезу в аспекті особливостей фаз активізації регіональних тектонічних рухів і їх впливу на соляну тектоніку. На підставі здійснених узагальнень В.І. Кітиком (1970) виділені фази і мікрофази уповільненого і посиленого соляного тектогенезу. На цій концептуальній основі І.В. Височанським [2] запропонована типізація соляних структур за етапністю їх розвитку з виділенням трьох етапів: 1) етапу соляної подушки, 2) етапу діапіризму, 3) конседиментаційного етапу [3]. Розглядаючи історію розвитку різних соляних структур, встановлено на ряді із них повторення названих етапів, що дозволило виділити окремі типи, прослідкувати співвідношення структурних планів (спеціальні формули-символи) для кожного із них та виділити перспективні комплекси і прогнозні типи пасток [4].

На базі обширного опублікованого матеріалу з питань генезису ВВ та їх міграції обґрунтовано критерії формування і розміщення покладів ВВ в ДДЗ з урахуванням соляної тектоніки (А.В. Загороднов, 2016). Соляний тектогенез, як слушно зауважив автор, є одним із головних структуроутворювальних факторів при формуванні склепінних пасток для акумуляції вуглеводнів, проте їм не врахована важлива роль в цих процесах несклепінних пасток, до значної ролі яких привертається увага читача в даній роботі.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. До їх числа відносяться: уточнення часу виходу діапірів на субаквальну поверхню; відсутність диференціації пасткоутворювальних факторів у приштокових зонах; відсутність чіткого розмежування окремих типів пасток, формування яких зумовлено різними пасткоутворювальними факторами; можливість поєднання різних типів пасток у формуванні єдиного покладу.

Формулювання мети статті. Визначення різновидів структурно-літологічних елементів і

генетично пов'язаних з ними пасток вуглеводнів, як підґрунтя для прогнозування нових перспективних пошукових об'єктів.

Виклад основного матеріалу досліджень.

Південно-східна частина Дніпровсько-Донецької западини вирізняється масштабними галокінетичними процесами, які зумовили формування численних діапирогенних структур трьох основних типів – надштокових, міжштокових і приштокових. До числа першого типу відносяться Шебелинська, Кобзівська, Північно-Волвенківська, Краснооскольська, Новомечибилівська, Солохівська, Матвіївська та ін.; другий тип включає Єфремівську, Мелихівську, Кегичівську, Західно-Хрещищенську, Західно-Старовірівську, Західно-Соснівську структури; до третього типу відносяться напівантиклінальні приштокові складки – Кочубеївська, Ланнівська, Медведівська, Східно-Павлівська, Світлівська, Веселівська, Біляївська, Рябухинська, Решетниківська, Академіка Шпака та ін. і моноклінальні приштокові структури – Карлівська, Чутівська, Розпашнівська, Новоукраїнська, Червоноярська, Олексіївська та ін.

Надштокові структури – це типові брахіантіклінальні складки, у межах яких формувались переважно склепінні пастки. Міжштокові структури в тій чи іншій мірі в периклінальних частинах ускладнені соляними штоками і, відповідно, в формуванні пасток можлива часткова участь солештокових екранів; структури третього типу – приштокові, характеризуються наявністю замкнутого контуру тільки завдяки примиканню до соляних штоків (іноді з можливим ускладненням радіальними диз'юнктивними порушеннями), що в цілому визначає вирішальну роль у формуванні пасток саме солештокового екрана.

Першочерговими об'єктами для введення в пошукове буріння традиційно були антиклінальні структури (першого і другого типів) і практично в їх межах до сього часу відкрито значну кількість промислових скупчень вуглеводнів, включаючи крупні і унікальні за запасами (Шебелинське, Західно-Хрещищенське, Єфремівське).

Вичерпання резерву антиклінальних складок спонукає до включення в орбіту детальних досліджень саме приштокових структурних форм, в загальному обсязі ще недостатньо вивчених, з якими пов'язані виключно пастки несклепінного типу.

Окремі частини солянокупольних структур з найбільш яскраво вираженими рисами будови, зумовленими впливом процесів діапіризму, відносимо до приштокових зон. Останні включатимуть інтенсивно дислоковані навколоштокові ділянки [1], а також різко здійняті блоки. Пошуково-розвідувальні роботи в цих зонах характеризуються певним ступенем складності, нерідко у

зв'язку з недостатньою достовірністю результатів геофізичних досліджень є навіть ризикованими, але високі дебіти та щільність запасів на окремих об'єктах подальше їх вивчення цілком виправдовують. Так, наприклад, початкові запаси найбільшого приштокового Розпашнівського родовища оцінюються в об'ємі ~48 млрд м³.

У межах ДДЗ виявлені різні моделі будови приштокових зон. Різноманітність ця зумовлена як особливостями формування штоків, так і ступенем метаморфізації прилеглих до штоку порід.

Найбільш значущою особливістю будови численних соляних штоків слід вважати наявність приштокових блоків, які супроводжують процес формування штоків від початкової стадії діапіризму і, нерідко, до стадії формування козирків.

В процесі вивчення солянокупольних структур у різних регіонах давно звернута увага дослідників на наявність значних кутових незгідностей у приштокових зонах, що чітко відмічено в спеціальній, присвяченій цій темі роботі [7]. В ДДЗ, на ранній стадії вивчення соляної тектоніки, ця характерна риса будови приштокових зон теж викликала науковий інтерес (Ю.А. Косигін, М.І. Бланк, 1958; І.Г. Баранов, 1964; та ін.) проте, нафтогазоносність цих ділянок була встановлена значно пізніше [7, 9]. Ця обставина стала потужною мотивацією для суттєвої активізації пошуково-розвідувальних робіт, і відповідно, науково-дослідних узагальнень на солянокупольних об'єктах регіону.

Водночас варто підкреслити, що механізм формування приштокових блоків, названих нами згодом «блоками-сателітами», не був до кінця зрозумілим, не знаходив адекватного пояснення і в інших регіонах навіть при наявності відповідних для цього геологічних передумов [26, стор.233; 27, стор. 208,209] та ін. Утворення згаданих геологічних об'єктів вперше знайшло логічне пояснення на базі результатів простеження закономірних етапів у процесі діапіризму [2, 5].

Механізм виникнення приштоково-компенсаційних розривів і блоків-сателітів зводиться до наступної схеми (рис. 1). На завершальній стадії формування соляної подушки в перекриваючій осадовій товщі її склепінної частини виникали тектонічні зусилля розтягання та поява диз'юнктивних порушень, своєрідної послабленої зони. Незаперечною є стимулююча роль останньої для початку процесу діапіризму і формування соляного штока. У порівняно вузькій смузі, що прилягала до соляного тіла, відбувались різноспрямовані рухи: з одного боку – висхідні, зумовлені підйомом соляних мас, які сприяли утворенню т. зв. «задирів», і з іншого боку – нисхідні на відносно невеликій відстані від штоків, де відбувалась трансформація соляної подушки в діапірову струк-

туру, утворюючи компенсаційне прогинання. Саме в цій смузі виникали приштоково-компенсаційні розриви, внаслідок яких формувались приштокові блоки-сателіти. Останні, завдяки відчленованості від ділянок компенсаційних прогинів, набували високої мобільності і мігруючою сіллю втягувались в інтенсивний підйом, а відтак, і розмив [5]. Розмиву підлягали і винесені уламки різновікових порід, прорваних діапиром, у складі яких були і зразки девонського віку вулканогенного походження.

Продукти їх розмиву у вигляді прошарків вулканогенних порід у відкладах верхнього карбону розкрила св. № 13 на Рябухинській площі в інтервалі 3440-4200 м. Ці дані свідчать про те, що вихід солі на субаквальну поверхню і конседиментаційний розвиток діапіру, на що акцентована увага нижче при характеристиці шлейфових утворень, відбувався вже у верхньокам'яовугільний час.

У примикаючих до соляних штоків зонах утворювалися як здійняті, так і занурені ділянки, яким відповідають приштокові підняття та компенсаційні мульди. За своєю будовою вони істотно розрізняються. У межах компенсаційних прогинів, на відміну від перших, на багатьох солянокупольних структурах відмічено значні кутові та стратиграфічні незгідності: під козирками соляних штоків, іноді під микитівською світою нижньої пермі, залягають верхньо- (Медведівська, Сх. Медведівська, Червоноярська, Машівська площі), середньо- (Машівська, Чутівська площі) і навіть нижньокам'яовугільні відклади (Новоукраїнська, Розпашнівська площі). Кути залягання порід, що примикають до штоків, на окремих ділянках сягають 60° і більше (навіть до 90°).

Розроблена типізація соляних штоків за ступенем активності їх розвитку (таблиця 1) свідчить, що наявні приштокові блоки-сателіти пов'язані, в основному, з високоактивними і активними соляними криптодіапірами. Ця обставина дозволяє обґрунтовано прогнозувати можливий їх розвиток на соляних криптодіапірах (де вони ще не вивчені), а саме з тими соляними структурами, з якими пов'язані масштабні компенсаційні мульди.

Характер будови приштокової зони визначається не тільки пластичними властивостями порід, що прориваються соляним діапиром. Слід, крім того, враховувати ступінь тектонічної роздробленості зони, яка сприяла галокінезу, а також розміри штоків, що відтворюють масштаби динаміки їх формування, включаючи структурну приуроченість (склепіння, крило, перикліналь підняття, прогин) та інші фактори.

У випадку, коли соляні штоки проривають пластичні слабометаморфізовані породи, для бу-

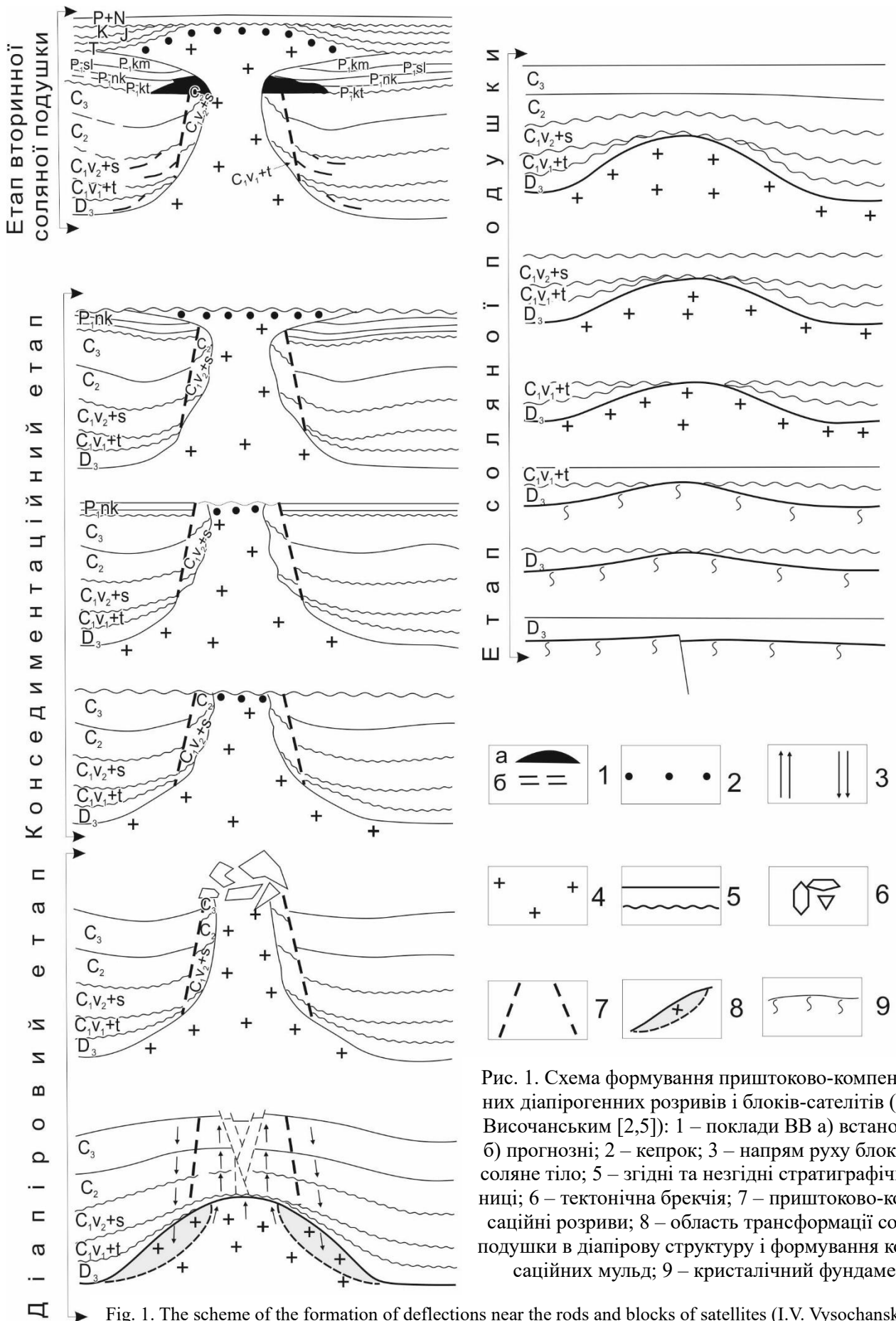


Fig. 1. The scheme of the formation of deflections near the rods and blocks of satellites (I.V. Vysochanskiy [2,5]): 1 – hydrocarbon deposits a) established b) forecast; 2 – rocks above the stem (caprock); 3 – direction of movement of blocks; 4 – salt body; 5 – stratigraphic boundaries; 6 – tectonic breccia; 7 – compensatory gaps near the stem; 8 – area of salt pillow transformation and the formation of compensatory molds; 9 – crystal foundation

Таблиця 1

Типізація соляних штоків за ступенем активності розвитку в Р₁ – Мz (за[5])

№/ч.ч.	Назва	Ознаки		Стратиграфічний рівень залягання солі штоку	Навність пришкових блоків	Соляних штоків		Компенсаційних мульд		Середньо-арифметична величина узагальноної ознаки активності штоків	Навність шлейфових утворень у розрізі		
		Тип за ступенем активності	Знаки			Площа	Козирка (без ніжки)	Загальна площа	Граничні площі мульд для штоків різного типу		Р _{1st-nk}	Р _{1kt} С ₃	
1	Чутово-Розпашнів.-Білухівський	ВИСОКОАКТИВНІ		T(Q)*	+	160	300	260	51 – 260	240	+	+	
2	Слизаветівсько-Тарасівський			T	П	56	144	146		115	+	+	+
3	Хрестищенський			+	П	32	118	110		87	+	+	+
4	Олексіївський			П	П	35	61	96		64	+	+	+
5	Валківський			Р	П	14	35	144		64	П	П	+
6	Медведівський			T(P)*	+	28	75	76		60	+	+	+
7	Токарівський			T(P)*	П	12	47	96		52	П	П	+
8	Старовірський			T	П	11	47	96		51	П	П	+
9	Соснівський			T	П	23	75	51		50	+	+	+
10	Верх. Ланнівський	АКТИВНІ		T	П	13	40	48	34	П	П	+	
11	Жоржівсько-Самаринський			Р	П	35	-	27	31	П	П	+	
12	Єфремівський			T	П	7	35	44	29	+	+	+	
13	Селещинський			T	+	19	40	30	29	19-34	П	+	
14	Миронівський			T(P)*	П	26	-	24	25	П	П	+	
15	Колонтаївський			Р	+	16	-	34	25	П	П	+	
16	Басівський			T	П	4	20	46	23	П	П	+	
17	Парасковійський			T	П	9	21	38	23	П	П	+	
18	Карайкозівський			Р	П	12	-	34	23	П	П	+	
19	Рябухинський			T	П	7	41	16	21	П	П	+	
20	Павлівський			T	П	18	30	13	20	П	П	+	
21	Полтавський		СЛАБООАКТИВНІ		T	13	25	-	19	9-22	19	+	+
22	Нововодолазький			T	18	18	-	18	18	П	П	+	
23	Зах. – Єфремівський			T	6	34	15	18	18	П	П	+	
24	Олецірівський			T	5	-	22	14	14	П	П	+	
25	Федорівський			T	7	21	-	14	14	П	П	+	
26	Краснопавлівський			T	7	-	18	13	13	П	П	+	
27	Вербівський			T	4	19	9	11	11	П	П	+	
28	Біляївський			T(P)	9	10	12	10	10	П	П	+	
29	Сх. Медведівський			T	2	18	-	10	10	П	П	+	
30	Руновичинський	ПАСИВНІ		T	9	-	-	9	2-9	9	П	П	
31	Будищанський			T	9	-	7	8	8	П	П	П	
32	Бакейський			T	7	-	-	7	7	П	П	-	
33	Тимчківський			T	2	-	-	2	2	П	П	П	

П – прогнознi

*-рівень солі зумовлений розривом

дови приштокових зон більш поширеним може бути плікативний характер, тобто вони (крім блока-сателіта) не ускладнені розривними порушеннями. Якщо ж соляні штоки проривають жорсткі, високометаморфізовані породи (сланці, міцні пісковики), то приштокові зони характеризуються складною блоковою будовою зі значними амплітудами зміщення окремих блоків і їх роздробленістю. У випадку, коли штоки проривають перешарування пластичних і жорстких порід або породи середньої жорсткості (аргіліти, пісковики), плікативна частина приштокової зони ще ускладнюється розривними порушеннями [6].

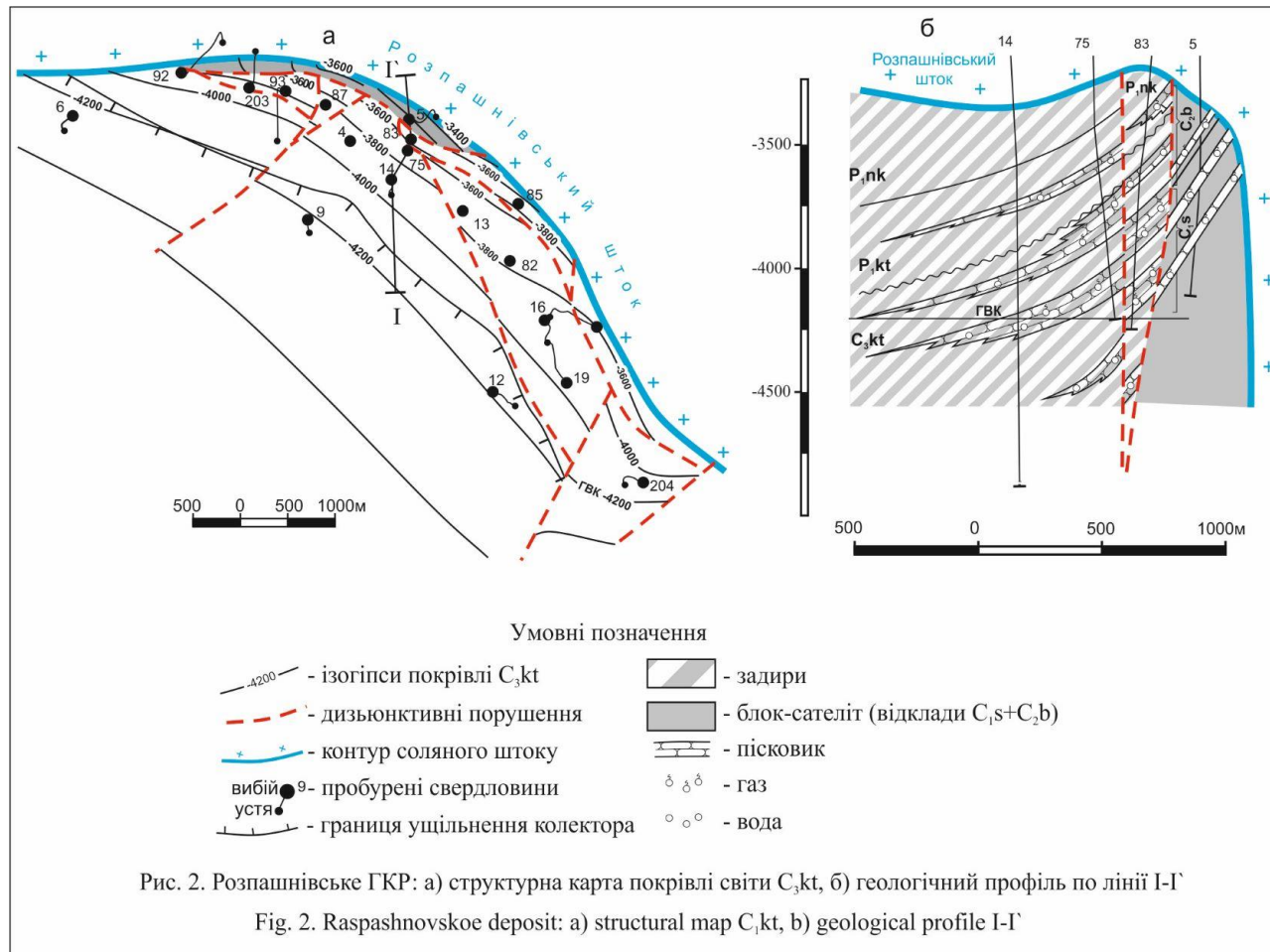
Приштокові складки в зоні примикання до соляних діапірів зазнають доволі поступовий підйом (Рябухинська рис. 7, і Тарасівська рис. 18 площі), що нерідко змінюється різким задиrom (Академіка Шпака, рис 11, Решетниківська, рис 12 та ін.) або занурюються в міру наближення до нього (західна перикліналь Західно-Хрестищенського підняття, східна перикліналь Західно-Соснівської складки, Мелихівська структура), або полого, субперпендикулярно примикають до ніжки штоку (Веснянська, Красноградська площі рис. 3). Водночас зазначимо, що на тих же підняттях у примикаючих компенсаційних прогинах, як правило, наявні блоки-сателіти з різко вираженими кутами залягання порід.

У приштокових зонах часто розвинені комбіновані, складно побудовані (із солештоковим, літологічним і диз'юнктивним екрануванням) пастки, в основному, в піщано-алевролітових породах нижньої пермі – верхнього карбону, що характеризуються високими ємнісними і фільтраційними властивостями. Покришками служать козирки соляних криптодіапірів і хомогенні породи нижньої пермі. По здійманню пластів вони обмежені кам'яною сіллю козироків або ніжок соляних штоків, а на флангах – радіальними до штоку порушеннями або сіллю штоків у разі, коли вона заповнює радіальні розриви, утворюючи своєрідні затоки (рис. 2).

Виявлені на даний час пастки ВВ у приштокових ділянках, за своєю генетичною приналежністю, пов'язані з наступними різновидами структурних і літологічних елементів:

- шлейфами у відкладах $P_{1sl} - C_3^3$;
- задирами у відкладах $P_1 - C_3^3$;
- тектонічними блоками-сателітами, що охоплюють C_3^3, C_3^2, C_2b, C_1s ;
- карбонатними банками у відкладах P_1 ;

Слід відмітити, що тривалий час до задирів відносився весь масив порід приштокової зони, що залягали під значними кутами, незважаючи на те, що окремі частини цього масиву були різновіковими та за своїм генезисом відокремленими.



У створенні пасткових умов шлейфові відклади, задири, тектонічні блоки -сателіти і карбонатні банки можуть відігравати самостійну роль, коли в їх межах формуються поклади з власним ГВК. Водночас при гідрогазодинамічному зв'язку окремих із них, утворюється спільний поклад із єдиним ГВК. Ця обставина дає підстави для виділення в приштокових зонах комплексних (поєднаних) пасткових умов, а саме:

- поєднання шлейфів, задири і блоків-сателітів;

- поєднання задири і блоків-сателітів;
Розглянемо кожний із різновидів пасткових умов, акцентуючи увагу на відмітних рисах їх будови (таблиця 2).

Шлейфи. Процес проникнення девонської солі у більш молоді відклади одночасно з їх накопиченням в ДДЗ розглянуто в роботах Авер'єва В.О. (1962) і Хнікіна В.І. (1964), а зв'язок брекчеподібних пісковиків і гравелітів (по суті шлейфових літологічних утворень) з конседиментаційним ростом штоків девонської солі в ранньоперм-

Таблиця 2

Типізація несклепінних пасток ВВ у приштокових зонах соляних структур південно-східної частини ДДЗ

Геологічні умови формування пасток		Типи пасток за різновидами екранування і обмеження	Приклади	
Різновиди	Вік відкладів		Соляних штоків	Родовищ
1	2	3	4	5
Шлейфи	Шлейфові утворення в хомогенних відкладах нижньої пермі (P _{1sl} -P _{1kt})	Диз'юнктивно екранована літологічно обмежена	Вербівський	Красноградське ГКР, рис. 3
		Солештоко екранована літологічно обмежена	Розпашнівський	Новоукраїнське ГРК, рис. 5
		Солештоко екранована диз'юнктивно обмежена	Хрестищенський	Зах.Хрестищенське ГКР, рис. 6 (в)
	Шлейфові утворення в теригенних відкладах верхнього карбону (C _{3kt} , C _{3³})	Солештоко екранована літологічно обмежена	Рябухинський	Рябухинське ГКР, рис. 7
			Медведівський	Котлярівське ГРК, рис. 8
			Парасковійський	Мелихівське ГКР, рис. 9
		Білухівський	Зах.Хрестищенське, ГКР рис. 6 (б)	
Задири	Задири у відкладах нижньої пермі і верхнього карбону	Солештоко екрановані літологічно і диз'юнктивно обмежені (у відкладах слов'янської світи) P _{1sl}	Хрестищенський	Зах.Хрестищенське ГКР, рис. 6
		Солештоко екранована диз'юнктивно обмежена у відкладах картамишської світи (P _{1kt} , C _{3kt}) і верхнього карбону (C _{3³} -C _{3²})	Хрестищенський	Зах.Хрестищенське ГКР, рис. 6
	Задири у відкладах нижньої пермі (P _{1nk} , P _{1kt}) і верхнього карбону (C _{3³} , C _{3²})	Солештоко екранована	Хрестищенський	Червоноярське ГНР, рис. 14
	Задири у відкладах нижньої пермі і верхнього карбону (P _{1sl} -P _{1nk} , C _{3kt})	Солештоко і диз'юнктивно екранована	Сх.Медведівський соляний гребінь	Сх.Медведівське ГКР, рис. 10
	Задири у відкладах верхнього карбону (C _{3kt})	Солештоко і диз'юнктивно екранована диз'юнктивно обмежена	Руновщинський	Академіка Шпака НР, рис. 11
	Задири у відкладах середнього (C _{2b}) і нижнього (C _{1s}) карбону	Солештоко екранована, літологічно і диз'юнктивно обмежена	Решетниківський	Решетниківське НР, рис. 12

1	2	3	4	5
Задири	Задири у відкладах нижньої пермі (P_1) і верхнього карбону (C_3)	Солештоко екранована літологічно і диз'юнктивно обмежена	Розпашнівський	Новоукраїнське ГКР, рис. 5
	Задири у відкладах нижньої пермі ($P_{1kt}+P_{1sl}+P_{1nk}$) і верхнього карбону ($C_3^3+C_3^2$)	Диз'юнктивно екранована	Селещинський	Машівське ГКР, рис. 13
Блоки -сателіти	Блок-сателіт – відклади верхнього карбону (C_3^2)	Солештоко і диз'юнктивно екранована диз'юнктивно обмежена	Сх.Медведівський соляний гребінь	Сх.Медведівське ГКР, рис. 10
	Блок-сателіт – відклади середнього та нижнього карбону ($C_{1s}+C_{2b}$)	Солештоко і диз'юнктивно екранована диз'юнктивно обмежена	Розпашнівський	Новоукраїнське, нафтові поклади, рис. 5
Поєднання шлейфів, задірів і блоків-сателітів	Шлейфи у відкладах микитівської світи (P_{1nk}); задири у відкладах нижньої пермі і верхнього карбону ($P_{1nk} - P_{1kt}, C_3kt$); блок-сателіт у відкладах середнього (C_{2b}) і нижнього карбону (C_{1s})	Солештоко і диз'юнктивно екранована і літологічно обмежена ($P_1 + C_3kt$); солештоко екранована диз'юнктивно обмежена ($C_{1s}+C_{2b}$ блок-сателіт). Вміщує поклад ВВ з єдиним ГВК	Розпашнівський	Розпашнівське ГКР, рис. 2
	Шлейфи у відкладах микитівської (P_{1nk}) і славянської (P_{1sl}) світ нижньої пермі; задири у відкладах нижньої пермі і верхнього карбону ($P_1 + C_3^3$); блок-сателіт у відкладах середнього карбону (C_{2b})	Солештоко екранована літологічно обмежена ($P_{1nk}+sl$) шлейф; літологічно екранована (P_{1sl}); диз'юнктивно екранована (C_3+P_{1krt}); стратиграфічно і солештоко екранована диз'юнктивно обмежена ($C_{2b} -$ блок-сателіт). Вміщує поклад ВВ з єдиним ГВК.	Чутівський	Чутівське ГКР, рис. 4
	Шлейфи у відкладах микитівської (P_{1nk}) і славянської (P_{1sl}) світ нижньої пермі; задири у відкладах араукаритової світи верхнього карбону (C_3^3); блок-сателіт у відкладах середнього карбону (C_{2b})	Солештоко екранована літологічно обмежена (P_1); солештоко екранована диз'юнктивно обмежена (C_3^3); солештоко екранована диз'юнктивно обмежена ($C_{2b} -$ блок-сателіт). Вміщує поклад ВВ з єдиним ГВК.	Селещинський	Машівське ГКР, рис. 13
Поєднання задірів і блоків-сателітів	Задири у відкладах картамишської (P_{1kt}, C_3kt) і араукаритової світ (C_3^3), що по тектонічному порушенню примикають до блока-сателіта у верхньому карбоні (C_3^3)	Диз'юнктивно екранована ((P_1-C_3)); солештоко екранована диз'юнктивно обмежена. Вміщує поклад ВВ з єдиним ГВК.	Медведівський	Медведівське ГКР, рис. 15
Карбонатні банки	Під козирком соляного штоку у відкладах слов'янської і микитівської світ товщини окремих продуктивних	Солекозирково екранована літологічно обмежена	Козирок Парасковейського штоку	Мелихівське ГКР, рис. 9

пластів вапняків суттєво збільшені, утворюючи т.з. карбонатні банки	Солекозирково екранована літологічно обмежена	Козирок Медведівського штоку	Медведівське ГКР, рис. 16
---	---	------------------------------	---------------------------

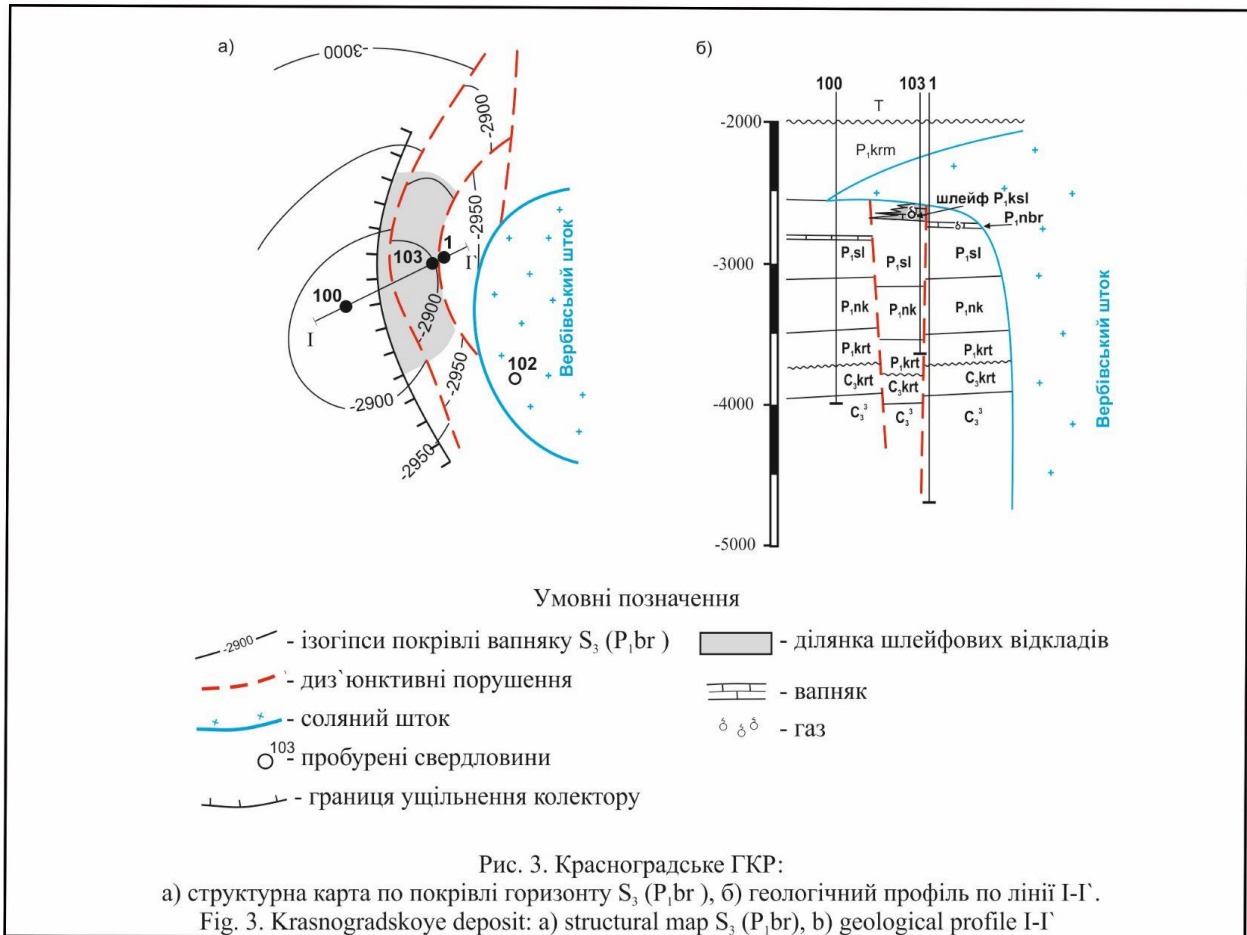
ський час обґрунтовано В.Д. Коганом [8]. Результати досліджень дозволили цьому автору дійти висновку, що в ДДЗ, починаючи з верхньої третини картамишського часу, штоки девонської солі росли конседиментаційно, а внаслідок розмиву утворювався підводно-делювіальний шлейф.

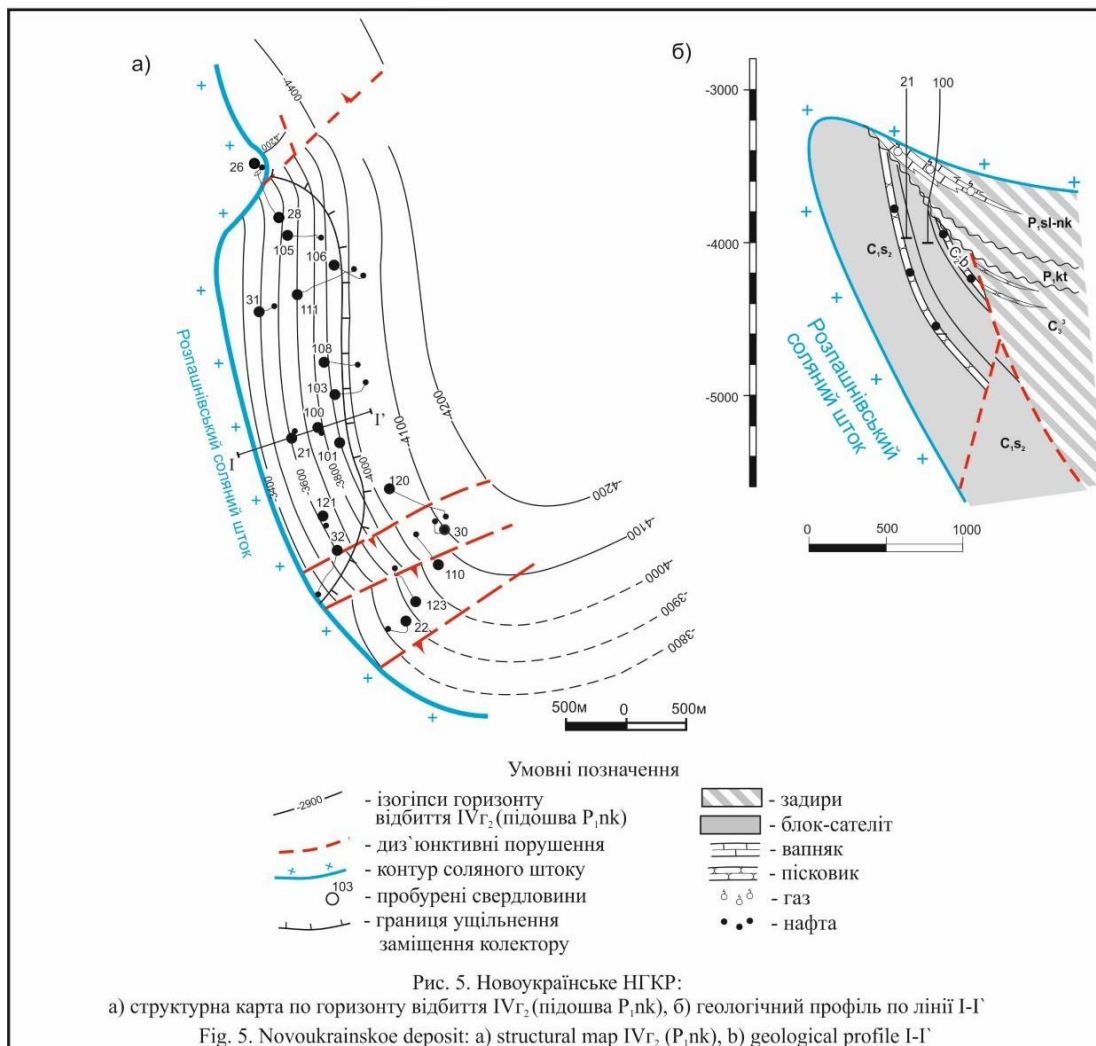
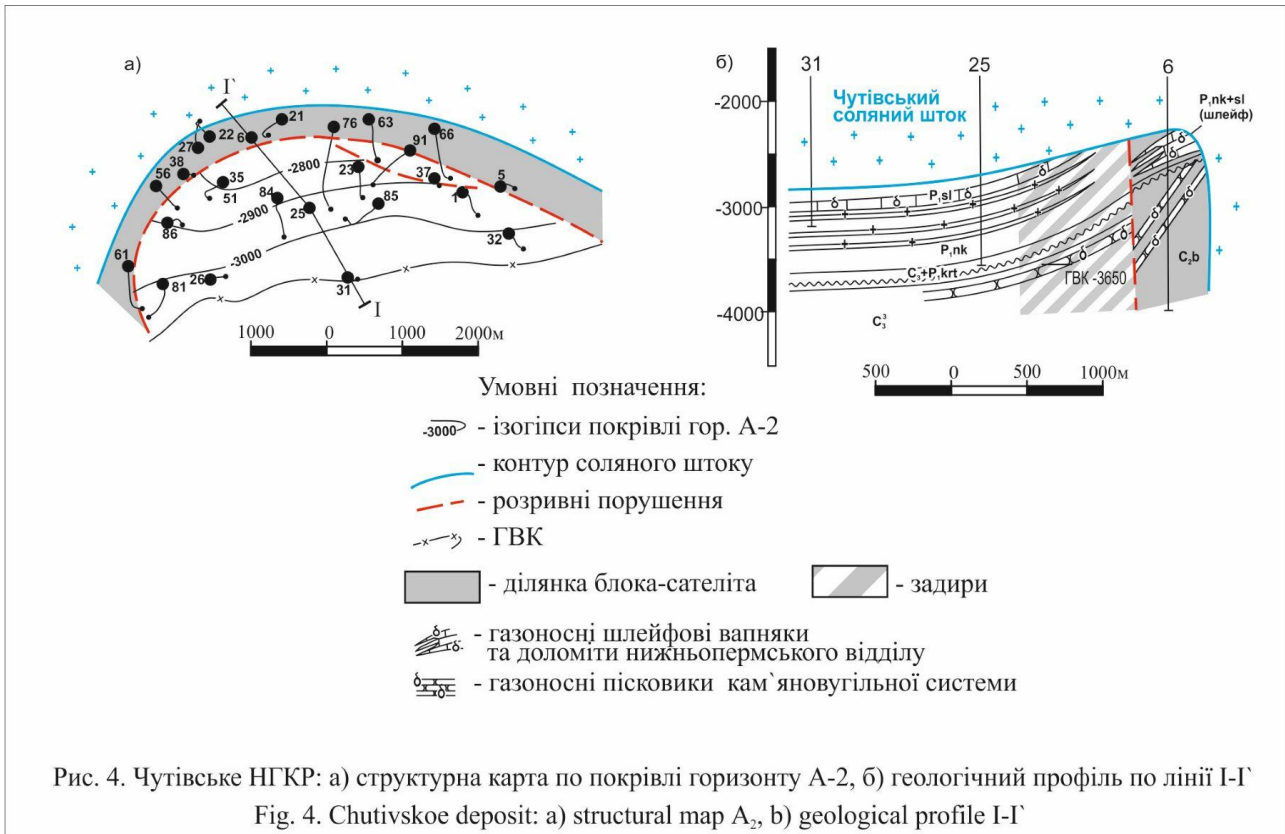
Поширення шлейфових утворень на той час вже було відомо на численних соляних структурах [8], проте пов'язані з ними поклади ВВ ще не були виявлені. І тільки значно пізніше [9, 10, 11, 12] промислова нафтогазоносність їх була встановлена.

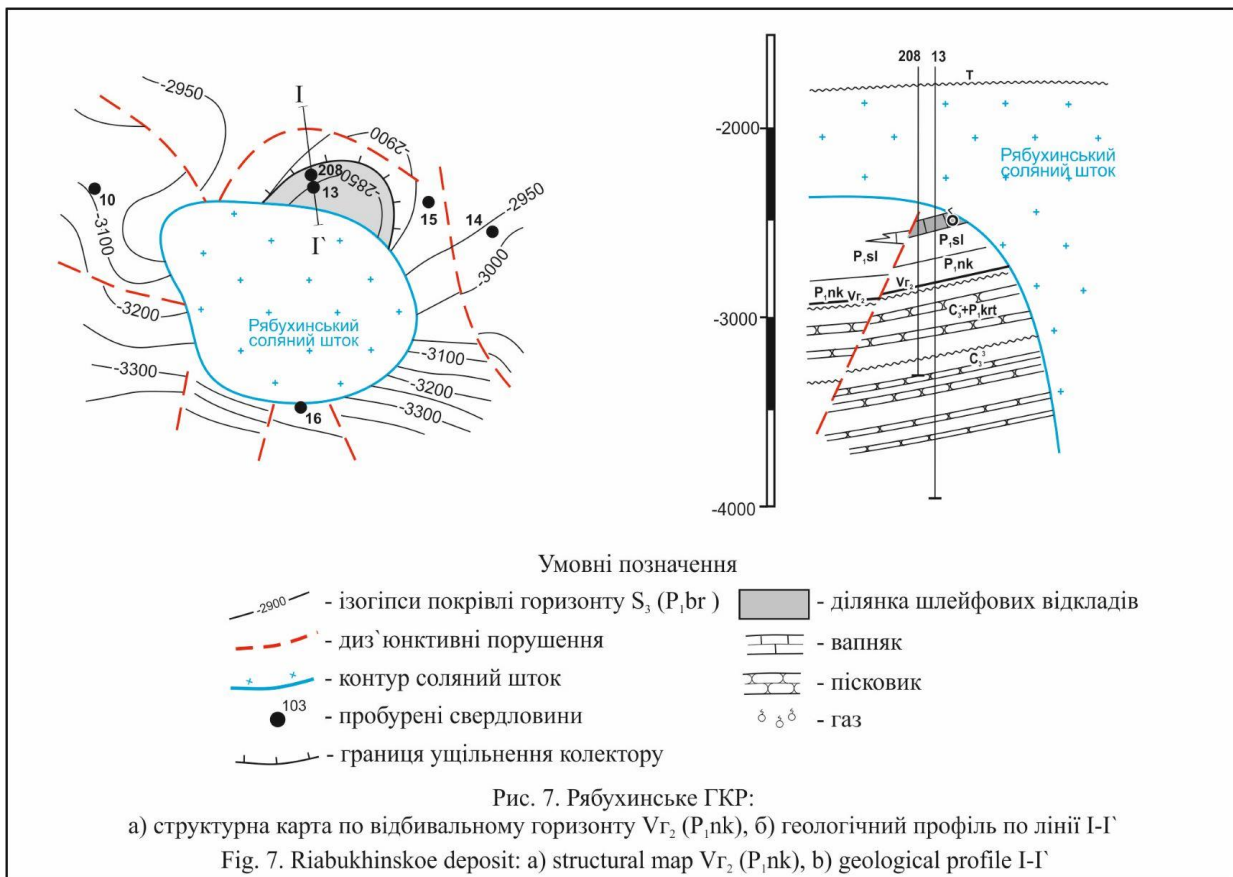
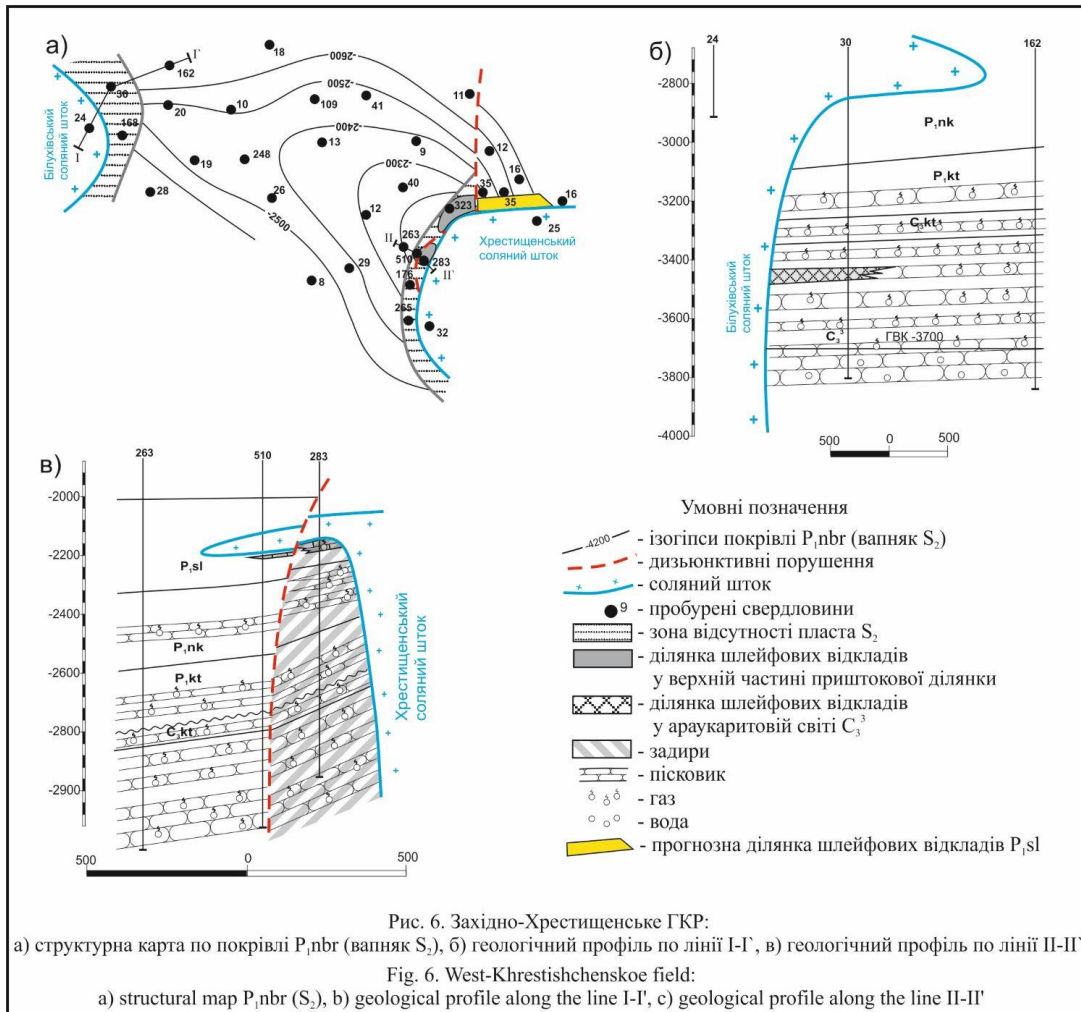
Пасткові умови, що пов'язані зі шлейфовими відкладами (таблиця 2, рисунки 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9), виявлені в межах Чутівсько-Білухівського соляного валу, а також в зоні оконтурення Хрещищенського, Вербівського, Рябухинського та ін. штоків. В розрізі карбонатно-галогенної товщі нижньої пермі колектори даних утворень характеризуються аритмічною будовою, відсутністю пластів пермської солі, широким розвитком погановідсортованих теригенних, грубоуламкових порід, наявністю в них діабазів, спілітів, іноді досить значних уламків карбонатів, які часто

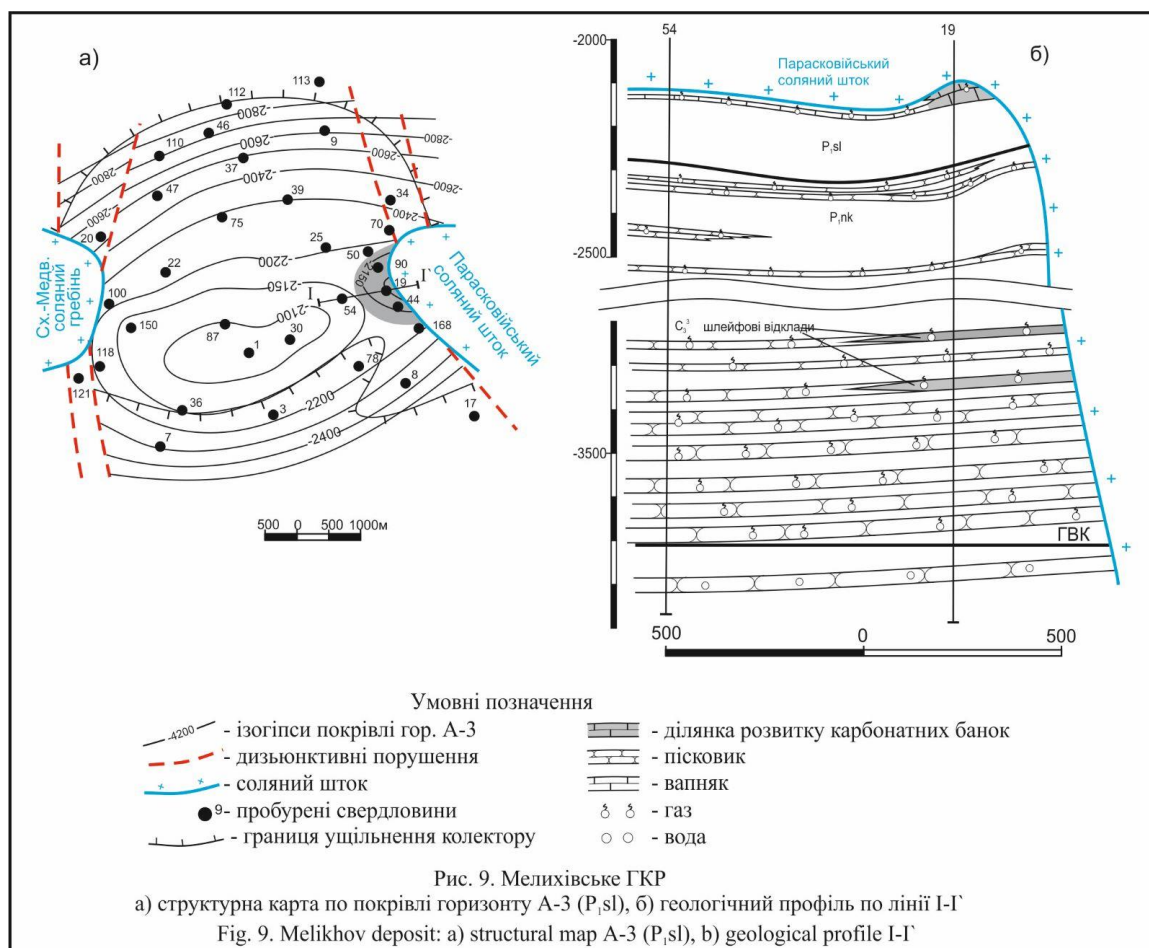
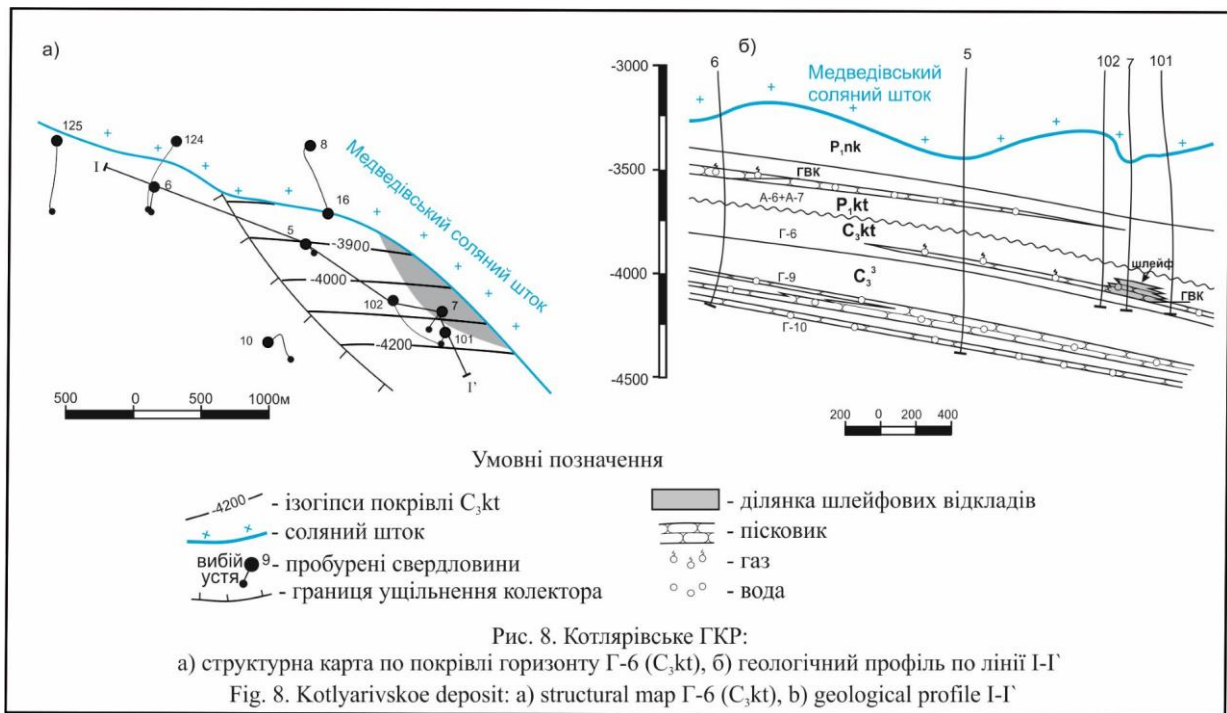
зустрічаються в штоках [13]. Такий склад шлейфів є свідченням про їх накопичення в зоні активної хвильової діяльності, подібної за умовами до берегових смуг.

У картамишській світі продуктивні шлейфи виявлені на Котлярівському родовищі у свердловинах №№ 5,6,7 [12] та Машівському родовищі у свердловині № 215. Грубоуламкові породи зустрічаються і в розрізі теригенного верхньокам'яновугільного відділу. Так, в араукаритовій світі продуктивні шлейфові відклади виявлені в свердловині №19 Мелихівська (інт. 3398-3410м, 3491-3503м) і в свердловині №30 Західно-Хрещищенська (інт. 3585-3591м), що розташовані поблизу відповідно Парасковійського та Білухівського штоків. Шлейфи представлені уламками піщано-глинистого матеріалу, вапняків, діабазів та порфіритів з низьким ступенем окатаності. За петрофізичними ознаками, описані породи петрографом О.І. Барановою віднесені до шлейфових [14]. Ці дані підтверджують положення про те, що окремі штоки досягали субаквальної поверхні вже на завершальній стадії верхньокам'яновугільного віку, чим вносяться корективи щодо уяв-









лень про більш ранній початок конседиментаційного їх розвитку ніж визначений іншими авторами [15, 16].

Процес накопичення шлейфових відкладів складається з трьох етапів. Перший етап знаменується проривом соляного діяпіру та його підій-

манням відносно оточуючих депресій (на рис. 1 – кінець діяпірового етапу). З другим конседиментаційним етапом пов'язаний ріст та розмивання соляних тіл в зоні дії хвиль. Внаслідок цього в зонах наближених до соляних тіл якраз і відбувається накопичення пористих шлейфових відкла-

дів. На завершальному етапі відбувалося формування соляних козирків, що перекривали та ізолювали шлейфові резервуари, а в разі наявності шлейфових відкладів у породах картамишської чи араукаристової світ роль екранування відігравали власне ніжки штоків.

Пасткові умови у шлейфових утвореннях, таким чином, створювались завдяки екрануванню соляним козирком або штоком, та літологічним обмеженням, а накопчення вуглеводнів у таких пастках відбувалося шляхом вертикальної їх міграції по ослаблених зонах або диз'юнктивних порушеннях.

Сумарна ефективна газонасичена товщина шлейфових відкладів у св. № 6 на Чутівському родовищі досягає 200 м, їх пористість змінюється у межах 7-29,7%, а дебїти газу від 74-207 тис.м³/добу. Найбільш значимі результати щодо дебїтів газу отримано на Новоукраїнському родовищі, де в св. №№21 і 31 він сягнув відповідно 10,3 і 2,9 млн.м³/добу при сумарній товщині колектора 70 м і пористості 12-20 % [10].

Задири є другою самостійною (в тектонічному сенсі) складовою приштокових зон.

При наближенню до штоків відбувається досить стрімкий вигин порід вгору, значно інтенсивніший ніж у цілому в межах приштокової структури, зумовлений дією соляних мас, що підіймались вгору у процесі діаспіризму (таблиця 2).

По тектонічних порушеннях задири контактують безпосередньо з блоками-сателітами або із соляними штоками, а екрануючим фактором виступають останні або диз'юнктивні порушення. У межах тих частин приштокових зон, де блоки-сателіти відсутні, у відкладах Р₁-С₃ формувались умови для утворення солештоко екранованих пасток.

Блоки-сателіти представляють собою вузькі (перші сотні метрів), але досить протяжні крутозалагаючі (70-90°) блоки нижньо-, середньо- та верхньокам'яновугільних порід (таблиця 2), що контактують з одного боку з девонською сіллю, а з іншого, через розривні порушення – з нижньопермськими та верхньокам'яновугільними відкладами.

Виникнення їх, як розглядалось вище, пов'язується з активними тектонічними рухами при формуванні соляних штоків: вони здіймались на більш високі стратиграфічні рівні і, як правило, підлягали процесам інтенсивної денудації. У формуванні пасткових умов блоки-сателіти можуть відігравати як самостійну роль, так і в сукупності з іншими факторами пасткоутворення.

Карбонатні банки встановлені та описані в межах приштокових ділянок Мелихівського і Медведівського родовищ [10]. Гідрогазодинамічно на Мелихівському родовищі вони єдині з загаль-

ним контуром покладу, але при цьому на ділянці площею всього ~1 км² (при сумарній площі покладу 22 км²) вміщують біля 18% початкових запасів газу. Це зумовлено, в першу чергу, збільшенням ефективної товщини до 10-33 м у порівнянні з рештою території, де вона в основному не перевищує 2-5м (рис. 9). Загальна товщина вапняку S₂ на локальній приштоковій ділянці як Східно-Медведівського соляного гребня, так і Парасковійського штока може досягати 70м (св. 44 Мелихівська). При цьому в розрізі свердловин прослідковується нормальна морська ритміка, що не характерна для шлейфових відкладів [10]. Згідно з дослідженнями А. Леворсена [17], Ю.А. Марьєнка [18], та Дж. Уїлсона [19] формування карбонатних банок пов'язано, в основному, з хвиле-прибійною діяльністю та донними течіями, що сприяють виникненню та механічному нагромадженню детриту черепашок, оолітів та іншого карбонатного матеріалу. Банки, в основному, накопичуються на мілководді, тобто основний фактор їх генезису слід пов'язувати з палеорельєфом. Безпосередньо на Мелихівському родовищі резервуари ВВ карбонатних банок обмежені ділянками часткового погіршення ФЄВ або повного їх ущільнення.

У межах Західно-Медведівської структури виявлені дві ділянки гідрогазодинамічно відокремлених карбонатних банок (рис. 16). Поклад горизонту А-2 (вапняк S₃) ділянки свердловин 55-102 був відкритий ще в 1981р. при випробуванні свердловини №102. Початковий пластовий тиск при дослідженні склав 41,4 МПа. В подальшому поклад активно експлуатувався, з якого було видобуто ~1 млрд м³ газу, а пластовий тиск впав до 5-10 МПа. У 2012р. при бурінні експлуатаційної свердловини №515, для розробки покладів картамишської світи нижньої пермі та верхнього карбону, був відкритий новий поклад горизонту А-2 з початковим пластовим тиском 40 МПа та запасами ~350-400 млн м³. Даний приклад свідчить про те, що на вже добре вивчених родовищах є шанси відкриття нових покладів з промисловими скупченнями ВВ у пастках несклепінного типу.

Посданий (шлейфи, задири, блоки-сателіти) тип умов пасткоутворення.

Цей практично унікальний тип, коли у формуванні єдиного покладу приймають участь три складові елементи пасткоутворення, пов'язаний з Чутівсько-Білухівським соляним валом (рис. 2). Блок-сателіт у серпуховському і башкирському ярусах по тектонічному порушенню контактує із задирами картамишської світи верхнього карбону і пермі, а у верхній частині розрізу в микитівській світі нижньої пермі наявні шлейфові утворення, що разом, із залагаючими нижче, утворюють єдину гідрогазодинамічну систему і, відпо-

відно, єдину пастку. В зоні Селещинського соляного криптодіапіра теж спостерігається аналогічне поєднання трьох типів пасткових умов – шлейфів, задирів і блока – сателіта, створюючого спільну пастку, що вміщує поклад з єдиним ГВК (рис. 13)

Посднаний (задири і блоки-сателіти) тип умов пасткоутворення, пов'язаний з Медведівським соляним штоком (рис. 15), де по тектонічному порушенню контактують зазначені складові елементи єдиної пастки.

З метою з'ясування особливостей геологічної будови і умов формування покладів ВВ у приштокових зонах та їх типизації важливим є питання про характер розподілу початкових пластових тисків.

У приштокових покладах зафіксовані як аномально високі (АВПТ), так і пластові тиски, близькі до нормально гідростатичних (таблиця 3).

Як видно з наведених даних, для покладів, що пов'язані з карбонатними банками та для деяких випадків зі шлейфовими відкладами, відмі-

Таблиця 3

Пластові тиски приштокових ділянок ДДЗ

Родовище	Тип пастки	Газоносний горизонт	Глибина, м	Пластовий тиск, МПа	Коефіцієнт аномальності
Мелихівське	КБ	$P_{1pb} (S_1^1+S_2)$	2240	39,73	1,81
Медведівське	КБ	$P_{1br} (S_3)$	2418	41,40	1,73
Сх.-Медведівське	КБ	P_{1sl}	2650	40,5	1,40
Зх-Хрест.	Ш	P_1 (шлейф)	2280	31,39	1,40
Новоукраїнське	Ш	P_1 (шлейф)	3627	41,89	1,18
	Б-С	C_2b	4278	48,8	1,14
Чутівське	Ш	P_1 (шлейф)	2822	34,38	1,30
	З	$P_{1br} (S_3)$	3050	35,12	1,17
	Б-С	C_2b	3255	34,32	1,10
Розпашнівка	З	$P_1+C_3+C_{1s}$	3950	46,3	1,17
Машівське	Ш+КБ	$P_{1br} (S_3)$	2840	33,18	1,19
Копилівське	КБ	$P_{1br} (S_3)$	2612	28,1	1,10
Академіка Шпака	З	C_3^3	3260	32,73	1,00
Решетняківське	З	C_1s	2450	26,1	0,95
Веснянське	КБ	$P_{1br} (S_3)$	3612	53,3	1,33
	ТБ	C_3^3	4754	54,37	1,05

КБ – карбонатна банка, Ш – шлейф, ТБ – тектонічні блоки, З – задири, Б-С – блоки-сателіти

чаються аномально високі пластові тиски з коефіцієнтом аномальності 1,3-1,8. Ці тиски є похідними від пластових тисків у підстилаючих масивно-пластових покладах у картамишській та араукаритовій світах (Мелихівське, Медведівське, Зх-Хрестищенське та ін.) [20] і відрізняються на вагу стовбуру газу висотою, що дорівнює різниці глибин їх залягання. На контактах газ-вода масивно-пластових покладів зафіксовано нормально гідростатичні тиски. Вищезазначене є свідченням єдиного процесу вуглеводневого накопичення у пастках як у підстилаючих покладах картамишської та араукаритової світ, так і вищезалягаючих карбонатних банках або шлейфах [21]. Водночас слід відмітити відсутність гідрогазодинамічного зв'язку зазначених покладів на сучасному етапі. Так, на Мелихівському та Медведівському родовищах поклади вуглеводнів з АВПТ у карбонатних банках були відкриті при знижених, внаслідок розробки, пластових тисках у підстилаючих масивно-пластових покладах.

У покладах, пов'язаних з пастками в умовах

поєднання задирів, блоків-сателітів і шлейфів на Розпашнівському родовищі фіксуються пластові тиски наближені до нормально гідростатичних.

Розглянута територія південного сходу ДДЗ включає цілий ряд площ, які з позиції ступеня вивченості приштокових зон умовно розділяються на: 1) вивчені в достатній мірі, де виявлена переважна більшість різновидів пасток; 2) вивчені недостатньо, де при наявності достовірно визначених типів пасток одночасно ще залишається можливим прогнозування тих або інших типів; 3) практично невивчені щодо наявності пасткових умов (Новосанжарсько-Малоперещепенський, Олексіївський, Єлизаветівський, Ланнівський та деякі ін. штоки).

Довжина приштокових недостатньо вивчених ділянок Західно-Чутівської і Південно-Хрестищенської (Берестовеньківський блок) площ складає 5 та 8 км. Перспективними на Західно-Чутівській площі можуть бути прогнозні пастки у шлейфових і блок-сателітових умовах. Блоки-сателіти, за аналогією з Новоукраїнською площею, скоріш за все будуть представлені породами

башкирського або серпуховського віку. Останні є газоносними на сусідній Кочубеївській структурі.

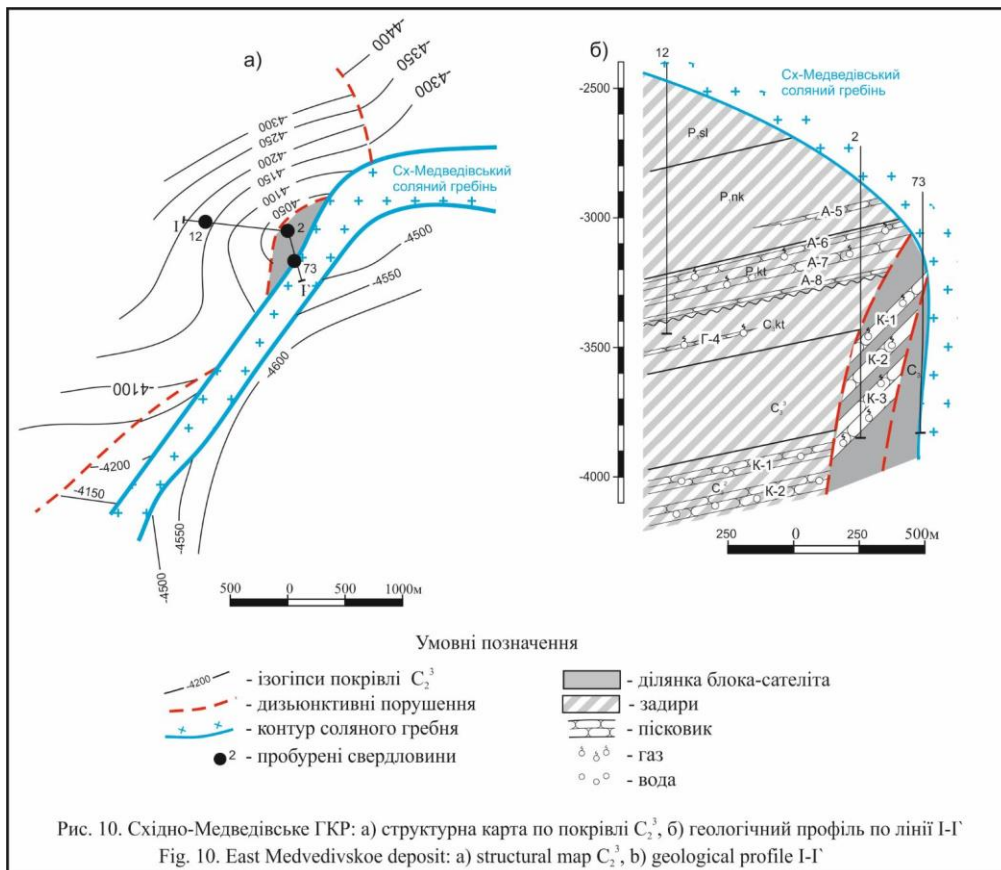
Висока перспективність газоносності Південно-Хрестищенської ділянки підтверджуються свердловиною №50 (рис. 17), яка під козирком штоку розкрила картамишсько-кам'яновугільний заDIR (з кутами падіння 40-80°). Крім того, наявні передумови відкриття покладів ВВ у шлейфових відкладах слов'янської світи (P_{1sl}) в північній приштоковій ділянці Хрестищенського штоку (рис. 6).

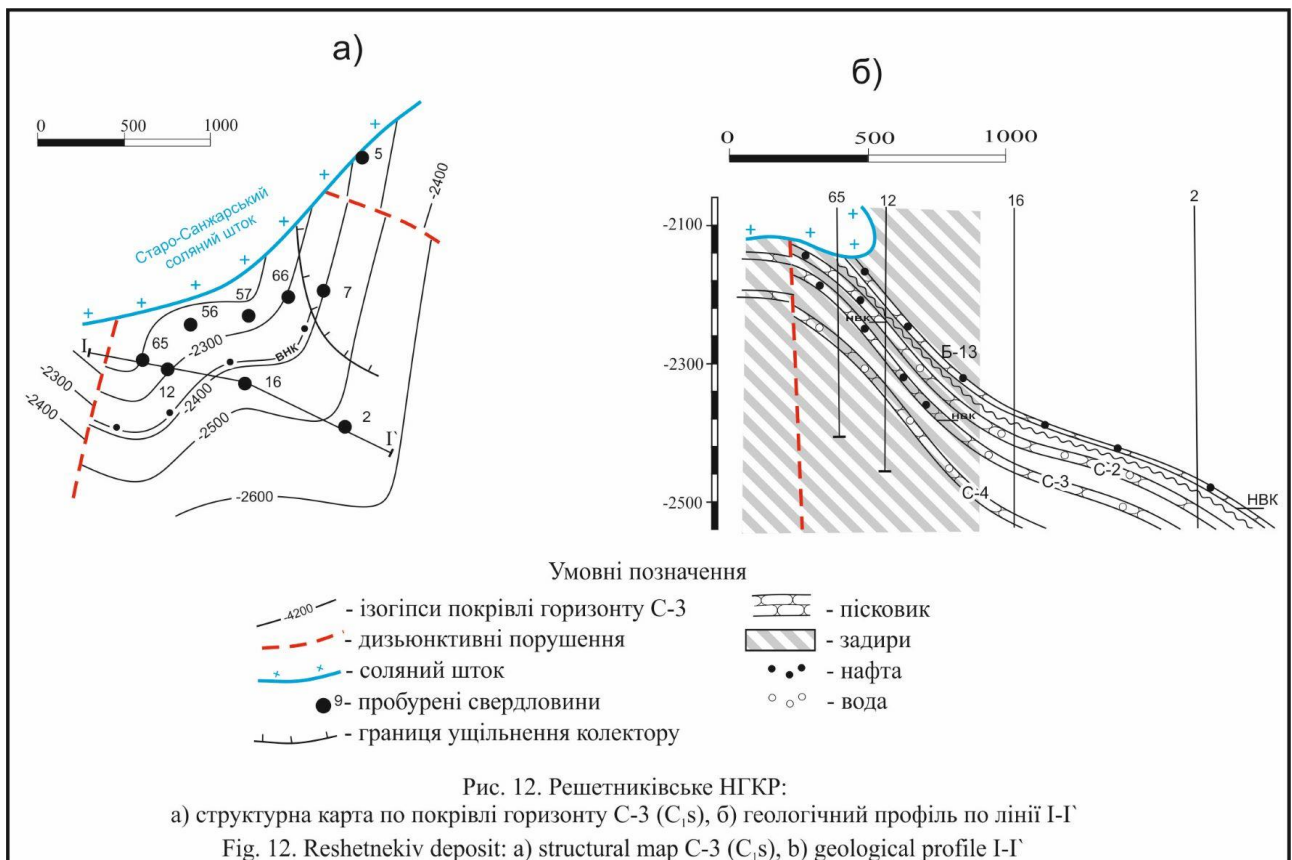
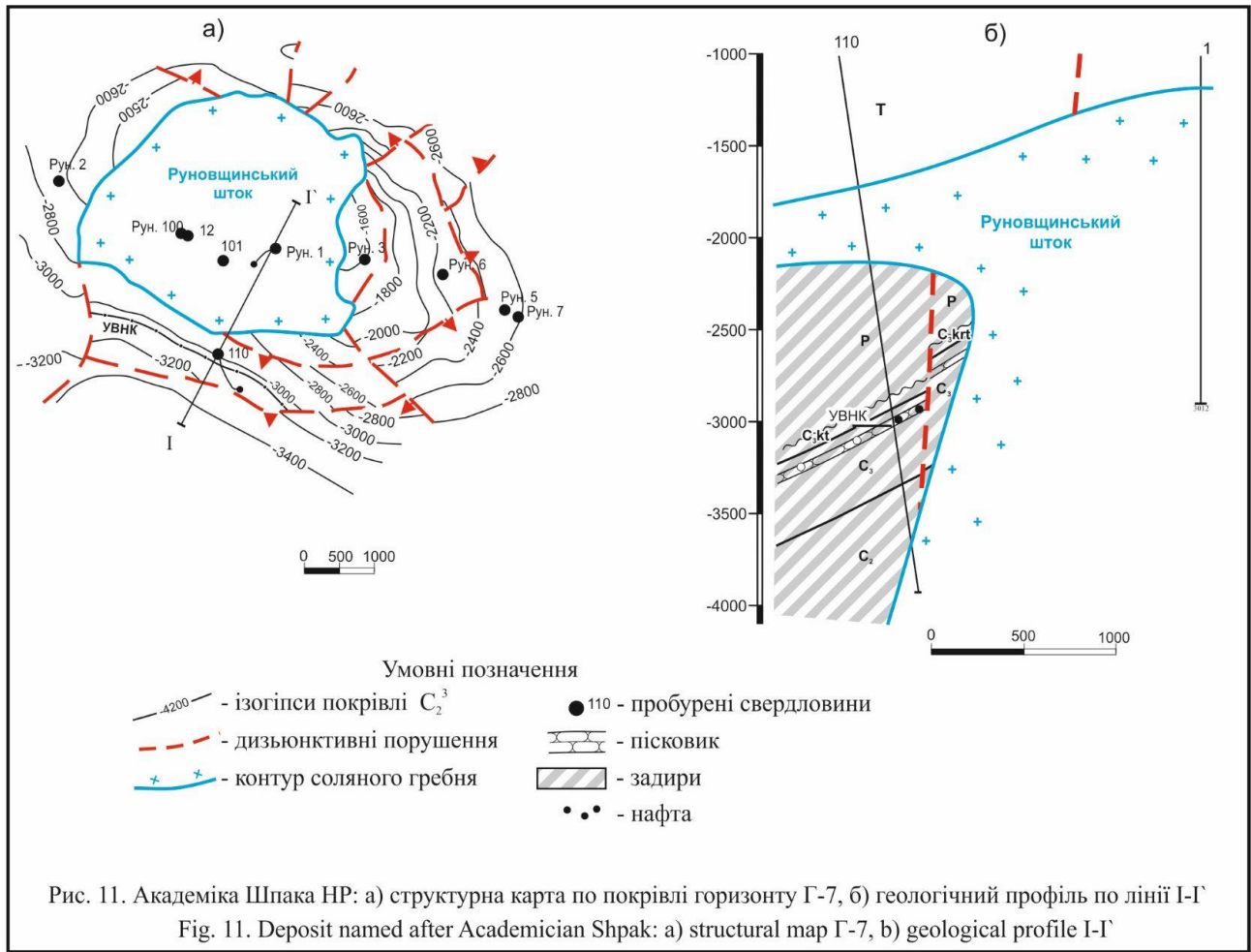
Перспективи приштокових ділянок Тарасівського штоку (рис. 18) слід пов'язувати з карбонатними банками або шлейфами слов'янської світи. Ознаки газоносності карбонатів Тарасівського штоку встановлено свердловиною № 2 Карлівська. При випробуванні на ВПТ отримано приплив газу дебітом 0,7 тис.м³/добу при пластовому тиску 53,3 МПа на глибині 3612 м.

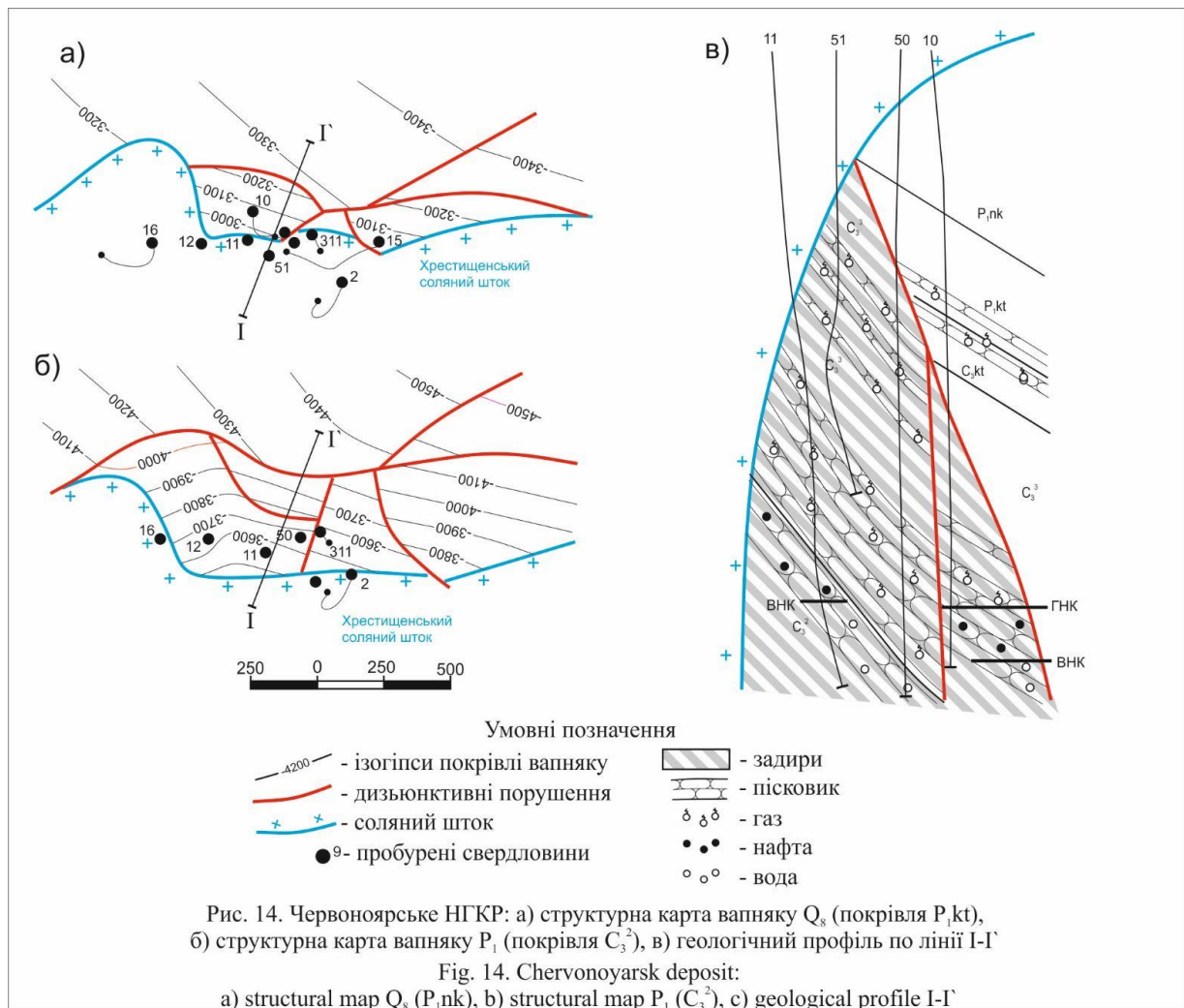
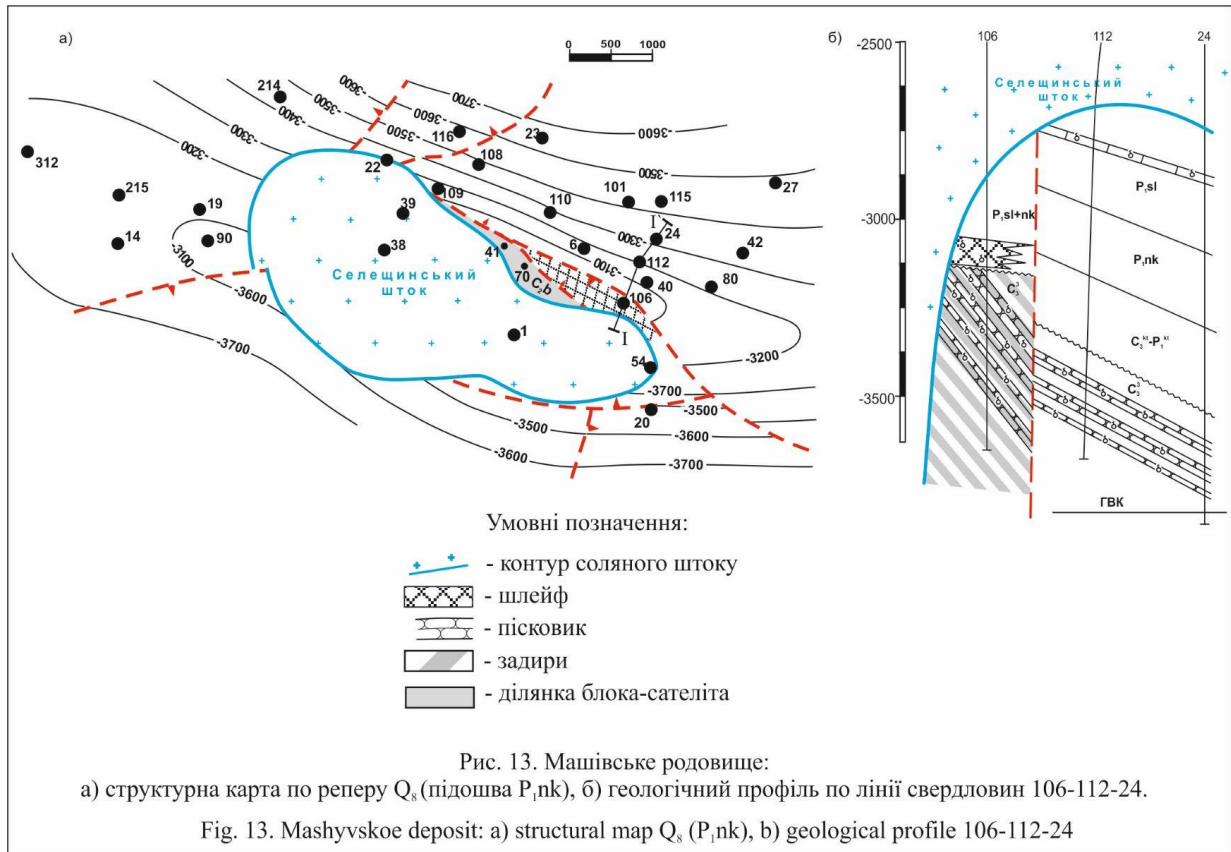
Загальна довжина перспективної для пошуків пасток у приштоковій зоні Новосанжарсько-Малоперещепинського штоку досягає 40 км (рис. 19). Перспективними тут є нижньо- та середньокам'яновугільні відклади. Високі фільтраційно-ємнісні властивості доведені на сусідньому Суходолівському НГКР, що прилягає до штоку з півночі. На перспективність вищенаведеної приштокової зони побічно вказує і Решетняківське нафтогазове родовище, яке пов'язано з нижньо- та середньокам'яновугільними відкладами у межах приштокових структур сусіднього Старосанжар-

ського криптодіапіру.

З метою виявлення перспективних у нафтогазоносному відношенні об'єктів необхідно здійснити цілеспрямоване вивчення приштокових зон як комплексом спеціальних польових геофізичних досліджень [22, 23], так і з використанням (у сприятливих для цього геологічних умовах) запропонованої раніше методики [24, 5], що дозволяють звзунити зони відсутності достовірних сейсмічних матеріалів, у межах яких прогнозуються різко виражені задири, інтенсивно дислоковані ділянки та блоки-сателіти. В аспекті вирішення цієї проблеми слід особливо відзначити результати переоброблення часових розрізів по значній кількості сейсмічних профілів в обчислювальних центрах компанії «Брітш Петролеум Експлоейшн» і Технологічному центрі ДГП «Укргеофізика» [25]. Отримані результати збігаються з даними про наявність блоків-сателітів за даними буріння на Медведівському, Павлівському, Хрестищенському, Селещенському і Розпашнівському штоках та дають змогу прогнозувати їх наявність на Вербівському, Соснівському, Миронівському, Старовірівському, Рябухинському, Тарасівському, Хрестищенському (Берестовеньківський прогин) та деяких інших штоках. Для прикладу наводимо переоброблений [25] сейсмопрофіль 16 27/94 Рябухинського штоку, де в зоні відсутності відбивальних горизонтів (рис. 20 а) виділено (під знаками запитання) примикаючі до стовпоподібної ніжки штоку смуги (рис. 20 б), які







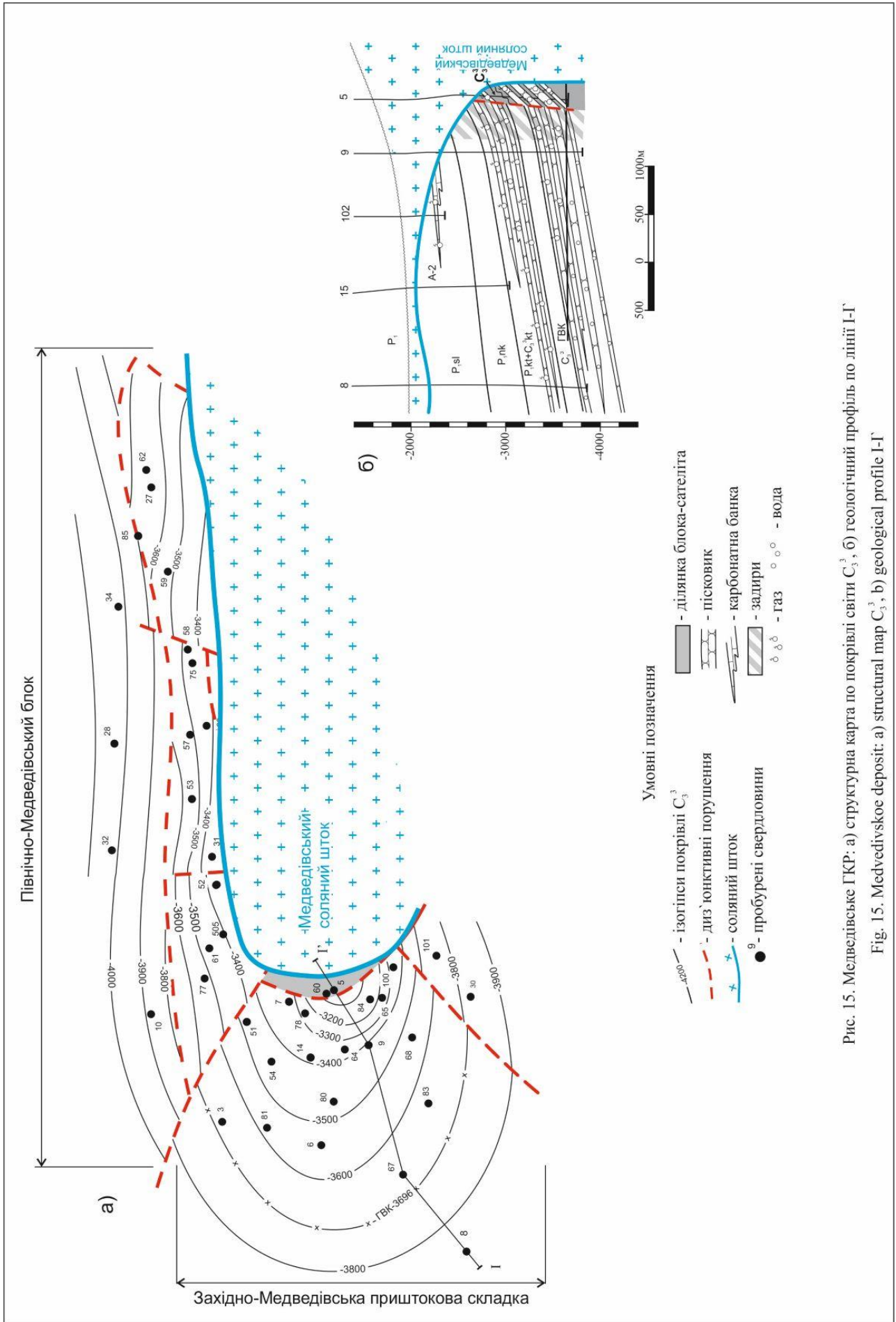
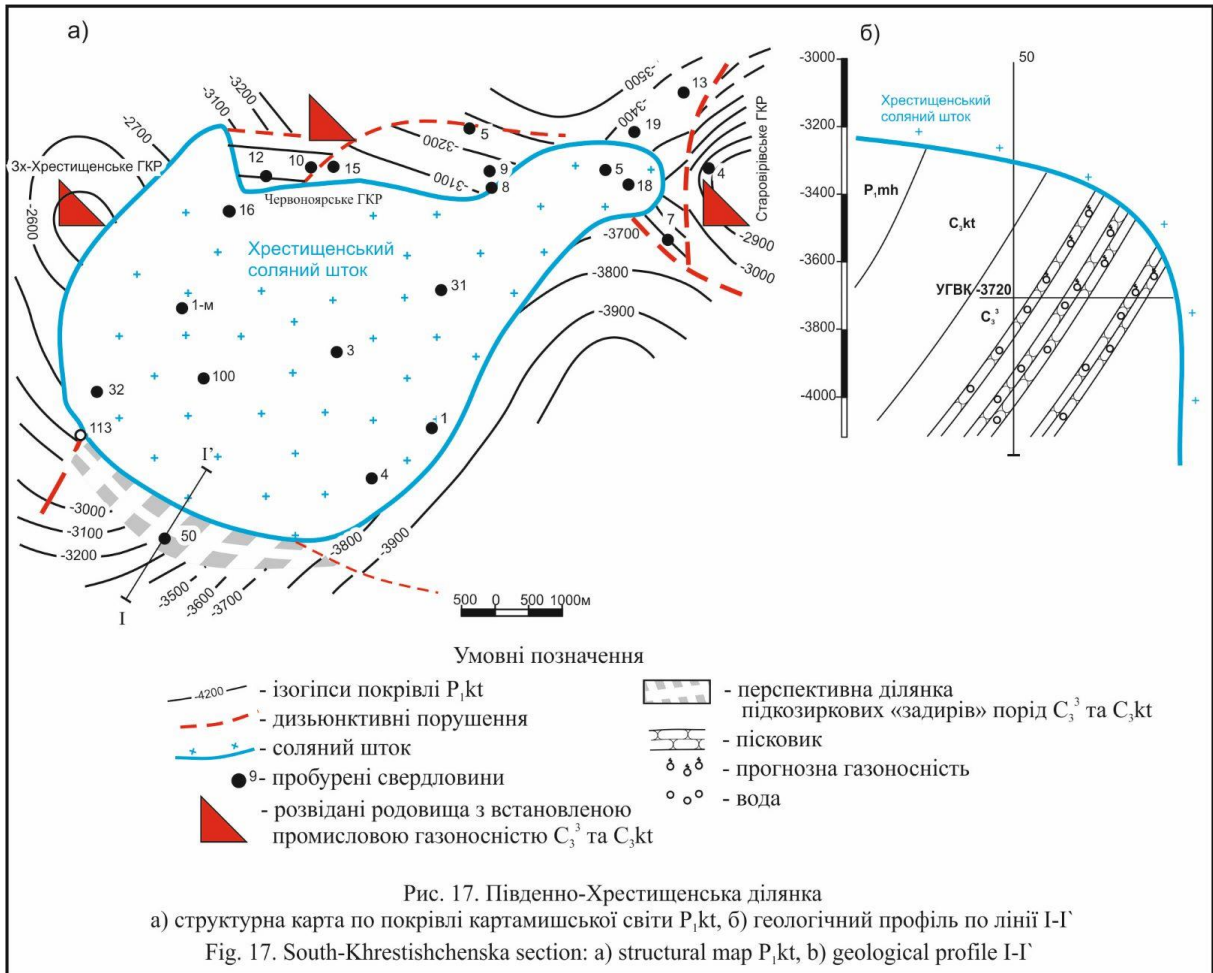
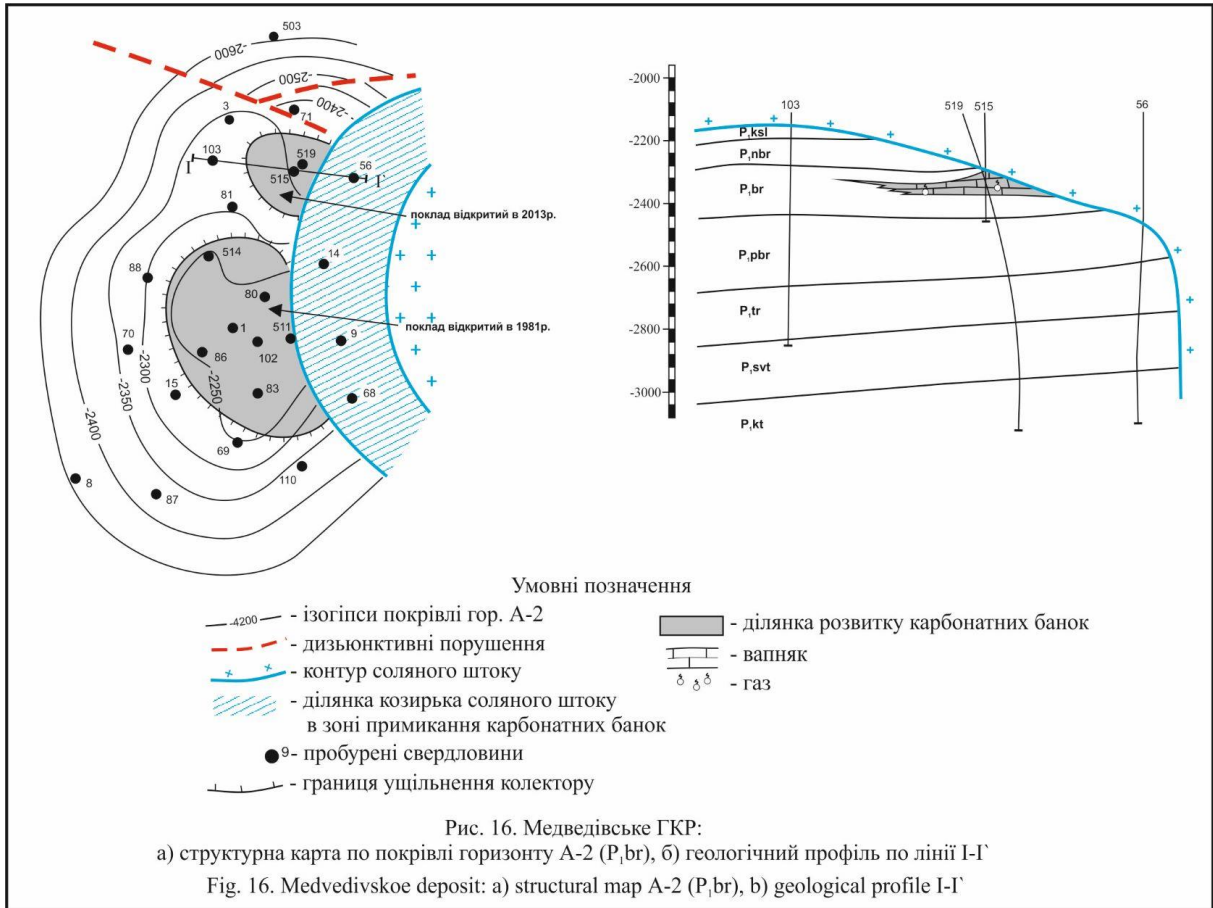
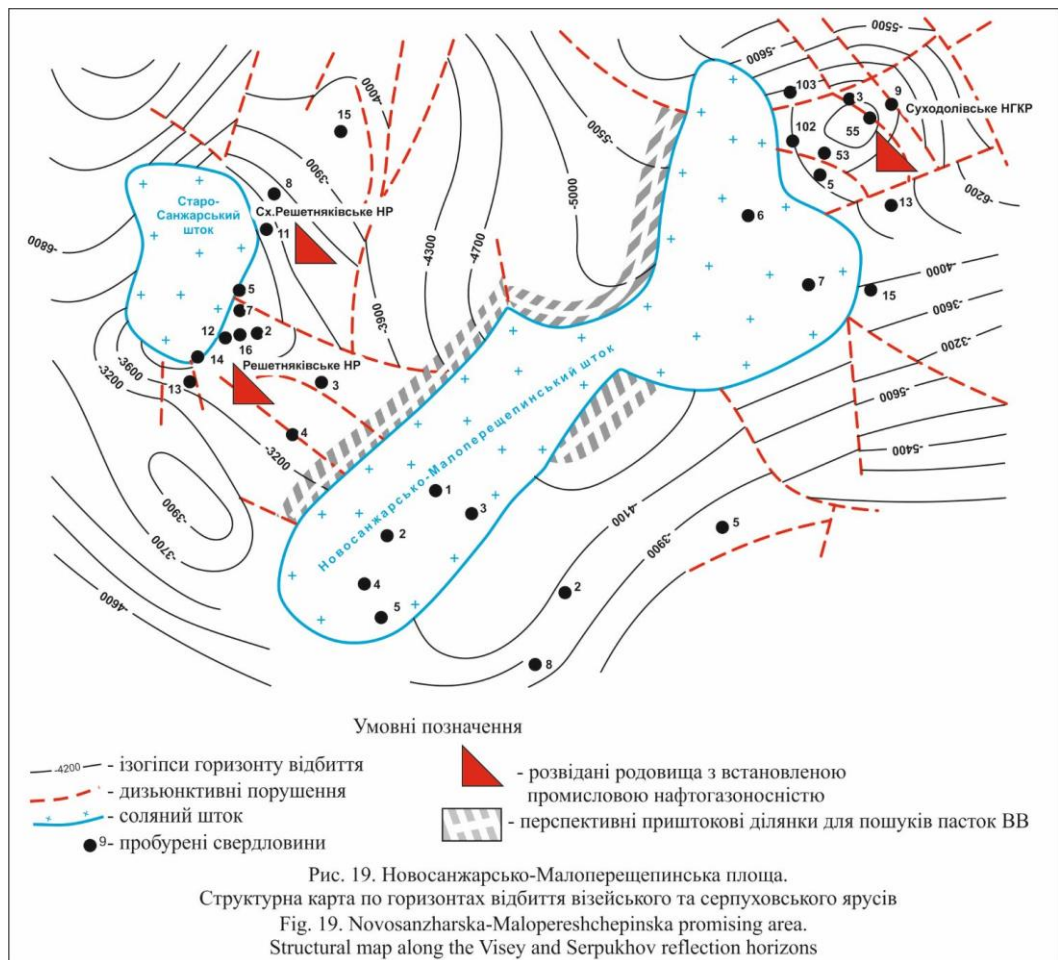
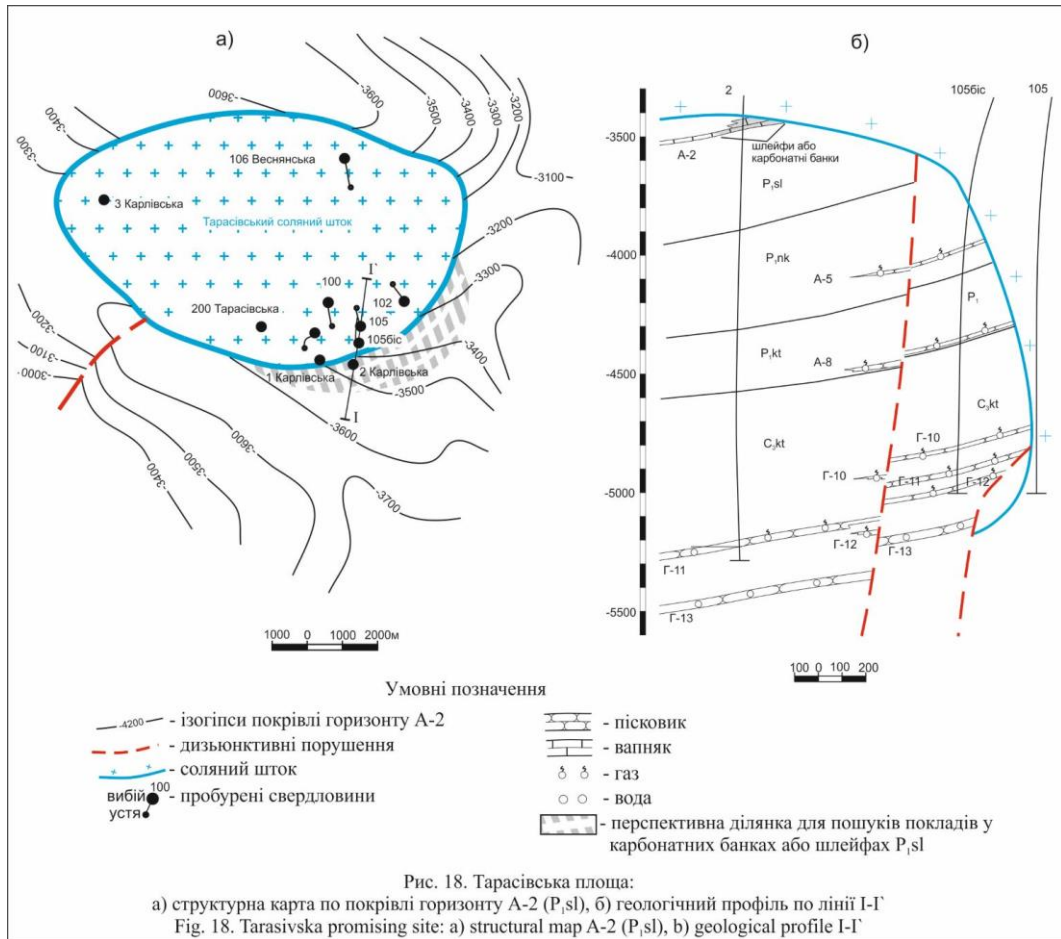


Рис. 15. Медведівське ГРП: а) структурна карта покрівлі світи C_3 , б) геологічний профіль по лінії I-I

Fig. 15. Medvedivskoe deposit: a) structural map C_3 , b) geological profile I-I





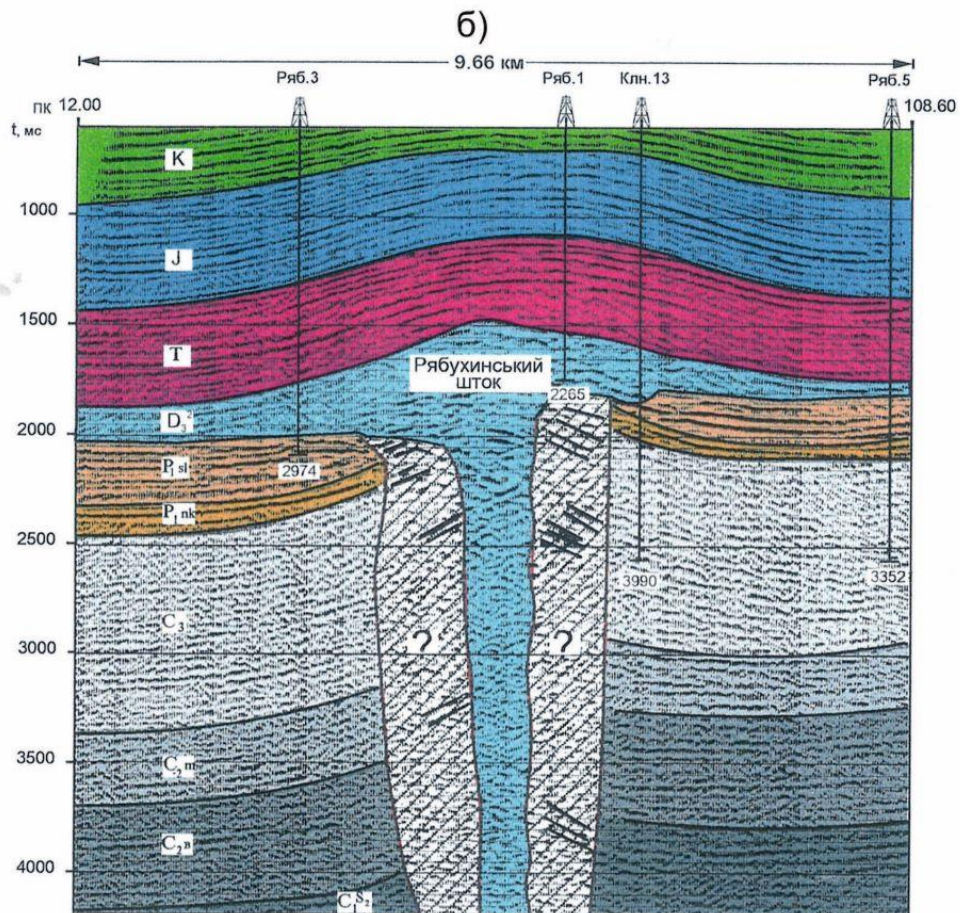
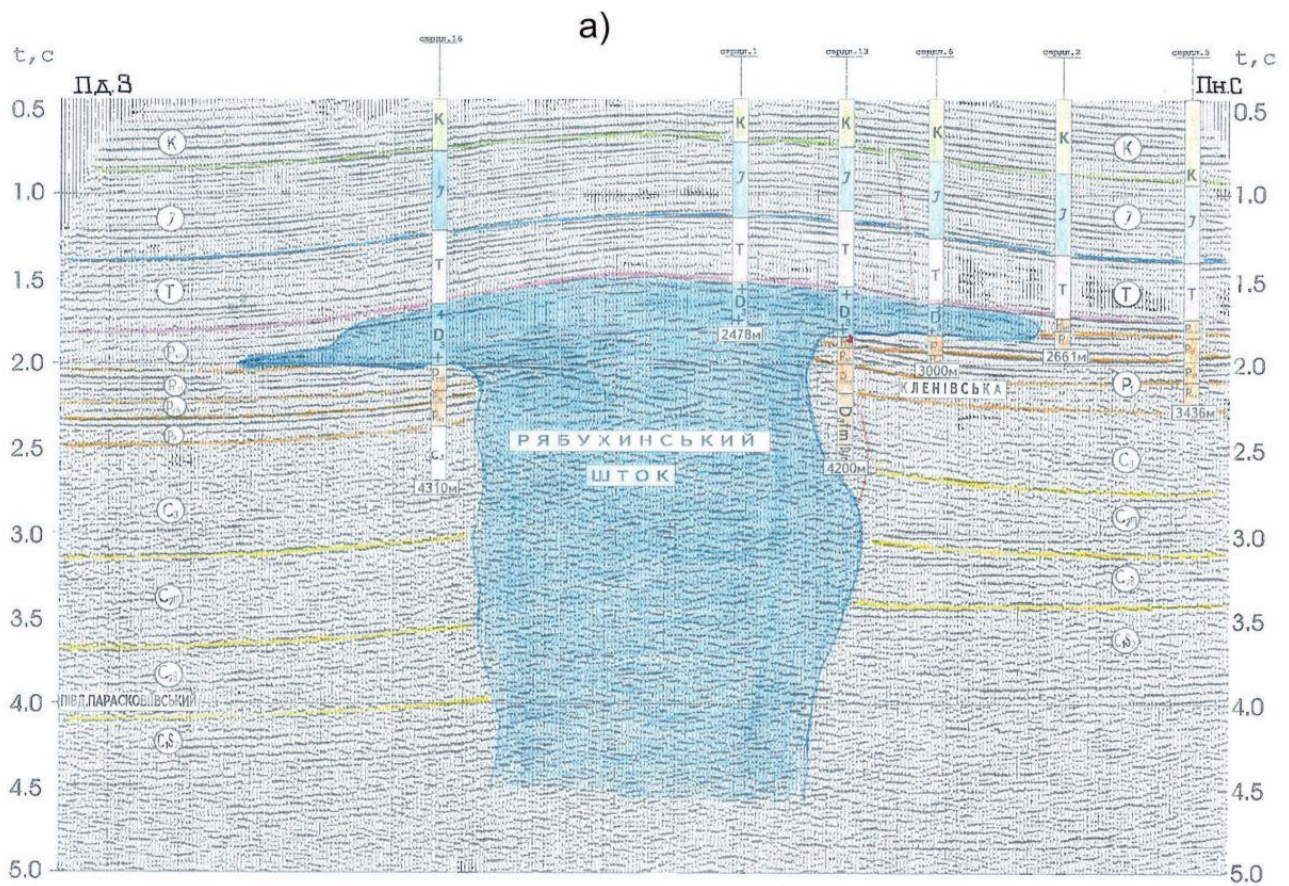


Рис. 20 а, б. Часові розрізи профілю МСГТ 16 27/94 ([22],[25]).
 Fig. 20 a, b. Profile MCGT 16 27/94 time sections ([22],[25])

найвірогідніше відтворюють прогнозовані блоки-сателіти.

Висновки. Результати узагальнень фактичних матеріалів, що висвітлюють процеси діапїризму у розглянутій частині ДДЗ, дозволили авторам даної роботи дійти висновку про вихід ряду соляних штоків на субквально поверхню у верхньокам'яновугільну епоху, що суттєво уточнює уявлення про хронологію цього процесу.

Окремі частини солянокупольних структур з найбільш яскраво вираженими рисами будови, зумовленими впливом процесів діапїризму, які відносимо до приштокових зон, включають шлейфи, задири, блоки-сателіти і карбонатні банки. Запропонований механізм формування блоків-сателітів, вперше здійснений на прикладі вивчення соляної тектоніки ДДЗ, як і решта названих літолого-тектонічних елементів, відіграють роль або самостійних пасткоутворювальних фак-

торів, або в поєднанні з іншими.

Перелічені різноманіття геологічних умов виявилися детермінуючим фактором у формуванні певних різновидів, причому виключно несклепінних пасток, з солештоковим, диз'юнктивним і літологічним (інколи комбінованим) екрануванням та різноваріантним обмеженням,

Чіткі уявлення про різноманітність умов формування і відповідні цим умовам типи несклепінних пасток сприятимуть раціоналізації процесу ГРР у приштокових зонах.

Першочерговими об'єктами для пошуків пасток ВВ, пов'язаних зі шлейфами, задирами і блоками-сателітами, слід розглядати Новосанжарсько-Малоперещепинську, Тарасівську, Єлізаветівську, Західно-Чутівську, Ланнівську, Південно-Хрестищенську (Берестовеньківську), Західно-Єфремівську, Олексіївську, Копилівську та деякі інші площі.

Список використаної літератури

1. Зильберман В. И. Геологическое содержание термина «Приштоковая зона» в связи с особенностями ее разведки [Текст] / В. И. Зильберман, Б. П. Стерлин, А. М. Черняков // Доразведка эксплуатируемых нефтегазовых месторождений Украинской ССР – дополнительный источник увеличения ресурсов углеводородного сырья : тез. докл. респ. науч.-техн. конф. (г. Харьков, 16–17 мая 1990 г.). – Киев, 1990. – Вып. 1. Теоретические, методические и практические вопросы доразведки разрабатываемых нефтегазовых месторождений. – С. 73–75.
2. Высочанский И. В. Нетрадиционные ловушки, связанные с нижнекаменноугольными соляными карнизами на диоптрах многоэтапного развития [Текст] / И. В. Высочанский, М. И. Бланк // Состояние и перспективы разработки и внедрения методик поисков и разведки неантиклинальных ловушек : тез. док. науч.-техн. совещ. (г. Харьков, 26 мая 1988 г.). – Харьков, 1988. – С. 22–23.
3. Высочанский И. В. Новые представления о развитии и перспективах нефтегазоносности солянокупольных поднятий в Днепровско-Донецкой впадине [Текст] / И. В. Высочанский // Геологический журнал. – 1991. – № 2. – С. 109–116.
4. Высочанский И. В. Новый принцип классификации солянокупольных структур (на примере Днепровско-Донецкой впадины) [Текст] / И. В. Высочанский // Проблемы нефти и газа : сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф., (г. Варна, 6–8 сент. 2004 г.). – С. 148–153.
5. Высочанський І. В. Наукові засади пошуків несклепінних пасток вуглеводнів у Дніпровсько-Донецькому авлакогені : монографія [Текст] / І. В. Высочанський. – Харків : ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2015. – 236 с.
6. Истомин А. Н. Методика разведки ловушек газа в приштоковых зонах ДДВ [Текст] / А. Н. Истомин, Н. Ф. Брынза, Т. С. Цуцило // Геология нефти и газа. – Москва, 1987. – № 3. – С. 19–24.
7. Стерлин Б. П. Новые данные о геологическом строении солянокупольных структур Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ) [Текст] / Б. П. Стерлин, О. Э. Яковлев // Докл. АН СССР. – 1986. – Т. 288, № 5. – С. 1196–1198.
8. Коган В. Д. Брекчиевидные песчаники и гравилиты – свидетели консолидационного роста штоков девонской соли в раннепермское время [Текст] / В. Д. Коган // Условия образования и особенности нефтегазоносности солянокупольных структур : материалы первого симпозиума (г. Львов, 1964 г.). – Киев, 1966. – С. 216–222.
9. Бобошко А. В. Некоторые вопросы методики поисков, разведки и опытно-промышленной эксплуатации новых типов залежей нефти и газа в Днепровско-Донецкой впадине [Текст] / А. В. Бобошко, Б. Т. Буняк, И. В. Дияк // Нефтегазовая и газовая промышленность. – 1979. – № 2. – С. 4–8.
10. Коломиец Я. И. Промышленная газоносность нижнепермских шлейфов юго-восточной части ДДВ [Текст] / Я. И. Коломиец, Б. П. Стерлин, О. Э. Яковлев // Нефтегазовая и газовая промышленность. – 1984. – № 3. – С. 1–3.
11. Коломиец Я. И. Новый тип газовых залежей юго-востока Днепровско-Донецкой впадины [Текст] / Я. И. Коломиец, Б. П. Стерлин, О. Э. Яковлев // Геология нефти и газа. – Москва, 1984. – № 8. – С. 6–9.
12. Высочанский И. В. Новый тип залежей в приштоковых зонах юго-востока ДДВ [Текст] / И. В. Высочанский, Л. В. Макридина, Ю. В. Старостин // Доразведка эксплуатируемых нефтегазовых месторождений Украинской ССР – дополнительный источник увеличения ресурсов углеводородного сырья : тез. докл. респ. науч.-техн. конф. (г. Харьков, 16–17 мая 1990 г.). – Киев, 1990. – Вып. 1. Теоретические, методические и практические вопросы доразведки разрабатываемых нефтегазовых месторождений. – С. 56–59.

13. Китык В. И. Соляная тектоника Днепровско-Донецкой впадины : монография [Текст] / В. И. Китык. – Киев : Наукова думка, 1970. – 201 с.
14. Высочанский И. В. Геология и условия формирования газовых месторождений восточной части Гриньковско-Степковской антиклинальной зоны юго-востока Днепровско-Донецкой впадины [Текст] : дис. ... канд. геол.-минерал. наук / И. В. Высочанский. – Харьков, 1975. – 210 с.
15. Коган В. Д. Возраст диапировых структур восточной части Приднепровского грабена [Текст] / В. Д. Коган, В. И. Андреева // Геология нефти и газа. – 1963. – № 4. – С. 47–51.
16. Стерлин Б. П. К истории формирования соляных куполов юго-восточной части Днепровско-Донецкой впадины [Текст] / Б. П. Стерлин, С. А. Тхоржевский // Условия образования и особенности нефтегазоносности солянокупольных структур : материалы первого симпозиума (г. Львов, 1964 г.). – Киев, 1966. – С. 210–215.
17. Леворсен А. И. Геология нефти и газа : монография : пер. з англ. [Текст] / А. И. Леворсен. – Москва : Неора, 1970. – 638 с.
18. Марьенко Ю. И. Нефтегазоносность карбонатных пород [Текст] / Ю. И. Марьенко // Монография. – Москва : Недра, 1978г – 240 с.
19. Уилсон Дж. Л. Карбонатные фации в геологической истории : монография : пер. з англ. [Текст] / Уилсон Дж.Л. – Москва : Недра, 1980. – 463 с.
20. Черняков А. М. Использование аномально высокого пластового давления для установления времени формирования залежей газа [Текст] / А. М. Черняков // Нефтяная и газовая промышленность. – 1973. – № 6 – С. 1–4.
21. Яковлев А. О. Особенности строения и формирования залежей углеводородов пермской карбонатно-галогенной толщи юго-восточной части Днепровско-Донецкой впадины как поисковый признак газоносности каменноугольных отложений [Текст] / А. О. Яковлев., И. Н. Самчук // Геология нефти и газа. – 2015. – № 5. – С. 41–48.
22. Омельченко В. В. Результати тематичних робіт «Аналіз даних граві-магніто-електророзвідки в межах південно-східної частини Дніпровського грабену з метою визначення крупних прогнозних перспективних об'єктів для першочергового вивчення [Текст] / В. В. Омельченко, В. Г. Шеремет (2006-2007; договірні роботи з НАК «Нафтогаз України»).
23. Лизанець А. В. Комплексування площових геофізичних досліджень у зонах розвитку соляних штоків – крок до підвищення результативності пошуково-розвідувальних робіт [Текст] / А. В. Лизанець, А. О. Некрасов // Питання розвитку газової промисловості України, УкрНДІгаз. – Харків, 2002. – Вип. 30. – С. 168–173.
24. Тектоника и нефтегазоносность Днепровско-Донецкой впадины : монография [Текст] / Г. Н. Доленко, С. А. Варичев, И. В. Высочанский и др. Киев : Наук. думка, 1981. – 227 с.
25. Звіт по договору з «British Petroleum Exploration»: Оцінка сольових штоків у Дніпровсько-Донецькому басейні [Текст] / С. М. Стовба, М. М. Здорovenko, Т. М. Пригаріна, О. К. Малиновський. – Київ, 1998. – 45 с.
26. Salt Tectonics / ed. G. I. Alsop, D.I. Bundell, I. Davison. – London : The Geological Society, 1996. – 310 p.
27. Salt Tectonics. A global perspective / ed. Jacson D.G. Roberts, S. Snelson. – Tulsa, Oklahoma, U.S.A. 1996. – 454 p.
28. Jackson M., Hudes M. Salt Tectonics Principles and Practice. – Austin : Universiti of Texas, 2017. – 497 p. – <https://doi.org/10.1017/9781139003988>

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Conditions for the formation of non-anticlinal hydrocarbon traps in zones around salt stocks of the south-eastern part of the Dnepr-Donetsk depression

*Ilarion Vysochanskiy*¹,

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

*Andriy Yakovlev*²,

Head geologist, ²LLC «SPC «GERA LTD» 3a Zaliska St., Kharkiv, 61145, Ukraine;

*Iryna Samchuk*¹,

PhD (Geology), Associate Professor, Department of Geology;

*Yevhenii Volosnyk*³,

Head of Subsoil Use Department, ³Ukrainian Scientific Research Institute for Natural Gases;

*Andrii Nekrasov*³,

Senior Researcher, Subsoil Use Department;

*Mariia Kupchinska*³,

Engineer, Subsoil Use Department

ABSTRACT

Formulation of the problem. The southeastern part of the Dnieper-Donetsk depression has a large-scale formation of underground salt structures (stocks). The stocks are the reason for the formation of many layer structures. The authors divide these layer structures near the stocks into three types - above-stock, inter-stock, and near-stock.

The most promising targets for exploration drilling are anticlinal structures (of the first and second types). Many industrial accumulations of hydrocarbons (Shebelinskoe, West-Krestishchenskoe, Efremovskoe) were found in anticlinal structures.

The aim of the work is to determine the genetic relationship between lithological structures and hydrocarbon traps. This is the basis for the search for a non-anticlinal form of hydrocarbon traps.

Presentation of the main research material. On the territory of the Dnieper-Donetsk depression, different models of structure of salt stock zones were found. The most promising for the search for hydrocarbon deposits are areas with satellite blocks near the underground salt stock. These blocks were formed concurrently with the process of breaking through the rock stock.

In this study, salt stocks have been divided into activity types. Only active stocks have satellite blocks. This makes it possible to make predictions in trough zones (stock compensation troughs).

The authors have divided found traps for hydrocarbons into: plumes from salt stocks in P1sl - C33 rock formations; rocks raised by salt stocks at the time of formation P1 - C3; tectonic satellite blocks from rocks of age C3, C2b, C1s; carbonate structures of organisms P1. These structures can be hydrocarbon deposits themselves with personal water contact. Often these structures share a common water contact. This is the basis for the allocation of the entire area around the stock for hydrocarbon prospecting. To search for hydrocarbons near stocks, you need to use special techniques. The detailed description of the theory of the search method have been given in the work.

Conclusions. Prospective objects for the search for hydrocarbons are located near the salt shafts with the greatest activity. This conclusion was made on the basis of the reconstruction of salt tectonics in the research area. Hydrocarbon traps are non-vaulted forms near the salt object. The objects of the first rank for the search are uprooted blocks, satellite blocks and plume formations. The authors single out Novosanzharsk-Malopereshchepinska, Tarasivska, Elizavetivska, West-Chutivska, Lannivska, South-Khrestishchenska (Berestovenkivska), West-Efremivska, Oleksiivska, Kopylivska and some other areas as promising.

Keywords: salt stocks, scuffs, blocks, plumes, carbonate structures, traps, deposits, hydrocarbons.

References

1. Zilberman, V. I., Sterlin, B. P. & Chernyakov, A. M. (1990). *Geologicheskoe sodержanie termina «Prishtokovaya zona» v svyazi s osobennostyami ee razvedki [Geological content of the term "near-river zone" in connection with the peculiarities of its exploration]. Proceedings from Supplementary exploration of exploited oil and gas fields in the Ukrainian SSR - an additional source of increasing hydrocarbon resources: abstracts. report rep. scientific and technical conf. (Kharkov, May 16-17, 1990). Kyiv, 73-75 [in Russian].*
2. Vyisochanskiy, I. V., & Blank, M. P. (1988). *Netraditsionnyie lovushki, svyazannyye s nizhnkamennougolnyimi solyanymi karnizami na dioptrah mnogoetapnogo razvitiya [Unconventional Traps Associated with Lower Carboniferous Salt Cornices on Dioptrah of Multistage Development]. Proceedings from State and prospects for the development and implementation of methods for searching and reconnaissance of non-anticlinal traps: abstracts. doc. scientific and technical meeting. (Kharkov, May 26, 1988). Kharkov, 22-23 [in Russian].*
3. Vyisochanskiy, I. V. (1991). *Novyye predstavleniya o razvitiy i perspektivah neftegazonosnosti solyanokupolnih podnyatyy v Dneprovsko-Donetskoy vpadine monografiya [New ideas about the development and prospects of oil and gas content of salt domes raised in the Dnieper-Donetsk depression : monograph]. Geological journal. 2, 109-116 [in Russian].*
4. Vyisochanskiy, I. V. (2004). *Novyyi printsip klassifikatsii solyanokupolnyih struktur (na primere Dneprovsko-Donetskoy vpadinyi) [A new principle for the classification of salt-domed structures (on the example of the Dnieper-Donetsk depression)]. Proceedings from Problems of oil and gas: collection of articles. report Int. scientific and technical Conf., (Varna, 6–8 September 2004), 148-153 [in Russian].*
5. Vyisochanskiy, I. V. (2015). *Naukovi zasady poshukiv nesklepinnykh pastok vuhlevodniv u Dniprovsko-Donetskomu avlakoheni [Scientific bases of searches of non-vaulted traps of hydrocarbons in the Dnieper-Donetsk avlakogen]. Kharkiv: Karazin University [in Ukrainian].*
6. Istomin, A. N., Brynza N. F., & Tsupilo T. S. (1987). *Metodika razvedki lovushek gaza v prishtokovyih zonah DDV [Methods for reconnaissance of gas traps in near-flow zones of the Far East Region]. Russian Oil and Gas Geology, 3,19-24 [in Russian].*
7. Sterlin, B. P., & Yakovlev, O. E. (1986). *Novyye dannyye o geologicheskoy stroenii solyanokupolnyih struktur Dneprovsko-Donetskoy vpadinyi (DDV) [New data on the geological structure of the salt-domed structures of the Dnieper-Donetsk depression (DDV)]. Reports of the USSR Academy of Sciences, 288(5), 1196–1198 [in Russian].*
8. Kohan, V. D. (1966) *Brekchievidnyie peschaniki i gravitity – svideteli konsolidatsionnogo rosta shtokov devonskoy soli v rannepermское время [Brecciated sandstones and gravity - witnesses of the consolidation growth of Devonian salt stocks in the Early Permian time]. Formation conditions and peculiarities of oil and gas content of salt-dome structures: materials of the first symposium (Lviv, 1964). Kyiv, 216-222 [in Russian].*
9. Boboshko, A. V., Bunyak, B. T., & Diyak, I. V. (1979). *Nekotoryie voprosy metodiki poiskov, razvedki i opytno-promyshlennoy ekspluatatsii novyyih tipov zalezhey nefti i gaza v Dneprovsko-Donetskoy vpadine [Some questions of the methodology of prospecting, exploration and experimental-industrial exploitation of new types of oil and gas deposits in the Dnieper-Donetsk depression]. Oil and gas and gas industry, 2, 4-8. [in Russian].*

10. Kolomiets, Ya. I., Sterlin, B. P., & Yakovlev, O. E. (1984). Promyshlennaya gazonosnost nizhnepermiskih shleyfov yugo-vostochnoy chasti DDV [Industrial gas content of the Lower Permian plumes of the southeastern part of the Far East]. *Oil and gas and gas industry*, 3, 1-3 [in Russian].
11. Kolomiets, Ya. I. (1984). [New type of gas deposits in the southeast of the Dnieper-Donetsk depression. *Russian Oil and Gas Geology*. Moscow, 8, 6-9 [in Russian].
12. Vyisochanskiy, I. V., Makridina, L. V., & Starostin, Yu. V. (1990). Novyy tip zalezhey v prishtokovykh zonakh yugo-vostoka DDV [A new type of deposits in the near-flow zones of the southeast of the Far East]. *Proceedings from Supplementary exploration of exploited oil and gas fields in the Ukrainian SSR - an additional source of increasing hydrocarbon resources: abstracts. report rep. scientific and technical conf.* (Kharkov, May 16-17, 1990). Kyiv, 1, 56-59 [in Russian].
13. Kityik, V. I. (1970). Solyanaya tektonika Dneprovsko-Donetskoy vpadiny : monografiya [Salt tectonics of the Dnieper-Donetsk depression: monograph]. Kyiv: Nauk. dumka [in Russian].
14. Vyisochanskiy, I. V. (1975). Geologiya i usloviya formirovaniya gazovykh mestorozhdeniy vostochnoy chasti Grinkovsko-Stepkovskoy antiklinalnoy zony yugo-vostoka Dneprovsko-Donetskoy vpadiny [Geology and conditions for the formation of gas fields in the eastern part of the Grinkovsko-Stepkovskaya anticlinal zone in the southeast of the Dnieper-Donetsk depression]. *Candidate's thesis*. Kharkov [in Russian].
15. Kogan, V. D., & Andreeva V. I. (1963). Vozrast diapirovykh struktur vostochnoy chasti Pridneprovskogo grabena [Age of diapir structures in the eastern part of the Dnieper graben]. *Russian Oil and Gas Geology*, 4, 47-51 [in Russian].
16. Sterlin, B. P., & Thorzhevskiy S. A. (1966). K istorii formirovaniya solyanykh kupolov yugo-vostochnoy chasti Dneprovsko-Donetskoy vpadiny [On the history of the formation of salt domes in the southeastern part of the Dnieper-Donetsk depression]. *Formation conditions and peculiarities of oil and gas content of salt-dome structures: materials of the first symposium* (Lviv, 1964). Kyiv, 210-215 [in Russian].
17. Levorsen, A. I. (1970). Geologiya nefi i gaza : monografiya [Geology of oil and gas: monograph]. Moscow, Nedra [in Russian].
18. Marenko, Yu. I. (1978). Neftegazonosnost karbonatnykh porod : monografiya [Oil and gas content of carbonate rocks : monograph]. Moscow, Nedra [in Russian].
19. Uilson, D. L. (1980). Karbonatnyye fatsii v geologicheskoy istorii : monografiya [Carbonate facies in geological history: a monograph]. Moscow, Nedra [in Russian].
20. Chernyakov, A. M. (1973). Ispolzovanie anomalno vyisokogo plastovogo davleniya dlya ustanovleniya vremeni formirovaniya zalezhey gaza [Using abnormally high reservoir pressure to determine the time of formation of gas deposits]. *Oil and gas and gas industry*, 6, 1-4 [in Russian].
21. Yakovlev, A. O., & Samchuk, I. N. (2015). Osobennosti stroeniya i formirovaniya zalezhey uglevodorodov permskoy karbonatno-galogennoy tolschi yugo-vostochnoy chasti Dneprovsko-Donetskoy vpadiny kak poiskovyiy priznak gazonosnosti kamennougolnykh otlozheniy [Features of the structure and formation of hydrocarbon deposits in the Permian carbonate-halogen strata in the southeastern part of the Dnieper-Donetsk depression as a prospecting sign of the gas content of coal deposits]. *Russian Oil and Gas Geology*, 5, 41-48 [in Russian].
22. Omelchenko, V. V., & Sheremet, V. H. (2006–2007). Rezultaty tematychnykh robit «Analiz danykh hravi-mahnito-elektrozvidky v mezhakh pivdenno-skhidnoi chastyny Dniprovs'koho hrabenu z metoiu vyznachennia krupnykh prohnoznykh perspektyvnykh ob'ektiv dlia pershocherhovoho vyvchennia [Results of thematic works "Analysis of gravel-magnetic-electrical exploration data within the south-eastern part of the Dnieper graben in order to identify large forecast promising objects for priority study] (contractual works with NJSC Naftogaz of Ukraine) [in Ukrainian].
23. Lyzanets, A. V., & Nekrasov, A. O. (2002). Kompleksuvannia ploshchovykh heofizychnykh doslidzhen u zonakh rozvytku solianykh shtokiv – krok do pidvyshchennia rezultatyvnosti poshukovo-rozvidualnykh robit [Complexation of area geophysical researches in zones of development of salt stocks - a step to increase of efficiency of search and prospecting works]. *Issues of development of the gas industry of Ukraine, UkrNDIgaz*. Kharkiv, 30, 168-173 [in Ukrainian].
24. Dolenko, G. N., Varichev, S. A., Vyisochanskiy I. V., et al. (1981). Tektonika i neftegazonosnost Dneprovsko-Donetskoy vpadiny : monografiya [Tectonics and oil and gas content of the Dnieper-Donetsk depression: monograph]. Kyiv: Nauk. dumka [in Russian].
25. Stovba, S. M., Zdorovenko, M. M., Pryharina, T. M., & Malynovskiy, O. K. (1998). Zvit po dohovoru z «British Petroleum Exploration»: Otsinka solovykh shtokiv u Dniprovs'ko-Donetskomu baseini [Report on the contract with British Petroleum Exploration: Assessment of salt stocks in the Dnieper-Donetsk basin. Kyiv [in Ukrainian].
26. Alsop, G. I., Bundell, D. I., & Davison, I. (Ed.) (1996). *Salt Tectonics*. London : The Geological Society.
27. Jacson, D. G. Roberts, S. S. (Ed.). (1996). *Salt Tectonics. A global perspective*. Tulsa, Oklahoma, U.S.A.
28. Jackson M., & Hudes M. (2017). *Salt Tectonics Principles and Practice*. Austin : Universiti of Texas. <https://doi.org/10.1017/9781139003988>.

Залізо-манганова мінералізація в еоценових відкладах скиби Парашка (Скибовий покрив, Українські Карпати)

Лариса Володимирівна Генералова¹,

к. геол. н., доцент, кафедра загальної та історичної геології і палеонтології,

¹Львівський національний університет імені Івана Франка,

вул. М. Грушевського, 4, м. Львів, 79005, Україна,

e-mail: larysa.heneralova@lnu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-6033-6556>;

Володимир Борисович Степанов¹,

к. г-м. н., доцент, кафедра мінералогії, петрографії і геохімії,

e-mail: vbstepanov23@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0577-8682>;

Леонід Миколайович Хом'як¹,

к. геол. н., доцент, кафедра загальної та історичної геології і палеонтології,

e-mail: khomyak.leonid@lnu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-5944-9684>;

Олександр Володимирович Костюк¹,

к. геол. н., доцент, кафедра мінералогії, петрографії і геохімії,

e-mail: oleksandr.koptyuk@lnu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-2218-1757>;

Антон Володимирович Генералов¹,

студент, кафедра загальної та історичної геології,

e-mail: avheneralov@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-4221-0415>

Мета роботи полягала у вивченні мінерального та хімічного складу, морфологічних типів агрегатів і походження залізо-манганової мінералізації (ЗММ) серед еоценових відкладів скиби Парашка Скибового покрову в середній течії р. Опір. Методика включала седиментологічні, мінералогічні, петрогеохімічні і рентгенодифрактометричні дослідження вмісних порід й рудних мінералів. Результати. Рудна мінералізація приурочена до перехідної пачки розрізу на межі палеоцену й еоцену, яка утворена перешаруванням грубозернистих турбідитів і грейнітів ямненської світи та строкатоколірних дрібно-середньозернистих турбідитів і геміпелелітів маявської світи. Залізо-манганова мінералізація локалізована в рудному пласті і рудних кірках, а також розсіяна серед вмісних порід і синхронна осадженню глибоководних відкладів нижньої баталі. Рудний пласт утворений поєднанням конкреційних, натічних, брекчієподібних, землістих і сажистих агрегатів. Для конкреційних морфотипів властива концентрично-зональна будова. Рудна речовина представлена рентгеноаморфними сполуками гідрооксидів заліза та мангану, серед яких є мінерали гідротермального (піролюзит, псиломелан, тодорокіт і берсеніт) та гідрогенного (вернадит, бузєрит) походження. На діаграмі співвідношень головних компонентів залізо-манганових утворень різних зон сучасних океанів (за Е. Бонатті) точки хімічного складу рудної мінералізації над'ямненської горизонту потрапляють в поля як гідротермального, так і гідротермально-гідрогенного походження. Зародження та функціонування гідротермальної системи стало можливим внаслідок активізації тектонічних рухів ларамійської фази, які на межі палеоцен-еоцену призвели до перебудови і поглиблення карпатського палеобасейну. Наукова новизна. Вперше схарактеризовано залізо-манганову мінералізацію в еоценових породах над'ямненського строкатоколірного горизонту. Вивчені ознаки дають змогу запропонувати гідротермальну модель надходження мінеральної речовини. Практична значимість. Наявність залізо-манганової мінералізації в еоценовому над'ямненському строкатоколірному горизонті розширює пізнавальні аспекти щодо вивчення Зовнішньокарпатського басейну океану Тетіс та сприяє вивченню геохімічної спеціалізації інших строкатоколірних горизонтів.

Ключові слова: залізо-манганова мінералізація, морфотип, рудний пласт, строкатоколірний горизонт, Скибовий покрив, Українські Карпати.

Як цитувати: Генералова Л. В. Залізо-манганова мінералізація в еоценових відкладах скиби Парашка (Скибовий покрив, Українські Карпати) / Л. В. Генералова, В. Б. Степанов, Л. М. Хом'як та ін. // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 56. – С. 49-66. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-03>

In cites: Heneralova L. V., Stepanov V. B., Khomyak L. M., Koptyuk O. V., Heneralov A. V. (2022). Iron-manganese mineralization in Eocene deposits of Parashka skyba (Skybov nappe, Ukrainian Carpathians). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (56), 49-66. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-03> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. Геологічне картування і тематичні роботи останніх десятиліть в Українських Карпатах сприяли вивченню аутигенних мінералів та особливостей їх утворення в осадових комплексах регіону. На сьогоднішній день в різних районах Світового океану відкрито підводні рудоносні термальні джерела, з якими генетично пов'язані рудні поклади і металоносні осади. Виходи таких рудовмісних флюїдів при-

урочені до розломів, вулканічних апаратів, газогідратних і нафтогазових родовищ, в зонах впливу яких утворюються комплекси аутигенних мінералів.

В крейдово-еоценових відкладах карпатського регіону трапляються залізисті і манганові аутигенні утворення. Вони часто приурочені до строкатоколірних горизонтів, які представлені чергуванням зеленкувато-сірих дрібнозернистих турбідитів і вишнево-червоних геміпелелітів і

пелагітів, репрезентованих породними асоціаціями аргілітів, алевролітів та дрібнозернистих пісковиків. Середній хімічний склад безкарбонатної речовини в вишнево-червоних аргілітах дає підстави зазначити, що вони мають характеристики, які споріднюють їх з полігенними глибоководними глинами та /або металоносними осадами сучасних океанів. В горизонтах трапляються переривчасто-ланцюжкові й лінзоподібні чорно-бурі залізо-манганові утворення. Виявлення районів з високим вмістом аутигенних, зокрема залізистих і манганових, мінералів в породах, вивчення умов утворення цих мінералів, їх мінеральних і хімічних характеристик та парагенетичних асоціацій дає змогу розширити пізнавальні аспекти на корисні копалини.

Огляд попередніх досліджень. Вивчення аутигенних мінералів морських відкладів започатковано в 1874 р. роботами під час експедиції науково-дослідницького судна «Челенджер» в контексті досліджень рельєфу глибоководних ділянок дна океану та його осадів. В цей же час вперше звернули увагу на залізо-манганову мінералізацію (ЗММ), представлену переважно конкреційним типом агрегатів і поширену в пелагічній зоні океанів. Результатами глибоководного буріння протягом двадцятого сторіччя виявлено існування похованих горизонтів конкрецій в інтервалі від крейдового до сучасного періодів. Дослідження ЗММ встановило, що для нагромадження залізо-манганових утворень ключове значення мають два геохімічних бар'єра: шар кисневого мінімуму (500–3500 м) та критична глибина осадо-нагромадження (4500–5000 м), на яких вміст CaCO_3 в осадах $\sim 10\%$. У будові рудних оболонок конкреційних агрегатів ЗММ виділяють три рівня: макрошари, мікрошари, субмікроскопічні шари. Ієрархія шарів (оболонок) відтворює тривалий та нерівномірний процес їх росту, де рудна оболонка ЗММ являє собою складний агрегат оксидів та гідрооксидів заліза і мангана, які тонко зрослись між собою та з пелітоморфно-глинистим матеріалом. В агрегатах ЗММ серед головних мінералів мангану рудного макрошару виділяють вернадіт, залізистий вернадіт, бузерит, бернассит, асболан-бузерит; серед породотворюючих мінералів заліза – гематит, гідрогематит, гетит, гідрогетит [4, 6]. Крім оксигідрооксидів заліза і мангану в складі ЗММ відзначені у значних кількостях Ni, Cu, Co, Mo, Pt, TR, U, Th та інші.

Щодо походження марганцевих і залізо-манганових руд як і непромислової їх мінералізації до цих пір не вироблено єдиної концепції, незважаючи на детальне вивчення та розробку багатьох родовищ. Достатньо добре вирішені наукові питання асоціації зруденіння і вмісних порід, стратиграфічного і літологічного положення, загальні

особливості складу руд [4, 6]. Натомість принципові питання утворення такого зруденіння залишилися актуальними, зокрема у випадку його виявлення в нетипових ситуаціях. До середини ХХ ст. домінували погляди про хімічне осадження сполук цих металів із морської води, хоча окремі науковці (наприклад, В.І. Вернадський) вказували на вагомий роль мікроорганізмів. Згодом погляди дослідників переорієнтувалися на діагенетичний механізм формування залізо-манганових стяжін, зважаючи на те, що такі процеси здатні надавати агрегатам зональної будови. Однак це не вирішило питання про величезні обсяги металів та їхні джерела. Тому в останні декілька десятиліть більшість дослідників дотримується вулканогенно-осадового механізму формування залізо-манганової мінералізації, який пов'язував такого типу зруденіння з вулканогенними товщами або ж передбачав можливість його виникнення на значно віддалених від центрів вулканічних вивержень зон океану. Не відкидають науковці також того, що частково надходження металів може відбуватися і в процесі гальміролізу. Зокрема Є. Л. Школьник [14] розвиває уявлення про надходження мінеральної речовини висхідними флюїдами, що розглядаються як продукти гальміролітичного розкладання вулканітів океанічної і субокеанічної кори басейну седиментації, і можуть знаходитись значно нижче рудних накопичень. Досягнення мікробіології в поєднанні з новими методами вивчення мінеральної речовини, зокрема скануюча електронна мікроскопія, дають підстави останнім часом дослідникам стверджувати про вагомий роль у процесі осадження металів за участі мікробіального чинника [1]. Зазначена вище проблематика у вирішенні генезису залізо-манганової мінералізації вимагає урахування низки аспектів будови і складу під час вивчення подібних за складом утворень, що в міру можливостей було враховано авторами цього дослідження.

Працями дослідників [25–26] за головними компонентами ЗММ запропонована генетична класифікація трикутній діаграмі Fe–Mn– $10\times$ (Cu+Ni+Co), яка враховує різні (гідрогенні, гідротермальні, діагенетичні) джерела рудної речовини. Діаграма Е. Бонатті була доповнена і модифікована іншими дослідниками [3, 14, 18].

На сьогоднішній день ЗММ дна Світового океану добре вивчені в межах акваторій. Проте матеріали про розвиток ЗММ в морях, зокрема окраїнних, дещо обмежені. В них подаються відомості про наявність ЗММ, які не завжди розглядають необхідне генетичне обґрунтування. Останнім часом з'являються публікації, які містять усебічний аналіз речовинних параметрів ЗММ та аргументоване дослідження умов їх походження. Вони в значній мірі завдячують су-

часним методам досліджень, які дають змогу вивчити тонкощі мінерального і хімічного складів ЗММ і корелювати їх з генезисом [27–35]. Економічна доцільність щодо експлуатації ЗММ оцінюється показниками місту мангана близько 30% та Ni+Cu близько 2%. При цьому до важливих промислових комплексів мінеральної сировини Світового океану відносять оксидні залізо-манганові конкреції і кобальт-манганові кірки.

Згідно з актуальними плитно-тектонічними моделями Карпатський флішовий басейн, як фрагмент океану Тетіс, у крейді-неогені розташовувався поблизу пасивної окраїни Євразійського континенту [16]. Співставлення утворень Карпатського басейну з сучасними океанічними породними комплексами відкривало широкі можливості для їх кореляції.

При вивченні флішових Карпат неодноразово відмічалось, що крейдово-міоценові стратони несуть збагаченість ЗММ. У публікаціях схарактеризовані пелосидеритові і манганові мінералами, які тяжіють до карбонатних фацій [16]. В Західних Карпатах встановлено пласти рудних карбонатних і вуглеродистих утвореннях юрського і палеогенового віку з вмістом міді і нікеля. Карбонати заліза і мангану, які утворюють два залізо-манганові пласта, відзначені у строкатоколірних горизонтах верхньосеномансько-нижньотуронського розрізу Сплава Скибової зони Карпат на території Польщі [24]. Їх утворення пов'язують із гідротермальною активністю палеобасейну седиментації [24]. Біля с. Шешори у Покутських Карпатах у верхньоеоценовій бистрицькій світі відмічено прошарки, з окисленими стяжіннями карбонату мангану, діаметром від 2 до 32 см, серед зеленкуватих аргілітів строкатоколірного горизонту [8].

В Українських Карпатах строкатоколірні теригенні горизонти з залізо-мангановою мінералізацією широко представлені у верхньокрейдово-еоценових флішових утвореннях. Строкатоколірність горизонтів підкреслюється ритмічно-циклічним чергуванням зеленкувато-сірих і вишнево-червоних аргілітів, алевролітів та дрібнозернистих пісковиків. В горизонтах неодноразово зустрічаються поклади залізо-манганових конкрецій та кірок, і лінзи сульфідної, зокрема мідної мінералізації. Комплексна оцінка складу та умов формування верхньокрейдово-еоценових строкатоколірних горизонтів Скибової зони Українських Карпат дає змогу віднести їх до закамурфльованих (гемі)пелагічних вулканогенних та вулканогенно-осадових утворень, становлення яких відбувалось на глибинах нижньої батіалі–абісали [2, 11–13, 16, 17, 19, 23].

Рентгенодифрактометричними дослідженнями глинистої фракції пелагічних палеоцен-ео-

ценових порід Скибової структурно-фаціальної зони відзначено, що вона представлена змішано-шаруватими мінералами типу іліт-монтморилоніт та хлорит-монтморилоніт, а також ілітом і хлоритом [10 і посилання там]. В цілому ж, у верхньокрейдово-еоценових пелітах Українських Карпат виявлено значний вміст смектитів і хлоритів [7].

Системно-геохімічне вивчення верхньокрейдово-еоценових строкатоколірних горизонтів відкладів Українських Карпат методом головних компонент виявило асоціацію (Mn), Co, Ni, Cu, яка сформована на геохімічному бар'єрі червоних-зелених аргілітів, що демонструє зміну окисних умов на відновні [20–22].

В роботі [15] з манганоносності (і розвитку пов'язаних з ними оксидних залізистих руд) у флішових комплексах карпатського регіону відзначено, що у породах еоцену вміст MnO коливається в межах 2,2–15,5%, FeO міняється від 12,56 до 19,90%. Автори роблять висновок про те, що MnO адсорбувався гідроксидами заліза, пелітоморфним кальцитом, і глинистою речовиною. Дослідники схиляються до думки, про різні генетичні джерела манганової мінералізації на території регіону. Вони пов'язують підвищений вміст мангану (6–20 кларків) з явищами ексгаляційно-осадового рудогенезу за умов виносу сполук мангану підводними гідротермами у морське середовище седиментогенезу. Крім того автори роботи відмічають, що підвищений вміст мангану супроводжується підвищеним вмістом заліза і підкреслюють, що залізо-мангановий модуль (Fe+Mn/Ti) коливається в межах 8,5–11,3 і свідчить про сприятливу оксидну обстановку для седиментаційного нагромадження мангану.

Тематичні дослідження строкатоколірних горизонтів Скибової зони на теренах Гребенівського полігону дали змогу виявити пласт залізо-манганових утворень (конкреційних агрегатів, кірок, лінз, рудних брекчій) в підшві манявської світи, в основі над'ямненського строкатоколірного горизонту [7, 11, 12].

Об'єктом нашого дослідження є залізо-манганова мінералізація, виявлена у відкладах над'ямненського строкатоколірного горизонту еоцену в районі середньої течії р. Опір. *Метою* дослідження стало вивчення мінерального складу і походження згаданого залізо-манганового зруденіння. Для її вирішення важливо було з'ясувати такі *питання*: 1) геолого-структурна позиція зруденіння; 2) умови седиментації в басейні на час її утворення, зокрема фаціальна приналежність вмісних порід; 3) мінеральний склад і морфологічні типи агрегатів та 4) походження мінералізації, ймовірні джерела металів та процеси, які зумовили її формування.

Матеріали і методи. Польові дослідження

проведено в кар'єрі на правому борту потоку Гребеновець, який є правим допливом р. Опір. Ці роботи розпочалися зі збирання в природних відслоненнях авторської колекції взірців з утвореннями залізистої і манганової мінералізації, приуроченої до над'ямненського строкатоколірного горизонту. Супутньо вивчено будову розрізу та структурно-текстурні риси вмісних порід. Седиментологічний аналіз речовинних і структурно-текстурних особливостей розрізу строкатоколірного горизонту здійснено у відповідності до методик, викладених у працях [11 та посилання там]. На основі цього безпосередньо у відслоненні діагностовано літодинамічні типи відкладів, виконано пошаровий опис порід на межі ямненських пісковиків та строкатоколірних утворень над'ямненського горизонту.

Речовинний склад вмісних порід уточнювався методами оптичного вивчення, хімічним та спектральним аналізами. Хімічний склад вмісних аргілітів строкатоколірних горизонтів досліджено рентгенодифрактометричним методом у міжкафедральній лабораторії рентгеноструктурного аналізу геологічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка (аналітик А. М. Дворянський) на дифрактометрі ДРОН-3. Проаналізовано дифрактограми, на яких відображені характерні базальні відбиття мінералів. Мінеральний склад аргілітів визначали за програмою Match. Хімічний склад вмісних порід з'ясовували за методикою В. Авідона і перераховували за методиками О. Предовського та Я. Юдовича [11 та посилання там]. Силікатний аналіз вмісних порід (аргілітів) виконано в лабораторії Львівській геологорозвідувальної експедиції (аналітик Л. С. Саакян).

Дослідження ЗММ розпочиналися з вивчення морфологічних типів, їх структурно-текстурних ознак, які проводилися неозброєним оком та під бінокулярним мікроскопом у штуфному матеріалі. Мінералогічна діагностика ЗММ використовувала методи оптичної мікроскопії в полірованих зразках та аншліфах, рентгенодифрактометричний, спектральний аналізи. Спектральний аналіз проведено в лабораторії спектрального аналізу Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка Національної Академії наук України (аналітик А. Я. Таращан), хімічній лабораторії Львівській геологорозвідувальної експедиції ДП «Західукргеологія» (аналітик О. І. Мех), групі спектрального аналізу Центральної лабораторії Госгеолагенства (м. Бішкек, аналітик О. М. Корженевич) та аналітичній лабораторії ОсОО «Stewart Assay and Environmental Laboratories» (Киргизька республіка) (аналітик З. Кибатбекова).

Геохімічна інтерпретація отриманих результатів полягала у співставленні з еталонними об'єктами різних типів оксидних залізо-манганових утворень океанів. Співвідношення головних (Fe, Mn) та суми кольорових металів (Cu+Ni+Co) у різних генетичних типах оксидних утворень океанів відтворено на класичній трикутній діаграмі Е. Бонаті [25, 26].

Консультацію з ідентифікації органічних рештків класу погонофори отримано у доктора габітального А. Каїм з Інституту палеонтології імені Романа Козловського Польської Академії Наук (м. Варшава).

Результати досліджень.

Геолого-структурна позиція зруденіння. Район досліджень розташований в середній течії р. Опір (притоки р. Стрий) на ділянці від гирла р. Зелем'янка до гирла р. Орява, в межах скиби Парашки Скибового покриву Зовнішніх Карпат (рис. 1).

Ця територія є складовою Сколівських Бескид (Сколівський район Львівської області). Стратиграфічний розріз скиби Парашки представлений відкладами стрийської (сенон-нижній палеоцен), ямненської (середній-верхній палеоцен), манявської (нижній еоцен), вигодської (нижній-середній еоцен), бистрицької (середній-верхній еоцен) світ та менілітовою серією порід олігоцен-міоцену.

Детальне вивчення розрізу правого борту п. Гребеновець дає змогу констатувати, що в нижньому уступі кар'єру відслонені відклади ямненської світи. Вище, на другому і третьому уступах, розкрита пачка перехідних верст між типами розрізу ямненської і манявської світ. На межі верхнього інтервалів дрібно-середньозаруватих та грубо-середньозаруватих турбідитів поширені специфічні утворення. Вони представлені різними морфологічними типами утворень залізної і манганової мінералізації (рис. 2, 3). Потужність горизонту – 0,20–0,35 м.

Літологія та фаціальна приналежність вмісних порід. Положення у розрізі ЗММ та фації палеогенових відкладів детально вивчено у верхніх уступах кар'єру, розташованого в правому борті потоку Гребеновець (див. рис. 1). Рудний поклад приурочений до перехідної частини розрізу між масивними пісковиками ямненської світи і тонкоритмічним перешаруванням строкатоколірних порід над'ямненського горизонту (15–20 м). У перехідній пачці, видимою потужністю до 10 м, домінують середньо- і товстошаруваті пісковики. Пачка має симетричну будову розрізу, виражену в зменшенні потужності секвенцій турбідитів до її покрівлі та підшови. В центральній частині пачки залягає шар грубозернистих турбідитів та греїні-

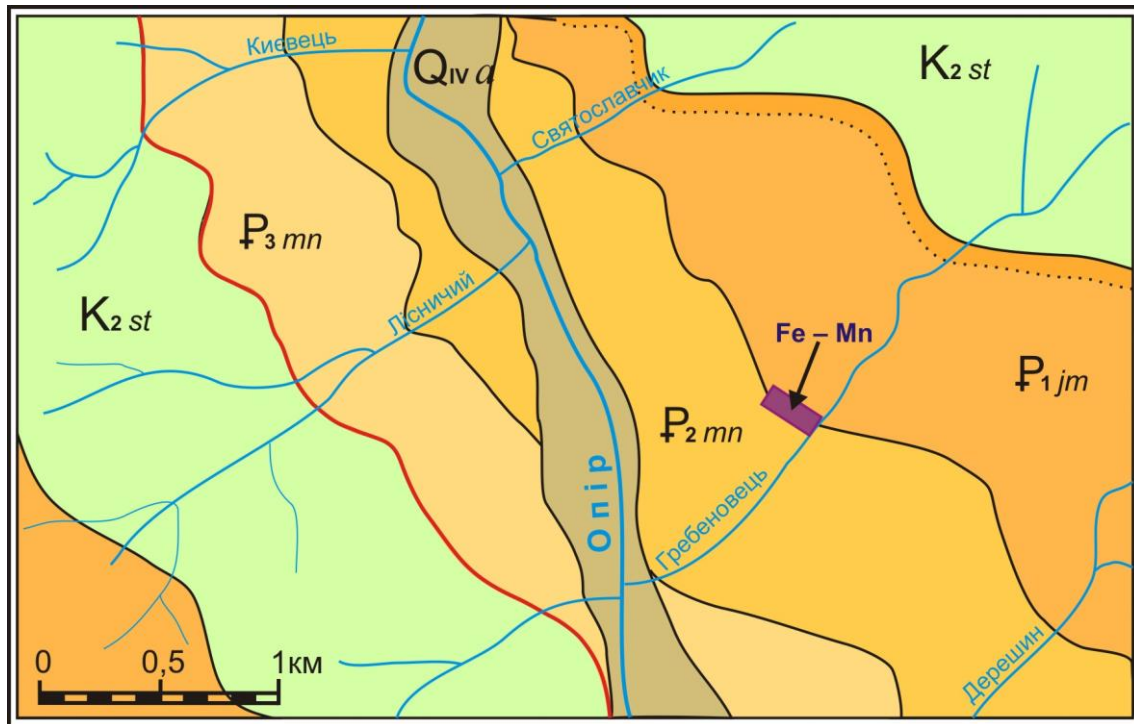


Рис. 1. Фрагмент геологічної карти району з розташуванням об'єкта залізо-манганової мінералізації.
 Fig. 1. A fragment of the geological map of the district with the location of the iron-manganese mineralization facility



Рис. 2. Рудний пласт і залізо-манганова мінералізація в породах перехідної пачки розрізу між відкладами ямненської і манявської світ.
 Fig. 2. Ore layer and iron-manganese mineralization in the rocks of the transition section of the section between the deposits of the Yamna and Maniava formations

тів завтовшки до 5,0 м з елементами секвенції А. Боума *Tavc, Tav*. За простяганням шару вони подекуди заміщені на структурно-текстурні елементи секвенції Д. Лау *Ts₂S₃*. Грубозернистий турбідит перекритий декількома секвенціями дрібнозернистих турбідитів (потужність 0,2–0,5 м) з елементами А. Боума *Tcde ma Tde*. Догори за розрі-

зом, в бік покрівельної частини перехідної пачки, потужність секвенцій грубозернистих турбідитів збільшується до 1,8–2,0 м. На верхньому шарі грубозернистих турбідитів залягає пластоподібне тіло потужністю 0,20–0,35 м, збагачене залізо-мангановими мінералами. Рудний поклад вирізняється у відслоненні серед інших порід забарвлен-

ням, яке змінюється від блідо-жовтого до темно-коричневого і майже чорного (див. рис. 2). Зверху він перекритий шаром зеленкувато-сірих геміпелітів. Вище за розрізом пакет дрібнозернистих турбідитів з потужністю ритмів у перші десятки сантиметрів поступово змінюється секвенціями дрібно- та середньозернистих турбідитів з геміпелітами над'ямненського строкатоколірного горизонту.

Морфологія агрегатів та їхній мінеральний склад. Під час вивчення рудного пласта виявлено декілька типів агрегатів, утворених або переважно мінералами заліза і мангану, або в котрих такі мінерали мають великі вмісти. Передусім серед агрегатів варто вказати на конкреційний морфотип, зразки якого знайдено і в корінному заляганні, і в делювіально-колювіальних відкладах правого схилу потоку Гребеновець (рис. 3 а). Конкреційні утворення мають еліпсоїдальну форму з розмірами по довгій осі від 0,05 до 0,20–0,25 м, по короткій осі – від 0,03 до 0,10 м, забарвлені в різні відтінки коричневого кольору: від блідо-жовтого до темно-коричневого і майже чорного. В будові конкрецій помітно концентричну зональність, виражену в формі двох-трьох (іноді більше) конформних оболонок. Внутрішнє ядро сфероїдів, завбільшки від 0,01 до 0,09 м, складене двома мінеральними видами. Один з них утворює власне серцевину агрегату і представлений чорною зернистою, іноді сажистою, мінеральною речовиною. Зернисті кристали мають розміри у перші міліметри. Під сажистою плівкою помітно мінеральні скупчення сталєво-сірого кольору, які за рентгенодифрактометричним аналізом відповідають піролюзиту. Другий мінеральний вид, притаманний приядерним оболонкам, утворює натічні ниркоподібні агрегати. Наступна проміжна оболонка завтовшки 0,01–0,05 м представлена порошкоподібною масою жовтувато-коричневої залістистої мінеральної речовини. Зовнішня оболонка (0,01–0,03 м) складена темно-коричневими оксидами заліза. За візуальними діагностичними ознаками приядерні оболонки містять значну кількість (>50%) гідрогетиту, а периферійні представлені чергуванням коричневатого-бурих прошарків гетиту і коричневатого-чорних прошарків гідроксидів заліза і мангану.

З конкреційними агрегатами часто пов'язані брекчієподібні морфотипи – рудні класти (рудокластити) (рис. 3 в). Така порода має псефітову структуру і складена уламками (розміром 0,05×0,07 м) гострокутного обрису з жовтувато-або ясно-коричнюватим забарвленням, які занурені в темно-коричневий субстрат. Поверхня брил хвилясто-горбиста. Вони є найпоширенішими утвореннями рудного пласта.

Крім рудних брекчій трапляються темно-ко-

ричневі рудні кірки потужністю від 0,03 до 0,07 м, які залягають поверх пісковиків або дещо вище серед зеленкуватих аргілітів (див. рис. 3 а). Контакти кірок з субстратом подекуди рівні і чіткі, подекуди поступові із певним ступенем зруденіння у приконтактовій зоні субстрату, представленого аргілітом або вулканокластичною (?) породою. Зовнішня поверхня кірок кавернозна, внутрішня – гладка і блискуча, іноді із дрібними сфероїдними включеннями (оолітами) розміром у перші міліметри. Подекуди на поверхні кірок помітні субпаралельні та радіальні борозни завглибшки до 0,005 м. Шаруватість кірок виражена завдяки домішкам глинистої речовини на фоні темно-коричневої рудної маси.

Серед морфологічних типів слід відмітити натічні утворення, представлені в тому числі натічними кірками (рис. 3 г).

В рудному пласті поширені також землісті, сажисті та вохристі маси (див. рис. 3 а). Ще один морфотип за зовнішніми ознаками є рудною залізо-мангановою псевдоморфозою по трубчастим організмам: вид вестіментіфери (?), клас погонофори (рис. 3 д, е). Нами знайдено циліндричний злегка стиснутий еліпсоподібний (імовірно, первинно м'який та еластичний, не виключено, хітиновий) фрагмент тіла погонофори довжиною до 0,06–0,08 м з діаметром 0,035–0,042 м. Зовнішня оболонка залістиста. Вона є гладкою або має ребра. На поперечному зрізі ребра орієнтовані радіально щодо довгої осі псевдоморфози. В середині псевдоморфози помітно щільний осьовий стержень. У поперечному перерізі встановлено слабо виражену концентричну зональність, яка підкреслена кільцями бурого-коричневої і темно-коричневої рудної речовини. Не виключено, що виявлена псевдоморфоза є фрагментом гніздового захоронення. В природному відслоненні спостерігались трубоподібні псевдоморфози, які щільно прилягали одна до одної, складаючи елементи рудного пласта.

Залізо-манганова мінералізація присутня також у цементі пісковиків, які в потужніших шарах мають псамітову структуру, домішки алевриту та масивну до грубошаруватої текстуру (рис. 3 б). Під час вивченням шліфів пісковиків виявлено, що алевропісковики і дрібнозернисті пісковики складені кварцом (25 %), плагіоклазом (альбітолігноклаз, 25 %), гетитом (40 %) та мінералами криптомелану (10 %) (рис. 4). Кварц утворює неправильно-ізометричні зерна з нерівними напівокруглими краями. Плагіоклаз представлений короткотаблитчастими зернами та неправильними кутастими уламками. Кварц і плагіоклаз формують зернистий каркас породи, внутрішні пустоти якого виповнені цементом з гідроксидів заліза і мангану. Пісковіку притаманний плівковий, часто базальний тип цементації. Під час вивчення

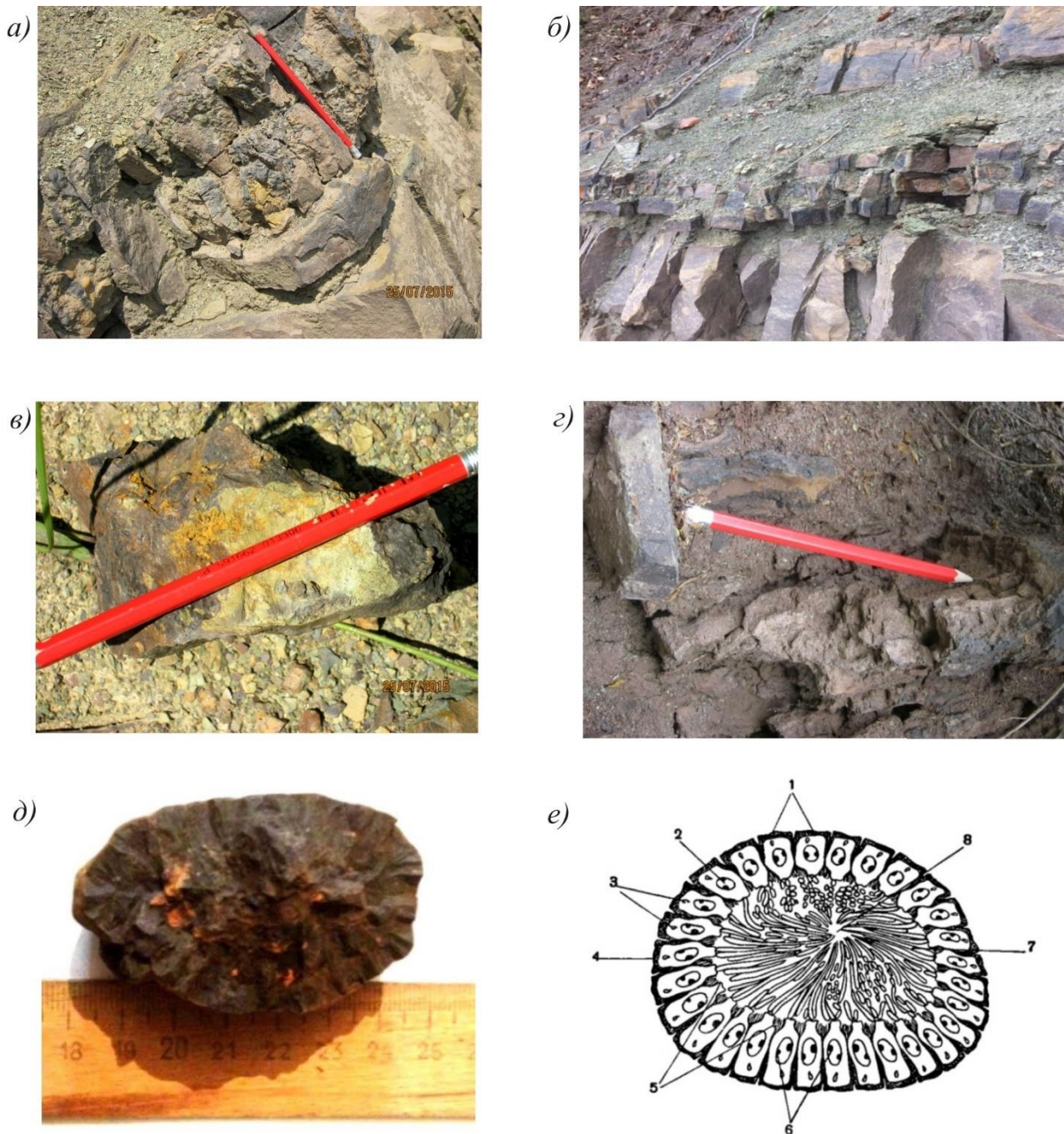


Рис. 3. Морфотипи рудного пласта: а) фрагмент рудного пласта, утвореного комбінацією брилоподібних, конкреційних і натічних агрегатів; б) шари пісковиків із залізо-мангановим цементом; в) рудокласт; г) трубчасте тіло вивідного каналу; д) псевдоморфоза по вестиментиферах; е) схема поперечного перерізу крони вестиментиферів (1-щупальця, 2-целомічний канал крони, 3-кутикула, 4-нерв щупальця, 5-борозни між щупальцями; 6- кровonosні судини; 7-пінула; 8-міжщупальний простір).
 Fig. 3. Morphotypes of an ore layer: a) a fragment of an ore layer formed by a combination of block-like, concretion and nodular aggregates; b) sandstone layers with iron-manganese cement; c) ore clast; d) tubular body of the output channel; e) pseudomorphosis by vestimentifera; f) scheme of a cross-section of the vestimentifer crown (1-tentacles, 2-coelomic channel of the crown, 3-cuticle, 4-tentacle nerve, 5-grooves between tentacles; 6-blood vessels; 7-pinula; 8-intertentacle space)

пісковиків в аншліфах у відбитому світлі визначено, що серед мінералів цементу помітно переважає гетит, який утворює плівкові й амебоподібні виділення. Іноді смужки гетиту чергуються зі смужками мінералів групи криптомелану, утворюючи кокардові наростання.

Особливості будови і складу конкреційних морфотипів. Для вивчення рудної речовини морфотипів виконане дослідження в аншліфах у відбитому світлі. Вивчення аншліфів конкреційних морфотипів, реалізоване В. Б. Степановим, показує, що розподіл головних залізо-манганових аг-

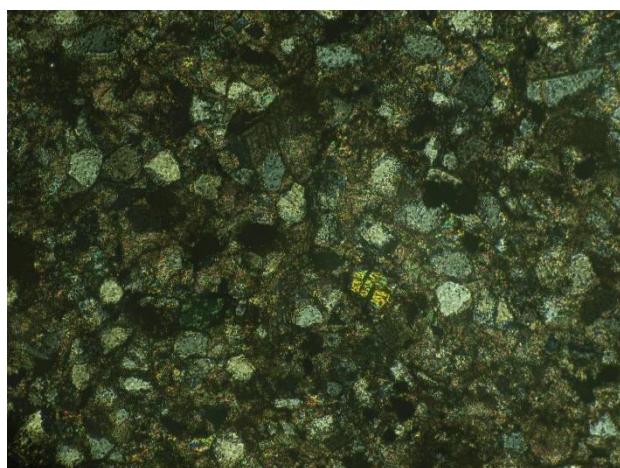


Рис. 4. Фотографія шліфа (П ніколі. 36.×24) алевропісковика із залізомангановою мінералізацією та кругова діаграма його мінерального складу.

Fig. 4. A photograph of a section (plane-polarized, dimension×24) of aleurosand rock with iron-manganese mineralization and a circular diagram of its mineral composition

регатів є доволі складним, при якому відмічаються переходи одних агрегатів в інші. Для основної маси приядерних облонок конкреційних морфотипів, представлених кристалічними фазами піролюзиту, характерні кокардова та коломорфна текстури. У агрегатах приядерних оболонок другого конкреційного морфотипу зустрічаються натічні форми представлені чергування прошарків мінералів. Ажурні прошарки починаються дендроподібними агрегатом з мінімальною відбивною здатністю (20%), і вони поступово змінюється крустифікаційним стовпчастим прошарком, який характеризується більш високою відбивною здатністю (25%). Далі спостерігається різка зміна агрегатів, і все повторюється знову. Однак потужність прошарків з кожним разом збільшується. Питома вага для більшості морфотипів залізоманганового горизонту більше 3,35 г/см³.

Дослідження у відбитому світлі та рентгенодифрактометричний аналізи виявили, що основу рудної речовини конкреційних морфотипів складають рентгеноаморфні сполуки гідрооксидів заліза та мангану. В зовнішніх оболонках домінують оксиди заліза. Найчастіше тут фіксується рентгеноаморфні гідратовані оксиди, серед яких відзначають гетит, гідроgetит, гематит, фероксигит, іноді лепідокрокит (?). У проміжних рудних оболонках сфероїдних морфотипів другого мінерального виду знаходяться гідрооксиди мангана, представлені вернадитом і бузеритом. В центральних приядерних зонах конкреційних морфотипів другого мінерального виду відмічено псиломелан, піролюзит, криптомелан та тодорокит або бернесіт (?).

Геохімічні особливості ЗММ та вмісних порід. Аргіліти та агрегати рудної мінералізації над'ямненського горизонту мають підвищенні

вмісти оксидів Fe та Mn. Для цих порід силікатним і спектральним аналізами визначено вмісти породоутворюючих (Fe та Mn та ін.) та рудних елементів (Co, Ni, Zn, Cu). Вміст мангану у зелених, червоних аргілітах та залізо-манганових утвореннях над'ямненського строкатоколірного горизонту змінюються в межах від 0,12 до 12%, заліза – від 1,4 до 11,5%. В досліджених штуфних пробах сума рудних елементів (Cu, Ni, Zn) варіює від 0,022 до 1,2%. Відношення Fe/Mn коливається від 0,2 до 40,0. Коефіцієнт Mn/Fe має дисперсію від 0,20 до 3,16.

Досліджені залізо-манганові утворення характеризуються контрастними проявами варіацій вмісту заліза та мангану, що може слугувати ознакою їх гідротермальності та просторовою приуроченістю до виходів глибоководних поліметалевих сульфідів на дно палеоакваторії. Високий вміст заліза вважається показником власне гідротермального процесу. З часом в локалізації речовини, вірогідно, прийняли участь гідрогенні чинники. Вивчені залізо-манганові агрегати нестабільні за хімічним і мінеральним складом і мають гідротермально-осадову природу за участі в різній мірі гідрогенного чинника.

Мінеральний склад глинистих порід. Мінеральний склад зеленкувато-сірих аргілітів, які перекривають рудний пласт, за рентгенодифрактометричними дослідженнями представлений хлоритом (25%), монтморилонітом (20%), кварцом (20%), іллітом (15%), плагіоклазом (10%), гетитом (5%) і кальцитом (5%) (рис. 5). Структура аргілітів пелітова, текстура невпорядкована до тонкошаруватої. Глинистій фракції зелених аргілітів притаманний значний вміст змішаношаруватих мінералів ілліт-монтморилонітового і хлорит-монтморилонітового складу. Вишнево-червоні аргі-

Хімічний склад (у ваг. %) вмісних порід та залізистих і манганових рудних утворень над'ямненського строкатоколірного горизонту

№ зразка	Мінеральний агрегат / вмісна порода	Fe	Mn	Mn/Fe	Ni	Co	Cu	(Ni+Co+ Cu) ×20
1	Сфероїдальний морфотип	6,000	2,000	0,333	0,080	0,060	0,750	17,800
2	Сфероїдальний морфотип	6,000	5,000	0,833	0,200	0,060	0,380	12,800
3	Озалізнений сфероїдальний морфотип	11,500	5,000	0,435	0,080	0,060	0,300	8.800
4	Центральна частина сфероїдального морфотипу	3,210	10,000	3,115	0,150	0,008	0,025	3,660
5	Приядерний прошарок сфероїдального морфотипу	5,000	10,000	2,000	0,600	0,000	0,600	24,000
6	Проміжний прошарок сфероїдального морфотипу	4,290	2,000	0,466	0,010	0,050	0,001	1,200
7	Проміжний прошарок сфероїдального морфотипу	3,000	3,000	1,000	0,500	0,001	0,600	22,000
8	Рудний (залізо-мангановий) пласт	3,206	3,200	0,998	0,300	0,120	0,080	10,000
9	Рудний (залізо-мангановий) пласт	5,270	2,000	0,380	0,300	0,110	0,090	10,000
10	Зелені аргіліти (манявська світа)	4,900	0,120	0,024	0,015	0,015	0,005	0,700
11	Зелені аргіліти (манявська світа)	3,000	0,150	0,050	0,003	0,017	0,003	0,460
12	Зелені аргіліти (манявська світа)	4,290	10,000	2,331	0,020	0,012	0,032	1,280
13	Червоні аргіліти (манявська світа)	3,500	0,300	0,086	0,013	0,007	0,002	0,440
14	Червоні аргіліти (манявська світа, над'ямненський горизонт, над рудним пластом)	9,000	12,000	1,333	0,020	0,05	0,015	1,700
15	Червоні аргіліти з залізо-мангановими кірками	3,200	8,000	2,500	0,020	0,07	0,025	2,300
16	Червоний аргіліт (манявська світа, над'ямненський горизонт)	4,920	1,000	0,203	0,010	0,070	0,012	1,840
17	Вишнево-червоний аргіліт (манявська світа, над'ямненський горизонт)	4,370	5,000	1,144	0,010	0,050	0,100	3,200
18	Червоні аргіліти (манявська світа)	1,400	1,000	0,714	0,003	0,005	0,040	0,960

літи утворені асоціацією мінералів у складі кварцу, альбіту, хлориту та гідролюд. Мінералами-індикаторами забарвлення для сіро-зелених аргілітів є хлорит, для вишнево-червоних аргілітів – гетит [12].

Обговорення результатів. Наведені вище особливості морфології мінеральних агрегатів залізо-манганової мінералізації, їхнього мінерального і хімічного складу дають підстави стверджувати про її гідротермальне та гідротермально-

гідрогенне походження. Саме ж зруденіння варто розглядати як геологічний об'єкт непересічної цінності в геологічній історії регіону, який доповнює загальну картину тектонічних, вулканічних, седиментаційних процесів та супутнього їм мінералоутворення.

Ціла низка морфотипів залізо-манганової мінералізації, виявлених у відслоненні, постає, з одного боку, достатньо однозначним свідченням процесу їхнього формування, а з іншого – ілюст-

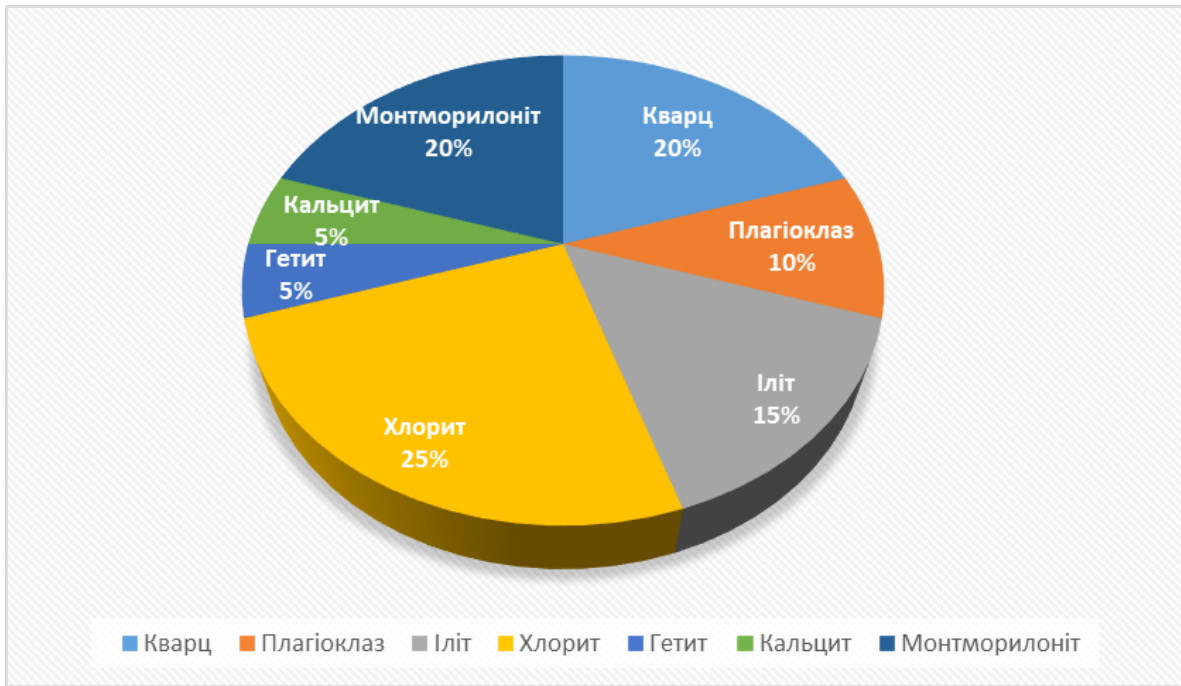


Рис. 5. Діаграма мінерального складу зеленкувато-сірих алевроаргілітів
 Fig. 5. Diagram of mineral composition of greenish-gray aleuroargillite

рує роль літологічного чинника у ньому. Як зазначалося вище, рудна мінералізація приурочена як до покрівлі шарів пісковиків, так і поширена в самих пісковиках. Піщані осади мали добру проникність для розчинів і на час утворення залізо-манганової мінералізації були ще слабкої літифікації, зокрема із незавершеними процесами ущільнення та цементації осаду. Трубочасті, брекчієподібні морфотипи з псамітовою структурою та цементований гідроксидами заліза і мангану пісковик розглядаємо як латеральний інфільтраційний ряд гідротермальної системи. Гідротерми, пробиваючись через чергову порцію піщаних осадів лавинного типу седиментації, зумовлювали дезінтеграцію слаболітифікованого піщаного осаду біля підвідного каналу, просочувалися по піщаному шару та витікали на морське дно. В такий спосіб, ймовірно, утворилися брекчієподібні агрегати біля каналу, які латерально змінюються пісковиками із залізо-мангановим цементом. Трубочасті рудні тіла, швидше всього, є дрібними каналами інфільтрації розчинів.

Під час виливання гідротерм на морське дно відбувалося відкладення рудної речовини на поверхні пісковиків з утворенням рудного пласта (завтовшки до 0,25 м) або залізо-манганових кірок (0,03–0,07 м). Осадження рудної речовини супроводжувалося відкладенням глинистих частинок з турбідитного потоку, які перекривали рудні тіла. Разом із тим, винесені гідротермами металеві сполуки домішувалися і розпорошувалися серед глинистих порід, збагачуючи їх металами. В роботі такої системи можна простежити непе-

рервно-ритмічний режим діяльності. Після формування і підняття з надр до морського дна, гідротермальна система періодично зазнавала закупорювання черговим турбідитним потоком через швидке відкладення піщаного осаду. Після прориву гідротермою цього осаду, розчини бурхливо виринали на дно та відбувалося інтенсивне відкладення з них залізо-манганової мінералізації. Після цього гідротерми витікали в спокійнішому режимі, збагачуючи донні осади сполуками металів, які могли розноситися на значні віддалі. Ритмічний режим роботи гідротерм міг бути обумовлений також поновленням активності розломів, збільшенням проникності зон розривних порушень й відповідно посиленням гідротермальної діяльності. В той же час, підземні поштовхи спричиняли лавинну седиментацію на дні басейну. На загал, накладення седиментаційного і гідротермального процесу призвело до утворення багатоярусної колони гідротермальної та гідротермально-гідрогенної мінералізації (рис. 6).

В місцях витіку на дно гарячих джерел формувалися агрегати оолітового типу, в яких на піщинках або газових пухирцях осідали з розчину сполуки заліза і мангану. Припускаємо, що зародження таких агрегатів відбулося шляхом випадання речовини з гідротермальних розчинів з утворенням власне оолітів, які пізніше гідрогенно нарощувалися металевими сполуками, перероджуючись в конкреції. Таке судження впливає із описаних вище особливостей будови сфероїдних (конкреційних) агрегатів, їхнього мінерального складу, в якому є як мінерали гідрогенного поход-

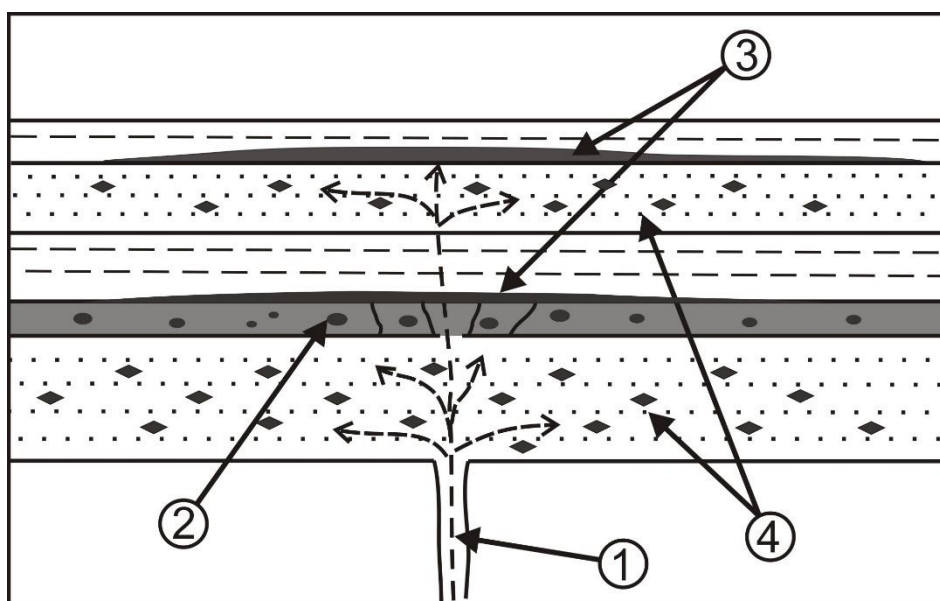


Рис 6. Схема будови гідротермальної колони: 1 – потік флюїдів по розлому; 2 – рудний пласт; 3 – рудні кірки; 4 – пісковики із залізо-мангановим цементом.

Fig. 6. Scheme of the structure of the hydrothermal column: 1 – fluid flow along the fault; 2 – ore layer; 3 – ore crusts; 4 – sandstones with iron-manganese cement

ження (вернардит, бузерит), так і гідротермального (тодорокіт, псиломелан).

Приналежність рудної мінералізації до продуктів гідротермальної системи підтверджує й аналіз її хімічного складу. Винесені на діаграму Бонаті точки хімічного складу залізо-манганової мінералізації узгоджуються із висловленими вище судженнями та дають змогу уточнити генезис і палеогеодинамічну ситуацію в регіоні на засадах актуалістичного підходу (рис. 7). Серед досліджених зразків рудної мінералізації один рій фігуративних точок просторово тяжіє до полів III (гідротермальні Fe-Mn утворення Західно-Тихоокеанської перехідної зони) та IV (гідротермальні кірки Серединно-Атлантичного хребта). Тут локалізуються утворення ЗММ, у яких відмічається збагачення манганом ($Mn/Fe=2,3-3,1$) або близький вміст заліза і мангану ($Mn/Fe\sim 1,0$), при сумі кольорових металів 0,115–1,2 %.

Другий рій точок УЗММ, розташований біля поля V (осади Червоного моря) у полі II (гідротермально-гідрогенних Fe-Mn утворень), відповідає залістим утворенням ($Mn/Fe=0,380-0,466$), при сумі металів ($Cu+Ni+Co=0,44-0,89$ %). Одна фігуративна точка з даними ЗММ потрапляє у поле I (гідрогенних Fe-Mn утворень Тихого океану), інша точка – розташовується поблизу.

Як бачимо з діаграми, залізо-манганова мінералізація тяжіє до полів гідротермальних і гідротермально-гідрогенних відкладень, хоча й має суттєві коливання вмісту головних рудних компонентів. Останнє, очевидно, пов'язано із особливостями процесу мінералоутворення – інфільтраційно-хімічне в піщаних осадах та гідротермальне в

поєднанні з гідрогенним осадженням металевих сполук внаслідок змішування рудоносних розчинів із холодними придонними водами.

Трикутна діаграма Fe-Mn-20×(Ni+Co+Cu) дає змогу проаналізувати головні рудні елементи червоних та зелених аргілітів і залізовмісних утворень. Червоні аргіліти, які характеризуються помірним вмістом суми кольорових металів ($Cu+Co+Ni=0,048-0,16$ та відношення $Mn/Fe=0,714-1,4$, потрапляють в поле (IV) гідрогенних утворень Серединно-Атлантичного хребта та у поле (II) гідротермально-гідрогенних Fe-Mn утворень, зокрема кірок (за [3]). Поле II включає фігуративні точки неоднорідних за складом Fe-Mn утворень Серединно-Атлантичного хребта. Частина з них близька до гідрогенних утворень, характеризується варіаціями вмісту Fe та Mn, іноді при перевазі Fe, та низьких значеннях концентрацій Ni та Co. Ці утворення, вірогідно, полігенні і належать до гідротермально-гідрогенного типу з різним вмістом ендегенного матеріалу. Зелені аргіліти локалізуються у полі (I) гідрогенних Fe-Mn утворень Тихого океану та поблизу полів II і IV.

Серед рудної мінералізації не виявлено сульфідних фаз, хоча в хімічному складі рудних тіл та вмісних порід є помітні вмісти як заліза і мангану, так і Cu, Co і Ni. З цього випливає, що температура й хімічні особливості гідротерм не були сприятливими для формування сульфідів, а згадані метали лише домішувалися до залізо-манганової мінералізації та розпорозувалися серед вмісних порід. Специфіка хімічного й мінерального складу рудної мінералізації, очевидно, пов'язана з умовами зародження і функціонуван-

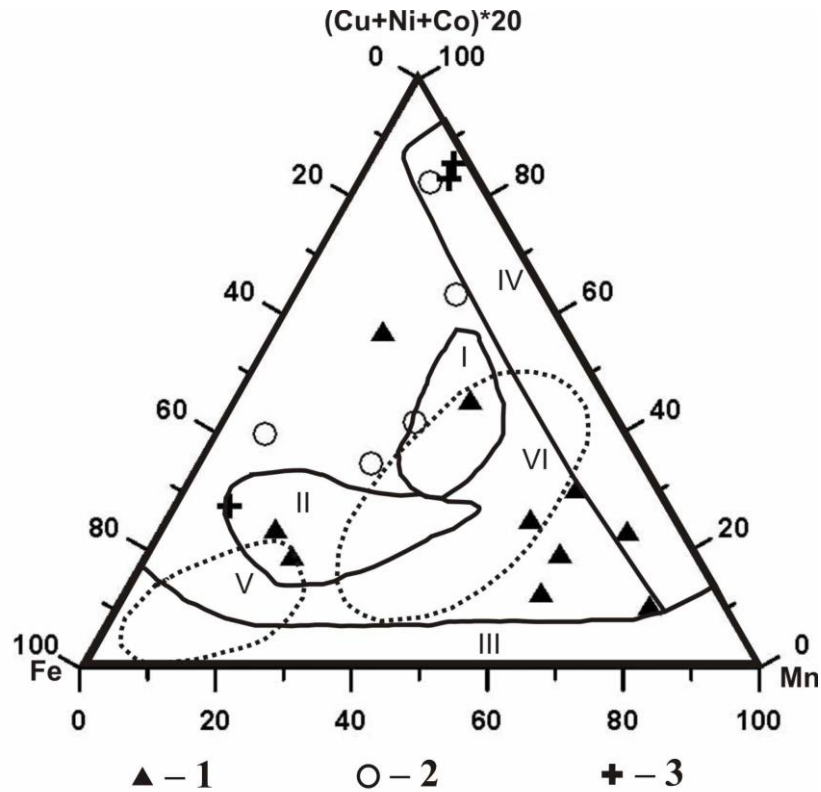


Рис. 7. Положення фігуративних точок хімічного складу залізоманганових утворень та аргілітів над'ямненського горизонту на діаграмі Fe–Mn–(Cu+Ni+Co)×20 [25, 26]: 1 – залізо-манганової мінералізації; 2 – червоних аргілітів; 3 – зелених аргілітів. Походження оксидних утворень (кірок) океанів: поля за Л. Анікеєвою [3]: I – гідрогенні Fe-Mn утворення Тихого океану, II – гідротермально-гідрогенні Fe-Mn утворення, III – гідротермальні Fe-Mn утворення Західно-Тихоокеанської перехідної зони, IV – гідротермальні утворення Серединно-Атлантичного хребта (Анікеєва); поля за А. Масловим [18]: V – осади Червоного моря, VI – поле гідрогенних осадків.

Fig. 7. The position of figurative points of the chemical composition of iron-manganese formations and argillites of the Nadyamna horizon on the diagram Fe–Mn–(Cu+Ni+Co)×20 [25, 26]: 1 – iron-manganese mineralization; 2 – red argillites; 3 – green argillites. The origin of oxide formations (crusts) of the oceans: fields according to L. Anykееva [3]: I – hydrogenous Fe-Mn formations of the Pacific Ocean, II – hydrothermal-hydrogen Fe-Mn formations, III – hydrothermal Fe-Mn formations of the Western Pacific Transition Zone, IV – hydrothermal formations of the Mid-Atlantic Ridge (Anykееva); fields according to A. Maslov [18]: V – sediments of the Red Sea, VI – field of hydrogen deposits

ня гідротермальної системи, зокрема і в контексті геодинамічної еволюції регіону на межі раннього і середнього палеогену. Вище описано приуроченість гідротермальної колони до перехідної пачки між відкладами ямненської і манявської світ, яка відображає зміну фацій глибоководних відкладів у стратиграфічній послідовності нашарувань палеогену. Перехід у розрізі від грубозернистих турбідитів ямненської світи до дрібно- та середньозернистих турбідитів з геміпелагітами над'ямненського строкатоколірного горизонту зумовлений активізацією тектонічних процесів, внаслідок яких відбулася перебудова флішового басейну та його поглиблення. Збільшення глибини відобразилося у формуванні строкатоколірних глинистих порід, серед яких червонобарвні мають ознаки геміпелагічних осадків. Вивчення мікрофауни форамініфер із строкатоколірних пачок нижнього ео-

цену підтверджує глибоководні умови осадження глинистих порід у віддаленій зоні батіалі нижче КГК [2,13].

Поглиблення карпатського палеобасейну відбулося внаслідок розвитку конвергентних взаємодій між структурними елементами земної кори регіону в ларамійську фазу. Для зовнішньої частини флішового басейну, який прилягав до пасивної окраїни Східноєвропейської платформи та розташовувався на корі субконтинентального типу, поглиблення басейну було похідним, зокрема, від активізації розломів фундаменту. Серед них особливу роль, очевидно, відіграли дві системи розломів північного і північно-східного простягання: Стрийсько-Латорицька в західній частині Українських Карпат і Городенківсько-Рахівська в східній, по яких група дослідників Карпат (В. Глушко, В. Кузовенко, В. Шлапінський) запропонувала

поділ підфлішового фундаменту на Лемківський, Бойківський та Гуцульський блоки [9]. За кінематичними ознаками згадані системи поперечних розломів в піднасувному комплексі порід фундаменту, вірогідно, проявляли себе як регіональні скиди шарнірного типу, мали велику проникність та тривалий часовий діапазон активності. Припускаємо, що передусім ці розривні системи, подекуди, напевно, в комбінації із поздовжніми щодо простягання палеобасейну, стали зонами підняття магматичних розплавів із верхньої мантії (астеносфери), збуреної спершу деструктивними, а пізніше субдукційно-колізійними процесами. Однак розплави не досягли поверхні (дна басейну) з низки причин (потужність літосфери, величина теплового потоку і т.д.), як це трапилося у рифтогенній структурі, з якою пов'язують ранньокрейдовий (чи пізньоюрський) підводний вулканізм сублужного базальтового складу, представлений тростянецьким та петроським комплексами порід підводних вивержень. Швидше всього, магматичні розплави сформували тіла дайкового типу в гіпабісальних умовах, запусивши діяльність гідротермальної системи. Зважаючи на мідну мінералізацію в строкатоколірних горизонтах еоцену, підвищені вмісти заліза і мангану в пелітоморфних глинистих і подекуди карбонатних породах еоцену, прояви низькотемпературної миш'якової мінералізації, можна стверджувати про функціонування цілої низки подібних гідротермальних систем, приурочених до розломів.

Наукова новизна. Вперше схарактеризовано залізо-манганове зруденіння в породах еоценового над'ямненського строкатоколірного горизонту. Описані морфотипи ЗММ, структурно-текстурні, мінералогічні й геохімічні риси рудних утворень та седиментаційні і петрографічні особливості вмісних порід. Структурно-текстурні і фауністичні дані свідчать про те, що строкатоколірні відклади над'ямненського горизонту Скибового покриву, як, очевидно, й інші аналогічні породні асоціації, сформовані процесами геміпелігчної і дистально-турбідитної седиментації на глибинах, які відповідають нижній батіалі-абісали нижче або близько до рівня карбонатної компенсації. Породні парагенезиси строкатоколірних горизонтів є продуктами глибокого підводного звітрявання осадових (із закамуфльованим вулканогенним матеріалом) утворень. ЗММ має змішаний генезис. Джерелами рудної речовини слугував гідротермальний процес, на продукти якого були накладені гідрогенні явища.

Практична значимість. Вивчені особливості ЗММ дають змогу порівнювати її з сучасними та новітніми металоносними утвореннями пелігчної седиментації. Наявність залізо-манганової мінералізації еоценового над'ямненського стро-

катоколірного горизонту розширює пізнавальні аспекти щодо вивчення Зовнішньокарпатського басейну океану Тетіс та сприятиме вивченню інших горизонтів і їхньої геохімічної спеціалізації.

Висновки. Досліджено морфотипи, хімічний і мінеральний склад та умови формування залізо-манганової мінералізації, виявленої серед відкладів скиби Парашки в середній течії р. Опір. Рудна мінералізація приурочена до перехідної пачки розрізу на межі палеоцену й еоцену, яка утворена перешаруванням грубозернистих турбідитів і греїнітів ямненської світи та строкатоколірних дрібно-середньозернистих турбідитів і геміпелігтів манявської світи.

Синхронна осадженню глибоководних відкладів нижньої батіалі залізо-манганова мінералізація локалізована в рудному пласті і рудних кірках, а також розсіяна серед вмісних порід. Рудний пласт утворений поєднанням конкреційних, нагічних, брекчієподібних, землистих і сажистих агрегатів. Для конкреційних морфотипів властива концентрично-зональна будова, складена відмінними за мінеральним складом і структурними рисами оболонками з кристалічними виділеннями в ядрі. Рудна речовина представлена рентгеноаморфними сполуками гідрооксидів заліза та мангану, серед яких є мінерали гідротермального (піролюзит, псиломелан, тодорокіт і берсеніт) та гідрогенного (вернадит, бузерит) походження. Оболонки часто мають стовпчасті, дендроподібні та колорморфні структури, типові для утворень гідротермального походження. Диференціація зруденіння за мінеральним складом обумовлює суттєві коливання вмістів металів як в рудних агрегатах (від 3 до 11,5 % оксидів Fe та від 2 до 10 % Mn), так і у вмісних породах (від 1,4 до 11,5 % оксидів Fe та від 0,12 до 12 % Mn), що підтверджує ендегенне походження рудоносних флюїдів.

На діаграмі співвідношень головних компонентів залізо-манганових утворень різних зон сучасних океанів Е. Бонатті точки хімічного складу рудної мінералізації над'ямненського горизонту потрапляють в поля як гідротермального, так і гідротермально-гідрогенного походження. Зважаючи також на мінералого-хімічні риси рудної мінералізації, можна стверджувати, що головним постачальником металів на морське дно були гідротерми, при змішуванні яких із морською водою відбувалося як безпосереднє випадання рудних мінеральних фаз, так і осадження окисних та гідроокисних сполук із збагачених металами придонних вод.

Зародження та функціонування гідротермальної системи стало можливим внаслідок активізації тектонічних рухів ларамійської фази, які на межі палеоцен-еоцену призвели також до перебування і поглиблення карпатського палеобасейну.

Важливу роль в цих процесах зіграли розломи в підфлішовому фундаменті, які слугували шляхами висхідної циркуляції гарячих розчинів, а джерелом тепла і металів, припускаємо, могли бути магматичні розплави. Розплави інтродували по розломах, не досягаючи поверхні, і запустили циркуляцію гідротермальної колони, яка розвантажувалася на дно палеобасейну одночасно із осадженням відкладів фонового та турбідитного типу. З частково охолодженого і хімічно зміненого флюїду вивідної частини цієї колони сульфідні фази формуватися не могли, а випадали оксидні сполуки феруму і мангану, значна ж кількість

металів (як Fe і Mn, так і Cu Ni Co) розпорошилася серед вмісних осадів.

Подяки: Автори висловлюють щире подяку за сприяння виконанню цього дослідження начальнику Геологозйомочної партії Львівської геологорозвідувальної експедиції ДП "Західукргеологія" В. О. Ващенко, завідувачу кафедри петрографії (2012–2019 рр.) Львівського національного університету імені Івана Франка, доктору геолого-мінералогічних наук, професору В. М. Гулію, старшому викладачеві Державного університету геології, гірничої справи та освоєння природних ресурсів імені академіка Усенгаз Асаналієва Л. В. Кметь (м. Бішкек).

Список використаної літератури

1. Авдонин В. В. Бактериальная природа оксидных железомарганцевых руд Мирового океана [Текст] / В. В. Авдонин, Е. А. Жегалло, Н. Е. Сергеева // – М.: ГЕОС, 2019. – 280 с.
2. Андреева-Григоревич А. Про вік і умови седиментації горизонтів строкатих аргілітів у палеоцен-еоценових відкладах Українських Карпат / А. Андреева-Григоревич, Н. Маслун, С. Гнилко, О. Гнилко // Проблеми геології фанерозою України: матеріали V Всеукр. Наук. конфер. (8-14 жовтня 2014 р.). – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2014. – С. 3–6.
3. Анিকেєва Л. И. Железомарганцевые корковые образования Западно-Тихоокеанской переходной зоны / Л. И. Анিকেєва, В. Е. Казакова, Г. М. Гавриленко, В. А. Рашидов // Вестник Краунц. Науки о Земле. – 2008. – № 1, вып. 11. – С. 10–31.
4. Астахова Н. В. Аутогенные образования в позднекайнозойских отложениях окраинных морей Востока Азии [Текст] / Н. В. Астахова. – Владивосток: Дальнаука, 2007. – 244 с.
5. Афанасьєва И. М. Литогенез и геохимия флишевой формации северного склона Советских Карпат [Текст] / И. М. Афанасьєва. – К.: Наук. думка, 1983. – 183 с.
6. Базилевская Е. С. Исследование железо-марганцевых руд океана [Текст] / Е. С. Базилевская. – М.: Наука, – 2007. – 189 с.
7. Білоніжска П. Сметити в геологічних утвореннях Українських Карпат [Текст] / П. Білоніжска, О. Матковський // Мінерал. зб. – 2010. – Вип. 2. – С. 3–14.
8. Бобровник Д. П. О рудопроявлениях марганца в верхнеэоценовых отложениях Покутских Карпат [Текст] // Материалы по минералогии, петрографии и геохимии осадочных пород и руд / Д. П. Бобровник, М. Д. Петруняк, В. А. Хмелевский. – К.: Наук. думка, 1971. – Вып. 1. – С. 56–67.
9. Вивчення геологічної будови та перспектив нафтогазоносності зони зчленування Дуклянського, Чорногорського і Кросненського покривів Українських Карпат: звіт по темі / [В. В. Глушко, В. Є. Шлапінський, Я. О. Кульчицький та ін.]. – Львів : Тематична партія, 1994. – 136 с. – (фонди ДП "Західукргеологія").
10. Гаєвська Ю. Про мінералогію глинистої фракції теригенних порід еоцену Скибової зони Українських Карпат [Текст] / Ю. Гаєвська // Мінерал. зб. – 2009. – № 59, вип. 4. – С. 105–115.
11. Генералова Л. М. Мінералого-петрохімічні особливості порід еоценових строкатоколірних горизонтів Українських Карпат (на прикладі сушманецької та маянєвської світ) [Текст] / Л. Генералова, В. Степанов // Вісник Львів. ун-ту. Сер. геол. – 2015. – Вип. 29. – С. 107–116.
12. Генералова Л. В. Залізоманганова мінералізація над 'ямненського строкатоколірного горизонту (Скибовий покрив, Українські Карпати) [Текст] / Л. В. Генералова, В. Б. Степанов // V Міжнародний геологічний форум "Актуальні проблеми та перспективи розвитку геології: наука й виробництво" : матеріали форуму, 18–23 червня 2018, м. Одеса. – К.: УкрДГРІ, 2018. – С. 35–38.
13. Гнилко С. Ранньоеоценові аглютиновані форамініфери і седиментологічні особливості формування флішу Монастирецького та Скибового покривів Українських Карпат [Текст] / С. Гнилко, О. Гнилко // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2010. – № 1(150). – С. 43–59.
14. Исследование марганцевой и железомарганцевой минерализации в разных природных обстановках методами сканирующей электронной микроскопии [Текст] / науч. ред. Г. Н. Батулин. – М.: Эслан, 2012. – 472 с.
15. Куліш Л. І. Марганець в осадочних та вулканогенно-осадочних комплексах Українських Карпат [Текст] / Л. І. Куліш, М. С. Ковальчук, І. М. Афанасьєва // Літологія та корисні копалини : зб. наук. праць ІГН НАН України та ІГНС НАН та МНС України, присвяч. пам'яті Л. І. Куліша / Нац. акад. наук України, Ін-т геологічних наук. – К.: ЛОГОС, 2006. – С. 37–46.
16. Літогенез осадочних комплексів океану ТЕТІС : Карпато-Чорноморський сегмент [Текст] / Ю. М. Сеньковський, К. Г. Григорчук, Ю. В. Колтун, В. П. Гнідець / НАН України, Ін-т геології і геохімії горючих копалин. – Київ : Наукова думка, 2018. – 158 с.

17. Лисицын А. П. Процессы терригенной седиментации в морях и океанах [Текст] / А. П. Лисицын. – М. : Наука, 1991. – 271 с.
18. Маслов А. В. Некоторые геохимические особенности и условия образования тонкозернистых терригенных пород серебрянской и сыльвицкой серий Среднего Урала [Текст] / А. В. Маслов, М. Т. Крупенин, Г. А. Петров и др. // Литосфера. – 2007. – № 2. – С. 3–28.
19. Мурдмаа И. О. Фации океанов [Текст] / И. О. Мурдмаа. – М. : Наука, 1987. – 303 с.
20. Пилипчук А. С. Литологические особенности и условия образования пестроцветных отложений палеогена Скибовой зоны Карпат [Текст] / А. С. Пилипчук // Новые данные по геологии и нефтегазоносности УССР. Львов : Изд-во Львов. ун-та. – 1972. – Вып. 6. – С. 101–110.
21. Пилипчук А. С. Палеоцен-еоценовый флиш северного склона Украинских Карпат – отложения древних морских глубоководных конусов выноса [Текст] // Геология нефтегазоносных пластовых резервуаров. / А. С. Пилипчук, М. А. Вуль. – М. : Наука, 1981. – С. 33–42.
22. Смірнов Б. Геохімія мікроелементів у породах Українських Карпат // Карпатська нафтогазоносна провінція [Текст] / Б. Смірнов / НАН України, Ін-т геології і геохімії горючих копалин, Національна акціонерна компанія «Нафтогаз України». – Львів–Київ : ТОВ "Український Видавничий центр", 2004. – Розд. 9. – С. 284–306.
23. Юдович Я. Э. Основы литохимии [Текст] / Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис. – СПб. : Наука, 2000. – 479 с.
24. Bąk K. Organic-rich and manganese sedimentation during the Cenomanian–Turonian boundary event in the Outer Carpathian Basin; a new record from the Skole Nappe, Poland, and a review from other tectonic units [Текст] / K. Bąk // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2007. – Vol 256, Issues 1-2. – P. 21–46. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.09.001>
25. Bonatti E. Metal deposits in the oceanic lithosphere [Текст] / E. Bonatti // The Sea. – 1981. – Vol. 7. – P. 639–686.
26. Bonatti E. Classification and genesis of submarine iron manganese deposits [Текст] / E. Bonatti, T. Kraemer, H. Rydell // Ferromanganese Deposits on the Ocean Floor. – Washington : National Science Foundation, 1972. – P. 149–166.
27. Composition and origin of ferromanganese crusts from equatorial western Pacific seamounts. China [Текст] / G. Wang, L. Jansa, F. Chu, C. Zou, G. Sun // J. Ocean Univ. China – 2015. – Vol. 14 (2). – P. 217–227. <https://doi.org/10.1007/s11802-015-2391-9>
28. Composition and characteristics of the ferromanganese crusts from the western Arctic Ocean [Текст] / N. Konstantinova, G. Cherkashov, J. R. Hein, J. Mirão, L. Dias, P. Madureira, V. Kuznetsov, F. Maksimov // Ore Geology Reviews. – 2017. – Vol. 87. – P. 88–99. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.09.011>
29. High-Resolution Analysis of Critical Minerals and Elements in Fe–Mn Crusts from the Canary Island Seamount Province (Atlantic Ocean) [Текст] / E. Marino, F.J. González, R. Lunar, J. Reyes, T. Medialdea, M. Castillo-Carrión, E. Bellido, L. Somoza. – Minerals. – 2018. Vol. 8, 285. <https://doi.org/10.3390/min8070285>
30. Liu K. Geochemistry of rare earth elements and yttrium in ferromanganese crusts from Kocubu Guyot in the Western Pacific [Текст] / K. Liu, Z. Wang // [J]. Marine Geology & Quaternary Geology. – 2021. – Vol 41(1). – P. 210–222. <https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2020092101>
31. Mineralogical characterization of individual growth structures of Mn-nodules with different Ni+Cu content from the central Pacific Ocean [Текст] / A. V. Wegorzewski, T. Kuhn, R. Dohrmann, R. Wirth, S. Grangeon // American Mineralogist – 2015. – Volume 100, Issue 11–12. – P. 2497–2508. <https://doi.org/10.2138/am-2015-5122>
32. Scopelliti G. Petrographic and geochemical characterization of the Middle–Upper Jurassic Fe–Mn crusts and mineralizations from Monte Inici (north-western Sicily): genetic implications [Текст] / G. Scopelliti, V. Russo // International Journal of Earth Sciences. – 2021. – Vol. 110. – P. 559–582. <https://doi.org/10.1007/s00531-020-01971-0>
33. Strategic and rare elements in Cretaceous–Cenozoic cobalt-rich ferromanganese crusts from seamounts in the Canary Island Seamount Province (northeastern tropical Atlantic) [Текст] / E. Marino, F.J. González, L. Somoza, R. Lunar, L. Ortega, J. T. Vázquez, J. Reyes, E. Bellido // Ore Geol. Rev. – 2017. – Vol. 87. – P. 41–61. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev-2016.10.005>
34. The geochemistry and formation of ferromanganese oxides on the eastern flank of the Gagua Ridge [Текст] / S. Chen, X.B. Yin, X.Y. Wang, X. Huang, Y. Ma, K. Guo, Z.G. Zeng // Ore Geol. Rev. – 2018. – Vol. 95. – P. 118–130. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.02.026>
35. Tectonic and paleoceanographic conditions during the formation of ferromanganese nodules from the northern South China Sea based on the high-resolution geochemistry, mineralogy and isotopes [Текст] / Y. Zhong, Q. Liu, Z. Chen, F. J. González, J. R. Hein, J. Zhang, L. Zhong // Mar. Geol. – 2019. – 410, P. 146–163. <https://doi.org/10.1016/j.mar-geo.2018.12.006>

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Iron-manganese mineralization in Eocene deposits of Parashka skyba (Skybov nappe, Ukrainian Carpathians)

*Larysa Heneralova*¹,

PhD (Geology), Associate Professor, Department of General and Historical Geology and Paleontology,

¹Ivan Franko National University of Lviv, 4, Hrushevskij St., 79005, Lviv, Ukraine;

*Vladimir Stepanov*¹,

PhD (Geology and Mineralogy), Associate Professor, Department of Mineralogy, Petrography and Geochemistry;

*Leonid Khomyak*¹,

PhD (Geology), Associate Professor, Department of General and Historical Geology and Paleontology;

*Oleksandr Koctyuk*¹,

PhD (Geology), Associate Professor, Department of Mineralogy, Petrography and Geochemistry,

*Anton Heneralov*¹,

Student, Department of General and Historical Geology and Paleontology

ABSTRACT

Formulation of the problem. Modern advances in oceanographic studies of sedimentogenesis and orogenesis open up opportunities for in-depth study of rocks by fold-nappe systems, including the Carpathian region.

Review of previous research. On the territory of the Carpathians in flysch complexes researchers have mainly noted the findings of carbonates of manganese and iron nodules.

At the same time, flysch complexes contain iron-manganese oxide mineralization.

The purpose of the work was to study the mineral and chemical composition, morphological types of aggregates and the origin of iron-manganese mineralization (IMM) among the Eocene deposits of the Parashka skyba of Skybov nappe in the middle course of the river Opir.

Methods used: Sedimentological, mineralogical, petrogeochemical and X-ray diffractometric analyzes of wall rocks and ore minerals.

Results: The ore mineralization is associated with the Paleocene to Eocene transition strata, which is represented by coarse-grained turbidites and grainites of the Yamna suite and variegated fine- and medium-grained turbidites and hemipelagites of the Manyava suite. IMM are deposited in a main ore bed, ore crusts and scattered in the wall rocks. It is synchronously sedimented with deep-water deposits of the lower bathyal. The ore bed is composed of concretionary, sinter, brecciated, earthy and sooty aggregates. Concretionary morphotypes have concentric-zonal structure, which is formed by shells with different mineral composition and structural features. Crystalline secretions are observed in the nucleus. The ore substance is represented by X-ray amorphous compounds of iron and manganese hydroxides, among which are minerals of hydrothermal (pyrolusite, psilomelan, todoroquite and bersenite) and hydrogenic (vernadite, bu-serite) origin. Shells often have columnar, dendritic and colomorphic structures typical of hydrothermal formations. Differentiation of mineralization by mineral composition causes significant fluctuations in metal contents in ore aggregates (from 3 to 11.5% of Fe oxides and from 2 to 10% of Mn) and host rocks (from 1.4 to 11.5% of Fe oxides and from 0.12 to 12% Mn). This confirms the endogenous origin of ore-bearing fluids. On the diagram of the ratios of the main components of iron-manganese formations of different zones of modern oceans by E. Bonatti, the geochemical composition of the ore mineralization of the Nad'yamne variegated horizon falls into the fields of both hydrothermal and hydrothermal-hydrogen origin. Mineralogical and geochemical features of ore mineralization indicate that the main source of metals on the seabed were hydrothermal vents. Direct deposition of ore mineral phases and deposition of oxide and hydroxide compounds from metal-enriched bottom waters occurred as a result of reaction of hydrothermal fluids with seawater. The formation and functioning of the hydrothermal system was likely caused by the intensification of tectonic movements of the Laramian phase on Paleocene-Eocene boundary, which also led to restructuring and deepening of the Carpathian paleobasin. An important role in these processes was played by faults in the flysch foundation, which served as channels for circulation of hot fluids. The source of heat and metals could be deep magma, according to authors.

Scientific novelty. Iron-manganese mineralization in the Eocene rocks of the Nad'yamne variegated horizon was characterized for the first time, IMM morphotypes, structural-textural, mineralogical and geochemical features of ore formations and sedimentation and petrographic features of the content rocks were described. The studied features make it possible to propose a hydrothermal model of mineral formation.

Practical significance. The studied features of IMM correlate well with modern and recent formations of pelagic sedimentation. The presence of iron-manganese mineralization in the Eocene Nad'yamne variegated horizon expands the cognitive aspects of the study of the Outer Carpathian basin of the Tethys Ocean and will contribute to the study of other variegated horizons and their geochemical specialization.

Keywords: *morphotype, ore layer, variegated horizon, iron manganese mineralization, Skybov nappe, Ukrainian Carpathians.*

References

1. Avdonin V.V., Zhegallo E. A., Sergeeva N. E. (2019). *Bacterial nature of oxide iron-manganese ores of the World Ocean. Moscow, GEOS, 280. [in Russian]*

2. Andrieieva-Hryhorovych A. Maslun N., Hnylko S., Hnylko O. (2014). On the age and conditions of sedimentation of horizons of variegated argillites in the Paleocene-Eocene sediments of the Ukrainian Carpathians. In: *Problems of geology of the Phanerozoic of Ukraine: materials V Scientific conference (October 8–14, 2014)*. Lviv, Ivan Franko Lviv National University, 3–6. [in Ukrainian]
3. Anykeeva L. Y., Kazakova V. E., Gavrilenko G. M., Rashydov V. A. (2008). Iron-manganese cortical formations of the Western Pacific transition zone. *Vestnyk Kraunts. Earth Sciences*, 1(11), 10–31. [in Russian]
4. Astakhova N. V. (2007). Autogenic formations in the Late Cenozoic sediments of the peripheral seas of East Asia. *Vladivostok, Dalnauka*, 244. [in Russian]
5. Afanasyeva Y. M. (1983). Lithogenesis and geochemistry of the flysch formation of the northern slope of the Soviet Carpathians. *Kiyv, Nauk. dumka*, 183. [in Russian]
6. Bazylevskaya E. S. (2007). Research of iron-manganese ores of the ocean. *Moscow, Nauka*, 189. [in Russian]
7. Bilonizhka P. Matkovskiy O. (2010). Smectites in the geological formations of the Ukrainian Carpathians. *Mineral. coll.*, 2, 3–14. [in Ukrainian]
8. Bobrovnyk D. P., Petrunyak M. D., Khmelevskiy V. A. (1971). On manganese ore occurrences in the Upper Eocene sediments of the Pokut Carpathians. In: *Materials on mineralogy, petrography and geochemistry of sedimentary rocks and ores*. Kiyv, Nauk. dumka, 1, 56–67. [in Russian]
9. Hlushko V. V., Shlapynskiy V. Ye., Kulchytskyi Ya. O., etc. (1994). Study of the geological structure and prospects of oil and gas bearing capacity of the joint zone of Duklyansky, Chornohorsky and Krosnensky cover of the Ukrainian Carpathians: report on the topic. Lviv, Thematic Party, 136. (funds of SE “Zakhidukrheolohiia”). [in Ukrainian]
10. Haievska Yu. (2009). On the mineralogy of the clay fraction of terrigenous rocks of the Eocene Skibova zone of the Ukrainian Carpathians. *Mineral. coll.*, 59, 4, 105–115. [in Ukrainian]
11. Heneralova L., Stepanov V. (2015). Mineralogical and petrochemical features of rocks of Eocene variegated horizons of the Ukrainian Carpathians (on the example of Sushmanets and Manyava suites). *Visnyk Lviv. un-tu. Ser. geol.*, 29, 107–116. [in Ukrainian]
12. Heneralova L. V., Stepanov V. B. (2018). Iron-manganese mineralization of the Nad'yamne variegated horizon (Skybov nappe, Ukrainian Carpathians). *V International Geological Forum “Current issues and prospects for development of Geology: Science and Production”*: materials of the forum, June 18–23, 2018, Odessa. Kiyv : UkrDHRI, 35–38. [in Ukrainian]
13. Hnylko S., Hnylko O. (2010). Early Eocene agglutinated foraminifera and sedimentological features of flysch formation of Monastyrtsky and Skibov nappes of the Ukrainian Carpathians. *Geology and geochemistry of combustible minerals*, 1(150), 43–59. [in Ukrainian]
14. Investigation of manganese and iron-manganese mineralization in different natural environments by scanning electron microscopy. (2012). In: ed. G.N. Baturyn. *Moscow, Eslan*, 472 p. [in Russian]
15. Kulish L. I., Kovalchuk M. S., Afanasyeva I. M. (2006). Manganese in sedimentary and volcanic-sedimentary complexes of the Ukrainian Carpathians In: *Lithology and minerals: collection. Science. works of IGN NAS of Ukraine and IGNS NAS and MOE of Ukraine, dedicated. in memory of L.I. Kulish. Nat. acad. Sciences of Ukraine, Institute of Geological Sciences*. Kiyv, LOHOS, 37–46. [in Ukrainian]
16. Senkovskiy, Yu. M., Hryhorchuk, K. H., Koltun, Yu. V., Hnidets V. P. (2018). Lithogenesis of oceanic sedimentary complexes TETIS: Carpathian-Black Sea segment. *NAS of Ukraine, Institute of Geology and Geochemistry of Combustibles fossil*. Kyiv, Naukova dumka, 158 [in Ukrainian]
17. Lisitsyn A.P. (1991). *Processes of terrigenous sedimentation in the seas and oceans*. Moscow, Nauka, 271. [in Russian]
18. Maslov A. V. Krupenyn M. T., Petrov H. A. etc. (2007). Some geochemical features and conditions of formation of fine-grained terrigenous rocks of the Silver and Sylvits series of the Middle Urals. *Lithosphere*, 2, 3–28. [in Russian]
19. Murdmaa Y. O. (1987). *Facies of the oceans*. Moscow, Nauka, 303. [in Russian]
20. Pylypchuk A. S. (1972). Lithological features and conditions of formation of multicolored Paleogene sediments of the Skibova zone of the Carpathians. In: *New data on the geology and oil and gas potential of the USSR*. Lviv, Lviv University Press. 6, 101–110. [in Russian]
21. Pylypchuk A. S., Vul A. S. (1981). Paleocene-Eocene flysch of the northern slope of the Ukrainian Carpathians - deposits of ancient deep seawater cones of removal. In: *Geology of oil and gas reservoirs*. Moscow, Nauka, 33–42. [in Russian]
22. Smirnov B. (2004). Geochemistry of trace elements in the rocks of the Ukrainian Carpathians. In: *Carpathian Oil and Gas Province, Rozd. 9. NAS of Ukraine, Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals, National Joint Stock Company “Naftogaz of Ukraine”*. Lviv–Kyiv, Ukrainian Publishing Center LLC, 284–306. [in Ukrainian]
23. Yudovych Ya. E. Ketrys M. P. (2000). *Fundamentals of lithochemistry*. Sankt-Peterburh, Nauka, 479. [in Russian]
24. Bąk K. (2007). Organic-rich and manganese sedimentation during the Cenomanian–Turonian boundary event in the Outer Carpathian Basin; a new record from the Skole Nappe, Poland, and a review from other tectonic units. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 256(1-2), 21–46. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.09.001>
25. Bonatti E. (1981). Metal deposits in the oceanic lithosphere. In: *The Sea*, 7, *The oceanic lithosphere* (Emiliane C., ed). New York., Willey, 639–686.
26. Bonatti E., Kraemer T., Rydell H. (1972). Classification and genesis of submarine iron manganese deposits. In *Ferromanganese Deposits on the Ocean Floor* (Horn D.R., ed.). Washington, National Science Foundation, 149–166.
27. Wang G., Jansa L., Chu F., Zou C., Sun G. (2015). Composition and origin of ferromanganese crusts from equatorial western Pacific seamounts. *China. Ocean Univ. China*. 14 (2). 217–227. <https://doi.org/10.1007/s11802-015-2391-9>

28. Konstantinova N., Cherkashov F.G., Hein J. R., Mirão J., Dias L., Madureira P., Kuznetsov V., Maksimov F. (2017). Composition and characteristics of the ferromanganese crusts from the western Arctic Ocean. *Ore Geology Reviews*. 87. 88–99. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.09.011>
29. Marin E, González F.J., Lunar R., Reyes J., Medialdea T., Castillo-Carrión M., Bellido E., Somoza L. (2018). High-Resolution Analysis of Critical Minerals and Elements in Fe–Mn Crusts from the Canary Island Seamount Province (Atlantic Ocean). *Minerals*. 8, 285. <https://doi.org/10.3390/min8070285>
30. Liu K. Wang Z. (2021). Geochemistry of rare earth elements and yttrium in ferromanganese crusts from Kocebu Guyot in the Western Pacific. *Marine Geology & Quaternary Geology*. 2021.41(1), 210–222. <https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2020092101>
31. Wegorzewski A. V., Kuhn T., Dohrmann R., Wirth R., Grangeon S. (2015). Mineralogical characterization of individual growth structures of Mn-nodules with different Ni+Cu content from the central Pacific Ocean. *American Mineralogist*. 100 (11–12), 2497–2508. <https://doi.org/10.2138/am-2015-5122>
32. Scopelliti G., Russo V.(2021). Petrographic and geochemical characterization of the Middle–Upper Jurassic Fe–Mn crusts and mineralizations from Monte Inici (north-western Sicily): genetic implications. *International Journal of Earth Sciences*, 110, 559 – 582. <https://doi.org/10.1007/s00531-020-01971-0>
33. Marino E., González F.J., Somoza L., Lunar R., Ortega L., Vázquez J. T., Reyes J., Bellido E. (2017). Strategic and rare elements in Cretaceous–Cenozoic cobalt-rich ferromanganese crusts from seamounts in the Canary Island Seamount Province (northeastern tropical Atlantic.) *Ore Geol., Rev.* 87, 41–61. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev-2016.10.005>
34. Chen S., Yin X.B., Wang X.Y., Huang X., Ma Y., Guo K., Zeng Z.G.(2018). The geochemistry and formation of ferromanganese oxides on the eastern flank of the Gagua Ridge. *Ore Geol., Rev.* 95, 118–130. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.02.026>
35. Zhong Y., Liu Q., Chen Z., González F. J., Hein J. R., Zhang J., Zhong L.(2019). Tectonic and paleoceanographic conditions during the formation of ferromanganese nodules from the northern South China Sea based on the high-resolution geochemistry, mineralogy and isotopes. *Mar. Geol.*, 410, 146–163. <https://doi.org/10.1016/j.mar-geo.2018.12.006>

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 6 January 2022
Accepted 18 January 2022

Альпійські тектонічні рухи і соляна тектоніка Східної України

Сергій Володимирович Горяйнов,

к. г.-м. н., доцент, завідувач кафедри геології,
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,
майдан Свободи 4, Харків, 61022, Україна,
e-mail: gorjajnov@karazin.ua

У межах Східної України встановлені неотектонічні рухи, викликані як соляною тектонікою, так і аттичними (післяміоценовими – допліоценовими) насувними дислокаціями. Досліджувалися структурні результати взаємодії аттичних насувних деформацій і соляної тектоніки. Вони частково відображаються в сучасному рельєфі. Опорна поверхня, що відображає ці рухи – висхідно горизонтальна підшва кайнозою Східної України. Морфологія даної поверхні зображувалася ізольованими із кроком 20 м по вертикалі. В основу побудови карти опорної поверхні покладені державні геологічні карти території й дані по більш ніж 2100 свердловин. Відхилення від горизонтального залягання опорної поверхні вказують напрямки й амплітуду деформацій. У результаті побудов виявилися підняття опорної поверхні, не пов'язані з насувами. Розміри таких підняття складають $8 \div 30 \times 6 \div 15$ км із вертикальною амплітудою 40–100 м і більше. Підняття оточені дугоподібними компенсаційними прогинами шириною в перші кілометри й глибиною 20–100 м. Деякі підняття пов'язані з відомими соляними куполами території, інші таких куполів не містять. Можливо, вони сформувалися над невеликими соляними "подушками", у яких для формування соляних діапірів не вистачило запасів солі. Площа розвитку підняття приблизно відповідає площі розвитку девонських соленосних відкладів на глибині 5–10 км і більше. Крім того, виявилися неотектонічні підняття, аналогічні за формою й розмірам солянкупольним, але розташовані поза межами розвитку відомих соленосних товщ. Висловлена гіпотеза, що вони пов'язані з герцинськими насувами. Підняття розташовані над висячими крилами герцинських насувів на північному й південному бортах Дніпровсько-Донецької западини. Можливо, насиви перекрили породами кристалічного фундаменту девонські соленосні відклади. Четвертинне зниження рівня Світового океану збільшило літостатичне навантаження на соленосні товщі, що активізувало зростання соляних "подушок". Дані результати уточнюють геологічну будову території й розширюють площі пошуків вуглеводнів.

Ключові слова: неотектоніка, кайнозой, соляна тектоніка, аттична складчастість, герцинська складчастість, Східна Україна.

Як цитувати: Горяйнов С. В. Альпійські тектонічні рухи і соляна тектоніка Східної України / С. В. Горяйнов // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 56. – С. 67-75. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-04>

In cites: Goryainov S. V. (2022). Alpine tectonic movements and salt tectonics of Eastern Ukraine. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (56), 67-75. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-04> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. Територія досліджень адміністративно розміщена у Харківській, Луганській, Донецькій та Дніпропетровській областях Східної України. Дослідження присвячено уточненню структурно-тектонічної будови району, що потрібно для розвитку газовидобувної галузі України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наявність неотектонічних рухів Східної України встановлювалася вже давно. У 1936 р. вийшла колективна монографія "Геологический очерк бассейна р. Донца" (під редакцією Д. М. Соболева). В ній, мабуть, вперше для території показано наявність неотектонічних підняття земної кори, що відображаються у геоморфологічних рисах її будови [18].

Для території досліджень на підставі численних геологічних зйомок останнього півсторіччя Державною геологічною службою України були складені узагальнюючі геологічні карти різного змісту [2, 3, 20]. На цих картах, зокрема, було відображено значний розвиток солянокупольної тектоніки на Східній Україні. Як було встановлено ще у середині ХХ ст., це було пов'язано з формуванням соляних діапірів з глибоко зануреної девонської

соленосної товщі [1]. Рухи кам'яних солей відображаються у рельєфі території як новітні тектонічні рухи.

Польовими дослідженнями [4-15] були встановлені деякі риси геологічної будови Східної України, які не були відображені на узагальнюючих картах. Зокрема, було встановлено ускладнення геологічної будови регіону новітніми аттичними (післяміоценовими - допліоценовими) насувними рухами [15], які не були пов'язані з соляною тектонікою, а відображали колізійні процеси Європи (наприклад, формування Альп та Карпат). Результати цих насувних рухів також відображаються у сучасному рельєфі.

Невирішена частина загальної проблеми. Надійно встановлена наявність сучасних рухів девонських кам'яних солей та не менш надійно встановлений розвиток аттичних насувних рухів ставлять питання про взаємодію цих природних незалежних процесів, розвинутих на одній території.

Мета статті - аналіз регіональних структурних наслідків взаємодії цих різномірних, але синхронних тектонічних процесів.

Методика досліджень. Згідно даним узага-

льнюючих геологічних карт Східної України [2, 3] нижні (базальні) горизонти кайнозою - переважно прибережно-морські. Вони відклалися на абразивній поверхні різновікових попередніх утворень - від крейди до докембрію. Тому вихідну форму залягання цих базальних верств можна вважати за горизонтальною. Відхилення від горизонтальності і будуть сумарно відображати новітні тектонічні рухи. Такі новітні рухи повинні відображатись у рисах рельєфу та у формі підшви кайнозойського структурного поверху території. Тому підшва кайнозою була обрана опорною поверхнею, форма якої аналізувалась.

Основою побудов були первинні та аналітичні результати геологозйомочних, пошукових, вуглерозвідувальних, газорозвідувальних робіт території за останні 70 років. Основним методом роботи було спеціалізоване геологічне картування підшви кайнозойського (олігоцен-міоценового) структурного поверху території. Задача виявлення новітніх тектонічних рухів вирішувалась методами структурної геології, зокрема методом ізоліній. Виконувались наступні операції.

1. З державних геологічних карт були взяті поля розповсюдження кайнозойського структурного поверху. Обробка велась у ГІС-середовищі MapInfo.

2. Будувався тривимірний сітка аттичних насувів за геологічними даними з залученням результатів геофізичних робіт (гравірозвідка, магніторозвідка, каротажні дослідження свердловин).

3. В межах сітки насувів (у тектонічних блоках) методами структурної геології будувались ізолінії підшви кайнозою з кроком 20 м там, де кайнозойський чохол присутній. Поля відсутності кайнозою давали додаткову інформацію. Для складання карт ізоліній використовувались побудовані попередниками геологічні розрізи, а також результати буріння різноцільових свердловин території. Загалом для побудов було залучено дані більш ніж по 2100 свердловинам.

4. Аналізувався отриманий геометричний результат методом порівняння його з уявленнями про тектоніку регіону, які склалися історично.

Застосування побудов методом ізоліній дозволяло:

- відділити райони з деформаціями від районів не деформованих;
- з'ясувати знак деформацій (підняття, опускання, нахили);
- встановити їхню просторову орієнтацію;
- кількісно оцінити розмір деформаційних форм у плані та їхню амплітуду;
- уточнити розміщення розривних порушень, що призвели до деформацій.

Результати структурних побудов показані на рис. 1. Кайнозойський (олігоцен-міоценовий)

структурний поверх має блоково-насувну структуру, обумовлену розвитком аттичного (після-міоцен-допліоценового) шумилівського дислокаційного комплексу північно-східної вергентності. Комплекс розвинутий на більшій частині території. Сукупність тектонітів аттичного віку та розділених ними блоків геоморфологічно виражена зокрема як Донецький кряж та Приазовська височина у їхньому сучасному вигляді. Тектонічні рухи аттичного віку призвели до розділення всіх більш древніх утворень на лінзовидні у плані та розрізі блоки розміром у перші кілометри - десятки кілометрів, та до насування цих блоків один на інший у північно-східному напрямку [4-5, 8-10, 15]. Амплітуда насування встановлювалась для кожного з насувів методами структурної геології по більш збережених від ерозії горизонтах мезозою та палеозою. Для різних насувів території вона варіює від перших десятків метрів до 4,5 км (при вертикальній складовій зміщення до 1,5 км).

Було складено карту будови блоків кайнозойського чохла у сітці аттичних тектонітів та поза нею (рис. 1). Усередині тектонічних блоків була показана площа розвитку та/або відсутності олігоцен-міоценових відкладів з показом стратозіогіпс підшви кайнозою. Ізогіпси дозволили виявити як регіональні закономірності в розповсюдженні кайнозою, так і тонкі особливості деформацій цієї підшви. Встановлено, що ці деформації розвинуті по площі нерівномірно.

На півдні Харківської та на півночі Дніпропетровської області, у південно-західній частині території достовірно (багатьма сотнями вуглерозвідувальних свердловин Західного Донбасу) встановлюється велике поле майже повної відсутності будь-яких деформацій підшви кайнозою. Ця ділянка розміщена у басейні р. Самара і має розміри приблизно 50×100 км. Зміни відміток цієї поверхні складають 20-40 м і менше на відстанях у десятки кілометрів.

Ізолінії відображають неясно проявлену яровобалкову сітку підшви трансгресивно залягаючого палеогену. Слід зазначити, що глибина цих палеодолин в декілька разів менша, ніж глибина ярів та балок у сучасному рівнинному рельєфі.

На решті території підшва кайнозою знала більш значних деформацій. На північ та схід від цієї області вона одразу здійснюється на 250 метрів та вище - у бік Донецького кряжу та його околиць. На заході Харківської області підшва, навпаки, занурюється на відмітки -150 м та нижче (у Полтавській області навіть до -400 м). Таким чином, перепади відміток підшви кайнозою на дослідженій території достовірно перевищують сотні метрів, що відповідає за порядком встановленим амплітудам зміщень по аттичним насувам.

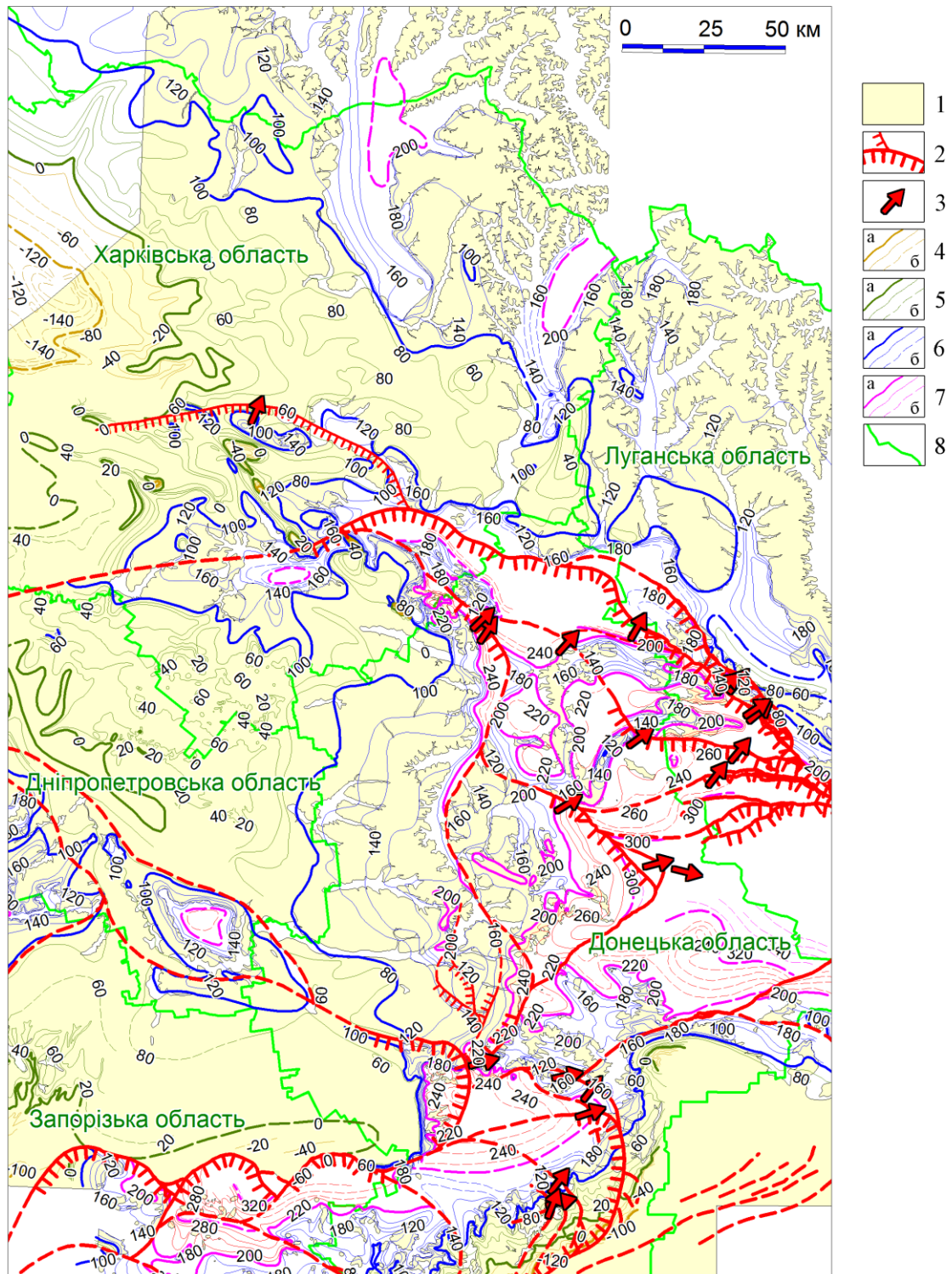


Рис. 1. Структурна карта підосви кайнозойського осадового чохла:

1 - загальна площа розвитку олігоцен-міоценових відкладів; 2 - тектоніти аттичного (післяміоцен-допліоценового) шумилівського дислокаційного комплексу; 3 - напрямок насування тектонічних блоків (польові вимірювання); 4 - стратоізогіпси підосви кайнозою нижче 0 (рівня моря) встановлені (а) та передбачувані (б); 5 - те саме в інтервалі 0 - 99 м; 6 - те саме в інтервалі 100 - 199 м; 7 - те саме вище 200 м; 8 - границі областей України.

Fig. 1. Structural map of the sole of the Cenozoic sedimentary cover:

1 - total area of development of Oligocene-Miocene sediments; 2 - tectonites of the Attic (late Miocene - early Pliocene) Shumylov dislocation complex; 3 - direction of movement of tectonic blocks (field measurements); 4 - Cenozoic stratoisogypses below 0 (sea level) established (a) and predicted (b); 5 - the same in the interval 0 - 99 m; 6 - the same in the interval 100 - 199 m; 7 - the same above 200 m; 8 - borders of regions of Ukraine

Насування тектонічних блоків на північний схід повинно було б супроводжуватись зануренням та повним збереженням від ерозії палеоген-міоценового чохла у лежачих крилах насувів території.

Але на деяких ділянках лежачих крил насувів палеоген-міоценові відклади також відсутні (рис. 1). Ділянки відсутності кайнозою мають приблизно овальну форму розміром $8 \div 30 \times 6 \div 15$ км. При підході до них підшва кайнозою здійснюється вгору на відмітки, що перевищують відмітки рельєфу. Таким чином, встановлюється наявність положистих підняття підшви кайнозою амплітудою 40 - 100 м і більше, не пов'язаних безпосередньо з насувними рухами. Розміщення таких аномалій показано на рис. 2, зліва.

Подекуди такі підняття відповідають відомим соляним штокам (Червонооскільському, Шебелинському, Петрівському, Олексіївському, Адамівському, Бригадирівському, Новодимитрівському та ін.). За даними буріння, сіль штоків здійснюється з великих глибин нижніх (девонських) горизонтів палеозою.

Слід також зазначити, що існування соляних штоків призводить і до локальних глибоких занурень підшви кайнозою. Це - наслідок соляно-карстових процесів. Такими локальними западинами відмічаються Біляївський, Краснопавлівський, Березький, Новодимитрівський, Бантишівський штоки. Глибина занурення підшви кайнозою над ними становить від десятків до 500-600 метрів. Розміри западин приблизно відповідають розмірам штоків солі. Виходячи з картини збільшення товщин кайнозойських свит у межах таких западин, заповнення їх осадками та розчинення солі йшли паралельно, конседиментаційно. Це вказує на розчинення солей під впливом підземних, а не поверхневих вод.

Поруч з підняттями, асоційованими з відомими соляними штоками, ізоляції підшви кайнозою виявляють й підняття за їхніми межами. Вони мають таку ж вертикальну амплітуду і, вірогідніше за все, теж відображають рухи солі. Але ці рухи проявлені не у вигляді штоків (для яких потрібні більші початкові запаси солі), а у вигляді "соляних подушок" з відносно невеликою амплітудою підняття [1]. Розміщення таких малоамплітудних підняття показано на рис. 2, зліва.

Додатковим аргументом на користь соляно-тектонічної природи цих підняття є існування положистих компенсаційних прогинів, що дуговидно обмежують ці підняття - як куполи та діапери, так і "подушки". Глибина прогинів складає 40-100 м при ширині у перші кілометри. У випадку тісного зближення соляних штоків або "подушок" контури компенсаційних прогинів зливаються і набувають кільцево-сітчастої форми.

Відмічається здійснення вісей таких компенсаційних прогинів з наближенням до аттичних насувів з боку їхніх висячих крил. Це свідчить про те, що форми, утворені соляною тектонікою, теж приймали участь у аттичних насувних рухах.

Можна зробити припущення, що загальна активізація соляних рухів території пов'язана не тільки з післяміоценовими - допліоценовими аттичними насувними рухами (віком 4-5 млн. років), а й з об'єктивною аномальністю сучасної геологічної епохи. Завдяки наявності Антарктичного та Гренландського льодовиків рівень Світового океану стоїть нижче норми на десятки метрів. Раніше, у епохи площинних зледеніння, рівень був ще нижчим. Це призводить до порушення ізостатичної рівноваги блоків порід над соляною товщею. Відновлення рівноваги здійснюється шляхом занурення блоків силікатних порід у пластичну сіль і компенсаційного спливання солей з утворенням неотектонічних підняття над ними. Проявлення соляних рухів у формах підшви кайнозою свідчить про їхню геологічну молодість і навіть сучасність.

Таким чином, застосований метод ізоляції опорної поверхні виявився досить чутливим для виявлення малоамплітудних рухів солі. Просторове розповсюдження поверхневих підняття та компенсаційних прогинів дозволяє приблизно обмежити поля існування девонських солей, які залягають на цій території на глибинах у 5 - 10 кілометрів і більше. Ареал розвитку таких підняття приблизно відповідає загальноприйнятним обмеженням центрального грабену Дніпровсько-Донецької западини (рис. 2, справа).

Наукова новизна. Застосований метод ізоляції виявив і інші області підняття підшви кайнозою, які за зовнішнім виглядом аналогічні описаним проявам солянокупольної тектоніки, але розміщуються поза відомими межами розвитку соленосних відкладів. Цей результат виявився несподіваним.

Так, на півночі Харківської області північніше р. Великий Бурлук починається велике підняття підшви кайнозою, яке простягається більше ніж на 90 км вздовж долини Сіверського Донця і уходить на північ за кордони України (рис. 2, справа). Амплітуда підняття достовірно перевищує 100 м. Сіверський Донець з цього підняття здвинуло на захід, а Великий Бурлук обтікає його з півдня. За даними газопошукового буріння в цьому районі під мезозоєм розкритий неповний розріз карбону, який залягає безпосередньо на докембрії. Девонські відклади відсутні взагалі.

Аналогічне (за формою, розмірами та амплітудою) підняття простежується і східніше, вздовж долини р. Червоний Оскіл (рис. 2, справа). Русло ріки також здвигнуте на захід від підняття (згідно закону Бера або під впливом сили Коріоліса). В

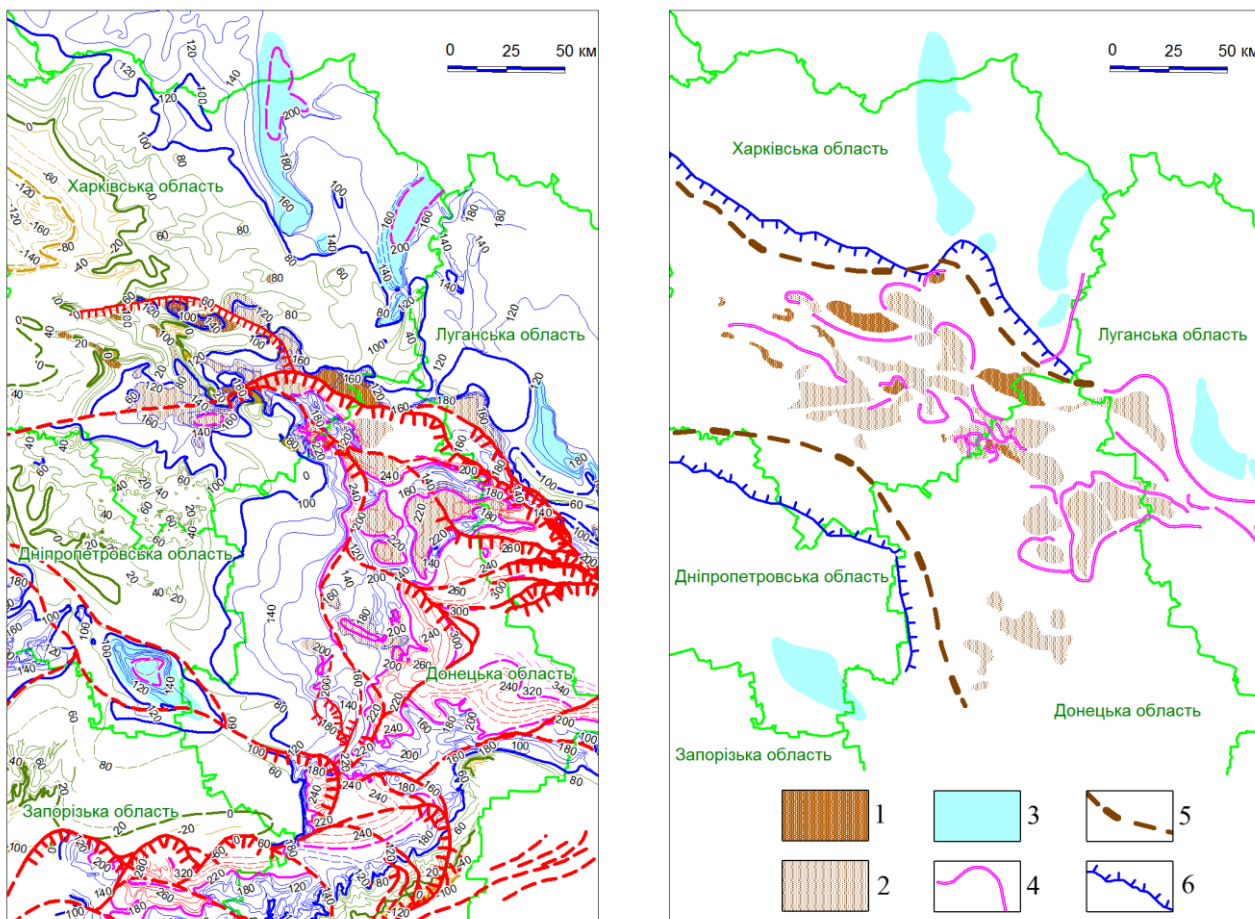


Рис. 2. Розміщення неотектонічних підняттяв:

1 - підняття над відомими соляними штоками; 2 - підняття над соляними "подушками"; 3 - підняття неясного походження; 4 - вісі компенсаційних прогинів; 5 - передбачувані границі розміщення девонських солей на глибині; 6 - прийняті границі грабену Дніпровсько-Донецької западини за геофізичними даними. Інші умовні позначення див. на рис. 1.

Fig. 2. Placement of neotectonic uplifts:

1 - rise above the famous salt shafts; 2 - rise above salt "pillows"; 3 - rise of unclear origin; 4 - axes of compensatory deflections; 5 - estimated limits of placement of Devonian salts at depth; 6 - reception boundaries of the graben of the Dnipro-Donetsk depression according to geophysical data. For other notations, see Fig. 1.

ядерних частинах цих підняттяв на найвищі відмітки рельєфу виведені крейдові відклади, а кайнозой повністю зеродований.

Таке ж підняття підосви кайнозою розміром у десятки кілометрів фіксуються і східніше вздовж долини Сіверського Донця - у низов'ях його лівих притоків рр. Жеребець та Красна. За даними газорозвідувального буріння там також відклади девону на докембрійському фундаменті відсутні.

На південному фланзі території аналогічне ізольоване неотектонічне підняття фіксується у долині р Вовча (рис. 3). Вона стікає на захід з Донецького кряжу. В нижній течії річка зустрічає неотектонічне підняття. Воно виражено височиною рельєфу. На схилах цього підняття верхньоміоценові глини (сарматський ярус) деформовані, їхня підосва зіймається більше ніж на 100 м вгору і "виходить у повітря". У ядерній частині

підняття на височині на поверхню виходять перероблені докембрійські гнейси та мігматити. Розмір підняття становить приблизно 40×20 км. Ріка Вовча обминає підняття з півдня і, притискаючись правим бортом до його південно-західного флангу (згідно закону Бера), уходить на північний захід до р. Самари. В межах підняття немає не тільки девону, але й палеозойських відкладів взагалі. На північному фланзі підняття безпосередньо на докембрій налягає нижній карбон (рис. 3). Північніше цього неотектонічного підняття знаходиться те саме поле відсутності аттичних деформацій, про яке йшла мова вище.

Наявність таких підняттяв важко пояснити соляною тектонікою безпосередньо. Можливе пояснення може бути таким.

На території Східної України - у Донбасі та колишній Дніпровсько-Донецькій западині (ДДЗ)

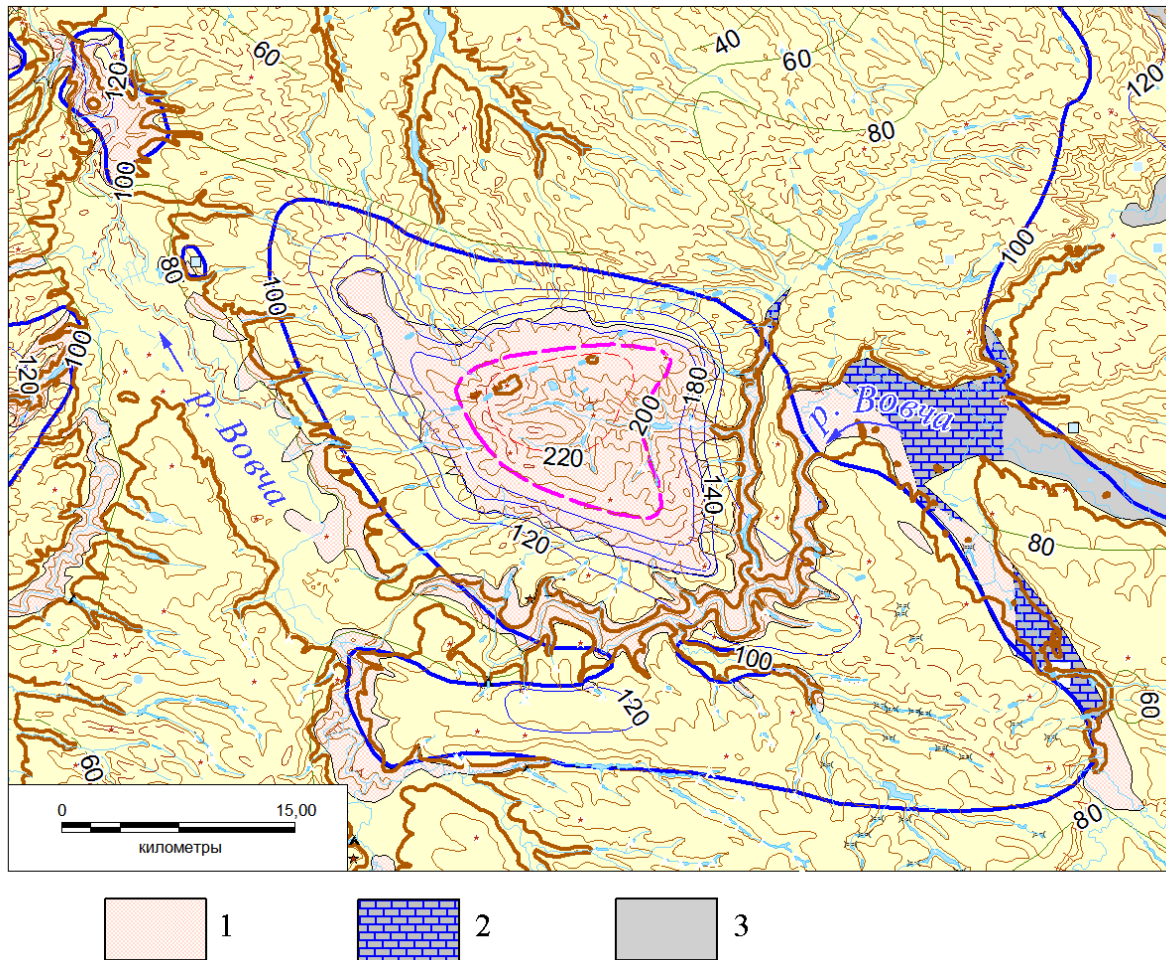


Рис. 3. Неотектонічне підняття у долині р. Вовча:

1 - докембрійські метаморфічні породи; 2-3 - нижній карбон: 2 - карбонатні породи турнейського віку; 3 - алеврито-глинисті породи візейського віку. Ізолінії сучасного рельєфу проведені через 20 м.

Інші умовні позначення див. рис. 1.

Fig. 3. Neotectonic uplift in the valley of the Vovcha River:

1 - Precambrian metamorphic rocks; 2-3 - Lower Carboniferous: 2 - carbonate rocks of Tournai age; 3 - silt-clay rocks of the Visean age. Isolines of the modern relief are drawn after 20 m. For other notations, see Fig. 1.

- встановлений потужний прояв трансрегіональної герцинської складчастості [9, 17]. Вона проявлена у численних високоамплітудних насувах південно-західної вергентності [5, 8, 9, 11-14]. Воронежський кристалічний масив насунуто на ДДЗ по Новому насуву з амплітудою більше 10 км, що встановлено глибокими газопошуковими та параметричними свердловинами [11-14, 18]. Алохтон докембрію, в свою чергу, розбитий насувними відгалуженнями у висячому крилі Нового насуву, які простягаються приблизно вздовж долин Сіверського Донця та Осколу. Можливо, що під ними збереглися фрагменти соленосної товщі девону. Вони й утворюють неотектонічні підняття.

Рифтовий грабен ДДЗ насунуто, в свою чергу, на Український щит з амплітудою у десятки кілометрів, що призвело до формування

Південно-Донбаської меланжевої зони [6, 8, 9], яка підстилає всю ДДЗ ("рифей-девонський комплекс", [1]) та простягається вздовж південного флангу ДДЗ. Неотектонічне підняття, зображене на рис. 3, знаходиться у його висячому крилі. Розміщення девонських утворень під цим регіональним насувом прогнозувалось у роботах В.В. Юдіна [21]. Підставою для такої гіпотези була геологічна інтерпретація сейсморозвідувальних робіт за профілем ДОБРЕ [19]. Виявлене неотектонічне підняття в тому ж районі цілком збігається з даним припущенням.

Якщо це припущення вірне, то поля розвитку девонських солей можуть виявитись значно ширшими сьгоднішніх. І складчасто-насувна тектонічна будова Східної України не тільки отримає нові підтвердження, а й виявиться більш масштабною. Це дозволить прогнозувати та шукати

поклади вуглеводнів на нових, раніше не задіяних, ділянках.

Висновки. 1. Для виявлення неотектонічних підняттях Східної України проаналізовано морфологію опорної поверхні - підшви кайнозойського осадового чохла. Застосований метод аналізу форми поверхні за допомогою ізоліній виявився досить чутливим, щоб встановити наявність таких підняттях.

2. Тектонічні деформації опорної поверхні виявились відносно молодими - від 4-5 млн. років (початок пліоцену) до сучасності. Вони не тільки деформують опорну поверхню, але й виражаються у сучасному рельєфі.

3. Деформації опорної поверхні є результатом взаємного накладення аттичних насувних і соляно-тектонічних рухів.

4. Виказане припущення, що четвертинне зниження рівня Світового океану додатково активувало рухи солей.

5. Аналіз морфології підшви кайнозою, розташованої на малих глибинах, дозволяє встановлювати райони розміщення девонських солей на глибинах більше 10 км.

6. Аналіз морфології підшви кайнозою дозволив також виявити неотектонічні підняття, які розміщені поза відомими межами розвитку соленосних товщ.

7. Сформульована гіпотеза, що це викликано збереженістю девонських соленосних товщ під метаморфічними породами кристалічного фундаменту, які були насунуті на них високоамплітудними насувами у герцинську складчасту епоху. Ця гіпотеза потребує подальшої перевірки.

Список використаної літератури

1. Айзенберг Д.Е. Геология и нефтегазоносность Днепровско-Донецкой впадины. Стратиграфия / Д.Е. Айзенберг, О.И. Берченко, Н.Е. Бражникова и др. / Под ред. Д.Е. Айзенберга; АН УССР, Ин-т геол. наук. – Киев : Наук. думка, 1988. – 148 с.
2. Геологічна карта України. Масштаб 1:1000000 / Під ред. В.Я. Великанова. – 2007.
3. Геологічна карта докайнозойських утворень України. Масштаб 1:1000000 / Під ред. В.І. Калініна. – 2007.
4. Горяйнов С.В. Об альпийском усложнении геологической структуры в различных регионах Украины / С.В. Горяйнов // *Доповіди НАНУ*. – 1999. – №8. – С. 106-111.
5. Горяйнов С.В. Тектонические особенности зоны сочленения Донбасса и Воронежского кристаллического массива / С.В. Горяйнов // *Питання розвитку газової промисловості України* : збірник наукових праць. – Харків, 2002. – С. 143-147.
6. Горяйнов С.В. О противоречиях геофизической модели строения Днепровско-Донецкой впадины // *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія-Географія-Екологія»*, №620. – 2004. – С. 19-21.
7. Горяйнов С.В. О ларамийском усложнении геологической структуры в различных регионах Украины / С.В. Горяйнов // *Доповіди НАНУ*. – 2004. – №3. – С. 92-95.
8. Горяйнов С.В. Перекрестно-надвиговая структура зоны сочленения Донбасса с Приазовским блоком Украинского щита / С.В. Горяйнов, В.В. Корнев // *Геологія та питання геологічного картування і вивчення докембрійських утворень Українського щита. Матеріали IV науково-виробничої наради геологів-зіомщиків України (8-12 жовтня 2007 р., м. Кривий Ріг)*. – Дніпропетровськ, 2007. – С. 102-104.
9. Горяйнов С.В. Метаморфические и метасоматические комплексы Приазовья и Южного Донбасса / С.В. Горяйнов, С.В. Аксенов, А.С. Алтухов, С.В. Воробьев, Е.П. Исаева, В.В. Корнев / Под ред. С.В. Горяйнова. – Харьков : Экограф, 2009. – 304 с.
10. Горяйнов С.В. Кайнозойские тектонические движения Восточной Европы / С.В. Горяйнов // *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. – 2013, №3 – С. 55-65.
11. Горяйнов С.В. Про будову розрізу палеозою Сентянівської ділянки за результатами буріння глибокої свердловини Сентянівська-10 / С.В. Горяйнов // *Питання розвитку газової промисловості України*. – Вип. 42, т. 1. – Харків: УкрНДІГаз: зб. наук. праць. – 2014. – С. 7-14.
12. Горяйнов С.В. Простеження Нового насуву параметричною свердловиною Тернівська-677 / С.В. Горяйнов // *Питання розвитку газової промисловості України*. – Вип. 42, т. 1. – Харків: УкрНДІГаз: зб. наук. праць. – 2014. – С. 14-17.
13. Горяйнов С.В. Нові результати дослідження глибоким бурінням геологічної будови палеозойського структурного поверху Північного Донбасу / С.В. Горяйнов // *Питання розвитку газової промисловості України*. – Вип. 42, т. 1. – Харків: УкрНДІГаз: зб. наук. праць. – 2014. – С. 17-21.
14. Горяйнов С.В. Герцинские тектонические движения Восточной Украины / С.В. Горяйнов // *Новітні проблеми геології. Матеріали науково-практичної конференції до 100-річчя від дня народження В.П. Макрідіна (м. Харків, 21-23 травня 2015 р.)*. – Харків : Вид. Іванченка І.С., 2015. – С. 162–165.
15. Горяйнов С.В. Альпийские тектонические движения Восточной Украины, соляная тектоника и нефтегазоносность / С.В. Горяйнов // *Новітні проблеми геології. Матеріали науково-практичної конференції до 100-річчя від дня народження В.П. Макрідіна (м. Харків, 27-28 травня 2016 р.)*. – Харків : Вид. Іванченка І.С., 2016. – С. 98–101.

16. Закржевская И.Г. Обобщение геолого-геофизических материалов по параметрическим скважинам: Змиевской № 602, Шуриной № 604, Лавриковской № 606, Беспаловской № 671 на Змиевском выступе: отчет о НИИР / И.Г. Закржевская, И.В. Высочанский, Л.А. Бордак и др. – Полтава-Харьков : УкрНИИГаз, 1992.
17. Камалетдинов М.А. Шарьяжно-надвиговая тектоника литосферы / М.А. Камалетдинов, Т.Т. Казанцева, Ю.В. Казанцев, Д.В. Постников – М.: Наука, 1991 – 255 с.
18. Космачёв В.Г. Геологическая база "Каменка". Учебное пособие / В.Г. Космачев, М.В. Космачева. – Харьков : ХГУ, 1993. – 104 с.
19. Стовба С.М. та ін. Регіональні сейсмостратиграфічні дослідження мСТ на профілі Старобешеве-Шхтарськ-Луганськ (профіль ДОБРЕ). Звіт по темі 113/00. - ДГП «Укргеофізика», ТЦОІГМ. – Київ, 2003.
20. Тектонічна карта України. Масштаб 1:1000000 // Під ред. С.С. Круглова, Д.С. Гурського. – 2007.
21. Юдин В.В. Тектоника Южного Донбасса и рудогенез / В.В. Юдин. – Киев, УкрГГРИ. – 2006. – 108 с.

Alpine tectonic movements and salt tectonics of Eastern Ukraine

Sergey Goryainov,

PhD (Geology and Mineralogy), Associate Professor, Head of Department of Geology,
V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

ABSTRACT

Within Eastern Ukraine, in the course of previous studies, neotectonic movements were established, caused by both salt tectonics and Attic (post-Miocene - pre-Pliocene) thrust dislocations of northeastern vergence. They are partially displayed in modern relief.

The aim of the study was to reveal the structural results of the interaction of post-Pliocene fold-thrust deformations and modern salt tectonics of Eastern Ukraine.

Research methodology. The base of the Cenozoic deposits of Eastern Ukraine was chosen as an indicator surface reflecting both those and other movements. Its initial orientation is horizontal. Deviations from the horizontal reflect the direction and amplitude of deformations. The morphology of this surface was depicted by isolines with a vertical step of 20 m. To build a map of the supporting surface, state geological maps and data from more than 2,100 wells drilled in this area were used.

Research results. A map of the shape of the Cenozoic base in tectonic blocks between the Attic thrusts and beyond their development has been constructed. Uplifts of this surface, which are not associated with thrust movements, have been revealed. The dimensions of such uplifts are 8÷30 × 6÷15 km with vertical amplitude of 40 - 100 m or more. The uplifts are usually contoured by ring or arc compensation troughs a few kilometers wide and 20-100 m deep. Some of these uplifts are associated with the known salt domes of the area. Other uplifts do not contain such domes. It is possible that they formed over salt "pillows", which did not have enough salt reserves to form salt diapirs. The area of distribution of such uplifts approximately corresponds to the area of distribution of Devonian salt deposits at a depth of 5-10 km or more.

Scientific novelty. Neotectonic uplifts were discovered, similar in shape and size to those caused by salt tectonics, but located outside the areas of distribution of known salt-bearing strata. It is hypothesized that this is related to the older Hercynian overthrusts. The uplifts are located above the hanging blocks of the Hercynian overthrusts in the north and south of the study area. These thrusts were formed on the northern and southern sides of the former Dnieper-Donetsk depression during its destruction by the Hercynian folding. It is possible that the nappes over thrusts the Devonian salt-bearing deposits with metamorphic rocks of the crystalline basement. The decrease in the level of the World Ocean in the Quaternary period further increased the lithostatic load on the salt-bearing strata. This activated the isostatic upwelling of salt and the formation of gently sloping neotectonic uplifts.

Practical significance. These results clarify the geological structure of the territory and make it possible to expand the area of hydrocarbon prospecting.

Keywords: *neotectonics, Cenozoic, salt tectonics, Attic orogeny, Hercynian orogeny, Eastern Ukraine.*

References

1. Aizenverg D.E., Berchenko O.I., Brazhnikova N.E. et al. (1988). *Geologiya i neftegazonosnost' Dneprovsko-Donetskoy vpadiny. Stratigrafiya [Geology and oil and gas potential of the Dnieper-Donets depression. Stratigraphy].* Kyiv, Naukova Dumka, 148. [in Russian]
2. Velikanov V.Ya. (2007). *Geological map of Ukraine. Scale 1: 1000000.* [in Ukrainian]
3. Kalinin V.I. (2007). *Geological map of pre-Cenozoic formations of Ukraine. Scale 1: 1000000.* [in Ukrainian]
4. Goryainov S.V. (1999). *Ob al'piyskom uslozhnenii geologicheskoy struktury v razlichnykh regionakh Ukrainy [On the Alpine complication of the geological structure in various regions of Ukraine].* Reports of NASU, 8, 106-111. [in Russian]
5. Goryainov S.V. (2002). *Tektonicheskiye osobennosti zony sochleneniya Donbassa i Voronezhskogo kristallicheskogo massiva [Tectonic features of the junction zone between the Donbass and the Voronezh crystalline massif].* Issues of development of the gas industry of Ukraine: a collection of scientific papers, 143-147. [in Russian]

6. Goryainov S.V. (2004). O protivorechiyakh geofizicheskoy modeli stroyeniya Dneprovsko-Donetskoy vpadiny [On the contradictions of the geophysical model of the structure of the Dnieper-Donetsk depression]. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series "Geology-Geography-Ecology"*, 620, 19-21. [in Russian]
7. Goryainov S.V. (2004). O laramiyskom uslozhnenii geologicheskoy struktury v razlichnykh regionakh Ukrainy [On the Laramian complication of the geological structure in various regions of Ukraine]. *Reports of NASU*, 3, 92-95. [in Russian]
8. Goryainov S.V. Korenev V.V. (2007). Perekrestno-nadvigovaya struktura zony sochleneniya Donbassa s Priazovskim blokom Ukrainского shchita [Cross-thrust structure of the junction zone of the Donbass with the Azov block of the Ukrainian Shield]. *Geology and issues of geological mapping and study of Precambrian formations of the Ukrainian Shield. Proceedings of the IV Scientific and Production Meeting of Geologists-Surveyors of Ukraine. Kryvyi Rih (Ukraine)*, 102-104. [in Russian]
9. Goryainov S.V., Aksenov S.V., Altukhov A.S., Vorobyov S.V., Isaeva E.P., Korenev V.V. (2009). Metamorficheskiye i metasomaticheskiye komplekxy Priazov'ya i Yuzhnogo Donbassa [Metamorphic and metasomatic complexes of the Sea of Azov and Southern Donbass]. *Kharkov (Ukraine): Ecographer*, 304. [in Russian]
10. Goryainov S.V. (2013). Kaynozoyyskiye tektonicheskiye dvizheniya Vostochnoy Yevropy [Cenozoic tectonic movements of Eastern Europe]. *Geology and minerals of the World Ocean*, 3, 55-65. [in Russian]
11. Goryainov S.V. (2014). Pro budovu rozrizu paleozoyu Sentyanivs'koyi dilyanky za rezul'tatamy burinnya hlybokoyi sverdlovyiny Sentyanivs'ka-10 [On the structure of the Paleozoic section of the Sentyanivska area according to the results of drilling a deep well Sentyanivska-10]. *Issues of development of the gas industry of Ukraine*, 42, 1, 7-14. [in Ukrainian]
12. Goryainov S.V. (2014). Prostezhennya Novoho nasuvu parametrychnoyu sverdlovyynoyu Ternivs'ka-677 [Tracing the New Thrust with a parametric well Ternivska-677]. *Issues of development of the gas industry of Ukraine*, 42, 1, 14-17. [in Ukrainian]
13. Goryainov S.V. (2014). Novi rezul'taty doslidzhennya hlybokym burinnyam heolohichnoyi budovy paleozoy'skoho strukturnoho poverkhu Pivnichnoho Donbasu [New results of research by deep drilling of the geological structure of the Paleozoic structural surface of the Northern Donbass]. *Issues of development of the gas industry of Ukraine*, 42, 1, 17-21. [in Ukrainian]
14. Goryainov S.V. (2015.) Gertsynskyye tektonicheskiye dvizheniya Vostochnoy Ukrainy [Hercynian tectonic movements of Eastern Ukraine]. *The latest problems of geology. Proceedings of the scientific-practical conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of V.P. Makridin. Kharkiv (Ukraine)*, 162-165. [in Russian]
15. Goryainov S.V. (2015). Al'piyskiye tektonicheskiye dvizheniya Vostochnoy Ukrainy, solyanaya tektonika i neftegazonosnost' [Alpine tectonic movements of Eastern Ukraine, salt tectonics and oil and gas potential]. *The latest problems of geology. Proceedings of the scientific-practical conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of V.P. Makridin. Kharkiv (Ukraine)*, 98-101. [in Russian]
16. Zakrzhevskaya I.G., Vysochansky I.V., Bordak L.A. (1992). Obobshcheniye geologo-geofizicheskikh materialov po parametricheskim skvazhinam: Zmiyevskoy № 602, Shurinskoy № 604, Lavrikovskoy № 606, Bepalovskoy № 671 na Zmiyevskom vystupe: otchet o NIR [Generalization of geological and geophysical materials for parametric wells: Zmiyevskaya No. 602, Shurinskaya No. 604, Lavrikovskaya No. 606, Bepalovskaya No. 671 on the Zmiev ledge: research report]. *Poltava-Kharkov: UkrNIIGaz*. [in Russian]
17. Kamaletdinov M.A., Kazantseva T.T., Kazantsev Yu.V., Postnikov D.V. (1991). Shar'yazhno-nadvigovaya tektonika litosfery [Sharyazh-thrust tectonics of the lithosphere]. *Moscow, Russia: Nauka*, 255. [in Russian]
18. Kosmachev V.G., Kosmacheva M.V. (1993). Geologicheskaya baza "Kamenka". Uchebnoye posobiye [Geological base "Kamenka". Textbook]. *Kharkov: KhSU*, 104. [in Russian]
19. Stovba S.M. etc. (2003). Rehional'ni seysmostratyhrafichni doslidzhennya mST na profili Starobesheve-Shakhtars'k-Luhans'k (profil' DOBRE). Zvit po temi 113/00. [Regional seismostratigraphic studies of the MST on the profile Starobesheve-Shakhtarsk-Lugansk (profile DOBRE). Report on the topic 113/00]. *State Enterprise "Ukrgeofizika", TSOIGM: Kyiv*. [in Russian]
20. Kruglov S.S., Gursky D.S. (2007). Tectonic map of Ukraine. Scale 1: 1000000. [in Ukrainian]
21. Yudin V.V. (2006). Tektonika Yuzhnogo Donbassa i rudogenez [Tectonics of the Southern Donbass and ore genesis]. *Kyiv: UkrGGRI*, 108. [in Russian]

Received 20 April 2022

Accepted 26 May 2022

Особливості визначення коефіцієнта газонасиченості порід-колекторів газових родовищ ДДЗ на основі петрофізичних досліджень

Сергій Федорович Поверенний¹,

ст. наук. співробітник ¹Українського науково-дослідного інституту природних газів,
Гімназійна наб., 20, м. Харків, 61010, Україна,
e-mail: sergei-poverennyi@ukr.net, <https://orsid.org/0000-0002-7836-6278>;

Анатолій Йонович Лур'є²,

д. г.-м. н., професор, ²Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна,
e-mail: anlure16@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-4836-5781>;

Олександр Володимирович Чуєнко¹,

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

Олена Валеріївна Піддубна²,

молодший наук. співробітник,
e-mail: abit201087@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6966-3289>

Одним з найважливіших параметрів для підрахунку запасів газу є коефіцієнт газонасиченості, який може визначатися як геофізичними, так і лабораторними петрофізичними методами. Лабораторними методами він визначається через коефіцієнт залишкової водонасиченості, який, у свою чергу, визначається прямими та непрямими методами. На практиці можливість застосування прямого методу зустрічається вкрай рідко, зазвичай застосовуються непрямі методи та, серед них, методи напівпроникної мембрани та центрифугування. Основним, найбільш обґрунтованим вважається метод напівпроникної мембрани. При застосуванні даного методу основним питанням, що визначає результат, є питання встановлення максимального тиску витіснення, від якого залежить значення залишкової водонасиченості, а, отже, і значення коефіцієнта газонасиченості породи-колектора. У роботі розглянуті різні підходи до завдання цього максимального тиску, з них виділено два підходи: розрахунок максимального тиску по висоті покладу та розрахунок за максимальним радіусом пор, при якому ще може утворюватися меніск. Показано, що ці два підходи раціонально об'єднати в один, який дозволить отримувати достовірніші результати залишкової водонасиченості, а, отже і коефіцієнта газонасиченості. Визначено граничний максимальний тиск витіснення для методу напівпроникної мембрани, який може створюватися в ході експерименту, визначено максимальну висоту покладу, вище якої розрахунок не має сенсу. Звернено увагу на розбіжності між теоретичними розрахунками і висотами капілярного підняття, що фактично спостерігаються у природі, а також на вплив шаруватої будови колектору. Відзначено, що для практичного застосування методу необхідно, щоб дані про висоту покладу включалися до заявки на проведення досліджень. Застосування методу розрахунку максимального тиску витіснення по висоті покладу, обмеженого максимальними діаметрами пор, у яких ще може утворюватися меніск, безумовно підвищить достовірність підрахунків запасів газу в газових родовищах України.

Ключові слова: петрофізика; залишкова вода; лабораторні дослідження керну; коефіцієнт газонасиченості; напівпроникна мембрана; капіляриметр.

Як цитувати: Поверенний С. Ф. Особливості визначення коефіцієнта газонасиченості порід-колекторів газових родовищ ДДЗ на основі петрофізичних досліджень / С. Ф. Поверенний, А. Й. Лур'є, О. В. Чуєнко, О. В. Піддубна // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 56. – С. 76-87. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-05>

In cites: Povierennyi S. F., Lurye A. I., Chuienko O. V., Piddubna O. V. (2022). Special considerations of determining the gas saturation factor of reservoir rocks of Dnieper-Donets depression gas fields on the basis of petrophysical studies. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (56), 76-87. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-05> [in Ukrainian]

Вступ. До комплексу петрофізичних досліджень порід-колекторів, що необхідні для проведення кількісної інтерпретації результатів геофізичних досліджень свердловин, яка виконується як на стадії оперативних досліджень [1], так і на стадіях підрахунку запасів та проектування розробки, входить лабораторне визначення залишкової водонасиченості [2]. За допомогою цього параметру визначається один з основних підрахункових параметрів – коефіцієнт газонасиченості колектора [3]. Між тим, у професійному середовищі склалося досить скептичне відношення до

результатів лабораторного визначення залишкової води і це засноване на численних випадках, коли ці результати явно дисонували з усім комплексом геофізичних і геологічних даних. Можливою причиною цього є неправильний вибір режиму лабораторного визначення, а конкретно – максимального тиску, що утворюється у перебігу експерименту.

Мета роботи. Проаналізувати способи встановлення максимальних тисків витіснення води у перебігу експерименту відносно до базового непрямого методу визначення залишкової водонаси-

ченості – методу напівпроникної мембрани. Оцінити їх застосовність з урахуванням накопиченого досвіду та запропонувати їх оптимальне поєднання у практичній роботі.

Методи визначення. Залишкова вода, що розуміється як «вода свободная или связанная, локально сохранившаяся в порах коллектора после того, как он был заполнен нефтью и (или) газом» [4], визначається в лабораторних умовах прямими або непрямими методами. Серед непрямих методів найбільш розповсюдженими є методи напівпроникної мембрани (капіляриметр) та центрифугування. При цьому перший зазвичай визнається найбільш обґрунтованим, базовим [5,6,7,8]. Відразу зазначимо, що оцінка залишкової водонасиченості будь-якими непрямими методами (у тому числі і методом напівпроникної мембрани), дійсно достовірна тільки у випадку співставлення з результатами прямого метода [6,7], чого зазвичай не має. У лабораторіях фізики пласта метод напівпроникної мембрани, з'явився першим і довгий час був найбільш розповсюдженим, але в теперішній час все більшої популярності набуває метод центрифугування, переважно, через швидкість отримання результату. Однак, з погляду теорії, метод напівпроникної мембрани залишається найбільш обґрунтованим, а подібність процесів, що відбуваються у ньому з такими, що відбуваються в пласті, дозволяє говорити про моделювання природного процесу формування покладу. Тому в даній роботі питання методики завдання максимального тиску розглядаються переважно відносно до методу напівпроникної мембрани, метод центрифугування згадується тільки як допоміжний.

Режим визначення залишкової води у лабораторному експерименті містить два параметри: максимальний тиск витіснення, що утворюється у перебігу експерименту і час, протягом якого відбувається відтік води з капілярів відповідного діаметру. Стосовно методу напівпроникної мембрани питання часу вирішується порівняно просто – процес прямує до рівноважного стану, що фіксується за стабілізацією рівня води у мірній трубці. Складніше з максимальним тиском витіснення, що утворюється у перебігу експерименту. Можливі кілька підходів до завдання цього тиску [9].

Аналіз можливих способів завдання максимального тиску.

1) Намагаємося *моделювати процес* витіснення води газом, що відбувався у покладі. При цьому природно створювати ті ж тиски, що виникали в ході формування покладу. Складність такого підходу у тому, що тиск, який виникає при формуванні конкретного покладу, на момент лабораторного визначення нікому не відомий, ми маємо лише загальні вказівки на те, що звичайно при формуванні покладів нафти та газу сил

витіснення не вистачає для віджимання води з системи тонких пор (перетином менш ніж 2 мкм) [5]. Відповідний капілярний тиск складає 1,5 кгс/см². Практика показує, що це замало для капіляриметра.

2) Намагаємося визначити *незнижувальну водонасиченість* – термін виник як лабораторний аналог терміна «залишкова водонасиченість», але останнім часом проник і у нормативні документи, підмінюючи собою «залишкову воду» [10]. Жоден із словників цей термін не визначає. Скористаємося визначенням, наведеним у [5]: «В ходе опыта наступает момент, когда с повышением капиллярного давления водонасыщенность не снижается. Эту неснижающуюся водонасыщенность называют остаточной». Тобто, у даному джерелі «залишкова водонасиченість» розуміється як синонім терміна «незнижувальна водонасиченість». Для лабораторної практики головний плюс цього у тому, що ми отримуємо чіткий лабораторний критерій досягнення. Якщо ми у перебігу експерименту відбудуємо криву капілярного тиску (ККТ), то ця крива асимптотично наблизиться до горизонтальної прямої, що проведена через точку на ординаті, яка відповідає незнижувальній водонасиченості. Відомо, що в практичному експерименті вихід на математично правильну асимптоту малоімовірний, звичайно мова йде про деяку стабілізацію нахилу ККТ. Частково у цьому можна звинувачувати ваговий метод зняття показників – кожний раз, при зважуванні зразка, ми втрачаємо воду на випаровування. Але і без цього вміст залишкової води з підвищенням тиску у розумних для даного приладу межах буде потроху знижуватися – для повного відтиснення хоча б рихлозв'язаної води потрібні сотні атмосфер. Для дуже доброго колектора така стабілізація іноді можлива у капіляриметрі і на низькооборотних центрифугах (до 6000 об/хв.). Гірші колектори потребують для виходу на асимптоту частот обертання, що можуть створювати тільки ультрацентрифуги. Однак, як свідчать дослідження [11], навіть при роботі з ультрацентрифугою, навіть з виключенням вагового методу за допомогою стробоскопу, строго на асимптоту зразки не виходять – аж до граничних частот відзначається повільне (але вимірюване) зниження водонасиченості, яким просто нехтують. Для прикладу, на рис. 1 наведена ККТ, отримана по зразку № 27338, відібраного з відкладів горизонту С-5 серпуховського ярусу Малороганської площі в інтервалі 2235-2243 м.

Синя суцільна лінія відповідає дренаванню, червона пунктирна – зворотному просоченню. Зразок являє собою середньозернистий пісковик з регенераційно-кварцовим і, в підлеглий кількості, з глинистим цементом, має проникність 3749,2 мД,

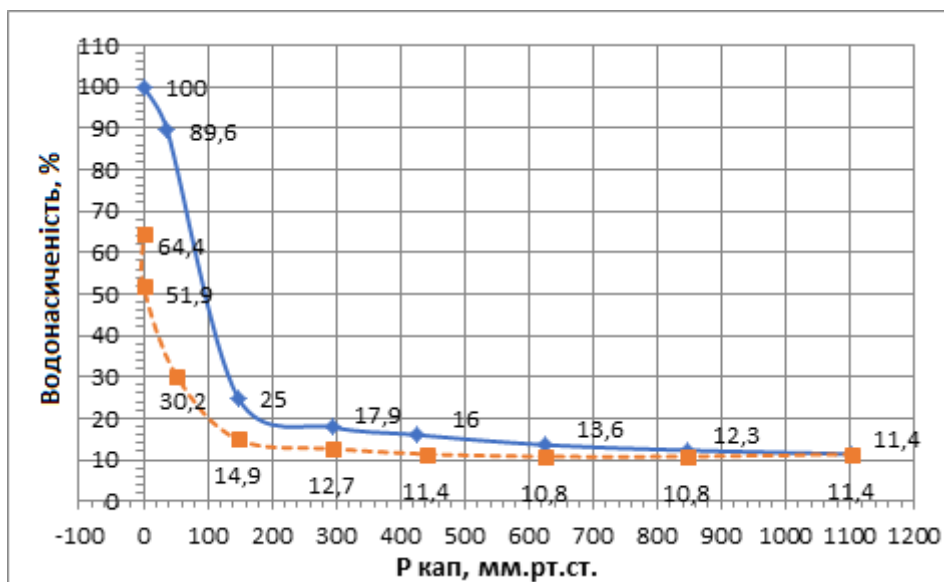


Рис. 1. Водонасиченість залежно від тиску витіснення для зразка №27338.
Fig. 1. Water saturation depending on displacement pressure for sample #27338

відкриту пористість 26% і медіанний діаметр 18,5 мкм, тобто класифікується як поровий колектор I класу. На рис. 1 видно, що вже при тисках в 1100 мм.рт.ст. помітна відносна стабілізація нахилу кривої. На рис. 2 наведена порометрична діаграма

по цьому зразку. Синя суцільна лінія – диференціальна крива, червона суцільна – кумулятивна крива, сіра пунктирна – роль кожної групи пор в забезпеченні проникності зразка.

Враховуючи, що у продуктивних відкладах



Рис. 2. Порометрична діаграма по зразку №27338.
Fig. 2. Porometric diagram for sample #27338

ДДЗ колектори першого класу зустрічаються дуже рідко, ясна мета, що з'явилася в результаті прагнення до створення у перебігу експерименту незнижувальної водонасиченості, виявляється в більшості випадків недосяжною.

3) Можливе *експресне визначення* [5] з використанням центрифуги як допоміжного приладу. У такому разі, режим центрифугування задається виходячи із співставлення з результатами

основного методу – методу напівпроникної мембрани. Кілька зразків з різними властивостями з даної партії визначаються на капіляриметрі, отримуємо результат, і при центрифугуванні створюємо такі частоти обертання, при яких результати максимально близькі до результатів еталонного методу [5,6]. Питання про достовірність результатів центрифугування переходить у питання про достовірність результатів капіляриметру. Зрозум-

міло, цей різновид методики може застосовуватися тоді, коли є велика колекція зразків будь якого пласта або горизонту і потрібно обґрунтувати параметри, скажімо, для підрахунку. У випадку оперативних досліджень це найчастіше не застосовується – дуже довго і у поточній партії керну може не бути потрібної кількості зразків.

4) Визначаємо воду як *водоутримуючу здатність*, як деяку властивість породи, що не залежить від реальних умов утворення покладу. У такому випадку встановлюємо якийсь один режим для всіх зразків (будь-якого родовища, будь-якого віку, з будь-яких глибин) і оцінюємо для кожного з них цю властивість. Вона характеризує породу відносно її водних властивостей, але не являється залишковою водонасиченістю у загальноприйнятому сенсі, хоча і може чисельно співпадати з нею в окремих випадках. Тут особливо важливо, щоб цей режим був загальноприйнятим, стандартним. Фактично за таким принципом визначалась залишкова вода у роботах А.А. Ханіна [5], незважаючи на ідеологію досягнення незнижувальної водонасиченості. За таким принципом визначалась залишкова вода в практиці капілярметричних досліджень УкрНДІгаз. Особливо часто визначення залишкової води, як деякої водоутримуючої здатності породи, практикується при застосуванні метода центрифугування. Наприклад, такий підхід пропонувався В.М. Корчемкіним (СибНИИП) в середині 70-х років [11], який шляхом зіставлення результатів центрифуги з прямим методом обґрунтував стандартну швидкість 5000 об/хв (2,7 атм). За такою методикою працював і УкрНДІгаз в 60–х – 70–х роках, коли практично будь-які зразки визначалися на одному режимі – 3800 об/хв і 30 хвилин для теригенів і 4200 об/хв для карбонатів. При цьому створювався тиск витіснення близько 3 кгс/см².

Працюючи по діючому ГСТУ [2], ми також фактично визначаємо водоутримуючу здатність. Оскільки саме по ньому зараз виконуються масові аналізи, розглянемо його трохи докладніше. ГСТУ [2], що регламентує методику визначення залишкової води, є результатом досить серйозних методичних досліджень, свого часу виконаних у Львівському відділенні УкрДГРІ під керівництвом М.Ю. Нестеренко [12].

Розробники ГСТУ, задаючи режим центрифугування, реалістично оцінювали можливість існуючих лабораторій і максимальні частоти обертання обмежили 6000 об/хв (на той час у жодній профільній лабораторії не було ультрацентрифуги). Задаючи час центрифугування, залишили тільки дві градації часу: для зразків з проникністю більше 50 мД – 10 хв, для зразків з проникністю менше 50 мД – 20 хв. Всі зразки центрифугуються до однієї максимальної частоти 6000 об/хв.

Щоб обійти відсутність стабілізації ККТ, застосований прийом визначення залишкової води, як ординати точки відхилення дотичної, проведеної до кінцевої ділянки ККТ від самої ККТ. Варто відмітити, що прийом досить суб'єктивний і, на практиці, його використання зазвичай призводить до того, що береться передостаннє значення поточної водонасиченості.

Тиск витіснення, (Р, МПа), що створюється у перебігу центрифугування, розраховується за формулою:

$$P = 0,11 \times 10^{-8} \times (\rho_1 - \rho_2) \times n^2 \times R \times h \times \cos \varphi, \quad \{1\}$$

де ρ_1 – густина моделі пластової води, г/см³;

ρ_2 – густина сухого повітря, г/см³;

n – частота обертання ротору, об/хв;

R – радіус обертання зразка керну, см;

h – висота зразка, см;

φ – кут нахилу зразка до горизонту, градуси.

Методика заявлена як моделювання процесу, однак, її навряд чи можна розглядати як моделювання, оскільки до будь-яких зразків застосовується практично один і той же режим, який не має обґрунтування в процесі формування конкретних покладів. Тиски, що виникають при центрифугуванні і розраховуються за наведеною вище формулою {1}, фактично не служать для обґрунтування режиму центрифугування, а забезпечують відтвореність результатів і дозволяють розраховувати діаметри пор, що звільняються від води на кожній частоті, з виходом на побудову ККТ.

Таким чином, по факту ми повертаємось до ідеології підходу, який раніше охарактеризований нами як визначення водоутримуючої здатності породи-колектору [9]. Проте, режим непогано підходить до умов ДДЗ, нічого кращого для застосування під час оперативних досліджень поки немає, для масових аналізів необхідна однаковість і максимально можлива простота умов експерименту.

5) Задаємо максимальні тиски витіснення, *виходячи з розмірів пор*, при яких ще можливо утворення меніска. Межа обумовлена співвідношенням діаметра капіляра і товщиною плівки зв'язаної води. Плівка води, що покриває поверхню порового простору, скоріше за все не суцільна, утворена водою, що покриває гідрофільні центри породи. В ході експерименту об'єм води, що утворює цю плівку, перераховується на повну площу поверхні пор, тобто отримуємо деяку середню товщину плівки, що нібито покриває всю поверхню. Згідно з даними, прийнятими у роботах по фізиці пласта, середня товщина плівки зв'язаної води для гідрофільної породи складає 0,45 мкм за [13] і 0,48 мкм (від 0,22 до 0,62 мкм) за [14], для гідрофобної – від 0,02 до 0,24 мкм [14]. Якщо прийняти за основу середній радіус –

зручніше 0,45 мкм (середній діаметр 0,9 мкм) – максимальний тиск витіснення в ході експерименту складе 3,3 кгс/см². Насправді питання товщини плівки складне, вона залежить від багатьох факторів і більш надійним представляється з виснаведених брати не середню, а найменшу товщину, тим більше, що деякі автори приймають товщину плівки у межах 0,0001-0,1 мкм (0,1-100 нм), не вказуючи, щоправда, відноситься це до гідрофільної або гідрофобної породи [7].

б) Задаємо максимальні тиски витіснення, **виходячи з висоти покладу**. Існують роботи, що пов'язують капілярні тиски з висотою покладу і обґрунтовують можливість розрахувати по ній максимальний тиск витіснення, який треба створити у перебігу лабораторного експерименту [11,16]. На можливість цього було вказано вже у роботі [17], де відмічено, що «в гидростатических условиях капиллярное давление в гипсометрически наиболее высокой точке залежи является максимальным для данной залежи». Дійсно, висота покладу обмежує стовп води, який врівноважує водопідйомну силу капілярів і тиск якого чисельно дорівнює капілярному тиску. Методика розрахунку заснована на тому, що максимально можливий капілярний тиск обумовлений максимально можливою висотою капілярного підняття, а максимальна висота капілярного підняття обмежена висотою покладу. Згідно [5,15], для практичних розрахунків величини капілярного тиску можна використовувати формулу

$$P_c = \frac{h(d_1 - d_2)}{10}, \quad \{2\}$$

де: P_c – капілярний тиск, кгс/см²;

h – висота покладу, м;

d_1 – густина води, г/см³;

d_2 – густина газу, г/см³.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо останній варіант більш детально і спробуємо скористатися формулою {2}.

Для **першого** прикладу візьмемо "водоплавний" поклад горизонту Б-2 Улянівського родовища [18]. Висота покладу 42 м, газоводяний контакт (ГВК) на глибині 1525,6 м (а.в. – 1379 м). Середня густина води за різними вимірами – 1,06 г/см³, пластовий тиск 153 кгс/см², наближений до регіонального гідростатичного. Пластова температура дорівнює 314,5°К (41,5°С). Значення поверхневого натягу води зі збільшенням тисків і температур знижуються. Точні дані знайти складно, але за даними [19], він складає близько 44 дин/см. Густину метану при стандартних умовах прийmemo за 0,668 кг/м³. Наведемо густину метану до пластових умов (приблизно, без урахування надстикування та ін.) і за формулою $\rho_{пл} = \rho_{ст}(T_{ст} \cdot P_{пл}) / (P_{ст} \cdot T_{пл})$, отримаємо 0,095 г/см³. Розра-

хуємо максимальний капілярний тиск в покладі за формулою {2}, він складе 4,05 кгс/см² в пластових умовах. Перерахуємо до лабораторних умов за відомою формулою [5,15]:

$$P_k^{лаб} = P_k^{пл} \cdot \sigma_{лаб} / \sigma_{пл} \quad \{3\}$$

де: $P_k^{лаб}$ і $P_k^{пл}$ – капілярний тиск в лабораторних і пластових умовах відповідно;

$\sigma_{лаб}$ і $\sigma_{пл}$ – поверхневий натяг в лабораторних і пластових умовах відповідно.

Отримаємо 6,66 кгс/см². Згідно цьому розрахунку, максимальний тиск витіснення у перебігу лабораторного визначення залишкової води для даного покладу не має перевищити 6,7 кгс/см². Оцінимо радіус капілярів, що відповідають даному капілярному тиску, розрахувавши його за формулою Лапласа:

$$r = 2 \cdot \sigma \cdot \cos\theta / P_k \quad \{4\}$$

де: r – радіус капіляра, см;

σ – поверхневий натяг, дин/см;

θ – кут змочування, градус;

P_k – капілярний тиск, дин/см².

Кут змочування приймаємо за 0, тоді косинус кута змочування дорівнює одиниці. Згідно розрахунку, даним тискам відповідає залишкова вода, яку містять пори діаметром менш ніж 0,44 мкм (радіус менш ніж 0,22 мкм), як в пластових умовах, так і в лабораторних.

Оцінимо висоту капілярного підняття в капілярі радіусом 0,22 мкм, розрахувавши її за формулою Жюрена для пластових умов:

$$h = 2 \cdot \sigma \cdot \cos\theta / r \cdot g \cdot (\rho_p - \rho_g) \quad \{5\}$$

де: h – висота капілярного підняття, см,

σ – поверхневий натяг, дин/см,

θ – кут змочування, градуси,

r – радіус капілярів, см,

g – прискорення вільного падіння, см/сек²,

ρ_p – густина рідини, г/см³,

ρ_g – густина газу, г/см³.

Згідно розрахунку, висота капілярного підняття в умовах даного покладу складає 42,2 м.

Таким чином, ми розрахували максимальний капілярний тиск, що можливий у цьому покладі, по цьому тиску визначили діаметри пор, які заповнені водою при цих тисках, а потім перевірили, чи дійсно висота капілярного підняття в цих порах відповідає висоті покладу.

Для **другого прикладу** візьмемо умовний поклад з тими же Р-Т параметрами, але висотою, кажімо, 100 м. Таких багато, наприклад, Березівське родовище, пласт Т-1, розбитий тектонічними порушеннями на окремі блоки. Блок свердловини 200 знаходиться у склепінній частині. Поклад пластовий, тектонічно та літологічно обмежений, висота 271,1 м. Трохи вище пласт В-26г. У межах

Західно-Березівського підняття поклад в блоці св. № 200 – висота 286,6 м, в блоці св. № 71 – 252,9 м. В обох випадках пластові тиски надгдростатичні, тому, щоб не ускладнювати, беремо умовні поклади з тими же параметрами. Максимальний капілярний тиск у такому умовному покладі складе $9,65 \text{ кгс/см}^2$, у перерахунку на лабораторні умови $15,9 \text{ кгс/см}^2$. Тобто, максимальний тиск витіснення при лабораторному визначенні залишкової води не повинний перевищувати $15,9 \text{ кгс/см}^2$, при цьому вода і в пластових, і в лабораторних умовах міститься в порах діаметром менш ніж $0,19 \text{ мкм}$ (радіус менш ніж $0,093 \text{ мкм}$).

Для **третього прикладу** візьмемо умовний поклад з тими же Р-Т параметрами, але збільшимо висоту покладу до 200 м і розрахуємо капілярний тиск. В пластових умовах він складе $19,3 \text{ кгс/см}^2$, в лабораторних – $31,7 \text{ кгс/см}^2$. Тобто,

максимальний тиск витіснення при лабораторному визначенні залишкової води у даному випадку не повинний перевищувати $31,7 \text{ кгс/см}^2$, при цьому вода і в пластових, и в лабораторних умовах буде міститься в порах діаметром менш ніж $0,093 \text{ мкм}$ (радіус менш ніж $0,0465 \text{ мкм}$).

З використанням даних подібних розрахунків, можна побудувати графік (рис. 3), що показує зміну капілярного тиску у залежності від висоти для нашого умовного покладу. Пряма ряду 1 (синя) відповідає пластовим, пряма ряду 2 (червона) – лабораторним умовам. На графіку по осі абсцис відкладені відстані від ГВК, по розташованій ліворуч осі ординат – відповідний капілярний тиск; по осі ординат, розташованій праворуч – діаметри пор, що заповнені водою при капілярному тиску, який відповідає лабораторним умовам.

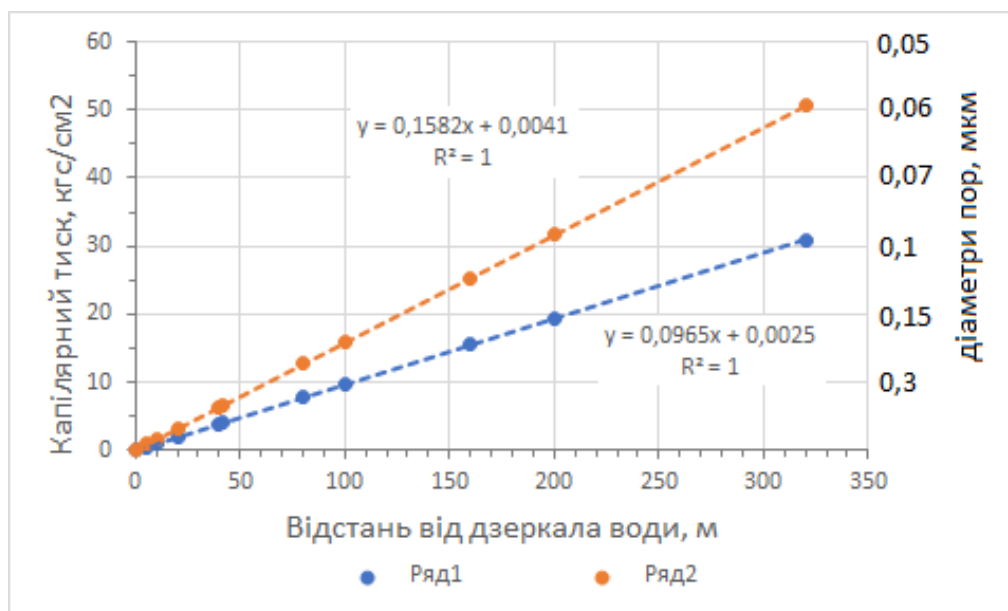


Рис. 3. Залежність максимально можливого капілярного тиску від висоти покладу і діаметрів пор, що заповнені залишковою водою при цих тисках.

Fig. 3. Dependence of the maximum possible capillary pressure on the deposit height and the diameters of the pores filled with residual water under the specified pressure

Очевидний швидкий зріст капілярного тиску (особливо в лабораторних умовах) и, відповідно, зменшення діаметру капілярів зі збільшенням відстані від ГВК.

Для **четвертого прикладу** візьмемо ще більш складний випадок – умови основного (Рікт-С₃³) масивно-пластового покладу Шебелинського родовища на початковій стадії розробки. Висота покладу 1180 м, ГВК відбитий на відмітці 2270 м [20, 21], на глибині 2200-2500 м. Три експлуатаційних об'єкта – НАГ, СМП и АСК – зв'язані між собою тектонічними порушеннями. Якщо слідувати цій методиці, максимальний капілярний тиск складе $113,9 \text{ кгс/см}^2$, що змусить нас в лабораторії створити тиск в $187,1 \text{ кгс/см}^2$, при цьому вода

буде міститься в порах діаметром менш ніж $0,016 \text{ мкм}$ (16 нм). Принципово, такий тиск створити можна, але в порах такого діаметра знаходиться вже зв'язана вода, меніск в них утворитися не може.

Всі ці приклади підводять до того, що виходити з висоти покладу можна до певної межі. Наші міркування побудовані на законах капілярних процесів, усі вищезгадані формули справедливі для капілярних тисків і капілярного підняття, що обумовлені утворенням меніска, який розділяє фази. В процесі формування покладу перехідна зона – капілярна облямівка над ГВК – утворюється внаслідок подолання капілярних сил и віджимання води з дедалі більш тонких капілярів.

В ході розробки покладу і падіння тиску газу, відбувається підняття капілярної води за рахунок природної водопідйомної сили капілярів, тобто за рахунок тих же капілярних сил [22].

Висота капілярного підняття розраховується за формулою Жюрена {5}. Формула справедлива для капілярної води, тобто застосовна до пор, в яких може утворитися меніск достатньої кривизни, бо власне від цього залежить водопідйомна сила капілярів. Основним параметром, що відбиває властивості породи, в цій формулі є середній радіус пор породи. Виникає питання: для яких радіусів справедлива формула Жюрена, тобто пори яких радіусів можна відносити до капілярних.

У літературі, що присвячена питанням ґрунтознавства, де капілярні властивості життєво важливі, вважається що капілярні властивості не виражені в порах з діаметром більш ніж 8 мм, тому що в них вже не утворюється суцільний увігнутий меніск і в порах с діаметром меншим, ніж 3 мкм, у яких меніск також не утворюється, оскільки вони заповнені, переважно, зв'язаною водою. При цьому, капілярні сили максимально проявлені в інтервалі діаметрів від 100 до 3 мкм [23]. Інше джерело [24] вважає, що нижня границя діаметрів пор, до якої застосовна формула Жюрена, лежить у межах 0,01-0,005 мм, тобто 5-10 мкм. Ми вертаємось до розглянутого вище варіанту, де фактором, що обмежує, є розмір порових каналів, при якому вони заповнені вже зв'язаною водою.

Між ґрунтознавством з одного боку та геологією і фізикою пласта з іншого боку є та відмінність, що перша вивчає процеси тривалістю кілька років, максимум десятиріччя, а другі мають справу з геологічним часом. Правда, коли йдеться про розробку покладів, відмінність нівелюється – тут також рахунок йде на десятиріччя. В основі як тих, так і других даних лежить, загалом, той самий експериментальний матеріал, а поправка на час заснована, в основному, на інтуїції. Проте, звернемося до літератури з фізики пласта.

Межа обумовлена співвідношенням діаметру капіляру і товщиною плівки зв'язаної води. Згідно з даними, прийнятими у роботах з фізики пласта, середня товщина плівки зв'язаної води для гідрофільної породи складає 0,45 мкм за даними [13] і 0,48 мкм (від 0,22 до 0,62 мкм) за даними [14]. Для гідрофобної породи товщина плівки складає від 0,02 до 0,24 мкм [14]. Як показує наш досвід визначення змочуваності за діючим ГСТУ [25], більшість теригенних колекторів, що утворюють продуктивні на газ пласти, приблизно однаково змочуються як водою, так і гасом, але водою зазвичай трохи краще. Тому, в типовому випадку, розглядаючи породу як гідрофільну, можна прийняти граничним радіусом капіляра, у якому ще може утворитися меніск, тобто який ще

містить капілярну воду – 0,22 мкм, відповідно граничний діаметр – 0,44 мкм. Округлимо до 0,25 і 0,5 відповідно. Прийнемо, що більш дрібні пори повністю заповнені зв'язаною водою, капілярної (= меніскової) води вони не містять. Тиск визначимо за відомою формулою [5]:

$$P_k = 2\sigma \cdot \cos\theta / r \quad \{6\}$$

де P_k – капілярний тиск, дин/см²,
 σ – поверхневий натяг, дин/см,
 θ – кут змочування, градуси,
 r – радіус капіляру, см.

В пластових умовах він складе 3,589 кг/см² (при $\sigma=44$ дин/см). Перерахуємо до лабораторних умов за формулою {3} і отримаємо, що в лабораторних умовах шуканий тиск складе 5,898 кгс/см². Тобто, для очищення пор діаметром 0,5 мкм у перебігу лабораторного досліду не потрібно створювати тиски витіснення більші, ніж 5,9 кгс/см². Для порівняння – застосовуючи метод центрифугування згідно діючому ГСТУ з центрифугою РС-6, ми створюємо тиски трохи більші, ніж 10 кгс/см², яких теоретично повинно вистачити для очищення від води пор діаметром до 0,3 мкм включно.

У міру збільшення відстані від дзеркала води водонасиченість породи буде знижуватися, вода буде утримуватися у дедалі дрібніших порах і, на якомусь рівні від дзеркала, всі наявні пори діаметром більш ніж 0,5 мкм будуть заповнені газом. У породі залишиться тільки плівкова вода, що включає міцно- і рихлозв'язану. У великих порах вона буде у вигляді плівкової води в прямому сенсі, тобто в вигляді тонкої, скоріш від усього переривистої плівки, що покриває усі гідрофільні центри поверхні. В порах, менших від 0,5 мкм – переважно у вигляді суцільного заповнення, утвореного злиттям поверхневих шарів. Плівкова вода у нашому розумінні утворена двома шарами: вода міцнозв'язана (= гігроскопічна) і вода рихлозв'язана. Міцнозв'язана вода нерухома, вірніше, вона переміщається тільки у вигляді пари. Це та вода, яку можна видалити нагріванням до 105-110°C. Рихлозв'язана вода рухома, вона може переміщатися від місць із більшою товщиною плівки до місць с меншою товщиною плівки, але швидкість цього переміщення дуже мала. Якщо мова йде про вже сформований поклад і геологічний час, то останнього вистачить для вирівнювання товщини цієї плівки у всьому об'ємі вище капілярної облямівки. Іншими словами, у просторі вище перехідної зони, водонасиченість повинна бути постійною і дорівнювати залишковій водонасиченості, що визначена непрямыми лабораторними методами. Коли у перебігу лабораторного досліду ми створюємо тиски більші ніж ті, які потрібні для віджимання води з пор діамет-

рами менш ніж 0,5 мкм, ми віджимаємо вже рихлозв'язану воду.

Отже межу висоті покладу, до якої доцільно розраховувати капілярний тиск, встановлюють граничні розміри пор, у яких ще може утворюватися меніск і проявляються капілярні процеси, для яких справедливі наші розрахункові формули. Розрахуємо за формулою {2} капілярний тиск і за формулою {5} висоту капілярного підняття в порах радіуса 0,25 мкм.

Капілярний тиск дорівнює 3,589 кгс/см² для пластових умов та 5,898 кгс/см² для лабораторних умов. Тобто, для очищення пор радіусом 0,25 мкм в будь-якому випадку не потрібно створювати тиски витіснення більших, ніж 5,9 кгс/см². Зрозуміло, це відноситься до метода напівпроникної мембрани.

Висота капілярного підняття в пластових умовах дорівнює 37,2 м – згадаймо приклад того ж "водоплавного" покладу горизонту Б-2 Ульяновського родовища. Висота капілярного підняття і капілярні тиски в пластових умовах помітно менші, ніж в лабораторних, внаслідок зменшення поверхневого натягу з підвищенням тиску і температури. Зміни густини впливають слабо. У даному випадку теоретична висота капілярного підняття, розрахована за формулою Жюрена {5}, для пластових умов складає 37,2 м. Тобто, строго кажучи, навіть для нашого горизонту Б-2 висота покладу (42 м) трохи велика для того, щоб по ній задати тиск під час лабораторного дослідження.

Таким чином, визначилася висота покладу, до якої можна по ній розраховувати тиск, що утворюється у перебігу лабораторного дослідження.

Як приклад наведемо визначення, виконані по горизонту Г₆² Кобзівського родовища. Визначення залишкової води були зроблені в св. № 26 в інтервалі 3616,5-3624 м, та в св. № 28, в інтервалі 3750-3765 м. В обох випадках це продуктивні інтервали, з яких отримано приплив газу з дебітами 662,7 и 425 тис. м³/добу відповідно. Колектор представлений коричневатобурими, середньо- і крупно-середньозернистими, полі- і олігоміктовими пісковиками. Проникність 72,2 – 201,04 мД, пористість 13,6 - 14,2 %, медіанні діаметри 5,5-8 мкм, залишкова вода 22,9 – 31,1%. Висоту покладу знаходимо по [26], вона дорівнює 350,7 м. У такому випадку, максимальний тиск, що утворюється в досліді, обмежується діаметром пор і повинний складати 5,9 кгс/см². У визначеннях по Кобзівці створювався тиск всього в 1,5 кгс/см², тобто, визначена по керну залишкова вода істотно завищена, а коефіцієнт газонасиченості істотно занижений. Така ж картина і по інших зразках, по яких виконані визначення залишкової води на цьому родовищі.

Інший приклад – Скворцівське родовище, га-

зоносний горизонт С-5, що залягає в інтервалі 2725-2754 м. В св. № 25 відібраний керн в інтервалі 2742-2752 м. Пісковики від дрібно- до середньо-крупнозернистих, проникність 201,8 - 1728,9 мД, пористість – 19,1-20,5%. Медіанний діаметр 6,3-31,0 мкм, залишкова вода – 19,0-30,8%. Висота покладу 7,0 м [27], густина води для С-5 не приведена, візьмемо найближчий горизонт, де вона є – В-15 і 1,09 г/см³. Пластовий тиск 264 кгс/см², пластова температура біля 75°С. Якщо висота покладу визначена вірно, то максимум капілярного тиску, розрахований за формулою {2} складе 0,76 кгс/см². Екстраполюючи дані [20], отримуємо для вказаних Р и Т поверхневий натяг біля 37 дин/см. Перерахувавши капілярний тиск у лабораторні умови за формулою {3} отримуємо 1,5 кгс/см². Саме при цьому тиску були зроблені ці визначення, тобто вони коректні, у перебігу дослідження не потрібно було піднімати тиск вище цього значення.

Варто окремо зазначити, що існує велика різниця між теоретичною висотою капілярного підняття, розрахованою за формулою Жюрена і висотою капілярного підняття в реальних ґрунтово-породних шарах, де її можна безпосередньо спостерігати. Реальні висоти капілярного підняття для тонкопористих порід (глини, суглинки) не перевищують 6-7 метрів [23,24]. Пояснюється це тим, що, по-перше, використана для розрахунків формула має на увазі ідеальне змочування, чого насправді не має, по-друге, тим, що реальні капіляри порід далекі від ідеальних правильних, прямолінійних, циліндричних форм. Рано чи пізно рідина в капілярі зустрінеється з його розширенням, сплюсненням меніска і втратою водопідйомної сили. Це справедливо і для порід-колекторів газових покладів, поровий простір яких являє складну, хаотично побудовану систему пор різних розмірів і каналів, що їх поєднують. У цій системі існують численні анастомози між окремими каналами, що дозволяють рідині обійти деякі розширення, але, у міру підйому над дзеркалом води і виключенням з руху все більш дрібних капілярів, можливість водопідйому падає. Резюмуючи сказане, можна очікувати, що в реальних умовах покладу висота капілярної оторочки буде меншою, ніж розрахована за формулою Жюрена.

Слід також зазначити, що метод можна упевнено застосовувати у випадку відносно однорідних пластів, чого до речі важко очікувати при висоті покладу в 100 і 200 метрів. Колектор таких покладів звичайно неоднорідний, містить глинисто-алевритові прошарки або просто прошарки пісковика різної крупності і, відповідно, має різні по висоті покладу переважаючі розміри пор. У цьому випадку природно очікувати прояву капілярно-посадженої води в більш дрібнозернистих

різницях та спотворення картини розподілу води у перехідній зоні і вище. Зокрема, по Шебелинському родовищу, приклад якого ми наводили вище, гідродинамічний зв'язок за розривними порушеннями скоріш від усього не забезпечує капілярного зв'язку між підрахунковими об'єктами, та й самі підрахункові об'єкти є складно побудованою системою перешарування піщаних, алевритових та глинистих порід. Дрібнопористі різниці повинні утворювати лінзи з підвищеним вмістом залишкової води, крупнопористі різниці повинні розривати капілярний зв'язок між прошарками і роз'єднувати окремі капілярні системи.

Два останніх застереження ми можемо урахувати лише якісно, кількісні розрахунки, подібні до виконаних вище, ми можемо робити поки тільки на основі відомих нам формул, що виведені з експериментів з капілярними трубками.

Окрема частина проблеми – можливість використання цієї методики у практичній лабораторній роботі. Передусім, щоб визначити висоту покладу, потрібно щоб цей поклад був – далеко не весь kern відбирається з продуктивних відкладів. Далі, потрібно мати кілька групових капіляриметрів, здібних забезпечити потрібну продуктивність. Далі, у перебігу оперативних досліджень, які виконуються на нових свердловинах і недостатньо вивчених площах, дуже часто параметри покладу і, зокрема його висота, точно не відомі. Справжній ГВК покладу часто не визначений або взятий умовно з якихось міркувань. Його можна розрахувати, але для цього потрібно знати розріз, пластові тиски, густину пластових вод та інше, що також проблематично.

До речі, стосується це не лише стадії оперативних досліджень. Щоб не бути голосливим, візьмемо звіт під назвою "Геолого - економічна оцінка запасів газу і конденсату візейських (В-21-26) та турнейських (Т-1) відкладів Березівського ГКР Харківської області" станом на 01.01.2012 р [27].

Знаходимо розділ "Газоносність та обґрунтування контурів і категорій запасів", підрозділ "характеристика покладів". З'ясуємо, що по усім 7 газовим та газоконденсатним покладам, по яких іде підрахунок, фактичний ГВК не встановлений, мова йде про нижню границю встановленої продуктивності (НГВП), розрахунок контакту графоаналітичним методом, умовний контакт по перетіканню з іншого пласта і тільки в одному випадку – про умовний контакт з урахуванням величини дренажних запасів. У такому разі, розрахунок капілярних тисків за цією методикою перетворюється в самостійну проблему, вирішення якої аж ніяк не входить в обов'язки співробітників лабораторії, які виконують визначення залишкової води. Про практичне використання методу можна казати у випадку, коли геометрія покладу вже встановлена, відомий фактичний ГВК і висота покладу приведена у складі заявки на проведення досліджень.

Висновки: 1) Визначення максимального тиску по висоті покладу доцільно проводити в рамках планових досліджень, які мають метою підготовку параметрів до підрахунку запасів або переінтерпретацію матеріалів геофізики до підрахунку запасів, або в будь-якому іншому випадку, коли маємо досить повну інформацію про геометрію покладу.

2) У всіх означених випадках визначення залишкової води методом напівпроникної мембрани максимальний тиск не повинний перевищувати 5,9 кгс/см².

3) Якщо висота покладу не перевищує 37 м, ми маємо можливість обґрунтувати більш низький тиск витіснення, використовуючи розрахунки, подібні до наведених вище.

4) На стадії оперативних досліджень, внаслідок багатьох причин геологічного і організаційного характеру, оптимальною є розглянута вище методика з використанням центрифуги.

Список використаної літератури

1. СОУ 09.1-30019775-218:2013. Дослідження керн нафтових і газових свердловин. Порядок проведення [Текст]. – Київ: ПАТ «Укргазвидобування», 2013. – 28 с.
2. ГСТУ 41-00032626-00-025-2000. Коефіцієнт залишкового водонасичення гірських порід. Методика виконання вимірювань методом центрифугування зразків. Методичні вказівки [Текст]. – Київ-Львів: 2010. – 42 с.
3. СОУ 09.1-30019775-233:2014. Визначення коефіцієнтів газонасиченості і вилучення газу на зразках порід-колекторів. Порядок проведення [Текст]. – Київ: ПАТ «Укргазвидобування», 2014. – 24 с.
4. Словарь по геологии нефти и газа [Текст] / Под ред. Черникова К.А. – Л.: Недра, 1988. – 680 с.
5. Ханин А.А. Породы-коллекторы нефти и газа и их изучение [Текст] / А.А. Ханин. – М.: Недра, 1969. – 368 с.
6. Гороян В. И. Методические рекомендации по исследованию пород-коллекторов нефти и газа физическими и петрографическими методами [Текст] / В.М. Гороян и др. – М.: ВНИГНИ, 1978. – 380 с.
7. Добрынин В.М. Петрофизика [Текст]: уч-к для вузов / В.М. Добрынин, Б.Ю. Вендельштейн, Д.А. Кожевников. – М.: Недра, 1991. – 368 с.
8. ОСТ 39-204-86. Нефть. Метод лабораторного определения остаточной водонасыщенности коллекторов нефти и газа по зависимости насыщенности от капиллярного давления. Миннефтепром СССР [Текст], 1987. – 23с.
9. Поверенний С.Ф. До питання вибору методики лабораторного визначення залишкової водонасиченості [Текст] / С.Ф. Поверенний, В.М. Бухтатий, О.В. Піддубна // Питання розвитку газової промисловості

- України. Розробка газових і газоконденсатних родовищ. Зб. наук. праць. – УкрНДІгаз. – Харків, 2021. – Вип. XLIX. – С.10-20.
10. Методические рекомендации по подсчёту геологических запасов нефти и газа объёмным методом [Текст] / Под ред. В.И. Петерсилье, В.И. Пороскуна, Г.Г. Яценко. – Москва – Тверь: ВНИГНИ, Тверьгеофизика, 2003.
 11. Зубков М.Ю. Остаточная водонасыщенность и капиллярное давление в углеводородной залежи. [Текст] / М.Ю. Зубков, В.В. Колпаков // Горные ведомости. – 2010 – №7 – С. 20-27.
 12. Нестеренко. М.Ю. Петрофізичні основи обґрунтування флюїдонасичення порід-колекторів. Монографія. [Текст] / М.Ю. Нестеренко. – К.: УкрДГРІ, 2010. – 224 с.
 13. Мухаринская И.А. Определение остаточной воды в песчаных коллекторах продуктивной толщи Апшеронского полуострова [Текст] / И.А. Мухаринская. – Азерб. нефтяное хозяйство, 1955. – №8.
 14. Лукин А.Е. Нефтегазоносные коллекторы глубокозалегающих нижнекаменноугольных комплексов центральной части Днепровско-Донецкой впадины [Текст] / А.Е. Лукин, Н.В. Щукин, О.И. Лукина, Т.М. Пригарина // Геофизический журнал, №1. – Т. 33. – 2011. – С. 3-27.
 15. ГСТУ 41-32-2002. Визначення змочуваності порід-колекторів методом центрифугування зразків. – К.: Мінекоресурсів України, 2002. – 15 с.
 16. Амикс Дж. Физика нефтяного пласта [Текст] / Дж.Амикс, Д. Басс, Р. Уайтинг. – Гостонтехиздат, 1962. – 572 с.
 17. Орлов. Л.И. Петрофизические исследования коллекторов нефти и газа [Текст] / Л.И. Орлов, Е.Н. Карпов, В.Г. Топорков. – М.: Недра, 1987. – 216 с.
 18. Леворсен А. Геология нефти и газа. [Текст] / Арвилл Леворсен. – Изд-во «Мир», Серия «науки о земле». – Т. 22. – 638 с.
 19. Геолого-економічна оцінка Ульянівського родовища вуглеводнів Дніпропетровської області України. Книга 3. [Текст]. НАК Нафтогаз України, ДК «Укргазвидобування», Флія «Укрбургаз». – Красноград, 2007.
 20. Гиматудинов Ш.К. Физика нефтяного и газового пласта [Текст] / Ш.К. Гиматудинов. – М.: Недра, 1971. – 312 с.
 21. Фик І.М. Шебелинське газоконденсатне родовище. Відновлення запасів чи обводнення? [Текст] / І.М. Фик, М.І. Фик, І.М. Фик // Нафтогазова галузь України, 2018. – №6. – С 3-9.
 22. Застежко Ю.С. Гидрогеологическая и гидрогеохимическая характеристики Шебелинского газового месторождения [Текст] / Ю.С. Застежко, А.С. Тердовидов, В.А. Терещенко // Вопросы развития газовой промышленности Украинской ССР. – Киев, 1963. – С. 68-81.
 23. Поверенный С.Ф. Метод полупроницаемой мембраны в режиме дренирование – пропитка при исследовании нефтегазовых коллекторов [Текст] / С.Ф. Поверенный, И.М. Фык, Е.П. Варавина, Е.А. Яцкевич // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: хімія, хімічні технології та екологія», №2(4). – 2020. – С. 80-85.
 24. Клебанович Н.В. Гидрофизика почв [Текст] / Н.В. Клебанович. – Минск: БГУ, 2016. – 41 с.
 25. Роде А.А. Избранные труды. Т. 3. Основы учения о почвенной влаге [Текст] / А.А. Роде. – М.: Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева Россельхозакадемии, 2008. – 664 с.
 26. Геолого-геологічна оцінка нижньопермсько-верхньокам'яновугільних відкладів (Р1-С33) Кобзівського ГКР, Кн. 3 [Текст]. Наряд-заказ №100 ШГВ 2010-2010, тема 52.413/2006-2011. – Харків, 2011.
 27. Геолого-геологічна оцінка Скворцівського нафтогазоконденсатного родовища. – Том 1 [Текст]. Наряд-замовлення №100 ХГВ/2008-2008 (тема № 52.203/2007-2008). – Харків, 2008.
 28. Геолого-економічна оцінка запасів газу і конденсату візейських (В-21-26) та турнейських (Т-1) відкладів Березівського ГКР Харківської області (станом на 01.01.2012 р.) [Текст] (договір № 1457/11 від 14.11.2011 р.), (договір № 31/12 від 02.07.2012 р.). Н. Овчаренко та ін. – ТОВ «Геосфера». – Полтава, 2012.

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

Special considerations of determining the gas saturation factor of reservoir rocks of Dnieper-Donets depression gas fields on the basis of petrophysical studies

*Sergey Poverenniy*¹,

Senior Researcher, ¹Ukrainian Scientific Research Institute for Natural Gases,
20 Gimnaziyna naberejna, Kharkiv, 61010, Ukraine;

*Anatoliy Lurye*²,

Doctor of Sciences (Geology and Mineralogy), Professor,

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

*Oleksandr Chuienko*²,

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

*Olena Piddubna*¹,

Junior Researcher

ABSTRACT

Introduction. The gas saturation coefficient is one of the most important parameters for calculating gas reserves. The parameter can be determined by laboratory petrophysical methods applying the residual water saturation coefficient. The latter, in turn, is determined by direct or indirect methods. The direct method is used extremely rarely, while indirect methods are very common - primarily the methods of a semipermeable membrane and centrifugation. The first method is considered the most reliable.

Formulation of the problem. When applying the semi-permeable membrane method, the issue of setting the maximum displacement pressure is the key factor that determines the result, as it determines the value of the residual water saturation, and, consequently, the value of the gas saturation coefficient of the reservoir. There are numerous cases when the results of laboratory studies of residual water, and hence the gas saturation coefficient, are clearly discordant with the whole set of geophysical and geological data. This problem is possibly caused by the wrong choice of the laboratory research modes, and specifically, the maximum pressure that is created in the course of the experiment.

The research objective is to analyze the ways of setting the maximum water displacement pressures during the experiment in terms of the most reasonable, basic method of a semipermeable membrane; to evaluate their applicability taking into account the best practices and propose their optimal combination for practical work.

Previous research. The paper considers various approaches to setting the maximum pressure, including an attempt to model the process of deposit formation, achieving irreducible water saturation, an express method using a centrifuge, determining water-holding capacity, limiting pressures by the size of filter pores, and calculating pressures on the basis of the deposit height.

Main material. Two approaches have been distinguished from the considered ones: calculation of the maximum pressure on the basis of the deposit height and calculation on the basis of the maximum pore radius, at which a meniscus can be formed. It is shown that it is rational to combine these two approaches into one, which will allow obtaining more reliable values of the residual water saturation, and hence the gas saturation coefficient. The ultimate maximum displacement pressure for the semi-permeable membrane method, which should be created during the experiment, has been determined. The limiting height of the deposit has also been determined. Any calculation above this parameter does not make sense. The discrepancies between theoretical calculations and actually observed heights of capillary rise and the influence of the layered structure of the reservoir have also been considered. The area of possible practical application of the method has been determined. It is noted that extensive knowledge of the reservoir geometry is crucial for the practical application of the method. Besides, the data on the deposit height should be included in the research proposal.

Practical value. The application of the method of calculating the maximum displacement pressure on the basis of the deposit height, taking into account the restrictions on the maximum pore diameters, at which a meniscus can be formed, will certainly increase the reliability of gas reserves calculations in the gas fields of Ukraine.

Keywords: residual water, gas saturation coefficient, petrophysical studies of core, laboratory research of core, semi-permeable membrane, capillarimeter.

References

1. SOU 09.1-30019775-218:2013 (2013). *Doslidzhennia kerna naftovykh i hazovykh sverdlodyn. (Investigation of the core of oil and gas wells) Poriadok provedennia.* Kyiv: PAT «Ukrhazvydobuvannia». [in Ukrainian]
2. HSTU 41-00032626-00-025-2000 (2010). *Koefitsient zalyshkovoho vodonasychennia hirskykh porid (Residual water saturation coefficient of rocks. Methods of performing measurements by centrifugation of samples). Metodyka vykonannia vymiriuvan metodom tsenryfuhuvannia zrazkiv. Metodychni vkazivky.* Kyiv-Lviv. [in Ukrainian]
3. SOU 09.1-30019775-233.2014 (2014). *Vyznachennia koefitsientiv hazonasychenosti i vyluchennia hazu na zrazkakh porid-kolektoriv (Determination of gas saturation coefficients and gas extraction on samples of reservoir rocks). Poriadok provedennia.* Kyiv: PAT «Ukrhazvydobuvannia». [in Ukrainian]
4. *Slovar po heolohyy nefty y haza (Dictionary of oil and gas geology)*, (1988). Pod red. Chernykova K.A., L., Nedra. [in Russian]
5. Hanin A.A. (1969). *Porody-kollektory nefti i gaza i ih izuchenie (Oil and gas reservoir rocks and their study)*, M., Nedra, 368. [in Russian]

6. Horoian V. Y. (1978). *Metodycheskiye rekomendatsyy po yssledovaniyu porod-kollektorov nefty y haza fizycheskymy y petrografycheskymy metodamy (Guidelines for the study of oil and gas reservoir rocks by physical and petrographic methods)*. M., VNYHNY, 380. [in Russian]
7. Dobrynin V.M., Vendelshtejn, D.A. Kozhevnikov. (1991). *Petrofizika (Petrophysics)*. Uch-k dlya vuzov M., Nedra, 368. [in Russian]
8. OST 39-204-86 (1987). *Neft. Metod laboratornogo opredeleniya ostatochnoy vodonasysyennosti kollektorov nefti i gaza po zavisimosti nasyshennosti ot kapillyarnogo davleniya (Oil. Method for laboratory determination of residual water saturation of oil and gas reservoirs by dependence of saturation on capillary pressure)* Minnefteprom SSSR, 23. [in Russian]
9. Povieriennyi S.F., Bukhtatyi V.M., Piddubna O.V. (2021). *Do pytannia vyboru metodyky laboratornogo vyznachennia zalyshkovoї vodonasychenosti (Prior to feeding the choice of methods for laboratory determination of excess water content)*. Pytannia rozvytku hazovoї promyslovosti Ukrainy. Rozrobka hazovykh i hazokondensatnykh rodovyshch. Zb. nauk. prats UkrNDIhaz, Kharkiv, XLIX, 10-20. [in Ukrainian]
10. *Metodicheskie rekomendacii po podschyotu geologicheskikh zasobov nefti i gaza obyomnym metodom. (2003). (Guidelines for calculating the geological reserves of oil and gas by the volumetric method)*. Pod red. V.I. Petersile, V.I. Poroskuna, G.G. Yacenko. Moskva-Tver., VNIGNI, Tvergeofizika. [in Russian]
11. Zubkov M.Yu., Kolpakov V.V. (2010). *Ostatochnaya vodonasysyennost i kapillyarnoe davlenie v uglevodorodnoj zalezhi (Residual water saturation and capillary pressure in a hydrocarbon reservoir)*, Gornye vedomosti, 7, 20-27. [in Russian]
12. Nesterenko. M.Iu. (2010). *Petrofizychni osnovy obruntuvannia fluidonasychennia porid-kolektoriv (Petrophysical bases of substantiation of fluid saturation of reservoir rocks)*. Monohrafiia. K., UkrDHRI, 224. [in Ukrainian]
13. Muharinskaya I.A. (1955). *Opredelenie ostatochnoy vody v peschanykh kollektorah produktivnoy tolshei Apsheron'skogo poluostrova (Determination of residual water in sandy reservoirs of the productive strata of the Apsheron Peninsula)*. Azerb. Neftyanoe hozyajstvo, 8. [in Russian]
14. Lukin A.E., Shukin N.V., Lukina O.I., Prigarina T.M. (2011). *Neftegazonosnye kollektory glubokozalegayushih nizhekamennougolnykh kompleksov centralnoj chasti Dneprovsko-Donckoj vpadiny (Oil and gas reservoirs of deep-seated Lower Carboniferous complexes in the central part of the Dnieper-Donetsk depression)*. Geofizicheskij zhurnal 1, 33, 3-27. [in Russian]
15. HSTU 41-32-2002 (2002). *Vyznachennia zmochuvanosti porid-kolektoriv metodom tsenyrfuhuvannia zrazkiv (Determination of wettability of reservoir rocks by centrifugation of samples)*. K., Minekoresursiv Ukrainy, 15. [in Ukrainian]
16. Amiks Dzh, Bass D., Uajting R. (1962). *Fizika neftyanogo plasta (Reservoir Physics)* Gostoptehizdat, 572. [in Russian]
17. Orlov. L.I., Karpov E.I., Toporkov V.G. (1987). *Petrofizicheskie issledovaniya kollektorov nefti i gaza (Petrophysical studies of oil and gas reservoirs)*. M.: Nedra, 216. [in Russian]
18. Levorsen A. (1970). *Geologiya nefti i gaza (Geology of oil and gas)*. Izd-vo «Mir», Seriya «nauki o zemle», 22, 638. [in Russian]
19. «Heoloho-ekonomichna otsinka Ulianivskoho rodovyshcha vuhlevodniv Dnipropetrovskoi oblasti Ukrainy» (Geological and economic assessment of the Ulyanovsk hydrocarbon deposit in the Dnipropetrovsk region of Ukraine) (2007). Knyha 3. NAK Naftohaz Ukrainy, DK «Ukrhazvydobuvannia», Filiia Ukrburhaz», Krasnohrad.
20. Gimatudinov Sh.K. (1971). *Fizika neftyanogo i gazovogo plasta (Physics of the oil and gas reservoir)*. M.: Nedra, 312. [in Russian]
21. Fyk I.M., Fyk M.I., Fyk I.M. (2018). *Shebelynske hazokondensatne rodovyshche. Vidnovlennia zapasiv chy obvodnennia? (Shebelinske gas condensate field. Stock recovery or flooding?)* Naftohazova haluz Ukrainy, 6, 3-9. [in Ukrainian]
22. Zastezhko Yu.S., Terdovidov A.S., Tereshenko V.A. (1963). *Gidrogeologicheskaya i gidrogeohimicheskaya harakteristiki Shebelinskogo gazovogo mestorozhdeniya (Hydrogeological and hydrogeochemical characteristics of the Shebelinsky gas field)*. Voprosy razvitiya gazovoj promyshlennosti Ukrainskoj SSR, Kiev, 68-81 [in Russian]
23. Poverennyj S.F., Fyk I.M., Varavina E.P., Yackevich E.A. (2020). *Metod polupronicaemoj membrany v rezhime drenirovaniya - impregnacii pri issledovanii neftegazovykh kollektorov (Method of a semi-permeable membrane in the mode of drainage - impregnation in the study of oil and gas reservoirs)*. Visnik Nacionalnogo tehničnogo universitetu «HPI». Seriya: himiya, himichni tehnologii ta ekologiya», 2(4), 80-85. [in Russian]
24. Klebanovich N.V. (2016). *Gidrofizika pochv (Soil hydrophysics)*. Minsk: BGU, 41. [in Russian]
25. Rode A.A. (2008). *Izbrannye trudy. T. 3. Osnovy ucheniya o pochvennoj vlage (Fundamentals of the doctrine of soil moisture)*. M.: Pochvennyj in-t im. V. V. Dokuchaeva Rosselhozakademii, 664. [in Russian]
26. *Heoloho-heolohichna otsinka nyzhnopermsko-verkhnokamianovuhilnykh vidkladiv (R1-S33) Kobzivskoho HKR (Geological and geological assessment of Lower Permian-Upper coal deposits (P1-C33) of the Kobziv GCR)*, (2011). Kn. 3, tema 52.413/2006-2011, Kharkiv. [in Ukrainian]
27. «Heoloho-heolohichna otsinka Skvortsivskoho naftohazokondensatnogo rodovyshcha» (Geological and geological assessment of the Skvortsy oil and gas condensate field), (2008), Tom 1, tema № 52.203/2007-2008, Kharkiv. [in Ukrainian]
28. «Heoloho-ekonomichna otsinka zapasiv hazu i kondensatu vizeiskyykh (V-21-26) ta turneiskyykh (T-1) vidkladiv Berezivskoho HKR Kharkivskoi oblasti» (stanom na 01.01.2012 r.), (Geological and economic assessment of gas and condensate reserves of Viseu (B-21-26) and Tournai (T-1) deposits of Berezivka GKR of Kharkiv region), (2012). (dohovir № 31/12 vid 02.07.2012), N. Ovcharenko ta in. TOV «Heosfera», Poltava. [in Ukrainian]

Authors Contribution: Poveriennyi S.F. – literature and factual data analysis, problem statement, work concept, methodology, tables and graphs, text writing; Piddubna O.V. and Chuienko O.V. – analyses, calculations, data preparation, text writing; Lurye A.Y. - analysis, assessment and discussion of source materials and obtained results, text writing

Received 2 April 2022

Accepted 23 May 2022

Цифрова структурно-літологічна модель і геолого-генетична характеристика Копитківського родовища фосфоритів

Дмитро Павлович Хрущов¹

д. г.-м. н., професор, ¹Інститут геологічних наук НАН України,
вул. Олеся Гончара, 55-б, м. Київ, 01601, Україна,
e-mail: khrushchov@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7978-2505>;

Олена Олександрівна Ремезова¹

д. геол. н., зав. відділом геології корисних копалин,
e-mail: elena.titania2305@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1955-1270>;

Світлана Петрівна Василенко¹

к. геол. н., ст. наук. співробітник,
e-mail: svetlyk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9327-5174>;

Олена Андріївна Шевчук¹

д. геол. н., провідний наук. співробітник,
в.о. зав. відділом стратиграфії і палеонтології мезозойських відкладів,
e-mail: hshevchuk@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-7221-4540>;

Ольга Віталіївна Яременко²

к. геол. н, старший викладач, ²Поліський національний університет,
Старий бульвар, 7, м. Житомир, 10002, Україна,
e-mail: olya_89@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-2882-4621>

Світлої пам'яті видатного вченого – літолога, доктора геол.-мін. наук професора Д. П. Хрущова, Голови Українського Національного комітету при Міжнародній програмі геологічної кореляції (ЮНЕСКО), член-кор. міжнародної асоціації «Sogeoenvironment» (Міжнародний геологічний союз), який зробив вагомий внесок в розробку засад структурно-літологічного моделювання.

Актуальність досліджень пов'язана з проблемою створення і розвитку бази фосфатної сировини відповідно до потреб національного агропромислового комплексу. Раніше у виробництві фосфатних добрив використовувалась російська сировина, однак наразі важливим завданням є освоєння власних фосфоритових родовищ. Метою статті є розробка попередньої цифрової структурно-літологічної моделі перспективного Копитківського родовища фосфоритів, як інструменту інформаційного забезпечення його освоєння, а також геолого-генетична характеристика об'єкта, як основа для уточнення критеріїв прогнозування родовищ такого типу. Демонструється інформаційно-геологічна (цифрова структурно-літологічна) модель (далі – ЦСЛМ) Копитківського родовища фосфоритів, побудована за принципами прогнозно-палеорекоконструктивного ретроспективно-статичного моделювання (авторська розробка). Побудова моделі здійснена з урахуванням детальної літостратиграфічної схеми верхньокрейдових відкладів західної частини платформної України. База даних, створена для моделювання, побудована на основі спеціалізованого структурування породного масиву родовища за літостратиграфічними, літофаціальними і фаціальними ознаками, а також вмісту рудного матеріалу. За побудованої моделі отримано ряд похідних (візуалізацій – карт, профілів, блок-діаграм і розрахункових – коефіцієнтів, взаємозалежностей і т.д.), що відображають загальногеологічні і промислові характеристики родовища. Як результатуюча надається також карта площинного розподілу питомих запасів P₂O₅. ЦСЛМ призначена для інформаційного забезпечення подальших робіт з освоєння об'єкта (детальної розвідки, експлуатації та постмаїнінга). На основі моделі висвітлені умови утворення родовища і механізму фосфатонакопичення і фосфороутворення, які в свою чергу послужили основою для розробки стратиграфічних, палеогеоморфологічних, палеогеоморфологічних і фаціальних критеріїв прогнозування родовищ даного типу, принаймні для тернопільського і хмельницького структурно-фаціальних районів західного схилу Українського щита.

Ключові слова: цифрова структурно-літологічна модель, Копитківське родовище, фосфорити, фосфатонакопичення, ретроспективно-статичне моделювання, Український щит.

Як цитувати: [Хрущов Д. П.]. Цифрова структурно-літологічна модель і геолого-генетична характеристика Копитківського родовища фосфоритів / Д. П. Хрущов, О. О. Ремезова, С. П. Василенко та ін. // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 56. – С. 88-104. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-06>

In cites: [Khrushchov D. P.], Remezova O. O., Vasilenko S. P., Shevchuk O. A., Yaremenko O. V. (2022). Digital structural-lithological model and geological-genetic characteristics of Kopytkovsky phosphorite deposit. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (56), 88-104. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-06> [in Ukrainian]

Вступ. Актуальність досліджень пов'язана з проблемою створення і розвитку бази фосфатної сировини відповідно до потреб національного агропромислового комплексу.

Мета публікації. Розробка попередньої цифрової структурно-літологічної моделі (ЦСЛМ) Копитківського родовища, як інструменту інформаційного забезпечення його освоєння, а також

геолого-генетична характеристика об'єкта, як основа для уточнення критеріїв прогнозування родовищ такого типу.

Поставлена мета охоплює наступні завдання:

- формулювання методології та методів досліджень;
- представлення структури бази даних;
- демонстрацію похідних побудованої цифрової структурно-літологічної моделі (ЦСЛМ) і їх інтерпретацію;
- уявлення функціональних і пізнавальних характеристик об'єкта.

Вихідними даними послужили звіти розвідувального буріння № 58360 Скакун Л.І. 2001 року «Моделювання умов утворення і якості фосфоритів на продуктивних ділянках Клевансько-Маневицького рудного району» та № 62750 Черняков О.М. 2009 року «Пошуки і пошуково-оцінювальні роботи на зернисті фосфорити в південній частині Рівненської і північній частині Хмельницької областей», використані для побудови ЦСЛМ і структурно-літологічної та функціональної характеристики об'єкта – фактичні матеріали геологорозвідувальних робіт, проведених Рівненською КГРП протягом 1996 – 97 років.

Робота виконувалася в рамках держбюджетної тематики ІГН НАН України (тема: № III-15-17 "Визначення перспектив розвитку та використання мінерально-сировинної бази України з виділенням першочергових рудних об'єктів" відділу геології корисних копалин ІГН НАН України) та у зв'язку з міжвідомчим проектом «Агрономічні руди України», що знаходиться на підготовчій стадії.

Стан проблеми. Постановка проблеми досліджень ініційована станом трьох чинників: ступенем забезпеченості національного ринку фосфатних добрив, станом сировинної бази і мірою економічної доцільності освоєння останньої.

Стан забезпеченості національного ринку фосфатних добрив зараз може оцінюватися як незадовільний. Власне виробництво фосфатних добрив призупинено. Низка підприємств, що діяли раніше, зараз закриті. Ринок споживання забезпечується повністю за рахунок імпортованої продукції.

У той же час існує певна сировинна база фосфатвміщуючих руд, яка при визначених умовах могла б забезпечити відродження виробництва добрив. За даними державного балансу України запаси фосфоритових руд на 01.01.2018 р за категоріям А + В + С₁ (тис. т) становили 390786,8 в руді, або 11090,0 Р₂О₅, за категорією С₂ – 83948,15 і 4018 відповідно. В межах Рівненської області встановлено запаси за категорією С₂ 3533,45 в руді і 243,55 Р₂О₅ [10].

Дослідженням фосфоритових відкладів

України, і зокрема Львівсько-Волинського району, присвячені роботи Ю.М. Брагіна, Ю.М. Сеньковського, С.Б. Шехунової та ін. [2, 3, 8, 9, 11, 15, 18, 19, 21, 22].

Копитківське родовище – об'єкт даної публікації характеризується високим рівнем геологічної вивченості. Рівненською КГРП протягом 1996-97 років проводилися геологорозвідувальні роботи з оцінки родовища, але вони не були завершені.

Особливо слід зупинитися на методиці моделювання геологічних об'єктів, що служить для забезпечення родовищ рудних і нерудних корисних копалин. Існує чимало спеціалізованих геоінформаційних систем такої спрямованості; у вітчизняній практиці це система К-Mine [5] і ряд інших. Нами використовується авторська методика комплексного різномасштабного багатопільового 3D структурно-літологічного моделювання осадових формацій (див. далі).

Методологія і методи. В основу проведених досліджень покладені два методологічних спрямування: традиційні літологічні, палеофаціальні, палеогеографічні дослідження і авторська розробка – цифрове структурно-літологічне моделювання (ЦСЛМ), діалектично об'єднуються у формі єдиної прогнозно-палеореконструктивної ретроспективно-статичної моделі [26, 28].

Нагадаємо, що ЦСЛМ – віртуальне об'ємне (3D) багатостороннє відображення геологічного об'єкта, що містить його структурні і речовинні характеристики. [7, 16].

Методика модифікована відповідно до особливостей даного родовища.

Загальні відомості про родовище. Відповідно до традиційної схеми ієрархії фосфоритових територій за А.С. Соколовим [1976], з урахуванням більш пізніх досліджень українських геологів площа Копитківського родовища відноситься до Здолбунівського району, який становить північний сектор Здолбунівського-Тернопільської зони Волино-Подільського крейдового басейну (за Ю.М. Сеньковським і ін. [12]; за Ю.М. Брагіним – району [3]) фосфоритової провінції Східноєвропейської платформи (за А.С. Соколовим). У структурному аспекті зазначена зона відноситься до Волино-Подільської плити та західного схилу Українського щита [14, 15].

В адміністративному відношенні територія родовища входить до складу Здолбунівського району Рівненської області (рис. 1).

Головні результати. Здолбунівський фосфоритовий район включає 13 покладів, 8 з яких знаходяться в приповерхневому заляганні. Формаційно-стратиграфічний розріз цієї площі включає три структурних поверхні: архей-протерозойський кристалічний фундамент, рифей-палеозой-



Рис. 1. Оглядова карта району розташування Копитківського родовища фосфоритів.
Fig. 1. Overview map of the location of the Kopytkivsky phosphorite deposit

ські утворення і осадово-вулканічний чохол платформи.

Стратиграфія досліджуваного району. Фосфоритонасні відклади відносяться до осадово-вулканогенного чохла. Стратиграфічний розріз цього структурного поверху в межах розглянутої зони включає відклади крейдової, палеогенової, неогенової і четвертинної систем. В основі осадово-вулканогенного чохла залягають породи крейдової системи, представлені верхнім і нижнім відділами. Стратиграфічна характеристика розглянутого інтервалу розрізу Здолбунівсько-Тернопільської фосфоритонасної зони і прилеглих площ ілюструється фрагментами кореляційних частин «Стратиграфічної схеми верхньокрейдових відкладів західної частини платформної України і зовнішньої зони Передкарпатського прогину» та «Стратиграфічної схеми нижньокрейдових відкладів західної частини платформної України і зовнішньої зони Передкарпатського прогину», а саме альб-коньякських відкладів Волино-Подільської плити та північно-західного схилу УЩ [15], що охоплює Волинську монокліналь, Тернопільський, Хмельницький і Могилів-Подільський структурно-фаціальні райони (СФР) схилів УЩ (рис. 2).

З цієї діючої схеми видно, що в межах Тернопільського СФР (що включає Копитківське родовище і ряд інших) простежується такий розріз (скорочений):

В межах цього СФР у складі нижнього відділу крейдової системи встановлені три підрозділи: касперівецька світа, низи пилипчанської світи і фосфоритовий шар.

Касперівецька світа представлена вапняками і пісковиками з гравієм і галькою кварцу. Вік – верхній альб. Потужність до 20-ти метрів. Низи пилипчанської світи, ідентифікованої як перехідна товща альб-сеноманського віку, представлені тут породами піщано-гезового складу.

Нижня частина пилипчанської світи складена пісками та пісковиками глауконіт-кварцевого або глауконіт-польовошпат-кварцевого складу, зеленувато-сірими, середньо- та дрібнозернистими, інколи з домішкою жорстви та гравію кварцу та кристалічних порід, гальки кременів. Псаміти часто слабо зцементовані вапнисто-глинистим, вапнисто-трепельним або вапнисто-силікатним цементом, з прошарками опок, халцедонолітів або більш окременілих пісковиків потужністю 5-30 см.

Фосфоритовий шар, що має локальне поши-

рення, утворений конгломератами з галькою кварцу і кременів, а також жовнами фосфоритів і фосфатизованими рештками пеліципод, гастропод, амонітів, губок, уламками деревини. Цемент конгломератів представлений фосфоритним, піщано-опоковим, піщано-вапняковим і піщаним матеріалом. Вік фосфоритового шару визначається як пізній альб-ранній сеноман.

У розрізі Копитківського родовища він не встановлюється. Більш повний розвиток за площею фосфоритовий шар отримав в межах Хмельницького СФР. Датування віку фосфоритового шару залишається дискусійним.

Група дослідників, що працювали комплексно протягом 1960 – 1990 років над створенням стратиграфічних схем цього регіону В.Н. Гаврилишин, С.І. Пастернак, і ін., вважали вік фосфоритового шару середньоальбським [4, 6]. Група вчених, сучасних представників львівської школи – Р.Й. Лещух, І.М. Мар'яш, Я.С. Курепа, С.Г. Бакаєва пропонують датувати вік фосфоритового шару, як нижньосеноманський, на підставі вивчення макрофауни з розрізів північної частини Львівсько-Люблінського прогину і західної частини УЩ [2, 8, 9].

Вік фосфоритового шару до цього часу датувався як середній альб. Аналіз палеонтологічного і літологічного матеріалу свідчить, що відклади фосфоритноносного шару відносяться до верхів верхнього альбу – низів нижнього сеноману. В результаті проведених досліджень комплексних літолого-палеонтологічних робіт були внесені зміни до «Стратиграфічної схеми верхньокрейдових відкладів західної частини платформної України та зовнішньої зони Передкарпатського прогину»: до кореляційної частини схеми внесена стратиграфічна одиниця «фосфоритовий шар» [20]. Вирішення цього питання виноситься на мезозойську комісію НСК України для затвердження в 2022 р.

В межах Хмельницького і Могилів-Подільського СФР, а також Волинської монокліналі поширена також володимерецька світа (точніше нижня її підсвіта – вапняки, піски і пісковики кварц-глауконітового складу, халцедоніти, потужність до 176 метрів) і нижня підсвіта козлівської світи (істотно теригенна – піски глауконіт-кварцові з галькою древніх порід, рідко – валуни, опоки, спонголіти потужністю до 30 метрів). Вік нижньої володимерецької підсвіти середній - пізній альб, нижньокозлівської підсвіти – пізній альб.

Розріз верхньої крейди за кореляційною схемою починається трьома одновіковими стратиграфічними підрозділами, які відрізняються за складом порід: верхня підсвіта володимерецької світи, пилипчанська світа і верхня підсвіта козлівської світи.

Верхня підсвіта володимерецької світи характеризується локальним розвитком в межах Тернопільського СФР, більш повним – в межах Волинської монокліналі (на площі Копитківського родовища наче відсутня). Представлена вона пісковиками глауконіт-кварцового складу мергелістими і карбонатними, різнозернистими, щільними, переважно темно-сірого забарвлення. Вік – ранній сеноман.

Пилипчанська світа в повному розвитку встановлена в Хмельницькому СФР. Тут це піщано-гезова товща, утворена спонголітами, халцедоновими і опал-халцедоновими породами, гезами, пісками опал-глауконіт-кварцовими з прошарками спонголітів. Вік – пізній альб, верхньої – ранній сеноман. Потужність світи до 16 метрів.

Козлівська світа, представлена тут верхньою підсвітою у вигляді суттєво кременистої товщі, складена опоками з прошарками глауконіт-кварцових пісків. Потужність підсвіти до 8 метрів. Вік – також ранній сеноман.

Стратиграфічні взаємовідношення пилипчанської і козлівської світ не зовсім з'ясовані. У кореляційній схемі вони відображені як одновікові, в текстовій же частині зазначається факт залягання пилипчанської світи на козлівській [15]. За нашими новітніми уявленнями підоснова козлівської світи відповідає нижньому стратиграфічному рівню (низи верхнього альбу) [20, 25]. У стратиграфічному розрізі Копитківського родовища усі три зазначених підрозділи сеноманського ярусу відсутні.

Далі за розрізом верхньокрейдового відділу Здолбунівського-Тернопільської фосфоритноносної зони після певної стратиграфічної перерви слідує верстви іноцерамових вапняків (за кореляційною схемою – верстви вапняків з призмами іноцерам). Ця товща – добре ідентифікований реперний горизонт, поширений в межах західного схилу УЩ, Волинської монокліналі і прилеглих площ Придніпровського прогину. У базальній частині шарів простежується базальний горизонт псефітового складу (гравій, дрібна галька підстиляючих порід). Основна частина розрізу представлена вапняками кремового, сірого, буро-сірого забарвлення, складеними призмами іноцерам (40-80% складу) і мушлями форамініфер, зцементованих дрібнозернистим кальцитом, місцями з домішкою кварцового, піщаного і алевроитового матеріалу. У породах присутні стяжіння фосфоритів, копроліти (сингенетичного характеру). У нижній частині іноцеромових верств поширені також скупчення фосфатизованих ядер і мікрофауни, очевидно, перевідкладеного характеру. Верстви залягають, головним чином, на відкладах незвиської, володимерецької і русавської світ, перекриваються здолбунівською та дубовицькою світами. Вік

іноцерамових верств середній-пізній сеноман. Потужність шарів на схилах УЩ і в Могилів-Подільському районі до 10 метрів, у Львівсько-Львівському прогині збільшується до 20 м [15,17-20].

У Здолбунівсько-Тернопільській фосфоритоносній зоні верстви іноцерамових вапняків простежуються в межах Тернопільського СФР, продовжуючись у Волинську монокліналь, в Хмельницькому вони начебто відсутні (див. Кореляційну схему, рис 2). А на площі Копитківського родовища за даними геологорозвідувальних робіт Рівненської КГРП 1996-97 рр. саме верстви іноцерамових вапняків представляють нижній стратиграфічний підрозділ крейдової системи, що залягають безпосередньо на основі домезозойського віку (головним чином – вендських аргілітах і пісковиках). За даними вказаного першоджерела в розрізі верств іноцерамових вапняків («теригенно-карбонатних продуктивних верств сеноману») виділяють дві пачки (за першоджерелом – «частини»): нижня – представлена пісками і пісковиками, і верхня – піщанистими вапняками. Перша з них віднесена до середнього сеноману, друга – до верхнього. Глауконіт-кварцові піски і пісковики різко переходять в вапнякові фосфат-глауконіт-кварцові пісковики, а останні – у піщанисті вапняки. У підшві верств простежується базальтовий горизонт істотно псефітового складу – гравій кварц-крем'яних порід, галька підстилаючих порід з жовнами фосфоритів. Потужність верств іноцерамових вапняків на площі Копитківського родовища становить до 6,4 м. Вище за розрізом верхнього відділу крейдової системи в СФР західного схилу УЩ залягають відклади постсеноманських стратиграфічних рівнів (турон-маастрихт), які виходять за верхню межу «пізньоальбсько-сеноманського періоду фосфатонакоплення» (за Ю.М. Сеньковським і ін. [13]).

Коротко викладаємо літостратиграфічну структуру розрізу (світи): здолбунівська (писальна крейда, мергелі) – турон-коњяк; озарінецька (вапняки, кременісті вапняки) – турон; турійська (крейда, вапняки) – сантон.

Формаційна ідентифікація стратиграфічного інтервалу, що розглядається представляється в такий спосіб. Л.С. Галецьким тут виділяються дві формації: глауконіт-фосфоритова і карбонатна [1] (за геолого-економічним принципом). Ю.Н. Сеньковським зі співавторами на основі формаційного підходу в межах Волино-Поділля і суміжних площ Львівського прогину і Передкарпатського прогину встановлюється «глауконіт-крейдяна» формація альб-маастрихтського віку [11]. Виходячи із прийнятого нами визначення формації як «історико-генетичної асоціації гірських порід, що утворилася в певній геотектонічній структурі на певному етапі її розвитку» [8, 26, 28], уточнена

номенклатурна ідентифікація може бути наступна: континентально-морська кремнисто-теригенно-карбонатна формація крейдяного (а з урахуванням деяких стратиграфічних визначень – юрсько-крейдового) віку.

У складі формації слідом за цитованою вище роботою [13] виділяються три субформації (за Ю.М. Сеньковським – підформації): опокового (пізньоальбсько-ранньосеноманська за Ю.М. Сеньковським), кремнисто-крейдяна (пізньосеномансько-«сеноноського»), а за сучасним поділом – пізньосеномансько-коњякського) і мергельно-гезова (сантонсько-маастрихтського).

Таким чином, за матеріалами вищезазначених геологорозвідувальних робіт в межах Здолбунівсько-Тернопільської фосфоритоносної зони підтверджується скорочений склад розрізу виділеної формації, в якому присутні тільки володимерецька світа (тобто літостратиграфічний підрозділ нижньої її субформації – опокової) і перекривають зі стратиграфічним (і кутовим) неузгодженням відкладення шарів іноцерамових вапняків, а останні відносяться вже до кремнисто-крейдяної субформації. При тому між цими двома субформаціями на даній площі реєструється значна стратиграфічна перерва.

Загальна структурно-літологічна характеристика верств іноцерамових вапняків в межах Копитківського родовища наводиться за матеріалами геологорозвідувальних робіт. Тут ця товща має двочленну будову. Нижня частина її представлена сірими, світло- і темно-сірими з зеленуватим відтінком дрібнозернистими пісками і пухкими пісковиками на карбонатному цементі. Верхня частина складена піщанистими вапняками. Формаційний ранг цих підрозділів поки не встановлено. Потужність шарів до 6 м.

У товщі верств іноцерамових вапняків за критерієм складу породоутворюючих мінералів виділяються п'ять літофацій (за текстом звіту про геологорозвідувальні роботи – «типів порід»): піски і пісковики глауконіт-кварцові; піски і пісковики іноцерам-глауконіт-фосфорит-кварцові і глауконіт-фосфорит-кварцові; піски і пісковики кварцові з жовнами фосфоритів і кременями; піски і пісковики фосфорит-іноцерам-кварцові і фосфорит-кварц-іноцерамові; вапняки іноцерамові.

Нижче наводиться опис розрізу в порядку стратиграфічної послідовності (рис. 3).

Піски кварцові і глауконіт-кварцові сірі з зеленуватим відтінком, пісковики на карбонатно-глинистому цементі. Піски дрібнозернисті (0,16 - 0,05мм), з фосфатами у вигляді зерен фосфоритів і уламків призм іноцерам, черепашкового детриту і ін., різного ступеня заміщених фосфатами. Ця літофація розвинена в палеозападинах досеноманського рельєфу. Потужність товщі

складає 0,2 - 1,5, в середньому 1,0 м. Вміст фосфатів не досягає промислових масштабів.

Піски і пісковики глауконіт-фосфорит-кварцові і іноцерам-глауконіт-фосфорит-кварцові. Ці псаміти переважно дрібнозернистої структури, сірі, темно-сірі з зеленуватим відтінком, візуально важковідмінні від підстилаючих піщаних порід з убогою фосфоритоносністю, у зв'язку з чим основним критерієм відмінності служить встановлення підвищених вмістів фосфатів, а також оксидів калію і кальцію (за хімічним аналізом). Вміст фосфатів досягає промислових кондицій.

Піски і пісковики фосфорит-іноцерам-кварцові і фосфорит-кварц-іноцерамові є провідною продуктивною товщею. Ця літофація утворена псамітами сірого і сірувато-білого забарвлення, дрібнозернистої структури. Її розповсюдження обмежується підвищеними геоморфологічними елементами рельєфу: палеопідняттями та їх схилами за ізогіпсами понад 190 м. При цьому при-

склепеневі площі палеопідняття також зазвичай безрудні.

Вапняки іноцерамові піщанисті завершують розріз шарів. Літофація складена піщанистими пелітоморфними вапняками світло-сірого і кремового забарвлення, масивної текстури зі слабо вираженою плитчастою окремістю. Вміст псамітового матеріалу зменшується вгору за розрізом. Вміст P_2O_5 не досягає промислових кондицій (в основному 1,5 – 2 %, місцями до 4,5 %). Як латерально витриманий горизонт іноцерамові вапняки підстиляються на палеопідняттях фосфорит-іноцерамово-кварцовими пісковиками, а в палеозападинах – глауконіт-фосфорит-кварцовими псамітами. У нижній частині цього літофасіального комплексу локально зустрічаються піски і пісковики з жовнами фосфоритів, що утворюють літофацію, яка легко ідентифікується та поширена в контурах палеопідняття і їх схилів. Вона представлена породами псаміт-пелітової структури такого

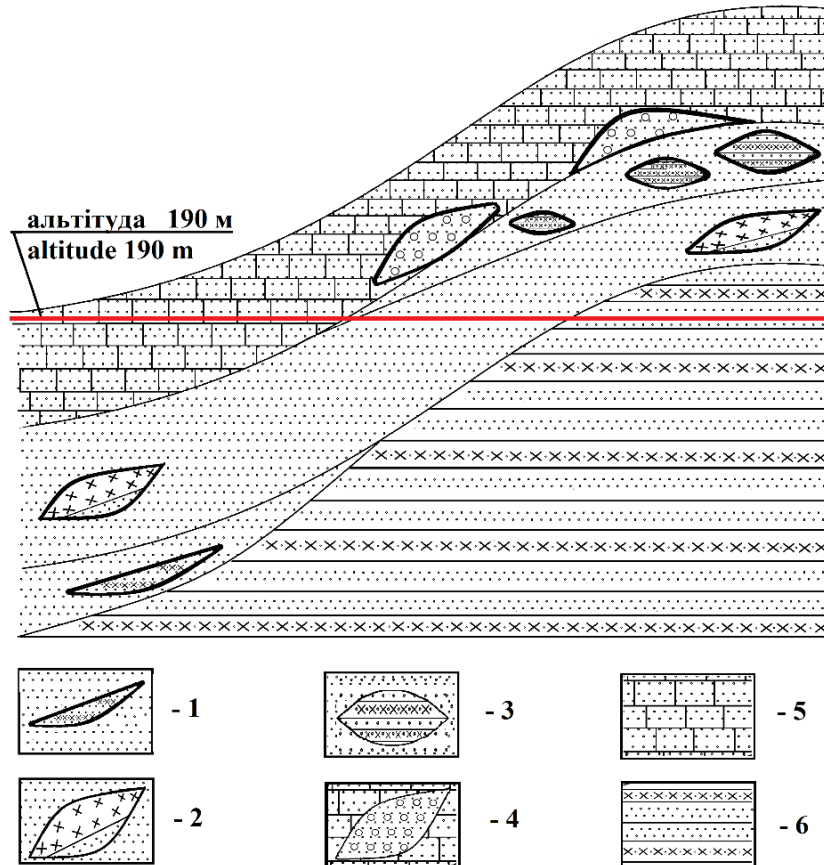


Рис. 3. Схема розподілу літофасій верств іноцерамових вапняків Копитківського родовища фосфоритів. Умовні позначення: 1 – псефіти (піски, пісковики) глауконіт-кварцеві; 2 – псефіти іноцерам-глауконіт-фосфорит-кварцеві і глауконіт-фосфорит-кварцеві; 3 – псефіти фосфорит-іноцерам-кварцеві і фосфорит-кварц-іноцерамові (продуктивна товща); 4 – псаміти і піщано-псефіти з жовнами фосфоритів і кременів (лінзи); 5 – вапняки іноцерамові; 6 – пісковики або аргіліти «досенманського» віку.

Fig. 3. Scheme of lithofacies distribution of inotseram limestone of Kopytkivsky phosphorite deposit. Legend: 1 – psephytes (sands, sandstones) glauconite-quartz; 2 – psephytes inoceram-glaucanite-phosphorite-quartz and glauconite-phosphorite-quartz; 3 – psephytes phosphorite-inotseram-quartz and phosphorite-quartz-inotseram (productive stratum); 4 – psammities and sand-psephytes with phosphorites and flint (lenses); 5 – inotseram limestones; 6 – sandstones or argillites of pre-Cenomanian age

ж сірого і темно-сірого з зеленуватим відтінком забарвлення з псефітовою складовою у вигляді жовен фосфоритів і кременів (локалізуються переважно окремо). Вміст P_2O_5 в породах літофациального комплексу сягає від 3,63 до 11,89 %.

За інтерпретації наведених вище описів літофаций нами представлена принципова схема їх розподілу за елементами геоморфологічної системи «палеопідняття-схил-палеозападина домезозойського рельєфу» (рис. 3).

За результатами геолого-економічної оцінки, виконаної Рівненською КГРП протягом 1996-1999 р., запаси зернистих фосфоритів Копитківського родовища за категорією C_2 складають 1001 тис. т, встановлені також прогнозні ресурси категорії P_1 , що складають 8,39 млн т.

За результатами геологорозвідувальних робіт авторами звіту виділені два типи руд за відповідними категоріями: технолого-речовинний (за текстом першоджерела – літолого-технологічний) і технолого-мінеральний (там же – «морфологічні типи»).

Технолого-речовинних типи відділено чотири: істотно карбонатний (вапняки піщані); карбонатно-кварцовий; істотно кварцовий (пісковики фосфориткварцові, вапняковисті та фосфорит-кварцові); глауконітовими-карбонатний, глауконіт-карбонатно-кварцовий і кварцовий. Всі ці

типи характеризуються фосфатносністю промислових масштабів. Найбільш багатими вважаються істотно карбонатний і істотно кварцовий типи. Технолого-мінеральних типів, ідентифікованих за вмістом фосфатвміщуючих мінеральних форм, виділяється п'ять: іноцерамовий (фосфатизованих призм іноцерам більше 80 %); глауконітовий (фосфатизованих зерен глауконіту більше 80 %); глауконіт-іноцерамовий (фосфатизованих іноцерам більше 50 %); іноцерам-глауконітовий (фосфатизованих зерен глауконіту більше 50 %); змішаний (приблизно рівні вмісти фосфатизованих іноцерамових і глауконітових складових); монофосфатний (сумарний вміст гомогенних зерен фосфатів більш 15 %); кварцовий (зерен кварцу з фосфатною облямівкою більше 10 %). Мінерально-морфологічні типи фосфоровмісних компонентів: фосфатизовані -призми іноцерам, зерна глауконіту, скелетні залишки риб; фосфатні - ниркоподібні гомогенні зерна, ооліти, копроліти, мікрожелваки і гравій; зерна кварцу з фосфатною облямівкою. Мінеральний склад порід «продуктивної товщі» кварц, кальцій, глауконіт, фосфорити (фтор-гідроксил-апатит двох модифікацій - франколіт і курськіт), мінерали групи кремнезему (опал, халцедон), польові шпати, акцесорні мінерали. У складі цементуючого матеріалу переважає пелітоморфний кальцит, глинисті мінерали і ін.



Рис. 4. Розріз альб-сеноманських відкладів з фосфоритами, м. Новодністровськ, Чернівецька обл., р. Дністер.
 Fig. 4. Section of Alb-Cenomanian sediments with phosphorites. Novodnistrovsk, Chernivtsi region, Dniester River

Вміст P_2O_5 за певними пробами, включеними до підрахунку запасів, змінюється від 2,0 до 10,4 %, в середньому по родовищу складає 5,33 %. Нерозчинний залишок руди - від 33 до 60-70 %.

Відмічається стратиграфічно наскрізний характер фосфоритовості: промисловий вміст фосфатів встановлено навіть у відкладах антропогену.

Негативним фактором є відсутність детальної літологічної характеристики керна: в наявних описах розрізів свердловин виділяються лише два підрозділи «продуктивної товщі»: пісковики фосфорит-глауконіт-кварцові і вапняки іноцерамові піщанисті і піщані фосфат-глауконіт-кварцового складу. Зважаючи на цю обставину побудова ЦСЛМ з виділенням повного спектру структурно-літологічних елементів – літофацій, фацій, рудних тіл і т.д. виявляється практично неможливим (див. далі).

Цифрова структурно-літологічна модель (ЦСЛМ)

Методологія і методи

ЦСЛМ - основний методологічний інструмент інформаційного забезпечення досліджень і робіт щодо поводження з геологічним середовищем [27, 29]. Прийняте нами визначення ЦСЛМ – віртуальне об'ємне (3D) багатостороннє відображення геологічного об'єкта, що містить його структурні і якісні характеристики.

Для даного геологічного об'єкта – Копитківського родовища – методика моделювання базується на загальних методологічних принципах структурування і мінералогічній характеристиці осадових геологічних формацій [7] з відповідною модифікацією, що визначається особливостями геологічної будови і літологічними характеристиками морських теригенних і теригенно-карбонатних фосфоритованих формаційних підрозділів [11, 14, 30]. Ці особливості стосуються формаційного складу, літофаціального і фаціального складу, речовинних (мінеральних і геохімічних) характеристик, з урахуванням умов утворення. Таким чином, отримана модель за загальним визначенням відноситься до категорії ретроспективно-статичної.

Фактографічна основа моделі (структура бази даних).

База даних ЦСЛМ представлена описом керна за розрізами 567 свердловин проведених геологорозвідувальних робіт, а також за усередненими вмістами P_2O_5 у розрізах «продуктивної товщі». У наявних описах розрізів в «продуктивній товщі» виділені тільки два функціонально-речовинні шари - пісковики фосфат-глауконіт-кварцові і вапняки іноцерамові (фосфоритовані), обидва шари під індексом K_2 .

За таким структурним складом і виділялася "продуктивна товща" з визначенням її меж і фосфоритовості. Остання встановлювалася за даними хімічних аналізів, представлених у вигляді відповідних матричних таблиць.

Детальніше розчленування «продуктивної товщі» неможливе, хоча приклади такого представляються у вигляді обмеженого числа свердловин, в яких виконувався радіоактивний каротаж (ГК).

Характеристика похідних ЦСЛМ.

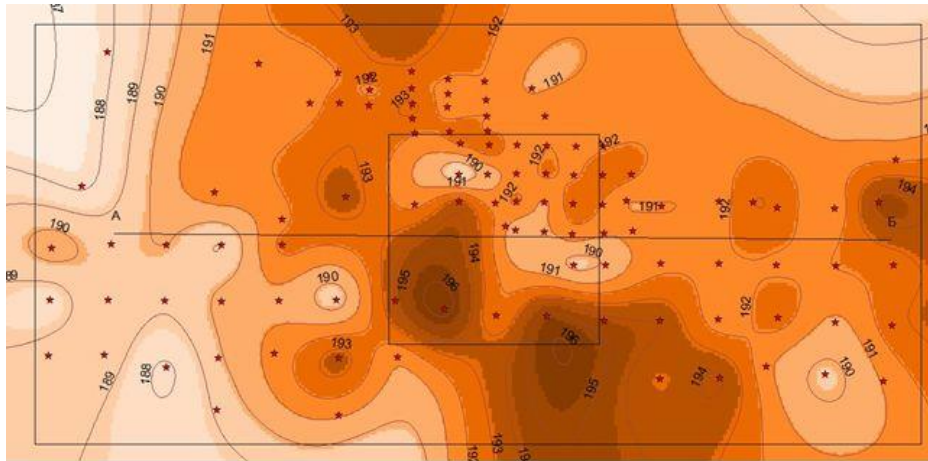
За побудованої ЦСЛМ отримано ряд похідних (в тому числі візуалізацій), що відображають структурні та матеріально-промислові характеристики родовища – ряд карт, профілів, а також блок-діаграма центральної частини родовища. Нижче наводиться опис найбільш інформативних візуалізацій.

Карта гіпсометрії підшви «продуктивної товщі». Абсолютні позначки цього розділу знаходяться в діапазоні 186 – 194 м, що свідчить про помірну розчленованість рельєфу седиментаційного ложа субформації (на даній ділянці - верств іноцерамових вапняків). В цілому рельєф площі родовища представляє блок пов'язаних (або розділених незначними пониженнями) піднятих (альгітуда більш 194 м) субізометричної конфігурації. Два найбільш значних підняття знаходяться трохи південніше центральної частини родовища. Цей блок з північного сходу, південного сходу і заходу обрамляється зниженнями рельєфу (186 м і менше). Можна припустити, що цей рельєф в цілому відображає тривалий етап міжформаційного вирівнювання домезозойського часу з низькоенергетичним рівнем впливу ерозійних процесів (рис. 5).

Карта гіпсометрії покрівлі «продуктивної товщі». Перш за все слід зазначити істотну кореляцію з рельєфом підшви «товщі». Абсолютні позначки цієї поверхні розташовуються в діапазоні 188 – 196 м. Незначні відмінності виявляються у відображенні підняття покрівлі (рис. 5).

Карта потужності «продуктивної товщі». Як зазначалося вище, за даними геологорозвідувальних робіт, потужність цієї «товщі», тобто верств іноцерамових вапняків, в цілому складає близько 6 м. За візуалізації ЦСЛМ цей показник на більшій частині площі родовища становить від 2 до 3 м (і трохи більше). Три плями підвищеної потужності (3 м і більше) знаходяться в середній частині родовища і на захід-південно-захід від неї. А в північній частині площі прогнозується аномальне підвищення до 4 м і більше (рис. 6). Виявляється чітка кореляція зростання потужності зі зниженням рельєфу підшви «продуктивної товщі».

Структурні характеристики «продуктивної



Умовні позначення

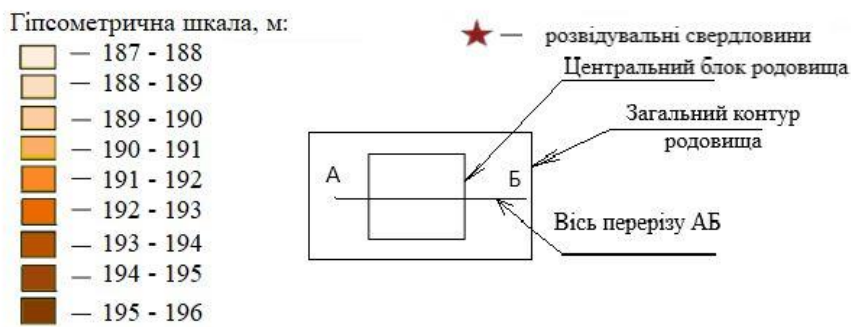
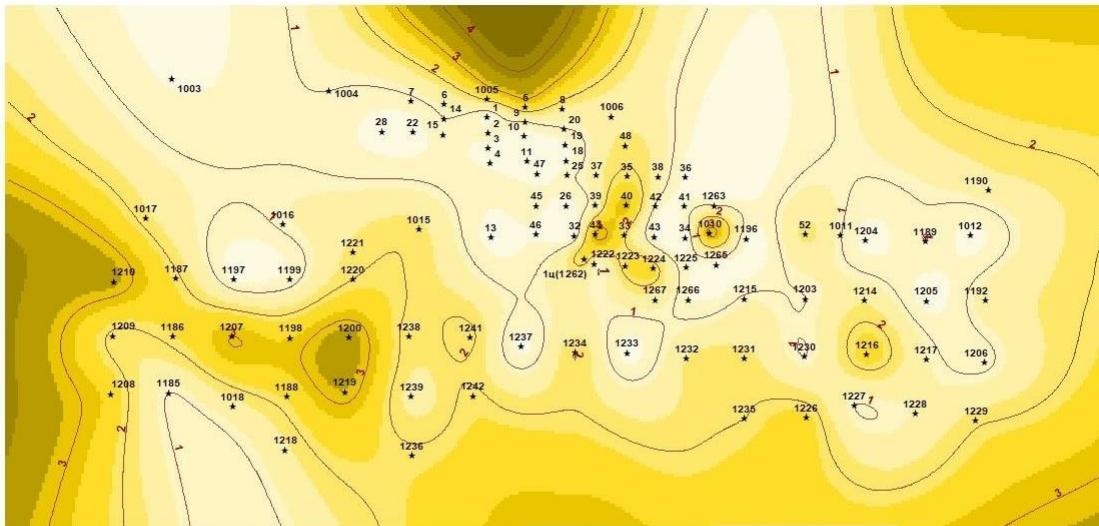


Рис. 5. Карта гіпсометрії покрівлі верств іноцерамових вапняків Копитківського родовища фосфоритів.
 Fig. 5. Map of hypsometry of the layers roof of the inoceram limestones of the Kopytkivsky phosphorite deposit



Умовні позначення

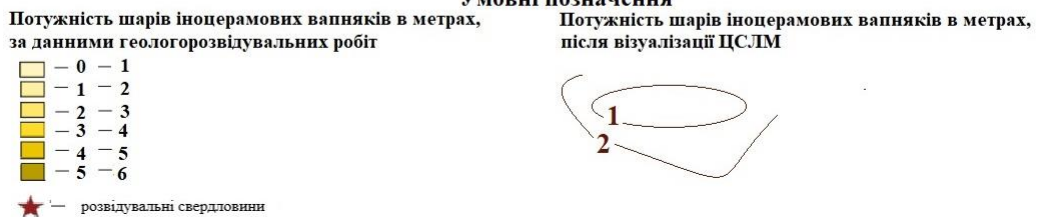


Рис. 6. Карта потужності продуктивної товщі Копитківського родовища фосфоритів.
 Fig. 6. Map of thickness of productive stratum of the Kopytkivsky phosphorite deposit

товщі» ілюструються двома найбільш інформативними похідними ЦСЛМ: профілем широтного напрямку (рис. 7) і блок-діаграмою центральної частини родовища (рис. 8).

Карта питомих запасів. Виділяються три групи градацій питомих запасів P_2O_5 ($кг/м^3$): біль-

ше 10, більше 15 і 15-30. Градація більше $10 кг/м^3$ займає значну площу в південно-східному секторі площі, а також утворює кілька незначних розрізаних плям ізометричної і неправильної конфігурації в центральній і східній частинах родовища. Градація більше $15 кг/м^3$ представлена двома пля-



Рис. 7. Вертикальний профіль широтного простягання через Копитківське родовище фосфоритів.
Fig. 7. Vertical profile of latitudinal extension through Kopytkivsky phosphorite deposit

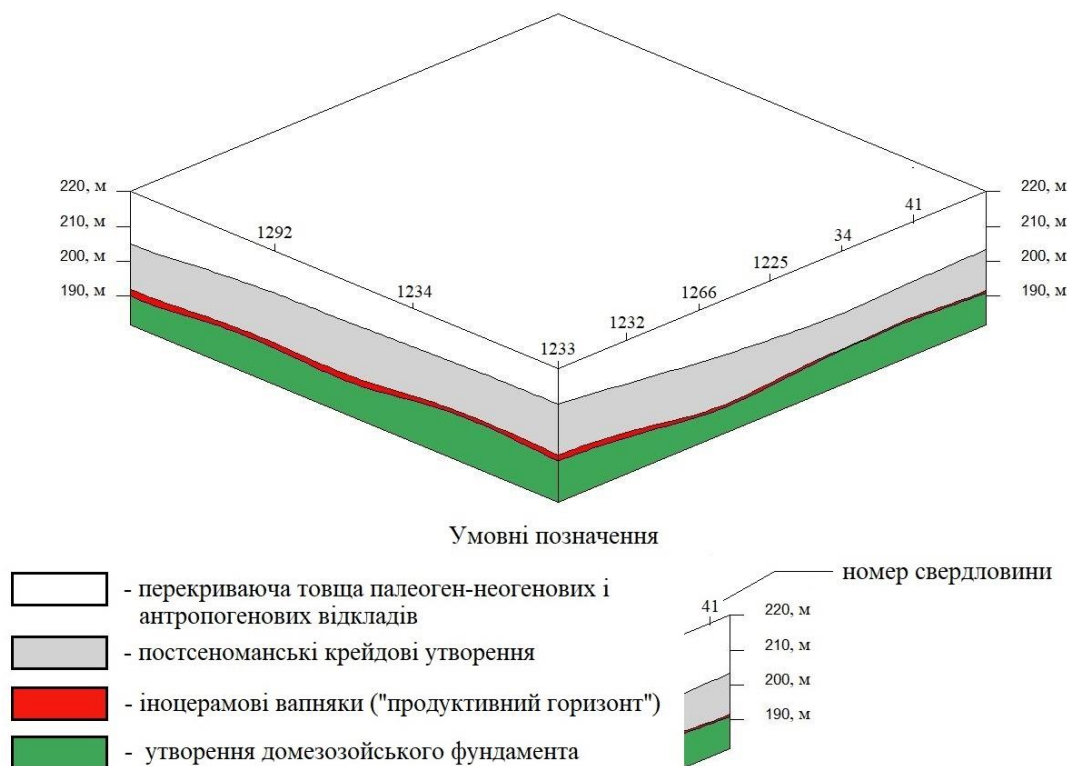


Рис. 8. Блок-діаграма центральної частини Копитківського родовища фосфоритів.
Fig. 8. Block diagram of the central part of the Kopytkivsky phosphorite deposit

мами невеликих розмірів в західному його секторі. Інтерес представляє прогнозована зона підвищених значень $15-30 кг/м^3$ в північному секторі, що виходить за межі території розвідувальних робіт.

Виявляється кореляційний зв'язок підвищених значень питомих запасів з певними структурними особливостями палеорельєфу: приуроченість до схилів локальних підняття, особливо – до ділянок підвищених градієнтів потужностей. Підтверджується зазначене за результатами геолого-

розвідувальних робіт тяжіння підвищених значень питомих запасів (і, мабуть, інтенсивного фосфатонакопичення) до гіпсометричних ізоліній 190 м (рис. 9).

Узагальнене трактування особливостей геологічної будови покладу. Побудована ЦСЛМ надає вичерпну характеристику основних структурних і літологічних параметрів Копитківського родовища в геоінформаційній системі. Отримані похідні моделі відображають просторову (площадну та гіпсометричну) конфігурацію покладів фо-

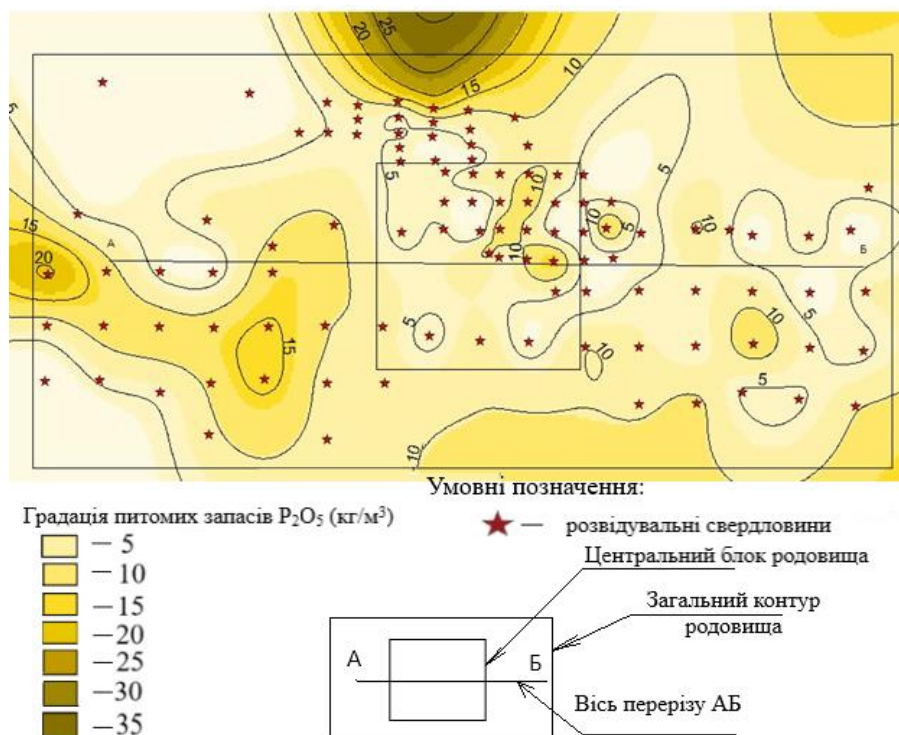


Рис. 9. Карта питомих запасів фосфоритів Копитківського родовища.

Fig. 9. Map of specific phosphorite reserves of Kopytkivsky deposit

сфоритів і розподіл питомих запасів P_2O_5 , а також приуроченість фосфоритоносності до певних гіпсометричних рівнів схилів локальних піднять.

Генетична інтерпретація, механізм фосфоритоутворення. На основі методологічних принципів формаційного аналізу і прийнятих нами підходів прогнозно-палеорекоструктивного ретроспективно-статичного моделювання [7, 26] об'єкта отримана геолого-генетична характеристика етапу формування шарів іноцерамових вапняків відповідно до зональних умов Здолбунівського-Тернопільської зони фосфоритоутворення і локальних умов Копитківського родовища.

В середньому сеномані після «постволодимирської» седиментаційної перерви в результаті наступного етапу трансресії Здолбунівського-Тернопільська зона фосфоритоутворення виявилася в межах шельфу західного схилу УЩ. (Тернопільський і Хмельницький СФР). Цей сектор шельфу знаходився в північній частині епіконтинентального морського басейну («Європейського моря»), волино-подільська частина якого була ідентифікована Ю.Н. Сеньковським як «затока-протока» [8, 12] (рис. 10).

За регіональними палеогеографічними побудовами (починаючи з фундаментального Атласу палеогеографічних карт 1960 року) і до більш пізніх [8, 12] і до сучасних [15] в межах цього сектора переважали два узагальнених літофаціальних комплекси – піщаний і піщанисто-вапняковий (з досить строкатими наборами підлеглих літофа-

цій). Взаємини цих літофацій в стратиграфічному інтервалі іноцерамових шарів ілюструється на прикладі площі Копитківського родовища (рис. 2). Наведена схема демонструє дві закономірності: міграції фацій і відповідних до них осадів (тобто літофацій): по площі (від субліторалі до літоралі і берегової лінії) і в часі (відображаючи послідовний розвиток трансресії з відповідними змінами речових типів накопичення осадів).

Механізм фосфоритоутворення. Як відомо, епохи фосфоритоутворення пов'язуються з етапами великих перебудов земної кори. Ці перебудови крім власне тектонічних процесів супроводжувалися зростанням вулканічної діяльності, зміною нахилу земної осі і, відповідно, зміною гідрохімічних, гідродинамічних та інших параметрів океанічних і морських басейнів. Із зазначеного слідує ряд наступних явищ: зміна вмісту вуглекислоти в атмосфері; зміна клімату; переорієнтування глобальних океанічних і морських течій і, відповідно, систем апвелінгів; поживлення процесів гіпергенезу, що істотно для хімізму внутрішніх морів, і ін. Крім того, змінюються якісний склад і обсяг біомаси, що також відбивається на процесі фосфатогенеза. Всі ці зміни глобального і підлеглих масштабів впливали в тій чи іншій мірі і на умови Здолбунівського-Тернопільській зони фосфоритоутворення.

В сеноманський час на шельфі епіконтинентального моря в межах західного схилу УЩ продовжувала діяти велика довгоживуча зона апвелі-



Рис. 10. Палеогеографічна карта пізньосеноманського віку території України (Dercourt J. et al., 2000) [23].

Fig. 10. Paleogeographic map of the Late Cenomanian age of the territory of Ukraine (Dercourt J. et al., 2000)

нгів [8, 9, 12]. У подільській частині того моря відбувалося спрямоване переміщення поверхневих вод в південно-західному напрямку, в сторону Карпатського геосинклінального басейну. Цей процес протікав за класичною схемою: підйом холодних вод на шельф Подільської затоки – привнос з ними елементів, що забезпечують сприятливе середовище для організмів (кремнію, фосфору, сполук азоту та ін.), – сприяв розвитку високої біопродуктивності. Під час переходу в осад значних обсягів біомаси попутно створювалися умови для фосфатонакопичення. Відзначається зональність накопичення осадів. Фосфатонакопичення пов'язано з істотно карбонатними осадами шельфу - піщаними мергелями і глинисто-карбонатними пісковиками, іноцерамовими вапняками, а також з кварцево-глауконітовими пісками і пісковиками.

Принципова схема фосфато- і фосфоритоутворення, розроблена на прикладі сучасного шельфу Гвінеї в наближенні застосовна до таких стародавнього фосфоритоутворення. Відповідно до неї слід додати, що для Здолбунівського-Тернопільської зони цілком аргументовано пропонується дія додаткового до апвелінгового, джерела надходження фосфору і принесення його річковими стоками.

На основі генетичного аналізу вищерозглянутої схеми розподілу літофацій можна намітити етапність еволюції осадконакопичення на площі Копитківського родовища. У розглянутому часо-

вому інтервалі встановлюються два етапи, що відрізняються за фаціальними умовами.

Перший етап характеризується переважанням фацій літоралі. Він охоплює дві стадії. Перша стадія – заповнення палеозападин передкрейдового ложа включає дві фази: 1 – початок трансгресії, локальне осадження псефітів (галечники, гравій з жовними фосфоритів); 2 – рання трансгресія, заповнення палеозападин, відкладення псамітів кварцевого і глауконіт-кварцевого складу з домішкою глинистого і карбонатного пелітового матеріалу. Друга стадія - стабільна трансгресія. Просторово розділяються дві фації псамітової седиментації: западини (піски глауконіт-фосфорит-кварцові) і підняття-схилів (піски іноцерамово-фосфоритово-кварцові). Найбільш інтенсивне фосфоритоутворення відбувалося на схилітих елементах рельєфу.

Другий етап – переважання фацій субліторалі, пов'язане з подальшим розвитком трансгресії. Площадне відкладення карбонатних осадків з піщаним і фосфатним матеріалом, з локальним розвитком лінзоподібних тіл істотного піщаного матеріалу з жовними фосфоритів (очевидно рецесії фацій літоралі в моменти короточасних регресій). Фосфатонакопичення відбувалося за двома генетичними (фаціальними) схемами: утворення жовнових фосфоритів в ході локальної (лінзи піщаного матеріалу) теригенної седиментації і збіднена садка фосфатної речовини при істотно

карбонатному осадконакопиченні. Переважанням другого типу накопичення осадів і визначається низька фосфоритиносність карбонатної товщі шарів іноцерамових вапняків.

Висновки. Звісно ж експериментальний зразок ЦСЛМ Копитківського родовища, розроблений на основі методичного принципу прогнозно-палеорекопструктивного ретроспективно-статистичного моделювання [7, 16], що забезпечує оптимальну адекватність моделі. Розроблена авторська модель являє багатостороннє відображення основних структурно-літологічних характеристик і функціональних властивостей даного об'єкта, як перспективного. Отримані похідні (візуалізації) ЦСЛМ відображають особливості просторової локалізації визначних функціональних (промислових) параметрів фосфоритиносної товщі - глибин, потужності і питомих запасів P_2O_5 . Продемонстровані великомасштабні похідні (карти, профілі, блок-діаграми) показують площадне розміщення локальних зон підвищених потужностей і питомих запасів корисного компонента, що представляє інтерес з точки зору варіанта геотехнологічної селективної розробки покладу. За модельними похідними прогнозується також зона

ще більш інтенсивної фосфоритиносності на північному фланзі родовища.

З огляду на стан розвіданості об'єкта (геолого-економічна оцінка на основі пошуково-розвідувальних робіт, незавершена розвідка для експлуатації першої черги), запропонована ЦСЛМ представляє лише попередній зразок, який призначається для інформаційного забезпечення детальної та експлуатаційної розвідки, з перспективою поточного розвитку моделі (як постійнодіючої) з поповненням новими даними в ході розвідувальних та експлуатаційних робіт. У числі наявних похідних є також карта гіпсометрії рівня ґрунтових вод, що представляє основу для гідрогеологічного моніторингу та розробки комплексної еколого-гірничо-геологічної моделі [29].

Особливо розглядається пізнавальний аспект виконаних досліджень, що полягає у висвітленні механізму фосфоритоутворення на схилах палеопідняття в межах Здолбунівського-Тернопільського сектора шельфу континентальної окраїни Мезотетису, що забезпечує також формулювання палеогеоморфологічного і палеогідрологічного критеріїв прогнозування нових родовищ принаймні зонального масштабу.

Список використаної літератури

1. Атлас «Геологія і корисні копалини України» / під ред. Л.С. Галецького. – ISBN966-02-2139-8. НАН України, Мінекології та природних ресурсів, ДФФД Міносвіти і науки, ТОВ УЦПТ «Геос-XXI сторіччя». Київ: – В: ДП «Такі Справи». – 2001. – 168 с.
2. Бакаєва, С.Г. Про стратиграфічне положення базального шару крейди [фосфоритиносна верства] Поділля за фауною черевоногих молюсків. [Текст] / С.Г. Бакаєва // Проблеми стратиграфії і кореляції фанерозойських відкладів України: Збірник наукових праць ІГН НАН України. – Київ. – 2011. – С. 54-55.
3. Брагин, Ю.Н. Зернисті фосфорити України. [Текст] / Ю.Н. Брагин. – Симферополь: ИПП «Таврія», 2000. – 134 с.
4. Гаврилишин, В.И. Стратиграфические подразделения меловых отложений платформенной части запада Украины [Текст] / В.И. Гаврилишин, С.И. Пастернак, С.В. Розумейко. // Препринт АН УССР // Ин-т геологии и геохимии горючих ископаемых – Львов. – №91– I. – 1991. – 52 с.
5. Геоінформаційна система «К-Міне». Науково-технічне підприємство Кривбасакадемінвест. – 40 с.
6. Грузман, Г.Г. О раннемеловом этапе формирования осадочного чехла в Западном Полесье Украины. [Текст] / Г.Г. Грузман, В.И. Гаврилишин // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1972. – № 9. – С. 116-122.
7. Лаверов, Н.П. Цифровое структурно-литологическое геолого-динамическое моделирование месторождений тяжелых минералов. [Текст] / Н.П. Лаверов, П.Ф. Гожик, Д.П. Хрущев, А.В. Лаломов, А.П. Лобасов, И.А. Чижова, М.С. Ковальчук, Е.А. Ремезова, Р.М. Чефранов, А.А. Бочнева, С.П. Василенко, Т.В. Сивальнева, Е.А. Кравченко, Ю.В. Крошко // Изд. Интерсервис, Киев – Москва. – 2014. – 242 с.
8. Лецих, Р. До питання про вік та умови утворення базальних верств крейди Волино-Поділля. [Текст] / Р. Лецих, І. Мар'яш, Я. Курена // Актуальні питання геологічних досліджень в Україні: Матеріали IV всеукр. наук. конф. Львів – 2013. – С. 11–15.
9. Лецих, Р.Й. *Hoplites Dentatus Sowerby* з базальних верств крейди Волино-Поділля. [Текст] / Р.Й. Лецих, І.М. Мар'яш // Викопна фауна і флора України. Палеоекологічний і стратиграфічний аспекти. – Київ. – 2009. – С. 134–138.
10. Мінеральні ресурси України. Державне науково-технічне підприємство “Державний інформаційний геологічний фонд України”. – 2018. – 270 с.
11. Сеньковський, Ю.Н. Фосфорити запада України. [Текст] / Ю.Н. Сеньковський, В.В. Глушко, А.Ю. Сеньковський – Київ: Наукова Думка, 1989. – 144 с.
12. Сеньковський, А.Ю. Електронно-мікроскопічне дослідження шельфов из фосфоритов мела Волино-Подолли и Предкарпатя. [Текст] / Ю.Н. Сеньковський. Геол. журнал. 1982. –Т.42. – №4 (205). – С.127-131.
13. Сеньковський, Ю.М. Головні фази фосфогенезу давніх океанічних басейнів. Розтоцько-Подільський сегмент Східноєвропейської платформи [Текст] / Сеньковський Ю., Палій В., Шехунова С. // Мат. між. наук. конф. "Сучасні проблеми літологіїосадочних басейнів України та суміжних територій". –Київ. – 2-14. – С. 80-81.

14. Стратиграфические схемы фанерозоя и докембрия Украины. УМСК Украины. Гос. комитет Украины по геологии и использованию недр. – Киев, – 1993. – 60 с.
15. Стратиграфія верхнього протерозою, палеозою та мезозою України. / Гол. ред П.Ф. Гожик. ІГН НАН України. // Логос, Київ, – 2013. – Т.1. – 637 с.
16. Хрущев, Д.П. Принципы разработки цифровых структурно-литологических моделей осадочных формационных подразделений. [Текст] / Д.П. Хрущев, А.П. Лобасов // Геол. журнал – 2006. – № 2-3. – С. 90-102.
17. Шевчук, О.А. Spore-pollen biostratigraphy Jurassic and Cretaceous of Ukraine. [Текст] / О.А. Шевчук // Палеонтологічний збірник. Львів. – 2018. – № 50. – С. 60-72.
18. Шевчук, О.А. Зональні шкали біостратиграфічних підрозділів середньої, верхньої юри та крейди України за диноцитами. [Текст] / О.А. Шевчук // Мат. ІХ Всеукраїнської наукової конференції “Проблеми геології фанерозою України”. Львів, – 2018. – С. 13-21.
19. Шевчук, О.А. Нові дані до Зональної шкали біостратиграфічних підрозділів альбу – кампану західних регіонів платформної України. [Текст] / О.А. Шевчук // Матеріали сесії Палеонтологічного товариства НАН України. Київ, –2016. – С. 55-57.
20. Шевчук, О.А. Стратиграфія середньої юри – крейди України за мікрофосиліями: Авторефер... дисертації на здобуття наукового ступеня доктора геологічних наук. [Текст] / О.А. Шевчук // Інститут геологічних наук НАН України. – Київ. – 2020. – 44 с.
21. Шехунова, С.Б. Фосфорити як агрохімічна сировина: Мінералогічні та радіогеохімічні особливості фосфоритів вітчизняних родовищ. [Текст] / С.Б. Шехунова, С.М. Стадніченко, В.В. Гудзенко, В.Ю. Черненко, О.Е. Чигиринець, І.М. Астрелін, В.В. Пермяков // Збірник наукових праць ІГН НАН України. –2020. Том 13. – С. 14-28. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2020.220142>
22. Шехунова, С.Б. Наноструктури вендських та альб-сеноманських фосфоритів Придністров'я. [Текст] / С.Б. Шехунова, С.М. Стадніченко, В.М. Палій, В.В. Пермяков // Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України. – 2016. – Том. 9. – С. 190-201.
23. Atlas of Peri-Tethys Palaeogeographical Maps – digital. 24 maps each with individual legend. Explanatory notes, S. Crasquin, Coordinator Editors: J. Dercourt, M. Gaetani, B. Vrielynck, E. Barrier, B. Biju-Duval, M.F. Brunet, J.P. Cadet, S. Crasquin and M. Sandulescu. Paris. – 2000. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521095>.
24. IGCP Project №156 «Pcosphorites». Geological correlation №11, May 1983, Paris, – P. 29-30.
25. Ivanik, O. Lithological and stratigraphic criteria for the development of geohazards within the Dniester river basin. [Text] / O. Ivanik, O. Shevchuk, S. Vasylenko // XV International Scientific Conference "Monitoring of geological processes and ecological condition of the environment". – Institute of Geology of Taras Shevchenko National University of Kyiv. – 2021. – Mon-21-106. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2106>
26. Khrushchov, D.P. Theoretic basis of information support for R&D on geological environment management. [Text] / D.P. Khrushchov, O.O. Remezova, O.T. Azimov, V.V. Dolin, O.L. Shevchenko, S.P. Vasylenko // European Association of Geoscientists & Engineers // Conference Proceedings. Geoinformatics. – 2021. – P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521095>.
27. Komliev, O. The use of data on the material composition of sediments during forecasting works of titanium root and placer deposits. [Text] / O. Komliev, S. Bortnyk, O. Remezova, R. Spysia, S. Vasylenko, S. Zhylkin, // European Association of Geoscientists & Engineers: Conference Proceedings, Geoinformatics. 2021. – P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521163>
28. Remezova, O. Elaboration of geological and technological models for rational development of titanium deposits. / Modernization and engineering development of resource-saving technologies in mineral mining and processing. [Text] / O. Remezova, S. Vasylenko, T. Okholina, O. Yaremenko // Multi-authored monograph. – Petroșani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2019. – 476 p. <http://lib.ktu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/10/Monograph-7.pdf>
29. Remezova, O.O. Innovative approaches to information modeling of placer deposits. [Text] / O.O. Remezova, D.P. Khrushchov, S.P. Vasylenko, O.V. Yaremenko // European Association of Geoscientists & Engineers. Geoinformatics. – 2021 – P. 1 – 6. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521100>
30. Shekhunova, S. Phosphorite and glauconite-bearing sediments as an agricultural raw materials (central and western Ukrainian provinces objects as an example). [Text] / S. Shekhunova, S. Stadnichenko, N. Siumar, A. Baran, V. Permyakov, M. Aleksieienkova – Technical Report. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5745115>

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Digital structural-lithological model and geological-genetic characteristics of Kopytkovsky phosphorite deposit

Dmytro Khrushchov¹,

DSc (Geology and Mineralogy), Professor,
¹Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine,
55b O. Gonchara St., Kyiv, 01601, Ukraine;

Olena Remezova¹,

DSc (Geology), Senior Researcher, Head of the Department of Geology of Mineral Resources

Svitlana Vasylenko¹,

PhD (Geology), Senior Researcher,

Olena Shevchuk¹,

DSc (Geology), Leading Researcher,

Acting Head of the Department of Stratigraphy and Paleontology of Mesozoic Sediments,

Olga Yaremenko²,

PhD (Geology), Senior Lecturer, Department of Bioresources, Aquaculture and Natural Sciences,

²Polisy National University, 7, Staryi Blvd, Zhytomyr, 10002, Ukraine

ABSTRACT

Introduction. The relevance of this publication is associated with the problem of foundation and developing a raw material base of phosphate raw material in accordance with the demand of the national agro-industrial complex.

The purpose of the publication is to develop a preliminary digital structural-lithological model (DSLМ) of the Kopytkovsky deposit, as a tool for information support of its development, as well as geological and genetic characteristics of the object as a basis for specifying the criteria for predicting deposits of this type.

This goal covers the following tasks: - presentation of methodology and research methods; - presentation of the database; - demonstration of derivatives of the created digital structural-lithological model (DSLМ) and their interpretation; - representation of functional and cognitive characteristics of the object (Kopytkovsky phosphorite deposit).

Materials and Methodology. The studies are based on two methodological principles: traditional lithological, paleo-facial, paleogeographic studies and the author's development - digital structural and lithological modeling, dialectically combined in the form of a single predictive-paleoreconstructive retrospective-static model.

Main Results. Kopytkovsky deposit belongs to the Zdolbunovskiy district of the Zdolbunovskiy-Ternopil zone of the Volyn-Podolsk Cretaceous basin of the phosphorite-bearing province of the East European platform. The indicated zone refers to the Volyno-Podillya plate, i.e the western slope of the Ukrainian shield. In the area of the Kopytkovsky deposit, layers of inoceramic limestones represent the lower stratigraphic subdivision of the Cretaceous system, lying directly on the pre-Mesozoic basement. The DSLМ of the Kopytkovsky field has been developed, intended for information support for further work on its development (detailed exploration and operation). The DSLМ database is represented by a description of 567 geological exploration wells.

Conclusions. Based on the constructed DSLМ, a number of derivatives (including visualizations) were obtained that reflect the structural and material - industrial characteristics of the field - a number of maps, profiles, as well as a block diagram of the central part of the field. The description of the most informative visualizations are given: Map of the hypsometry of the bottom of the "productive horizon", Map of the hypsometry of the roof of the "productive horizon", Map of specific reserves and others. The model derivatives reflect the spatial (areal and hypsometric) configuration of phosphorites ore bodies and the distribution of specific reserves of P₂O₅. Based on the methodological principles of formation analysis and the methodological approaches adopted by us for predictive-paleoreconstructive retrospective-static modeling of the object, a geological and genetic characteristic of the stage of formation of layers of inoceramic limestones has been obtained. The mechanism of phosphorite formation is considered. The presented DSLМ is intended for information support of detailed and operational exploration, with the prospect of the current development of the model (as a permanent one) with the addition of new data during exploration and operational work.

Keywords: Digital structural and lithological model, Kopytkovsky deposit, phosphorites, phosphate accumulation, retrospective static modeling, Ukrainian shield.

References

1. Galetsky, L.S. (Eds.) (2001). Atlas "Geology and Mineral Deposits of Ukraine". SE "Such Cases". Kyiv, 168. [in Ukrainian].
2. Bakaeva, S.G. (2011). About the stratigraphic position of the basal layer of the Cretaceous [phosphorite-bearing layer] Podillya on the gastropods fauna. Problems of stratigraphy and correlation of Phanerozoic sediments of Ukraine: Collection of scientific works of the Institute of Natural Sciences of Ukraine. Kyiv, 54-55. [in Ukrainian].
3. Bragin, Yu.N. (2000). Granular phosphorites of Ukraine. Simferopol: IPP "Tavria", 134. [in Russian].
4. Gavrilishin, V.I., Pasternak, S.I., Rozumeiko, S.V. (1991). Stratigraphic subdivisions of Cretaceous deposits of the platform part of the west of Ukraine. Preprint of the USSR Academy of Sciences. Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals. Lviv, 91 – I, 52. [in Russian].
5. Geo-information system "K-Mine". Scientific and Technical Enterprise Kryvbasakademinvest. 40. [in Ukrainian].
6. Gruzman, G.G., Gavrilishin, V.I. (1972). About the early Cretaceous stage of formation of a sedimentary cover in the Western Polesie of Ukraine. Izv. USSR Academy of Sciences. Ser. geol. 9. 116-122. [in Russian].
7. Laverov, N.P., Gozhik, P.F., Khrushchey, D.P., Lalomov, A.V., Lobasov, A.P., Chizhova, I.A., Kovalchuk, M.S., Remezova, E.A., Chefranov, R.M., Bochneva, A.A., Vasilenko, S.P., and others. (2014). Digital structural-lithological geological-dynamic modeling of heavy mineral deposits. Ed. Interservic., Kyiv - Moscow, 242. [in Russian].

8. Leschukh, R., Maryash, I., Kurepa, J. (2013). On the question of age and conditions of formation of basal layers of the Volyn-Podillya Cretaceous. Current issues of geological research in Ukraine: Materials IV All-Ukrainian. Science. conf. Lviv, 11–15. [in Ukrainian].
9. Leschukh, R.Y., Maryash, I.M. (2009). *Hoplites Dentatus* Sowerby from the basal layers of the Volyn-Podillya Cretaceous. Fossil fauna and flora of Ukraine [paleoecological and stratigraphic aspects]. Kyiv, 134–138. [in Ukrainian].
10. Mineral resources of Ukraine. (2018). State Scientific and Technical Enterprise "State Information Geological Fund of Ukraine". 270. [in Ukrainian].
11. Senkovsky, Yu.N., Glushko, V.V., Senkovsky, A.Yu. (1989). Phosphorites of western Ukraine. *Naukova Dumka*. Kyiv, 144. [in Russian].
12. Senkovsky, A.Yu. (1982). Electron microscopic study of shelf phosphates of Volyno-Podolia and Precarpathia. *Geol. magazine*. 42. 4 (205). 127-131. [in Russian].
13. Senkovsky, Y.M., Paliy, V.M., Shekhunova, C.B., The main phases of phosphogenesis of ancient ocean basins. Roztocko-Podilsky segment of the Eastern European platform. *Mate. between. Science. conf. "Modern problems of lithology of sedimentary basins of Ukraine and adjacent territories"*. Kyiv, 2-14. 80-81. [in Ukrainian].
14. Stratigraphic schemes of the Phanerozoic and Precambrian of Ukraine. (1993). UMSK of Ukraine. Gos. Committee of Ukraine on Geology and Subsoil Use. Kyiv, 60. [in Russian].
15. 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. IGN NAS of Ukraine. Kyiv. Logos, 637. [In Ukrainian].
16. Khrushchov, D.P., Lobasov, A.P. (2006). Principles of development of digital structural and lithological models of sedimentary formation units. *Geol. Journal*. Kyiv, 2-3. 90-102. [in Russian].
17. Shevchuk, O.A. (2018). Spore-pollen biostratigraphy Jurassic and Cretaceous of Ukraine. *Paleontological collection*. Lviv, 50. 60-72. [in English].
18. Shevchuk, O.A. (2018). Zonal scales of biostratigraphic subdivisions of the Middle, Upper Jurassic and Cretaceous of Ukraine by dinocysts. *Mat. IX All-Ukrainian Scientific Conference "Problems of Phanerozoic Geology of Ukraine"*. Lviv, 13-21. [in Ukrainian].
19. Shevchuk, O.A. (2016). New data to the Zonal scale of biostratigraphic subdivisions of the Albian - Campanian of the western regions of platform Ukraine. *Proceedings of the session of the Paleontological Society of the National Academy of Sciences of Ukraine*. Kyiv, 55-57. [in Ukrainian].
20. 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].
21. Shekhunova, S.B., Stadnichenko, S.M., Gudzenko, V.V., Chernenko, V.Yu., Chigirinets, O.E., Astrelin, I.M., Permyakov, V.V. (2020). Phosphorites as agrochemical raw materials: Mineralogical and radiogeochemical features of phosphorites of domestic deposits. *Collection of scientific works of IGN NAN Ukraine*. Kyiv, 13, 14-28. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2020.220142> [in Ukrainian].
22. Shekhunova, S.B., Stadnichenko, S.M., Paliy, V.M., Permyakov, V.V. (2016). Nanostructures of Alb-Cenomanian phosphorites of Transnistria. *Proceedings of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine*. Kyiv, 9. 190-201. [in Ukrainian].
23. Atlas of Peri-Tethys Palaeogeographical Maps – digital. (2000). Crasquin, S. (Explanatory notes), J. Dercourt, M. Gaetani, Vrielynck B., Barrier, E., Biju-Duval, B., Brunet, M. F., Cadet J.P., Crasquin S., Sandulescu M. (Editors) 24 maps each with individual legend. Paris. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521095>
24. IGCP Project #156 (1983). «Phosphorites». *Geological correlation №11*. Paris, 29-30.
25. Ivanik, O., Shevchuk, O., Vasylenko, S. (2021). Lithological and stratigraphic criteria for the development of geohazards within the Dniester river basin. XV International Scientific Conference "Monitoring of geological processes and ecological condition of the environment". Institute of Geology of Taras Shevchenko National University of Kyiv. 2021. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2106>
26. Khrushchov, D.P., Remezova, O.O., Azimov, O.T., Dolin, V.V., Shevchenko, O.L., Vasylenko, S.P. (2021). Theoretic basis of information support for R&D on geological environment management. *European Association of Geoscientists & Engineers. Conference Proceedings. Geoinformatics*. Kyiv, 2021, 1-6. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521095>
27. Komliev, O., Bortnyk, S., Remezova, O., Spytzia, R., Vasylenko, S., Zhylkin, S. (2021). The use of data on the material composition of sediments during fore casting work softitaniumroot and placer deposits. *European Association of Geoscientists & Engineers: Conference Proceedings, Geoinformatics*. Kyiv, 1-6. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521163>
28. Remezova, O.O., Vasylenko, S.P., Okholina, T.V., Yaremenko, O.V. (2019). Elaboration of geological and technological models for rational development of titanium deposits. *Modernization and engineering development of resource-saving technologies in mineral mining and processing. Multi-authored monograph*. UNIVERSITAS Publishing. Romania, 476. <http://lib.ktu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/10/Monograph-7.pdf>
29. Remezova, O.O., Khrushchov, D.P., Vasylenko, S.P. and Yaremenko, O.V. Innovative approaches to information modeling of placer deposits. / *European Association of Geoscientists & Engineers. Geoinformatics*. – 2021, P. 1 – 6. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521100>
30. Shekhunova, S., Stadnichenko, S., Siumar, N., Baran, A., Permyakov, V., Aleksieienkova, M. Phosphorite and glauconite-bearing sediments as an agricultural raw materials (central and western Ukrainian provinces objects as an example). *Technical Report*. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5745115>

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 17 February 2022

Accepted 23 March 2022

Геохімічні особливості накопичення і міграції важких металів у торфах Львівської області

Мирослава Богданівна Яковенко¹,

к. геол. н., ст. дослідник, учений секретар, ¹Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, вул. Наукова, 3-а, м. Львів, 79060, Україна,
e-mail: myroslavakoshil@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-8967-0489>;

Юрій Володимирович Хоха¹,

д. геол. н., ст. дослідник, ст. наук. співробітник,
e-mail: khoha_yury@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8997-9766>;

Олександр Володимирович Любчак¹,

к. геол. н., ст. дослідник, ст. наук. співробітник,
e-mail: lubchak1973@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-0700-6929>

У статті подано розширену геохімічну характеристику торфів Львівської області, визначено їхній типовий мікроелементний склад та геохімічну спеціалізацію, встановлено регіональні закономірності розподілу і накопичення хімічних елементів, компонентів та геолого-геохімічних і геотехнологічних показників за допомогою комплексного підходу з застосуванням методів математико-статистичного аналізу, а також досліджено фактори, які контролюють вміст, розподіл і генезис мікроелементів у торфовищах Львівської області. Представлені результати аналізу розподілу хімічних елементів, мікроелементів компонентів та геолого-геохімічних показників в торфах Львівської області. Зола 248 проб торфу, відібраних на глибинах 0,1-7 м на 110 представницьких для Львівської області ділянках, які виділені як самостійні торфові родовища, проаналізовані спектральним напівкількісним аналізом на вміст 21 хімічного елементу (Be, P, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Sr, Y, Zr, Mo, Ag, Sn, Ba, Yb, Pb), а також інші геохімічні характеристики торфу (рН, зольність, вологість, ступінь розкладу, вмісти гумусу, СаО, Р₂О₅, К₂О, азоту гідролізованого, азоту аміачного). Комплексний підхід у вивченні геохімічних характеристик торфів дозволив виявити просторові геохімічні особливості торфів низинного типу території Львівської області, визначити їхній типовий мікрокомпонентний склад, встановити регіональні закономірності їхньої розподілу і накопичення (зміни) – значну нерівномірність концентрації мікроелементів за площею поширення, високі показники вмісту молибдену, ітербію, стронцію, кобальту, срібла, барію, берилію та свинцю відносно кларків літосфери, ґрунтів, золи рослин. За результатами кореляційного, факторного і кластерного аналізів можна виділити наступні типоморфні геохімічні асоціації торфів Львівської області: Ti-Ga-Cu-Y-Pb-Sc-V-Yb-Be яка пов'язана з особливостями природних ґрунтоутворювальних процесів геохімічних ландшафтів; Ni-Mo-Zn є, можливо, техногенного походження і пов'язана з накопиченням важких металів у ґрунтах внаслідок розробки родовищ корисних копалин. Аналіз просторового розподілу розподіл і математична обробка результатів аналізів, геохімічних ознак, параметрів, вмістів компонентів і мікрокомпонентів, а також складу та наведених варимакс-факторних ознак і інших описаних вище інтегральних і монокомпонентних параметрів торфів на досліджуваній території вказує на їхній задовільний стан, з чого можна зробити висновок про відсутність регіонального забруднення торфів Львівської області важкими металами (крім Мо) або про зовсім незначний регіональний вплив такого забруднення.

Ключові слова: торф, Львівський регіон, мікроелементний склад, концентрація, кларк концентрації, накопичення.

Як цитувати: Яковенко М. Б. Геохімічні особливості накопичення і міграції важких металів у торфах Львівської області / М. Б. Яковенко, Ю. В. Хоха, О. В. Любчак // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 56. – С. 105-121. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-07>

In cites: Yakovenko M. B., Khokha Yu. V., Lyubchak O. V. (2022). Geochemical features of the accumulation and migration of heavy metals in the peats of the Lviv region. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (56), 105-121. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-07> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. Торфовища є частиною біосфери Землі, які займають приблизно 3% від загальної площі суші. Таким чином, роль, яку вони відіграють у геохімічних циклах макро- і мікроелементів, є важливою в глобальному масштабі. У той час як біогеохімічні процеси на торфовищах у Скандинавії, країнах Балтійського регіону та США інтенсивно вивчаються (наприклад [1-3]), про геохімію торфовищ середніх широт відомо набагато менше.

Більшу частину матеріалу торфовищ складає торф, який з геологічної точки зору являє собою породу-біоліт, складену з рослинних залишків на ранніх стадіях діагенезу, які розпочинають

складний шлях вуглефікації. Торф – складна полідисперсна багатоконпонентна система, яка складена з п'яти основних груп органічних сполук: білків, ліпідів, вуглеводнів, пігментів та лігніну. Кожна з груп у свій спосіб впливає на геохімічні особливості торфу, оскільки володіє різними кислотно-основними властивостями, редокс-потенціалом та здатністю до утворення слабких та сильних зв'язків з катіонами та аніонами. Втім, властивості торфу переважно регулюються гуміновими кислотами, які ми розглядаємо як протоке-роген [4].

Фізичні властивості торфу залежать не тільки від властивостей окремих компонентів, але

й від співвідношень між ними, ступеня розкладання або дисперсності твердої частини, що оцінюється питомою поверхнею. Хімічний склад визначається головно умовами генезису на глибших стадіях вуглефікації та складом рослин-торфоутворювачів.

Практично весь торф, що видобувається, використовують як паливо та покращувач якості ґрунту (добрива). Крім того, у малих масштабах торф є сировиною для одержання різних видів продукції та речовин для потреб хімічної промисловості, сільського господарства, енергетики, медицини, будівництва. Для цього проводиться вилучення солей гумінових кислот (гуматів) переважно методом вилуговування.

Дослідження спрямовані на вивчення та інтерпретацію геохімічних та геотехнологічних особливостей, компонентного складу, вмісту макро- та мікроелементів в торфі мають як загальнонауковий фундаментальний характер, так і прикладний, і можуть використовуватися для різних цілей, зокрема: якісної оцінки торфу, визначення можливості його подальшого використання в тій чи іншій галузях, прогнозу його експлуатаційної, технологічної та енергетичної цінності, а також для вирішення питань щодо генезису торфових родовищ та перспектив їхнього освоєння. Якість торфу та спектр його застосувань крім технологічних характеристик, таких як зольність, ступінь розкладання та вміст гумінових речовин, залежить і від концентрації мікроелементів, присутніх у торфі.

Торфовища можна розглядати як індикатори та осередки забруднення металами завдяки високій адсорбційній ємності по відношенню до металів, а також підвищеній розчинності багатьох перехідних металів (марганцю, міді, цинку, заліза, нікелю, кобальту) у відновній обстановці та їхній здатності створювати з органічною речовиною рухомі форми сполук. Торф, завдяки здатності адсорбувати та утримувати протягом часу свого формування іони важких металів, є чудовим індикатором їхнього розповсюдження та накопичення, особливо на техногенно навантажених територіях. Води, які циркулюють по масиву торф'яного родовища, приносять левову частку розчинених солей важких металів. Незначна їхня частина надходить разом із неорганічною складовою торфів, втім, органічна частина насичується саме з водних джерел.

Торф – досить активний природний сорбент завдяки своєму складу, структурі та властивостям, зокрема великій кількості ароматичних гідроксильних (які володіють кислотними характеристиками) та карбоксильних функціональних груп. Він за певних умов може зв'язувати та накопичувати в собі значні кількості мікроелементів,

що входять до залишків живої органічної речовини, як у вигляді осадових, відкладених, твердих частинок, так і у вигляді сорбованих або комплексуювальних іонів металів, у тому числі важких, токсичних і радіоактивних (в окремих випадках їхній вміст може сягати промислових значень). Аналіз вмісту окремих мікроелементів торфів, пов'язаних із техногенним навантаженням, можуть надати відомості щодо змін екологічної ситуації у часі формування покладу. Деякі елементи мають високу вартість та затребуваність промисловістю, і торф може бути потенційним джерелом для їх вилучення після його використання (наприклад із золи або димів при спалюванні).

Хімічні елементи торфів мають як природні, так і антропогенні джерела походження. Основними природними джерелами металів, що накопичуються в торфовищах можуть бути атмосферні опади, рослини, ґрунтові води.

Вміст металів в торфах залежить від багатьох локальних факторів конкретного місця, таких як клімат, вологість місцевості, геоморфологічні, умови та рельєф, поверхневий стік і підземні води, вплив гідрологічних і біогеохімічних процесів, що відбуваються на даній і прилеглих територіях, диференціація хімічних елементів в процесі міграції, різноманітність рослин-торфоутворювачів, тваринний світ. Здатність торфу накопичувати сліди металів залежить від спорідненості іонів металів до зв'язування з загальними функціональними групами в структурі торфу, яка зображається в послідовності $Hg > Cu > Pb > Ni > Zn > Co > Cd > Mn$ [5].

Антропогенний чинник, який особливо відчутний в регіонах з насиченою промисловою інфраструктурою, відбивається в матеріалі торф'яних відкладів, які накопичувалися протягом неогену і продовжують відкладатися і зараз, фіксуючи зміни, що відбуваються в навколишньому середовищі. Торф може служити хорошим індикатором як недавніх, так і історично змінених антропогенних навантажень. В той самий час накопичення металів у торфі має ярко виражений регіональний характер, тому важливим є регіональний аналіз мікроелементів з урахуванням їх віддаленості від джерела забруднення [6].

Торфовища накопичують різні хімічні елементи і відображають типовий елементний склад навколишнього середовища [7, 8].

Отже, дослідження геохімічних та геотехнологічних особливостей торфів мають важливе значення у розв'язанні проблем енергетики, сільського господарства, екології, хімічної промисловості та медицини.

Історія досліджень.

В науковій літературі наявні публікації, що присвячені геохімічним дослідженням торфів та

накопиченню мікроелементів в них. Це, як правило, торфовища Європи - Латвії, Естонії, Білорусії, Норвегії, Бельгії та ін.

Що стосується досліджень торфів і торфовищ території західних областей України, то публікації в основному присвячені сучасному стану, перспективам і проблемам їх раціонального використання та охорони [9-11]. Крім того наявний масив даних технічного характеру, який докладно описує способи переробки торфу. Розподіл елементів (у тому числі важких металів) жодним чином не розглядається в цих роботах.

Геохімічні дослідження торфових родовищ території західного регіону України, Львівської області, та їхнього мікрокомпонентного складу, в науковій літературі висвітлені вкрай епізодично та поверхнево [12-14].

Іванців О. Е. та Уженков Г.А. [12] досліджували фізико-хімічні особливості, ботанічний склад та якісні характеристики золи торфів окремих родовищ Прикарпаття (Івано-Франківська та Львівська області) з метою встановлення перспектив їх використання в народному господарстві. Зокрема, спектральними аналізами визначили підвищені вмісти Sr, Ba, Cu, Zn, Mn, вивчили ботанічний склад диференціально-термічним аналізом та радіологічні властивості торфів (природну β-активність).

В роботах [13,14] автори розглянули питання валового хімічного складу (показники конституційної води, втрати при прожарюванні, вміст мінеральних речовин – вуглецю та азоту органічних сполук, вміст загального азоту, вміст діоксиду вуглецю, карбонатів та хімічних компонентів мінеральної частини, до складу якої входять оксиди Si, Fe, Al, Mn, Ti, Ca, Mg, K, Na, P та S) і мінералогічного складу мінеральної частини (рентгендифрактометричний аналіз) торфових ґрунтів та торфових горизонтів Малого Полісся на прикладі окремих масивів (модальних ділянок) двох районів (Буський та Жовківський) Львівської області. В публікаціях [13,14] розраховані також молярні відношення різних оксидів з метою виявлення неоднорідності хімічного складу мінеральної частини і диференціації профілю торфових ґрунтів Малого Полісся.

Вивченням торфовищ заходу України, їхнього компонентного складу займалися переважно ще в 60–70-х роках ХХ ст. під час експедиційних геологорозвідувальних робіт, спрямованих на оцінку потенціалу регіонів до вироблення власних торф'яних добрив або палива. Роботи проводились переважно трестом «Північукргеологія», який станом на 2022 рік припинив свою діяльність.

Мета роботи: дослідити геохімічні особливості торфів Львівської області; з'ясувати їхні

основні властивості, їхній типовий мікроелементний склад, геохімічні характеристики та спеціалізацію; встановити регіональні закономірності розподілу і накопичення хімічних елементів, компонентів та геолого-геохімічних і геотехнологічних показників у торфах Львівської області, а також просторових змін по площі поширення торфовищ за допомогою комплексного підходу з застосуванням методів математико-статистичного аналізу, а також дослідити фактори, які контролюють вміст, розподіл і генезис мікроелементів у торфовищах Львівської області.

Об'єкт, предмет, фактичний матеріал та методи досліджень.

Об'єкт досліджень - торф'яна маса та її зола з торфовищ Львівської області і ділянок, які виділені як самостійні низинні торфові родовища.

Предмет досліджень – геохімічні особливості торфів Львівської області, регіональні закономірності розподілу і накопичення хімічних елементів, компонентів та геолого-геохімічних показників у торфах.

В основу проведених досліджень покладено результати спектрального напівкількісного аналізу 248 проб золи торфу, відібраних на глибинах 0,1-7 м на 110 представницьких для Львівської області ділянках, які виділені як самостійні торфові родовища. Аналізи виконані різними лабораторіями: агрохімлабораторія Львівської міжобласної інспекції "Укрінсторфбуріння", лабораторією ґрунтів відділу географії і меліорації Львівського державного університету імені Ів. Франка, Львівської геологічної експедиції (Галенко В.Г. та ін.) на вміст 21 хімічного елементу (Be, P, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Sr, Y, Zr, Mo, Ag, Sn, Ba, Yb, Pb), CaO, P₂O₅, K₂O, азоту гідроліз., азоту аміачн. та геохімічних показників (рН, зольність, вологість, ступінь розкладу, вміст гумусу). В золі торфів не виявлені такі елементи як Hg, Cd, As, Tl, з огляду на необхідність використання гідридної приставки для їхнього виявлення і квантифікації. Для багатошарових родовищ торфу обчислено середньозважені значення вмісту елементів, які згодом використано для аналізу, інтерпретації результатів та побудов.

Обробка та інтерпретація основних геохімічних показників та даних за результатами спектрального напівкількісного аналізу проводились з використанням програм MS Excel, STATISTICA: створення комп'ютерної бази даних, статистична обробка геохімічних даних методами математичної статистики – розрахунок основних статистичних характеристик розподілів вмістів хімічних елементів (середнє, мінімальне, максимальне та модальне значення, медіана, дисперсія, коефіцієнт варіації та ін.); побудова лінійних геохімічних спектрів; розрахунок та аналіз кореляційних

матриць та коефіцієнтів кореляції з метою виявлення парагенетичних асоціацій елементів; ранжування величин кореляційних зв'язків; виділення типоморфних геохімічних асоціацій мікроелементів для торфів досліджуваного регіону за допомогою кластерного та факторного аналізів, а також їх рівень накопичення і ступінь неоднорідності розподілу.

Результати. Територія Львівської області, яка геоморфологічно знаходиться переважно на Волино-Подільській височині і характеризується (у контексті розгляду торфоутворення) відносно глибоким врізанням рік та струмків, що розділяють поверхню на пласкі субмеридіанальні вододіли (крім території Малеого Полісся), попадає в межі трьох торф'яних областей [15-17]: Малополюської (північно-західна частина Львівщини), Лісостепової - Волинської (західна частина Червоноградського району Львівської обл.) і Подільської (центральна частина Львівської обл.) райони і Карпатської - Передкарпатський і Карпатський райони (південна частина Львівської обл.) (рис. 1).

Більшість торфовищ Львівської області (99,9 %) низинного типу, як за рослинністю, так і за типом покладу, з них до долин і заплав річок та струмків належать 95 % усіх родовищ. Великі родовища локалізовані в основному в області Малеого Полісся, заторфованість якого майже удвічі більша за заторфованість всієї області та становить 4,4 % [18].

Загальні закономірності розподілу хімічних елементів, компонентів та геолого-геохімічних показників у досліджених торфах Львівської області, які ілюструють статистичні характеристики їхнього розподілу - середнє, мінімальне, максимальне та модальне значення, медіана, дисперсія, коефіцієнт варіації та ін., свідчать про значну їх варіабельність та нерівномірність їх концентрації (табл. 1, рис. 2).

Аналіз вмісту мікроелементів у торфах Львівської області показав значну нерівномірність їхньої концентрації за площею поширення [19, 20].

Більшість хімічних елементів у досліджених торфах характеризуються неоднорідним розподілом, високою дисперсією та великою варіабельністю - Ba, Be, V, Y, Yb, Cu, Ni, Sn, Sc, Sr, Pb, Cr, Zn, Zr, Mn, Ti (Коеф. варіації 55 - 150 %); найбільш нерівномірно розподілені Mo, Co, Ga, P і Ag (Коеф. варіації 165-345 %), що говорить про різкі відмінності в умовах їхнього надходження до торф'яного покладу, накопичення рослинами і закріплення на торф'яному біогеохімічному бар'єрі та пов'язано з дією багатьох чинників, основними з яких, очевидно, є диференціація хімічних елементів в процесі міграції, вплив гідрологічних і біогеохімічних процесів, що відбуваються на

даній і прилеглих територіях, різноманітність рослин-торфоутворювачів.

Майже усі мікроелементи (Ba, Be, Sr, P, Zr, Y, Cu, Zn, Sn, Pb, Ti, Ag, Ga, Co, Mo, Ni, Mn, V, Sc, Cr) в досліджуваних торфах мають одномодальний розподіл, що свідчить про їх одностадійне утворення і знаходження в даному об'єкті у вигляді однієї форми (логнормальний закон розподілу вмістів) і можемо говорити про розсіяння вмісту Yb, одночасно у декількох формах знаходження (нормальний закон розподілу вмістів).

Концентраційний ряд хімічних елементів торфів Львівської області за медіанною оцінкою має вигляд: $Ti > Mn > Sr > P > Ba > Zr > V > Ni > Cr > Cu > Pb > Y > Co > Mo > Ga > Yb > Sc > Zn > Sn > Be > Ag$.

У зв'язку з тим, що роботи з розрахунку кларків елементів в торфах не проводились, загальноприйнято оцінювати рівень накопичення елементів в торфах шляхом порівняння зі значеннями їхніх кларків в літосфері, ґрунтах та золі наземних рослин.

Вміст хімічних елементів в торфах Львівської області нижче кларковий в порівнянні з літосферою, ґрунтами і наземними рослинами. Виявлена тенденція до розсіяння халькофільних і сидерофільних елементів, у меншій мірі літофільних. Інтенсивно концентруються літофільні елементи Sr, Yb, Be, Ba, сидерофільні Mo, Co, та халькофільні Pb, Ag в порівнянні з кларками літосфери за О. П. Виноградим [21], ґрунтів за Н. Bowen [22] та відносно фонових значень в ґрунтах України [23], а також з кларками золи рослин за Д. П. Малюгою [21].

Торфи Львівської області характеризуються літо-сидерофільною позитивною геохімічною спеціалізацією за рахунок високого вмісту в них Mo (Кк=5,16) та Yb (Кк=5,15). Група дефіциту (від'ємна халько-сидеро-літофільна спеціалізація) представлена Pb, P, Y, Sn, Ni, Zr, (Mn, V), Cu, Zn, Cr, Sc, (Ba, Ti), Ga, Be (Кк<0,7).

Геохімічний спектр елементів досліджуваних торфів за коефіцієнтами концентрації, нормованими відносно кларків в ґрунтах, виглядає наступним чином (Кк): Mo (4,73), Sr (1,94), Co (1,61), Be (1,29), Ag (1,07), Pb (0,9), P (0,64), Cu (0,6), Yb (0,57), Ni (0,52), Mn, V (0,39), Cr (0,38), Y (0,35), Zn (0,31), Sn (0,30), Sc (0,29), Ba (0,25), Zr (0,18), Ti (0,17), Ga (0,14).

Результати досліджень показали, що торфи Львівської області володіють підвищеними концентраціями Sr, Mo та Pb, а також Yb, Be, Ba, Co, Ag, причому серед них найбільш часто зустрічаються: Mo, Sr, Co (Z = 100%) [24], менше зустрічаються Be і ще менше Ag (Z = 73 і 18% відповідно); найбільш поширеними елементами у тор-

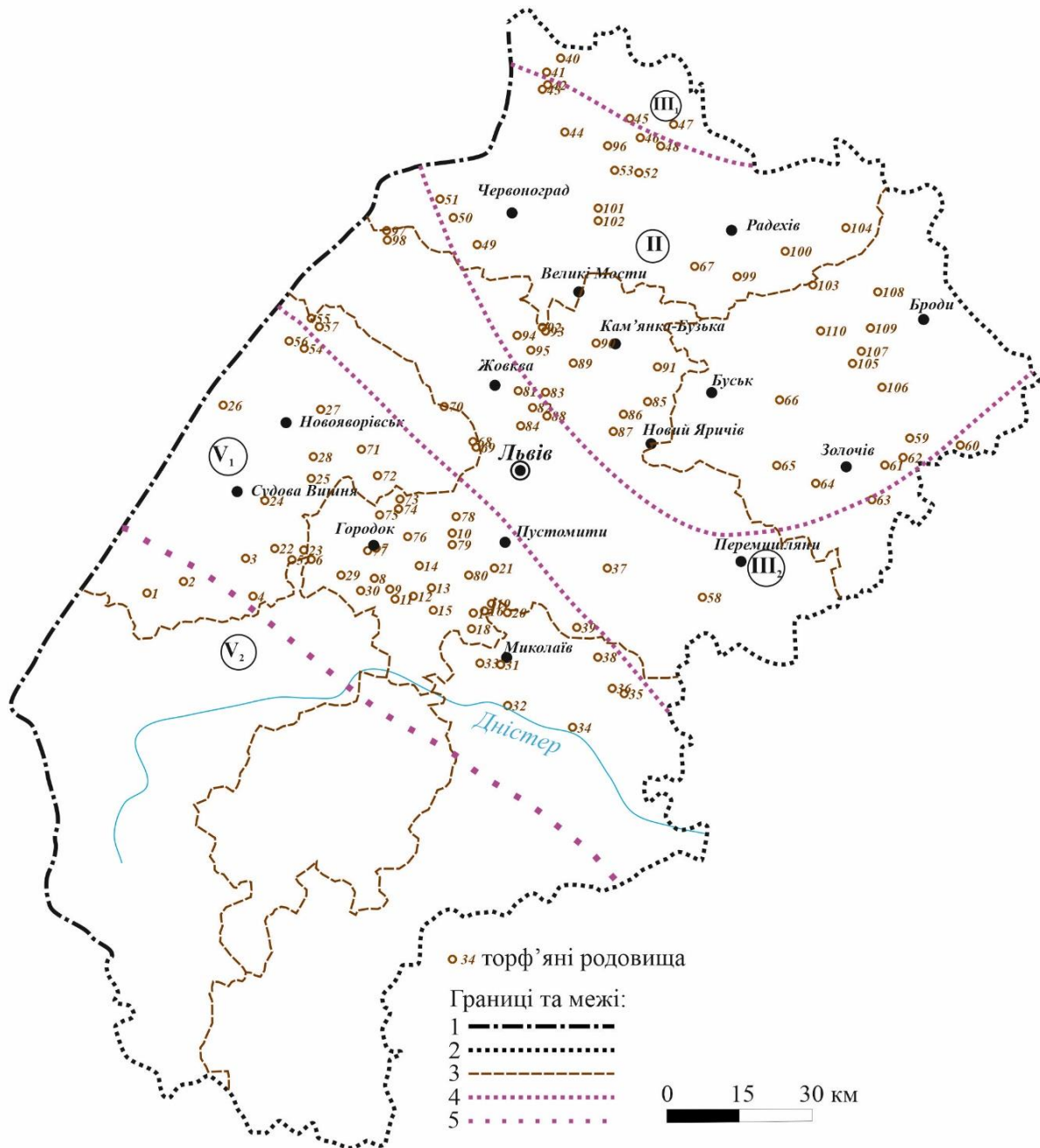


Рис. 1. Карта-схема розташування об'єктів досліджень
(в основі схематична карта районування Львівської області (М-б 1:1 500 000))

Умовні позначення до рис. 1:

Границі та межі: 1 – державний кордон України; 2 – межа Львівської області; 3 – райони Львівської області; 4 та 5 – торф'яні області та райони (за матеріалами [16-17]: П – Малополіська торфяна область. Ш – Лісостепова торфяна область: Ш1 – Волинський лісостеповий район, Ш2 – Подільський лісостеповий район. V – Карпатська торфяна область: V1 – Передкарпатський район, V2 – Карпатський.

Родовища торфу: 1 - Болозів; 2 - Біличі; 3 - Ятвяги; 4 - Лановичі; 5 - Роздільне; 6 - Шептичі; 7 - Хишевичське; 8 - Конюшки; 9 - Тулиголове; 10 - Піддолини; 11 - Нове село; 12 - Лівчиці; 13 - Грімне; 14 - Якимчиці; 15 - Козушин; 16 - Гонятичі; 17 - Вербіж; 18 - Сайків; 19 - Демня; 20 - Тростянець; 21 - Хоросно; 22 - Костильниківське; 23 - Канафости; 24 - Стоянци; 25 - Бортятино-Новоселковське; 26 - Краковець; 27 - Вільшаниця; 28 - Вижомля; 29 - Колбасевичі; 30 - Погірці; 31 - Пісочна; 32 - Держев; 33 - Рудники; 34 - Заболотці; 35 - Вовчатичі; 36 - Ходорів; 37 - Бібрка; 38 - Чорний Острів; 39 - Борусів; 40 - Шихтарі; 41 - Пасека; 42 - Подільське I; 43 - Подільське II; 44 - Савчин; 45 - Суховоля; 46 - Тартаків; 47 - Лешатів; 48 - Спасів; 49 - Піддовге; 50 - Діброва; 51 - Карів; 52 - Зубків; 53 - Комарів; 54 - Заводов; 55 - Руда; 56 - Щеплоти; 57 - Немирівське; 58 - Брюховичі; 59 - Чепелі; 60 - Яснище; 61 - Кругов; 62 - Лукавець; 63 - Івачев; 64 - Струтинь II; 65 - Княже; 66 - Ожидів; 67 - Вузлове; 68 - Рясне; 69 - Рясне II; 70 - Лозина; 71 - Лесновичі II; 72 - Дроздовичі; 73 - Артищев; 74 - Черляни; 75 - Незабитівка; 76 - Поріччя; 77 - Коропуж; 78 - Полянка; 79 - Острів (Острів-Сердиця); 80 - Лани; 81 - Костєв; 82 - Дорошів; 83 - Гребенці; 84 - Грибовичі; 85 - Баси; 86 - Дідилів; 87 - Яричів; 88 - Ситихів; 89 - Грабовець; 90 - Дальнич; 91 - Стрептів; 92 - Туринка I; 93 - Туринка II; 94 - Білий ліс; 95 - Блищиводи; 96 - Поториця; 97 - Річки I; 98 - Річки II; 99 - Оглядів; 100 - Хмільно; 101 - Воловин; 102 - Воловин II; 103 - Станіславчик; 104 - Сморгів; 105 - Висоцьке; 106 – Дуб'є; 107 - Поніковиця; 108 - Білявці; 109 - Лагодів; 110 - Руда Брідська

Fig. 1. Map-scheme of the location of research objects
(based on a schematic map of the zoning of the Lviv region (Scale 1:1 500 000))

Symbols for fig. 1:

Borders and boundaries: 1 – the state border of Ukraine; 2 – border of the Lviv region; 3 - districts of the Lviv region; 4 and 5 - peat regions and districts (based on materials [16-17]): II - Malopilska peat region. III - Forest-steppe peat region: III1 - Volyn forest-steppe region, III2 - Podilsk forest-steppe region. V - Carpathian peat region: V1 - Pre-Carpathian region, V2 - Carpathian.
Peat deposits: 1 - Boloziv; 2 - Bilychi; 3 - Yatviahy; 4 - Lanovychi; 5 - Rozdilne; 6 - Sheptychi; 7 - Khyshyevychske; 8 - Koniushky; 9 - Tulyholove; 10 - Piddolyny; 11 - Nove selo; 12 - Livchytsi; 13 - Hrimne; 14 - Yakymchytsi; 15 - Kozushyn; 16 - Honiatychi; 17 - Verbizh; 18 - Saikiv; 19 - Demnia; 20 - Trostianets; 21 - Khorosno; 22 - Kostylnykyvske; 23 - Kanafosty; 24 - Stoiantsi; 25 - Bortiatyno-Novoselkovske; 26 - Krakovets; 27 - Vilshanytsia; 28 - Vyzhomlia; 29 - Kolbaievychi; 30 - Pohirts; 31 - PISOCHNA; 32 - Derzhiev; 33 - Rudnyky; 34 - Zabolotts; 35 - Vovchatychi; 36 - Khodoriv; 37 - Bibrka; 38 - Chorny Ostriv; 39 - Borusiv; 40 - Shykhitari; 41 - Paseka; 42 - Podilsk I; 43 - Podilsk II; 44 - Savchyn; 45 - Sukhovoliva; 46 - Tartakiv; 47 - Leshchativ; 48 - Spasiv; 49 - Piddovhe; 50 - Dibrova; 51 - Kariv; 52 - Zubkiv; 53 - Komariv; 54 - Zavodov; 55 - Ruda; 56 - Shchepoty; 57 - Nemyrivske; 58 - Briukhovychi; 59 - Chepeli; 60 - Yasnyshche; 61 - Kruhov; 62 - Lukavets; 63 - Ivachev; 64 - Strutyn II; 65 - Kniazhe; 66 - Ozhydiv; 67 - Vuzlove; 68 - Riasne; 69 - Riasne II; 70 - Lozyna; 71 - Lesnovychi II; 72 - Drozdovychi; 73 - Artyshchev; 74 - Cherliany; 75 - Nezabytvka; 76 - Porichchia; 77 - Koropuzh; 78 - Polianka; 79 - Ostriv (Ostriv-Serdytsia); 80 - Lany; 81 - Kosteiv; 82 - Doroshiv; 83 - Hrebents; 84 - Hrybovychi; 85 - Basy; 86 - Didylyv; 87 - Yarychiv; 88 - Sytykhiv; 89 - Hrabovets; 90 - Dalnych; 91 - Streptiv; 92 - Turynka I; 93 - Turynka II; 94 - Bilyi lis; 95 - Blyshchyvody; 96 - Potorytsia; 97 - Richky I; 98 - Richky II; 99 - Ohliadiv; 100 - Khmilno; 101 - Volovyn; 102 - Volovyn II; 103 - Stanislavchyk; 104 - Smorzhyv; 105 - Vysotske; 106 – Dubie; 107 - Ponikovytsia; 108 - Biliavtsi; 109 - Lahodiv; 110 - Ruda Bidska

фах є ті, кларк концентрації яких 0,5-1,0 і 0,3-0,5, а саме: Pb, P, Cu, Yb, Ni і Mn, V, Cr, Y, Sn; елементи середньої поширеності (Z від 50 до 75%) Zn, Sc характеризуються дуже сильним і сильним накопиченням в торфях (КК 0,3-0,5 і 0,1-0,3); малопоширені елементи в торфях Львівської області представлені тільки одним елементом Ag.

Стронцій в торфях Львівської області є природного походження - високі концентрації зумовлені поширенням осадових порід з підвищеним вмістом Стронцію (гіпси, ангідрити, вапняки, мергелі) та збагаченням ним водоносних горизонтів території західної частини Львівської області, зокрема верхньокрейдового і нижньобаденського [20].

Підвищені вмісти Мо в торфях Львівської області, відображає місцеві регіональні процеси концентрування в масі торфу, і вказує на його накопичення у верхніх шарах торф'яних профілів переважно в природний спосіб. Молибден в торфях Львівської області пов'язаний з наявністю сульфідної мінералізації (сфалерити, халькопирити глинистої товща міоцену, стебниківська світа). Можливими, хоча і малоймовірним, є також і антропогенні джерела Мо – застосування мікродобрив з його вмістом та забруднення продуктами спалювання вугілля, стічними водами нафтопереробних та/або хімічних виробництв [20, 25].

Високі концентрації Pb в торфях Львівської області, відображають місцеві процеси концентрації елемента в масі торфу, і вказують на накопичення у верхніх шарах торф'яних профілів Pb та інших мікроелементів (Co, Yb, Be, Ba, Ag та ін.) як природного так і антропогенного походження [20, 26]. Торфи Львівської області незабруднені важкими металами: індекс забруднення ($IЗ$) більшості з них становить <1 , зокрема для Олова, Міді, Мангану, Цинку, Ванадію, Хрому та Барію $IЗ < 0,5$ демонструє відсутність забруднення; для Кобальту, Свинцю, Срібла і Нікелю $IЗ$ в межах

0,5-0,88 демонструє відсутність або дуже низьке забруднення; спостерігається лише сильне забруднення Молибденом $IЗ$ якого > 6 .

За допомогою кореляційного аналізу розкрилась структура взаємозв'язків між параметрами і виділились найсуттєвіші зв'язки, які в найбільшій мірі визначають зміну інших. При аналізі матриці, приведеній в таблиці 2, отримані наступні “окремі групи” з високими позитивними зв'язками:

I. Yb - Be; Yb - V; V - Be; Yb - Sc; Sc - V; Pb - Yb; Sc - Y; Cu - V; Yb - Ga; Yb - Ti; Cu - Yb; V - Pb; Ga - V; Pb - Be; Pb - Ga; Ti - Be; Ti - Ga; Ti - Y - з силою зв'язку $\geq 0,8$.

II. V - Ba; Ga - Ba; Y - V; Y - Ba; Yb - Y; Cu - Be; Ni - Mo; Sc - Be; Sc - Ga; Sc - Cu; Sc - Pb; Cr - Yb; Cr - Pb; Zn - Cu; Ti - Ba; Ti - V; Ti - Pb; Ti - Sc; Ti - Zr - з силою зв'язку $\geq 0,7$.

III. вологість - вміст гумусу; Be - K_2O ; Ga - Be; Y - Ba; Y - Be; Yb - Ba; Cu - K_2O ; Cu - Ba; Cu - Ga; Ni - Yb; Ni - Cu; Sn - Y; Sn - Yb; Pb - Ba; Pb - Y; Pb - Cu; Sc - Ba; Sc - Sn; Cr - Be; Cr - V; Cr - Cu; Cr - Ni; Ti - Cu - з силою зв'язку $\geq 0,6$.

IV. CaO - pH; Be - Ba; Yb - K_2O ; Ni - Be; Ni - V; Ni - Ga; Pb - Ni; Sc - K_2O ; P - K_2O ; Cr - Ga; Cr - Sc; Zn - Be; Zn - Ga; Zn - Yb; Zn - Mo; Zn - Ni; Zn - Sc; Zr - Ba; Zr - Ga; Zr - Y; Mn - CaO; Ti - Cu; Ti - Cr - з силою зв'язку $\geq 0,5$.

На основі виявлених зв'язків можна зробити наступні висновки:

Між більшістю мікроелементів (параметрів) існують тісні кореляційні зв'язки. “Основними парами” – ядром “основної групи” є Yb - V - Be - Sc. Зрозуміло, що групи характеризуються значним перекриттям. Елементи кожної групи корелюються зі всіма іншими членами цієї групи. Серед елементів вирізняються Стронцій, який не корелюється з жодним з мікроелементів та показує

Таблиця 1

Статистичні параметри розподілу хімічних компонентів та показників у торфах Львівської області

Показники	Кількість проб	Середнє	Медіана	Min	Max	Дисперсія	Ст. відхил.	Коеф. варіац.
pH	107	6,94	7,36	4,16	8,00	0,79	0,89	12,85
Зольність, %	110	41,01	36,98	10,73	96,80	385,98	19,65	47,90
Вологість, %	110	74,57	79,07	20,40	91,90	176,74	13,29	17,83
СаО	101	5,36	1,70	0,01	28,92	47,01	6,86	128,00
Ступінь розкладу	98	28,37	27,78	7,50	52,50	80,79	8,99	31,68
Вміст гумусу	75	18,46	18,10	0,10	35,50	81,31	9,02	48,85
P ₂ O ₅ , %	33	0,22	0,16	0,001	0,82	0,06	0,24	106,48
K ₂ O, %	33	0,02	0,001	0,001	0,16	0,002	0,05	300,35
Азот гідроліз.	33	0,01	0,01	0,0001	0,03	0,0001	0,009	68,18
Азот аміач., %	76	0,02	0,01	0,0001	0,28	0,001	0,03	172,13
Ва, мг/кг	110	125,69	94,36	5,00	1000,00	17084,93	130,71	103,99
Ве	110	0,39	0,50	0,001	1,44	0,13	0,35	91,57
V	110	34,80	26,27	0,10	133,33	995,51	31,55	90,66
Ga	110	2,80	2,00	0,01	52,49	24,65	4,97	177,10
Y	110	10,43	6,95	0,01	45,29	116,18	10,78	103,33
Yb	110	1,70	1,63	0,01	4,94	1,71	1,31	76,93
Co	110	12,88	6,88	0,01	200,00	493,02	22,20	172,44
Cu	110	17,88	10,00	3,12	80,00	238,55	15,45	86,36
Mo	110	5,68	2,69	0,50	71,07	90,64	9,52	167,64
Ni	110	25,97	24,06	3,68	92,11	230,96	15,120	58,53
Sn	110	1,20	1,07	0,01	5,75	0,61	0,78	65,25
Pb	110	10,85	7,98	0,01	68,33	138,49	11,77	108,51
Ag	110	0,05	0,001	0,001	1,30	0,03	0,19	345,18
Sc	110	2,05	1,46	0,01	10,00	5,25	2,29	111,74
Sr	110	483,75	250,00	40,00	3190,70	318221,77	564,11	116,61
P	110	509,60	167,95	1,00	10000,00	1402281,20	1184,18	232,38
Cr	110	26,34	20,00	5,23	150,00	521,12	22,83	86,65
Zn	110	27,49	1,21	0,10	183,33	1598,11	39,98	145,41
Zr	110	72,14	60,00	16,52	300,00	2439,37	49,39	68,46
Mn	110	390,92	342,14	30,00	2133,33	88442,17	297,39	76,07
Ti	110	848,49	686,63	100,00	3000,00	368574,91	607,10	71,55

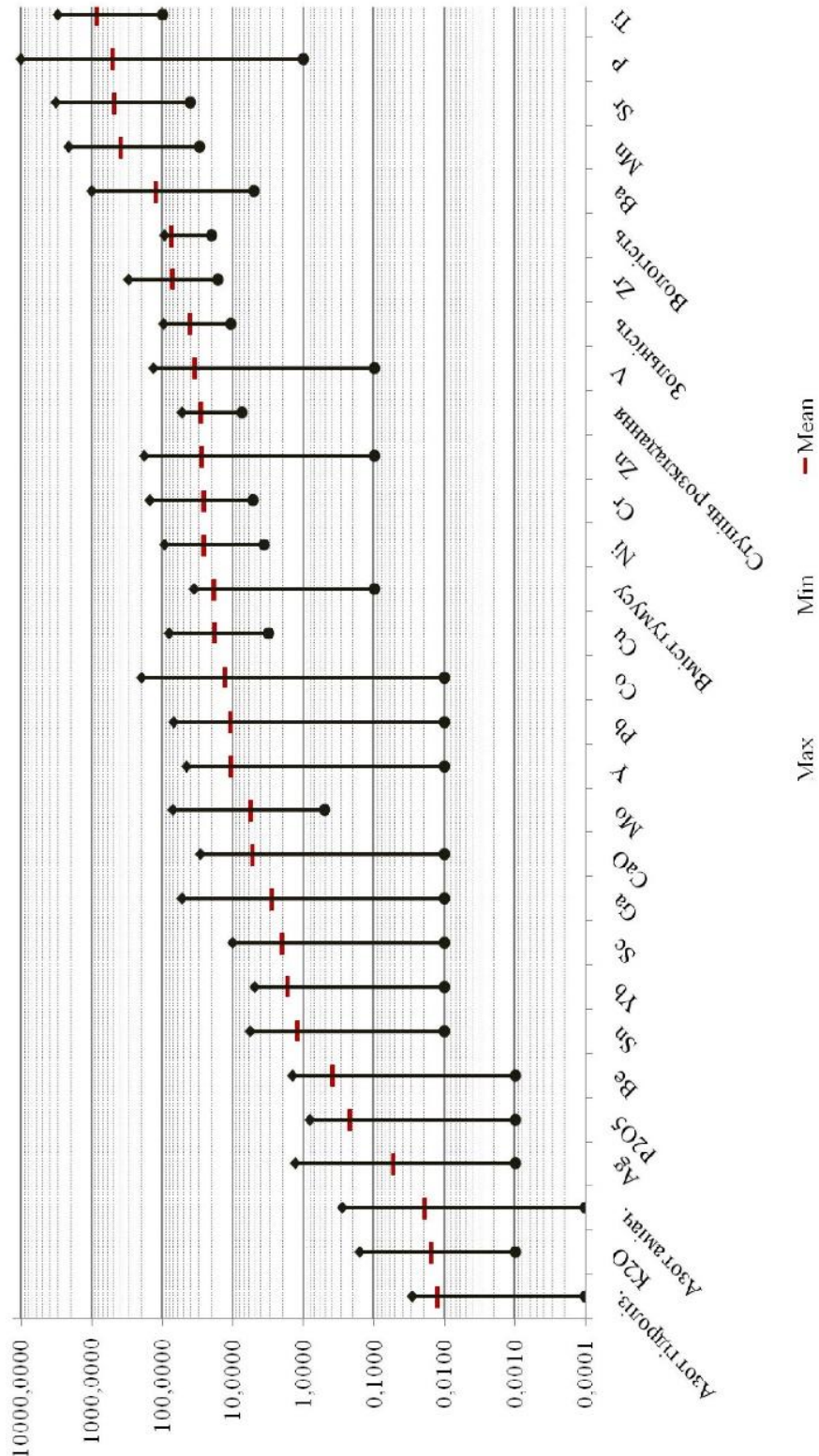


Рис. 2. Геохімічний спектр накопичення мікроелементів, компонентів та розподіл основних показників у торфах Львівської області (одиниці виміру див. табл. 1)
 Fig. 2. Geochemical spectrum of accumulation of microelements, components and distribution of main indicators in peats of the Lviv region (units of measurement, see Table 1)

ників (спостерігається незначна від'ємна кореляція між Стронцієм та Азотом гідролізованим ($r=-0,49$); Кобальт (слабка кореляція Co з Mo , $r=0,47$ та з вмістом гумусу, $r=0,39$), Срібло (слабка кореляція Ag з CaO , $r=0,51$ та Ag з Mn , $r=0,40$), в

меншій мірі Манган (слабка кореляція Mn з CaO , $r=0,51$; з Ag , $r=0,40$ та від'ємна з Pb , $r=-0,41$).

Аналіз рангових величин сил зв'язку між показниками/елементами (для кожного елемента всі значення його парних коефіцієнтів кореляції з

іншими елементами розташовуються у вигляді зростаючого ряду числових значень, тобто впорядкована послідовність значень коефіцієнтів кореляції) показав, що тут можна виділити одну велику за чисельністю асоціацію хімічних елементів - Ba, Be, P, Zr, Y, Yb, Cu, Zn, Sn, Pb, Ti, Ga, Mo, Ni, V, Sc, Cr. В той же час не зважаючи на те, що Кобальт має значущі кореляційні зв'язки з цією

геохімічною асоціацією елементів, розподіл концентрацій цього елемента в торфах має особливий характер, що в певній мірі відрізняє його від цієї асоціації, тобто Кобальт варто виділити в самостійну групу; в самостійні групи виділяються також Mn, Ag і Sr.

Для виділення більш конкретних геохімічних асоціацій побудовані кореляційні профілі (рис. 3, 4),

Таблиця 2

Кореляційна матриця компонентного складу та основних характеристик торфів Львівської області

	pH	R(ср.) ступінь розкладання	Зольність	Вологість	СаО	Вміст гумусу	P2O5	K2O, %	Азот гідроліз. аміач.	Ва	Ве	V	Ga	Y
pH	1.00													
R(ср.) ступінь розкладання	0.03	1.00												
Зольність	-0.04	0.11	1.00											
Вологість	-0.03	0.00	-0.66	1.00										
СаО	0.54	0.17	0.14	-0.08	1.00									
Вміст гумусу	-0.19	0.08	-0.60	-0.25	0.10	1.00								
P2O5	-0.18	0.07	0.04	-0.06	0.10	0.45	1.00							
K2O	-0.02	0.26	0.26	-0.15	-0.32	-0.20	0.41	1.00						
Азот гідроліз. аміач.	-0.16	-0.20	-0.08	-0.02	0.25	0.12	0.39	-0.09	1.00					
Ва	0.23	0.08	0.27	-0.09	0.04	0.13	0.12	-0.33	-0.03	1.00				
Be	-0.32	0.08	0.27	-0.05	0.06	0.01	-0.21	0.14	-0.29	0.59	1.00			
V	-0.59	-0.07	-0.05	0.06	-0.54	0.12	0.01	0.03	-0.26	0.74	0.85	1.00		
Ga	-0.66	0.08	0.03	0.14	-0.55	0.25	0.08	0.04	0.03	0.66	0.66	0.73	1.00	
Y	-0.45	-0.02	0.11	0.01	-0.62	0.04	0.29	0.06	-0.05	0.79	0.81	0.81	0.74	1.00
Yb	-0.70	0.19	0.35	-0.27	-0.49	-0.11	0.14	0.10	0.08	-0.42	0.65	0.66	0.73	0.74
Yb	-0.65	0.06	0.00	0.05	-0.63	0.10	0.11	-0.12	0.04	-0.31	0.89	0.89	0.83	0.79
Co	-0.02	0.21	-0.34	0.30	-0.30	0.39	0.34	0.06	-0.25	0.11	-0.02	0.08	0.15	-0.04
Cu	-0.59	0.08	-0.21	0.31	-0.48	0.32	-0.05	-0.29	-0.03	-0.11	0.60	0.72	0.84	0.67
Mo	-0.17	-0.19	-0.44	0.48	-0.41	0.31	-0.06	-0.40	-0.17	0.17	0.17	0.15	0.23	-0.06
Ni	-0.35	-0.01	-0.18	0.44	-0.44	0.22	-0.03	-0.38	-0.15	0.10	0.40	0.57	0.56	0.33
Sn	-0.56	0.39	0.15	-0.07	-0.48	0.03	0.22	0.04	-0.18	-0.20	0.38	0.49	0.48	0.61
Pb	-0.45	0.07	-0.18	0.16	-0.64	0.17	0.23	-0.07	-0.01	-0.17	0.61	0.80	0.80	0.61
Ag	0.26	0.00	-0.07	-0.13	0.51	-0.21	-0.11	0.18	0.23	-0.05	-0.14	-0.22	-0.29	-0.21
Sc	-0.77	0.07	0.05	-0.04	-0.58	0.08	0.04	-0.04	0.14	-0.39	0.63	0.78	0.88	0.77
Sr	0.36	-0.15	-0.06	0.05	0.01	0.15	-0.28	-0.56	-0.49	0.27	0.00	-0.25	-0.30	-0.31
P	-0.13	-0.19	-0.52	0.39	-0.53	0.37	-0.09	-0.48	-0.10	0.22	0.23	0.30	0.32	-0.02
Cr	-0.40	-0.03	-0.31	0.32	-0.39	0.36	0.21	-0.11	0.04	-0.13	0.42	0.63	0.65	0.45
Zn	-0.54	-0.07	-0.22	0.37	-0.57	0.36	0.03	-0.20	-0.09	0.02	0.47	0.57	0.64	0.50
Zr	-0.04	0.24	0.31	-0.18	-0.18	-0.24	0.27	0.04	-0.16	-0.22	0.56	0.30	0.24	0.51
Mn	0.07	-0.01	0.33	0.06	0.51	-0.03	-0.04	0.17	0.06	0.12	-0.11	-0.30	-0.14	-0.25
Ti	-0.44	0.20	0.13	-0.06	-0.43	0.00	0.13	-0.08	0.00	-0.33	0.77	0.80	0.79	0.80

Жирний шрифт - кореляція значуща при рівні $p < 0,05$.

Кореляційна матриця компонентного складу та основних характеристик торфів Львівської області

	Yb	Co	Cu	Mo	Ni	Sn	Pb	Ag	Sc	Sr	P	Cr	Zn	Zr	Mn	Ti
Yb	1,00															
Co	0,12	1,00														
Cu	0,82	0,12	1,00													
Mo	0,28	0,47	0,38	1,00												
Ni	0,66	0,30	0,69	0,79	1,00											
Sn	0,64	0,00	0,48	0,00	0,29	1,00										
Pb	0,86	0,24	0,67	0,27	0,59	0,44	1,00									
Ag	-0,27	-0,23	-0,20	-0,22	-0,30	-0,20	-0,33	1,00								
Sc	0,89	-0,03	0,78	0,12	0,45	0,63	0,70	-0,21	1,00							
Sr	-0,35	-0,23	-0,22	-0,15	-0,21	-0,15	-0,28	-0,06	-0,35	1,00						
P	0,27	0,04	0,43	0,46	0,43	0,07	0,41	-0,28	0,28	0,06	1,00					
Cr	0,71	0,22	0,63	0,35	0,60	0,26	0,75	-0,11	0,52	-0,26	0,24	1,00				
Zn	0,58	0,31	0,76	0,51	0,59	0,24	0,49	-0,26	0,52	-0,22	0,37	0,35	1,00			
Zr	0,39	-0,12	0,13	-0,03	0,25	0,29	0,35	-0,12	0,33	-0,11	-0,01	0,16	0,03	1,00		
Mn	-0,36	-0,11	-0,19	-0,20	-0,17	-0,35	-0,41	0,40	-0,32	0,02	-0,33	-0,24	-0,13	-0,24	1,00	
Ti	0,83	-0,06	0,63	0,04	0,51	0,48	0,75	-0,20	0,79	-0,25	0,26	0,57	0,35	0,71	-0,32	1,00

за допомогою яких встановлений характер зв'язків між вмістами елементів, тобто вивчена їх поведінка в період формування торф'яних покладів. В результаті виділені наступні парагенетичні асоціації елементів: Be - V - Yb - Cu - Pb - Cr - Sn; Ba - Ga - Y - Sc - Ti - Zr; Co - Mo - P; Zn - Ni; Ag - Mn.

Для виділення типоморфних геохімічних асоціацій використано факторний (метод головних компонент) і кластерний аналізи, за допомогою яких встановлений характер зв'язків між вмістами елементів, тобто вивчена їх поведінка в період формування торф'яних покладів.

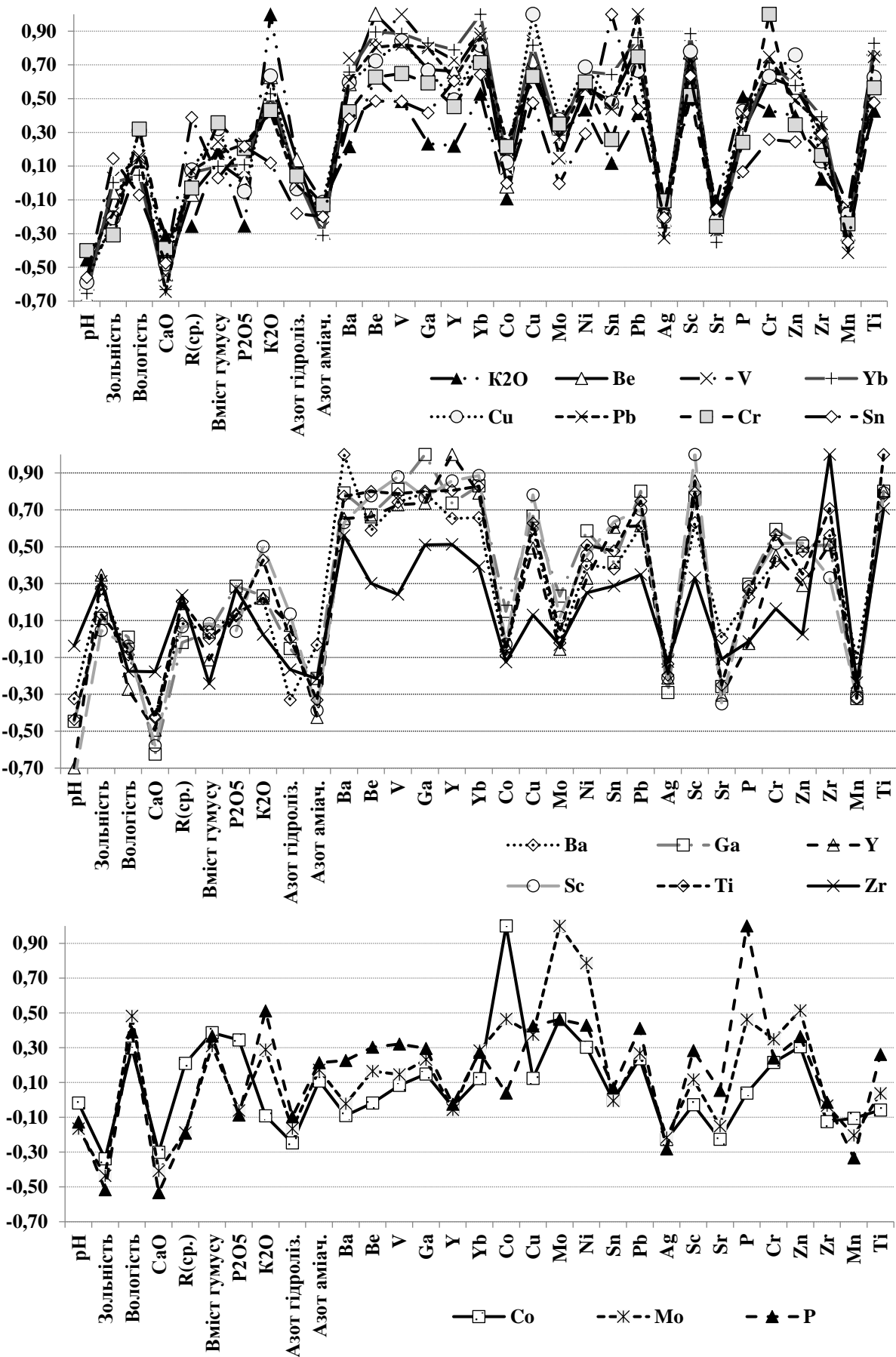


Рис. 3. Кореляційні профілі розподілу компонентів в торфах Львівської області.

Fig. 3. Correlation profiles of component distribution in peats of the Lviv region

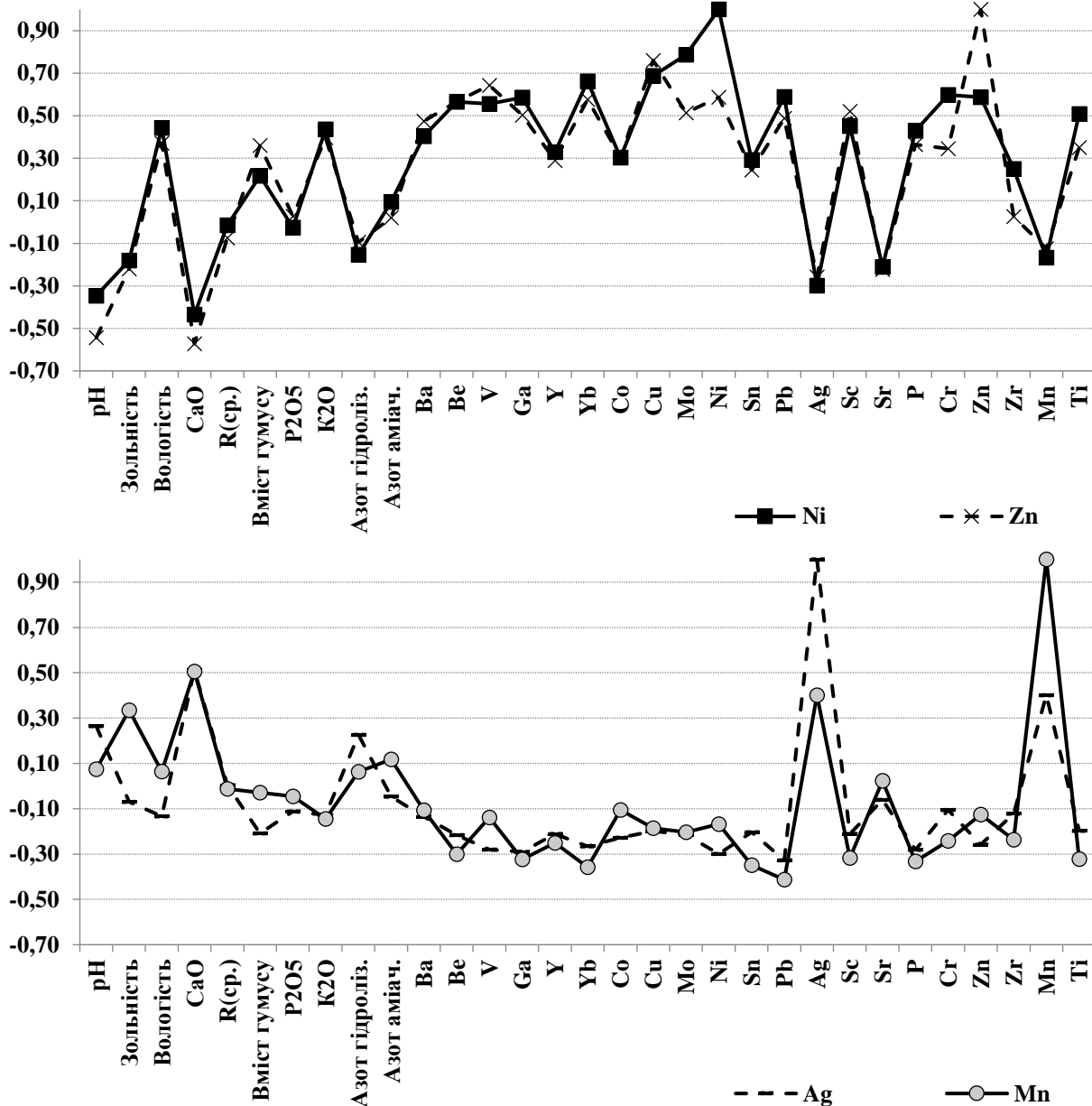


Рис. 4. Кореляційні профілі розподілу мікроелементів в торфах Львівської області
 Fig. 4. Correlation profiles of the distribution of trace elements in peats of the Lviv region

За допомогою використаного варимакс-факторного методу аналізу, при якому досягається максимізація дисперсії навантажень на фактори, була визначена типоморфна асоціація прямих ознак і вага кожної з них у встановлених варимакс-факторах.

Головний вклад факторів у спільну дисперсію (загальну мінливість системи) геохімічних даних торфів у межах Львівської області: F1-37,04%, F2 -14,27%, і F3 - 7,71. Результати факторного аналізу приведені в табл. 3.

На підставі аналізу розподілу параметрів у полях головних компонент можна зробити наступні висновки.

Перший фактор (F1), що має визначальний вплив на ознаки генеральної сукупності, відпові-

дає за геохімічну спеціалізацію торфів і впливає на накопичення в них таких мікроелементів як Yb - Sc - V - Be - Ti - Y - Ga - Pb - Cu, Ba, Cr, Ni, що пояснюється особливостями літологічного складу порід, природних ґрунтоутворювальних процесів геохімічних ландшафтів кисло-кальцієвого, кисло-глейового та кисло-кальцієвого у поєднанні з глейовим класів міграції («природний фактор»). Разом із тим, слід відмітити від'ємну роль у даному показнику *pH*.

Основні навантаження фактору F2 відмічені для наступних геохімічних ознак: більш сильні навантаження - для вологості, вмісту гумусу та Mo, і менш сильні - для P та азоту аміач., та від'ємні навантаження для зольності («органічний фактор» або «біогенний»), що вказує на важ-

Факторні навантаження для окремих геохімічних ознак торфів у межах Львівської області

Ознаки	Factor	Factor	Factor
	1	2	3
pH	-0,72	-0,05	0,09
Зольність, %	0,06	-0,77	0,27
Вологість, %	-0,01	0,78	-0,11
CaO	-0,59	-0,38	-0,34
R(ср.) ступінь розкладання	0,03	-0,17	0,42
Вміст гумусу	0,03	0,75	0,11
P ₂ O ₅ , %	0,09	-0,02	0,52
K ₂ O, %	0,57	0,30	-0,44
Азот гідроліз.	0,15	-0,29	-0,74
Азот аміач. %	-0,40	0,51	0,14
Ba	0,69	-0,06	0,41
Be	0,90	0,10	-0,08
V	0,92	0,13	0,05
Ga	0,83	0,06	0,33
Y	0,84	-0,32	0,24
Yb	0,96	0,10	0,10
Co	-0,01	0,51	0,34
Cu	0,81	0,37	-0,06
Mo	0,19	0,73	-0,03
Ni	0,59	0,53	0,09
Sn	0,58	-0,10	0,37
Pb	0,82	0,25	0,20
Ag	-0,24	-0,29	-0,39
Sc	0,94	-0,04	0,01
Sr	-0,39	0,13	0,21
P	0,30	0,62	-0,07
Cr	0,66	0,34	-0,01
Zn	0,58	0,50	0,00
Zr	0,41	-0,31	0,50
Mn	-0,31	-0,18	-0,25
Ti	0,87	-0,11	0,23
<i>S±2% Expl.Var</i>	<i>10,85</i>	<i>4,79</i>	<i>2,66</i>
<i>Prp.Totl</i>	<i>0,35</i>	<i>0,15</i>	<i>0,09</i>
<i>% Total</i>	<i>37,04</i>	<i>14,27</i>	<i>7,71</i>

ливу роль *Mo* і *P* органічного. Породи досліджуваного району збагачені органічною речовиною (карбонатні породи крейди), при розкладанні якої у поверхневі, ґрунтові і підземні води поступають мінеральні компоненти (сполуки азоту та ін.).

Фактор F3, з незначною вагою 7,71 % та від'ємним навантаженням на азот гідроліз. до уваги можна не брати.

Отже, факторний аналіз дозволив представити геохімічні дані у вигляді переважаючих

асоціацій хімічних елементів та виділити два типи факторів, які є визначальними та впливають на нагромадження мікрокомпонентів у торфах Львівської області: «природний» (літологічний) - визначальний та «органогенний» - другорядний. Перший характеризує спільний розподіл просторово і парагенетично пов'язаних наступних елементів (Yb_{0,96}, Sc_{0,94}, V_{0,92}, Be_{0,90}, Ti_{0,87}, Y_{0,84}, Ga_{0,83}, Pb_{0,82}, Cu_{0,81}, Ba_{0,69}, Cr_{0,66}, Ni_{0,59}/ pH_{0,72}); другий – позитивні для вологості_{0,78}, вмісту гумусу_{0,75} та

Mo_{0,73}, і менш сильні - для P_{0,62}, азот аміач._{0,51}, та від'ємні навантаження для зольності._{0,77}.

За результатами кластерного аналізу виділені наступні парагенетичні асоціації елементів досліджуваних торфів:

- Ti-Ga-Cu-Y-Pb-Sc-V-Yb-Be-Ba (з рівнем накопичення елементів в асоціації, Rk = 0,86 та ступінню неоднорідності розподілу, V=101,97);

- Ni-Mo-Zn (Rk=2,81, V=113).

Аналіз просторового розподілу та математико-статистична обробка результатів аналізів, геохімічних ознак, параметрів, вмістів компонентів і мікрокомпонентів, а також складу та наведених варимакс-факторних ознак і інших описаних вище інтегральних і монокомпонентних параметрів торфів на досліджуваній території вказує на їхній задовільний стан і можна зробити висновок про відсутність регіонального забруднення торфів Львівської області важкими металами або про зовсім незначний регіональний вплив такого забруднення.

Висновки

1. Вміст, розподіл і накопичення більшості мікроелементів (Ba, Be, V, Y, Yb, Cu, Ni, Sn, Sc, Sr, Pb, Cr, Zn, Zr, Mn, Ti) в торфах Львівської області характеризуються неоднорідністю розподілу, високою дисперсією та варіабельністю, що обумовлено диференціацією в процесі міграції, особливостями водно-мінерального живлення торф'яних ґрунтів, впливом біогеохімічних і гідрологічних процесів, що відбуваються на досліджуваній території та різноманітністю рослин-торфоутворювачів.

2. Встановлено, що торфи Львівської області характеризуються літо-сидерофільною позитивною геохімічною спеціалізацією (за рахунок високого вмісту в них Mo, K_k=5,16 та Yb, K_k=5,15) і геохімічно сильно спеціалізовані на молібден, стронцій, ітербій та дещо менше на кобальт, берилій, барій, кобальт, свинець, срібло. Концентраційний ряд мікроелементів торфів Львівської області за медіанною оцінкою: Ti > Mn > Sr > P > Ba >

Zr > V > Ni > Cr > Cu > Pb > Y > Co > Mo > Ga > Yb > Sc > Zn > Sn > Be > Ag.

3. Результати порівняння закономірностей накопичення і розсіювання елементів в торфах з літосферою, ґрунтами та наземними рослинами показали їхній нижчекларковий вміст, а також, що для торфів характерний свій специфічний набір елементів-накопичувачів, спостерігаються специфічні закономірності накопичення і розсіювання елементів. Найбільш енергійно в торфах Львівської області накопичуються Sr, Yb, Be, Ba, Mo, Co, Pb, Ag. Підвищені концентрації та локалізація аномальних вмістів вищевідмічених елементів залежать від генезису і мінералогічного складу корінних підстилаючих порід, особливостей літологічного складу порід, природних ґрунтоутворювальних процесів геохімічних ландшафтів та спостерігаються в певних структурно-фаціальних зонах і територіально приурочені до ділянок розповсюдження корінних порід, які містять підвищені концентрації цих елементів. Можливими є також і антропогенні джерела походження деяких з них (Mo, Pb, Co).

4. Вперше за допомогою кореляційного, факторного та кластерного аналізів встановлено основні типоморфні геохімічні асоціації мікроелементів в торфах Львівської області: Yb – Sc – V – Be – Ti – Y – Ga – Pb – Cu – Ba – Cr – Ni; Co – Mo – P; Zn – Ni. Факторний аналіз дозволив виділити два типи факторів, які є визначальними та впливають на нагромадження мікрокомпонентів у торфах Львівської області: «природний» (літологічний) – визначальний та «органогенний» – другорядний.

5. За аналізом просторового розподілу і математико-статистичної обробки результатів аналізів, геохімічних ознак, параметрів, вмісту компонентів і мікрокомпонентів торфів на досліджуваній території можна зробити висновок про фактичну відсутність регіонального забруднення торфів Львівської області важкими металами із незначним регіональним впливом окремих осередків забруднення.

Список використаної літератури

1. Damman A. W. H. *Distribution and movement of elements in ombrotrophic peat bogs* / A. W. H. Damman // *Oikos*. – 1978. – P. 480–495. DOI: <https://doi.org/10.2307/3543344>
2. Shotyk W. *Review of the inorganic geochemistry of peats and peatland waters* / W. Shotyk // *Earth Science Reviews*. – 1988. – № 25. – P. 95–176. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0012-8252\(88\)90067-0](http://dx.doi.org/10.1016/0012-8252(88)90067-0)
3. Mandernack K. W. *Sulfur cycling in wetland peat of the New Jersey Pinelands and its effect on stream water chemistry* / K. W. Mandernack, L. Lynch, H. R. Krouse, M. D. Morgan // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2000. – №23 – P. 3949–3964. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(00\)00491-9](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(00)00491-9)
4. Хоха Ю. В. *Вплив температурного режиму на газогенераційний потенціал гумінових кислот органічної речовини* / Ю. В. Хоха, О. В. Любчак, М. Б. Яковенко // *Геологія і геохімія горючих копалин*. – 2018. – № 3–4 (176–177). – С. 49–63.
5. Rinquist I. *Copper and zinc adsorption onto poorly humified Sphagnum and Carex peat* / I. Rinquist, I. Ohorn // *Water Research*. – 2002. – № 36. – P. 2233–2242. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00431-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00431-6)

6. Klavins M. Peat properties, major and trace element accumulation in bog peat in Latvia / M. Klavins, I. Silamikele, O. Nikodemus, L. Kalnina et all // *Baltica*. – 2009. – Vol. 22 (1) – P. 37–49.
7. Shotyk W. Natural and anthropogenic enrichments of As, Cu, Pb, Sb and Zn in ombrotrophic versus minerotrophic peat bog profiles, Jura Mountains, Switzerland / W. Shotyk // *Water, Air and Soil Pollution*. – 1996. – № 90 – P. 375–405. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00282657>
8. Shotyk W. Peat bog archives of metal deposition: geochemical evaluation of peat profiles, natural variations in metal concentrations and metal enrichment factors / W. Shotyk // *Environmental Reviews*. – 1996. – № 4. – P. 149–183. DOI: <https://doi.org/10.1139/a96-010>
9. Волощук М. Д. Торф і торфові ґрунти – сучасний стан і перспективи їх використання / М. Д. Волощук, М. І. Гагалюк // *Сучасні досягнення геодезії та геодинаміки: зб. наукових праць*. – Львів, 1999. – С. 160–162.
10. Трускавецький Р. С. Торфові ґрунти та торфовища України. / Р. С. Трускавецький. – Харків: Міськдрук, 2010. – 278 с.
11. Гаськевич В. Г. Торфові ґрунти і торфовища Малого Полісся: сучасний стан, проблеми раціонального використання та охорони / В. Г. Гаськевич, М. В. Нецик // *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка. Серія: Географія*. – 2013. – Вип. 34, № 1. – С. 27–36.
12. Иванцив О. Е. Геохимические особенности торфяно-болотного литогенеза Прикарпатья Осадочные породы и руды. / О. Е. Иванцив, Г. А. Уженков – Киев: Наук. думка, 1984 – С. 215–220.
13. Нецик М. Дослідження валового хімічного складу торфових ґрунтів Малого Полісся / М. Нецик // *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. – 2013. – Випуск 44 – С. 244–249.
14. Нецик М. В. Торфові ґрунти Малого Полісся / М. В. Нецик, В. Г. Гаськевич. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2015. – 198с.
15. Мала гірнича енциклопедія. В 3-х т. / за ред. В. С. Білецького. – Донецьк: Донбас, 2004. – 644 с.
16. Брадис С. М. Торфово-болотний фонд УРСР, його районування та використання / С. М. Брадис. – Київ: Наукова думка, 1973. – 264 с.
17. Тюремнов С. Н. Торфяные месторождения / С. Н. Тюремнов. – М: Недра, 1976. – 488 с.
18. Хоха Ю. В. Геолого-геохімічні та геотехнологічні особливості торф'яних родовищ Львівської області / Ю. В. Хоха, М. Б. Яковенко, Д. В. Лукянчук // *Геологія і геохімія горючих копалин*. – 2013. – № 3–4 (164–165) С. 56–61.
19. Яковенко М. Б. Мікрокомпонентний склад торфів Львівської області / М. Б. Яковенко, Ю. В. Хоха, Д. В. Лукянчук // *Матеріали науково-практичної конференції присвяченій 100-річчю від Дня народження В.П. Макридіна «Новітні проблеми геології» м. Харків 21–23 травня 2015р.* – 2015. С. 175–176.
20. Яковенко М. Б. Розподіл хімічних елементів в низинних торфах Львівської області / М. Б. Яковенко, Ю. В. Хоха, О. В. Любчак // *Геологія і геохімія горючих копалин*. – 2021. – № 3–4 (184). – С. 65–72. DOI: <https://doi.org/10.15407/ggcm2021.03-04.065>
21. Войткевич Г. В. Краткий справочник по геохимии / Г. В. Войткевич, А. Е. Мирошников, А. С. Поваренных, В. Г. Прохоров и др. – М.: Недра, 1970. – 280 с.
22. Bowen H.J.M. *Environment Chemistry of the Elements* / Bowen H.J.M. // *London-New-York-Toronto-Sydney-San Francisco: Academic Press*, 1979. – 250 p.
23. Клос В. Р. Регіональні геохімічні дослідження ґрунтів України в рамках міжнародного проекту з геохімічного картування сільськогосподарських та пасовищних земель Європи (GEMAS) / В. Р. Клос, М. Бірке, Е. Я. Жовинський, Г. О. Акінфієв та ін. // *Пошукова та екологічна геохімія*. – 2012. – № 1. – С. 51–66.
24. Яковенко М. Б. Накопичення мікроелементів у низинних торфах Львівської області / М. Б. Яковенко, Ю. В. Хоха, Д. В. Лукянчук // *Збірник матеріалів міжнародної наукової конференції, присвяченій 70-річчю геологічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка «Фундаментальне значення і прикладна роль геологічної освіти і науки», м. Львів 7–9 жовтня 2015р.* – 2015. – С. 238–239.
25. Яковенко М. Б. Розподіл молібдену в низинних торфах Львівської області / М. Б. Яковенко, Ю. В. Хоха, О. В. Любчак // *Збірник наукових статей XIX міжнародної науково-практичної конференції «Ресурси природних вод Карпатського регіону (Проблеми охорони та раціонального використання)», м. Львів 8–9 жовтня 2020р.* – 2020. – С. 210–214.
26. Яковенко М. Б. Розподіл Свинцю в низинних торфах Львівської області / М. Б. Яковенко, Ю. В. Хоха, О. В. Любчак // *Збірник наукових статей XVII міжнародної науково-практичної конференції «Ресурси природних вод Карпатського регіону (Проблеми охорони та раціонального використання)», м. Львів, 26–27 травня 2019р.* – 2019. – С. 263–265.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Geochemical features of the accumulation and migration of heavy metals in the peats of the Lviv region

Myroslava Yakovenko¹,

PhD (Geology), Senior Researcher, Scientific Secretary,
Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine,
3a Naukova St., Lviv, 79060, Ukraine;

Yurii Khokha¹,

DSc (Geology), Senior Researcher, Senior Research Officer;

Oleksandr Lyubchak¹,

PhD (Geology), Senior Researcher, Senior Research Officer

ABSTRACT

Problem formulation. Study and interpretation of geochemical characteristic, component composition, content of macro- and microelements in peat has both a general scientific fundamental character and an applied one. Its results used for various purposes: quality assessment of peat, determination of the possibility of their use in industry etc. The article is devoted to study of the elements and microelements distribution in the peat of the Lviv region.

The study of peatlands in western Ukraine and their component composition carried out only during geological exploration aimed at assessing the regions potential to produce own peat fertilizers or fuel.

Article purpose. The aim of the work is to present an extended geochemical characteristic of Lviv's region peats, to determine peats typical microelement composition and geochemical specialization, to establish regional regularities of distribution and accumulation of elements using methods of mathematical and statistical analysis, and to study the factors controlling the content, distribution and genesis of microelements in the region peatlands.

Object, subject, factual material and research methods. The object of research is peat and its ash from peatlands of the Lviv region. The subject of research is geochemical characteristic of this peat, regional patterns of distribution and accumulation of chemical elements, components and geological and geochemical indicators in peats. The ashes of 248 peat samples taken in 110 representative areas were analyzed by spectral semi-quantitative analysis for the content of 21 chemical elements and other geochemical characteristics of peat (pH, ash content, etc.).

Discussion. An integrated approach to the study of the geochemical characteristics of peat made it possible to identify the spatial geochemical features of peats in the territory of the Lviv region, to determine their typical microelements composition, to establish regional regularities of their distribution and accumulation (changes) - significant unevenness of the concentration of microelements by area of distribution, high indicators of the content of Mo, Yt, Sr, Co, Ag, Ba, Be, Pb in relation to the clarks of the lithosphere, soils, and plants.

According to the results of correlation, factor and cluster analyzes, the following typomorphic geochemical associations of peats of the Lviv region can be distinguished: Ti-Ga-Cu-Y-Pb-Sc-V-Yb-Be is associated with the features of natural soil-forming processes of geochemical landscapes; Ni-Mo-Zn is possibly of technogenic origin and is associated with the accumulation of heavy metals in soils due to the development of mineral deposits.

Conclusion. The analysis of the spatial distribution, mathematical and statistical processing of the geochemical characteristics and the composition and given varimax factor features and other integral and single-component parameters of peats described in the study indicates their satisfactory condition and can be to conclude that there is no regional pollution of peats in the Lviv region with heavy metals (except for Mo) or that the regional impact of such pollution is completely insignificant.

Keywords: peat, Lviv region, microelement composition, concentration, Clark concentration, accumulation.

References

1. Damman, A. W. H. (1978). *Distribution and movement of elements in ombrotrophic peat bogs*. *Oikos*, 480–495. DOI: <https://doi.org/10.2307/3543344>
2. Shoty, W. (1988). *Review of the inorganic geochemistry of peats and peatland waters*. *Earth Science Reviews*, 25, 95–176. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0012-8252\(88\)90067-0](http://dx.doi.org/10.1016/0012-8252(88)90067-0)
3. Mandernack, K. W., Lynch, L., Krouse, H. R., & Morgan, M. D. (2000). *Sulfur cycling in wetland peat of the New Jersey Pinelands and its effect on stream water chemistry*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 23, 3949–3964. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(00\)00491-9](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(00)00491-9)
4. Khokha Yu., Lyubchak O., & Yakovenko M. (2018). *Effect of temperature flow on gas-generating potential of humic acids of organic matter*. *Geology & Geochemistry of Combustible Minerals*, 3-4 (176-177), 49-63.
5. Rinquist, I., & Ohorn, I. (2002). *Copper and zinc adsorption onto poorly humified sphagnum and carex peat*. *Water Research*, 36, 2233–2242. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00431-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00431-6)
6. Klavins, M., Silamikele, I., Nikodemus, O., Kalnina, L., Kuske, E., Rodinov, V., & Purmalis, O. (2009). *Peat properties, major and trace element accumulation in bog peat in Latvia*. *Baltica*, 22 (1), 37–49.
7. Shoty, W. (1996). *Natural and anthropogenic enrichments of As, Cu, Pb, Sb and Zn in ombrotrophic versus minerotrophic peat bog profiles, Jura Mountains, Switzerland*. *Water, Air and Soil Pollution*. 90, 375–405. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00282657>

8. Shotykh, W. (1996). Peat bog archives of metal deposition: geochemical evaluation of peat profiles, natural variations in metal concentrations and metal enrichment factors. *Environmental Reviews*, 4, 149–183. DOI: <https://doi.org/10.1139/a96-010>
9. Voloshchuk, M. D. (1999). Peat and peat soils - current state and prospects of their use. *Modern achievements of geodesy and geodynamics: coll. scientific works*. Lviv, 160–162.
10. Truskavetskyi, R. S. (2010). Peat soils and peatlands of Ukraine, Kharkiv: Miskdruk, 278.
11. Gaskevych, V. G. (2013). Peat soils and peatlands of Maly Polissia: current state, problems of rational use and protection. *Scientific notes of the Volodymyr Hnatyuk Ternopil National Pedagogical University. Series: Geography*, 34, 27–36.
12. Ivantsiv, O. E., & Uzhenkov, G. A. (1984). *Geochemical features of peat-bog lithogenesis in the Carpathians Sedi-mentary rocks and ores*, Kyiv: Nauk. Dumka, 215–220.
13. Netsyk, M. (2013). Study of the gross chemical composition of peat soils of Maly Polissia. *Bulletin of Lviv University. Geographical series, Issue 44*, 244–249.
14. Netsyk, M. V., & Hasiievych, V. G. (2015). *Peat soils of Maly Polissia: monograph*, Lviv: Ivan Franko Lviv National University, 198.
15. Biletskyi, V. S. (Ed.). (2004). *Small mining encyclopedia*. In 3 volumes, Donetsk: Donbas, 644.
16. Bradys, E. M. (1973). *Peat-bog fund of the Ukrainian SSR, its zoning and use*, K.: Naukova dumka, 264.
17. Tyuremnov, S.N. (1976). *Peat deposits*, M., Nedra, 488.
18. Khokha Yu., Yakovenko M., & Lukyanchuk, D. (2013). Geological, geochemical and geotechnological features of peat deposits of Lviv region. *Geology & Geochemistry of Combustible Minerals*, 3–4 (164–165), 56–61.
19. Yakovenko M., Khokha Yu., & Lukyanchuk, D. V. (2015). Microcomponent composition of peats of the Lviv region. *Materials of the scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of V.P. Makrydina «New problems of geology» (Kharkiv, May 21–23, 2015): V.N. Karazin Kharkiv National University*, 175–176.
20. Yakovenko M., Khokha Yu., & Lyubchak O. (2021). Distribution of chemical elements in lowland peats of the Lviv region. *Geology & Geochemistry of Combustible Minerals*, 3–4 (184), 65–72. DOI: <https://doi.org/10.15407/ggcm2021.03-04.065>
21. Voitkevich, G. V., Myroshnikov, A. E., Povarennyh, A. S., Prokhorov, V. G. & et all (1970). *Brief reference book on geochemistry*, M., Nedra, 280.
22. Bowen, H.J.M. (1979). *Environment Chemistry of the Elements*. London-New-Yorc-Toronto-Sydney-San Francisco: Academic Press, 250.
23. Klos, V. R., Birke, M., Zhovynskyy, E. Ya., Akinfiev, G. O., Amaiukeli, Yu. A., & Klamens, R. (2012). Regional geochemical studies of the soils of Ukraine within the framework of the international project on geochemical mapping of agricultural and pasture lands of Europe (GEMAS). *Prospective and Environmental Geochemistry*, 1, 51–66.
24. Yakovenko M., Khokha Yu., & Lukyanchuk, D. V. (2015). Accumulation of trace elements in lowland peats of the Lviv region. *Materials of the international scientific conference dedicated to the 70th anniversary of the Geology Faculty of Ivan Franko Lviv National University "Fundamental importance and applied role of geological education and science" (Lviv, October 7-9, 2015): Ivan Franko Lviv National University*, 238–239.
25. Yakovenko M., Khokha Yu., & Lyubchak O. (2020). Distribution of Molybdenum in lowland peats of Lviv region. *Materials of the 19th International Scientific-Practical Conference «Resources of natural waters in Carpathian region» Problems of protection and rational exploitation (Lviv, October 8-9, 2020): Lviv Polytechnic National University*, 210–214.
26. Yakovenko M., Khokha Yu., & Lyubchak O. (2019). Distribution of Lead in lowland peats of the Lviv region. *Materials of the 17th International Scientific-Practical Conference «Resources of natural waters in Carpathian region» Problems of protection and rational exploitation (Lviv, May 26-27, 2019): Lviv Polytechnic National University*, 263–265.

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 7 May 2022
Accepted 29 May 2022

ГЕОГРАФІЯ

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-08>

UDC 911.9+556+626/627

Received 20 December 2021

Accepted 25 December 2021

Height differentiation of valley-river landscapes of the right-bank Ukraine

*Oleksandr D. Lavryk*¹,

DSc (Geography), Professor, Department of Ecology and Geography,

¹Zhytomyr Ivan Franko State University, 40 Velyka Berdychivska St., Zhytomyr, 10008, Ukraine,

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

*Volodymyr I. Korinnyi*¹,

PhD (Geology), Associate Professor, Department of Ecology and Geography,

e-mail: 20oren09@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1352-0940>;

*Leonid M. Kyrlyuk*²,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Geography,

²Vinnitsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University, 32 Ostrohsky St., Vinnitsia, 21100, Ukraine,

e-mail: kurulykleonid@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9202-6600>;

*Valentyna V. Tsymbaliuk*³,

PhD (Chemistry), Associate Professor, Cycle commission of natural sciences and mathematics,

³Municipal Institution "Uman Taras Shevchenko Professional College of Education and Humanities of Cherkasy Regional Council", 33 Nebesnoy Sotny St., Uman, Cherkasy Region, 20301, Ukraine,

e-mail: wwala1975@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2509-6956>

ABSTRACT

The aim of the article. To analyze the peculiarities of height differentiation of valley-river landscapes and to study their current structure taking a model region as an example – a plain territory of the Right-bank Ukraine.

Methods. The study is based on the ideas of F. M. Milkov on anthropogenic landscapes and their vertical (height) differentiation. In the process of research the constructive-scientific landscape approach and the principles of complexity and natural-anthropogenic combination were used. The main research methods, in addition to field, are methods of theoretical generalization, historical and landscape, the leading factor, zoning, modeling, analogy and more.

Scientific novelty. The main focus of scientists is only on the impact of vertical zonation on mountain landscapes. Height differentiation of valley-river landscapes has not been given due attention. This is especially true of river valley landscapes that have been transformed as a result of economic activity.

Practical value. Previous experience in the optimization of anthropogenic landscapes shows that taking into account their height differentiation is a necessary condition for the development of various projects and schemes of environmental management. Given the growing anthropogenic pressure on the environment, such studies will help to better understand the course of negative man-made processes and contribute to the optimization, conservation and protection of modern valley and river landscapes. In the long run, this may be the basis for similar research in river valleys around the world.

Research results. The development of height differentiation within the boundaries of valley-river landscapes of the Right-bank Ukraine was considered based on the earlier experience. 2 height-landscape levels ("young" accumulative and "typical" accumulative-denudation) and 4 tiers were singled out in river valleys. Bridges, dams, causeways, derivative HES, "water" mills, anthropogenic islands, ponds of a riverbed type or meliorative canals – all these are typical for a lower tier of a "young" accumulative height-landscape level. A middle tier is represented with water-economic and agricultural landscapes. An upper tier is formed with residential and mining-industrial landscapes. In river valleys a "typical" accumulative-denudation height-landscape level has one lower tier which is formed with two natural types of localities: sloping and canyon-like. This tier is characterized with a good preservation (up to 35%) of natural landscapes. Anthropogenic landscapes are represented mainly with forest-cultural, residential, agricultural and road landscape complexes. The conclusion has been made that with further anthropogenization of river valleys it is expedient to make designs of anthropogenic landscapes, distributing them on height-landscape tiers evenly and thoughtfully. Within the boundaries of a "young" accumulative height-landscape level it is advisable to carry out the restoration and optimization of water-economic landscape-technical systems which are at the "aging" stage. To preserve valley-river landscapes it should be forbidden to take any economic measures except for the optimization ones.

Keywords: height differentiation of landscapes, anthropogenic landscapes, valley-river landscapes, landscape-technical systems, river valleys.

In cites: Lavryk O. D., Korinnyi V. I., Kyrlyuk L. M., Tsymbaliuk V. V. (2022). Height differentiation of valley-river landscapes of the right-bank Ukraine. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (56), 122-131. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-08>

© Lavryk O. D., Korinnyi V. I., Kyrlyuk L. M., Tsymbaliuk V. V., 2022

Formulation of the problem. Height differentiation of landscapes is a specific phenomenon which predetermines a qualitative change of natural territorial complexes depending on the peculiarities of their relief. Contrary to mountains, serious differences of absolute and relative heights are not typical for plain landscapes. Nevertheless, in the plain territories height differentiation of landscapes is clearly expressed in the peculiarities of the structure and dynamics of geo-complexes of a various taxonomic level. It can be clearly observed in river valleys of the Right-bank Ukraine. Height differentiation defines numerous important natural features of valley-river landscapes: it increases their diversity, speeds up or slows down the movement intensity of substance flows, energy and information, changes the productivity and development of landscape complexes. The essential anthropogenization of present-day river valleys and the concentration of landscape-technical systems (LTchS) within their boundaries require the consideration of the specificity of this phenomenon. As quite frequently the intensive economic effect on height-landscape levels of valley-river landscapes results in the development of negative processes (waterlogging, salinity, landslides, etc.), serious capital investments are needed to overcome them.

Analysis of the latest research and publications. Till the second half of XX century mainly the representatives of geomorphology, climatology and biology dealt with the problems of vertical differentiation of geocomplexes. For the first time the issue of vertical differentiation of landscapes appeared to be interesting for a geographer from Voronezh F. M. Milkov (1947) [14], who paid attention to the dependence of intra-zonal changes of plain landscapes on the differences of absolute heights. However, in the context of studying plain landscapes his interpretation of a concept “vertical” (from Latin *verticalis* – upright) was poor because of its very narrow meaning. Which is why, a more general term – “height differentiation” is used in Ukrainian landscape literature. Later on, F. M. Milkov (1953) [13] explained the effect of a relief on the peculiarities of the biodiversity of river valleys. So, he thought that in a glaciation period deciduous forests of Volyn-Podilsk height and Donetsk ridge were preserved under the protection of steep right valley-river slopes. Within plain landscapes of a middle-russian forest-steppe a phenomenon of vertical (height) differentiation was considered by H. O. Beloselska (1969) [2], O. V. Berezhnoi (1983) [3], V. B. Mikhno (2001) [16], A. S. Horbunov (2002; 2020) [6; 19], S. V. Fedotov (2009) [17; 18], N. I. Akhtyrtseva (2004) [1] analyzed a tier nature of plain landscapes, having taken Kalachska height as an example, and classified four landscape tiers: flood, over-flood-terrace and watershed. The research of height differentiation of

natural landscapes of Ukraine and its regions was carried out by H. I. Denysyk (2006; 2010) [4; 7], L. M. Kyryliuk (2007) [11] and I. M. Voina (2010) [5]. Some aspects of the anthropogenic effect on plain landscapes of Podillia were studied by the authors (2014, 2016) [10; 12].

Separation of the unsolved part of the whole problem. Similar studies are not available in foreign geography. Researchers pay their main attention only to the effect of vertical tiers on mountainous landscapes [20–23]. The analytical review of the recent local works on landscapes helps make a conclusion that most of them contain the studies of vertical and horizontal, very seldom time differentiation of valley-river landscape complexes and geocomponents. Proper attention is not paid to height differentiation of valley-river landscapes. It mostly concerns the landscapes of river valleys transformed as a result of economic activity. Alongside with this, an earlier experience of the optimization of anthropogenic landscapes shows the importance of height differentiation as a required condition for the development of various projects and shemes of rational nature use.

Goal formulation of the paper. To analyze the peculiarities of height differentiation of valley-river landscapes and to study their current structure taking a model region as an example – a plain territory of the Right-bank Ukraine.

Presentation of the major research material. The Right-bank Ukraine is one of the regions of the oldest human settlement in East Europe. This is due to natural conditions, in particular plain character and mild climate. Consequently, people began to actively influence the environment, to drastically change it from upper paleolith (40–35 thousand years ago). In the second half of XIX century the influence was so powerful that anthropogenic landscapes began to predominate.

Nowadays the landscapes of plain rivers of the Right-bank Ukraine are characterized by the combination of natural and anthropogenic landscape complexes. The extent of their anthropogenization is significant – landscape-technical systems transformed river valleys by 85 %. Two height-landscape levels are singled out within the boundaries of river valleys (“young” accumulative and “typical” accumulative-denudation) and 4 tiers (Table 1). A concrete natural type of locality and certain tracts correspond to each natural height-landscape level. Accordingly, their types of localities and valley-river landscape-technical systems are typical for the anthropogenic height-landscape levels.

Regional peculiarities of height-differentiation of anthropogenic valley-river landscapes are determined mostly by natural conditions and the structure of landscape complexes of height-landscape levels and tiers as well as by the nature of their economic

Height-landscape levels within river valleys of the Right-bank Ukraine

Natural valley-river landscapes					
Height-landscape levels	Tiers	Natural valley-river landscapes		Anthropogenic valley-river landscapes	
		Locality types	Background tracts	Locality types	LTchS
«Young» accumulative	Lower	Riverbed	Central channels; shallow channels (arms); threshold, natural islands; removal cones; central deep waters; coastal shelves	Riverbed-canal	Bridges; dams; causeways; derivative HES; mills; canals; fountains
				Riverbed-pond	Riverbed ponds; anthropogenic islands; mills
	Middle	Flood	Dead channels; lower swamps; willow-alder forests; weed meadows	Flood-pond	Flood ponds; ponds; settling tanks; mills
				Flood-water reservoir	HES; water reservoirs
	Upper	Above-flood-terrace	Oak-tree, oak-pine tree, pine-tree forests; weed meadows; reed-cattail and weed swamps; ravines; gullies	Terrace-residential	Settlements; roads
				Terrace-agricultural	Irrigation and drainage fields; greenhouses; orchards on anchored terraces
				Terrace-mine-damps	Mines; dams
	«Typical» accumulative-denudation	Lower	Sloping	Oak-tree, beech-tree, beech-oak-tree forests; steppe meadows; ravines; gullies	Sloping-residential
Sloping-agricultural					Irrigation and drainage field systems; greenhouses; orchards on anchored terraces
Sloping-mine-damps					Mines; dams of wastes
Canyon-like		Oak-tree forests; steppe meadows; ravines; gullies; “wall” tracts	Canyon-water reservoirs	Water reservoirs	

use/development.

Peculiarities of height-differentiation of anthropogenic valley-river landscapes of a “young” accumulative height-landscape level. Anthropogenic landscape complexes within a “young” accumulative height-landscape level are spread evenly.

Water-economic LTchS, situated within channels, are typical for a lower tier of a “young” accumulative height-landscape level: bridges, dams, causeways, derivative HES, “water” mills, anthropogenic islands or ponds of a riverbed type. Their specificity consists in the constant direct contact with

water masses, having a foundation under the water cut. At present most of these systems do not perform their economic functions and they are at the stage of “destruction” (“aging”). In most cases channels and floods, not occupied by ponds and water reservoirs, are presented with ameliorative rectilinear canals. This is particularly typical for the valleys of the right tributary of the Dnipro river within Ukrainian Polissia (Fig. 1). In the forest-field territory canals are mostly used as floods of small rivers. Due to the fact that planned cleanings of these canals are not done, gradually riverbeds get some characteristic features,

namely: canals get silted, slopes become steeper, meandering (bending) continues in many places, even small islands, straits can be seen. Vegetation recovers. Gradually canal slopes get sodded and water-

logged. As to woody vegetation, various species of willow and alder appear, one can see aspen-trees, white poplar trees (*Populus alba*). Dog-roses and wild-steppe cherry-trees (antypka) are not typical plants for these tracts.

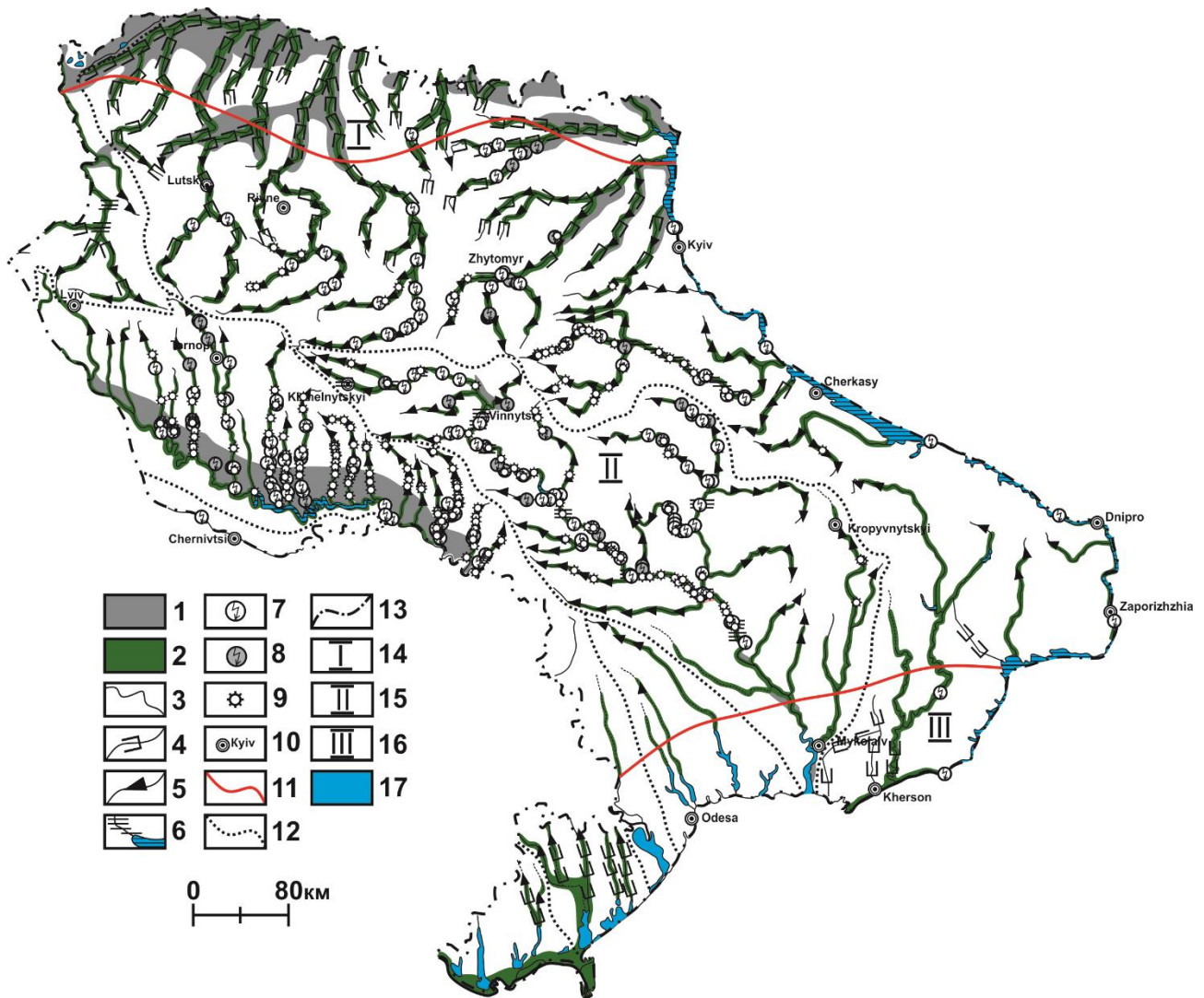


Fig. 1. Association of landscape-technical systems with the height-landscape levels of the river valleys of the Right-bank Ukraine.

Height-landscape levels: 1 – «young» accumulative; 2 – «typical» accumulative-denudation. **Natural landscapes. River landscapes of the plains:** 3 – channels, formed by aqual plots of rifts and tracts. **Anthropogenic landscapes. Landscape-technical systems. Water-economic:** 4 – landscape-technical canal systems; 5 – pond LTchS; 6 – water reservoir LTchS; 7 – hydro-power LES; 8 – hydro-power LES; 9 – mill LTS. **Residential:** 10 – city LTchS (administrative centers). **Boundaries: Landscape:** 11 – anthropogenic zones. **Pool:** 12 – watersheds. **Conditional:** 13 – region under research. **Other symbols:** 14 – forest pasture; 15 – forest-field; 16 – field; 17 – lakes and large lakes (gulfs)

A middle tier of a “young” accumulative height-landscape level is represented with flood-water reservoir and flood-pont types of the localities. Water reservoirs are common in the valleys of the Southern Buh, a tributary to the Dnipro and the Dnister in the forest-field territory of the Right-bank Ukraine. Mainly they are water-economic LTchS resulted from the construction of dams, “water” mills, hydro-electric stations. Most of the ponds and water

reservoirs were created in 1950-60ties, which is why the “aging” stage is quite typical for them now. The processes of eutrophication are rather active at this stage. Water reservoirs get silted and covered with water-swamp vegetation. Sedge-reed-cattail associations dominated in the projective covering. The process of pond siltation takes 8-12 years in the forest-field and field zones [15]. A new outlier-pond-flood type of the localities is formed within the boundaries

of a transformed channel and flood. Some animal populations which require water on a constant basis disappear (fish, frogs, tritons/newt). At the beginning of XXI century the number of such dam LTchS increased considerably in the valleys of the rivers of the forest-field area of the Right-bank Ukraine.

Near-Dnister and Podillia water reservoirs are singled out within the middle tier. Water reservoirs of Prydnistrovia are associated with the lowest marks in the relief (from 50 to 200 m). All these water reservoirs have a serious length (tens of meters) and depths. For instance, the length of the largest Dnister water reservoir in Podillia is equal to 196 km, its width ranges from 400 to 660 m [9]. Background facies here are deep places/tracts. Facies of cattail-reed and sedge swamps are very rare in the coastal area of water reservoirs. The areas of swamps increase considerably only in the upper parts of water reservoirs, there they change into riverbeds. Water reservoirs of Podillia type have other characteristics. The length of these water reservoirs seldom exceeds 10 km, their width ranges from 1 to 2-3 km. Ternopilske, Shchedrivske water reservoirs in Khmelnytsk region and Mykulynetske water reservoir in Vinnytsia region can be the example. Almost all water reservoirs of Podillia type are shallow (the largest depth seldom exceeds 5-6 m). Consequently, in addition to facies of deep places, facies of cattail, reed, cattail-reed and sedge swamps are rather common here. They cover 25-30 % of the total area on some water reservoirs.

Ponds of a flood type are not deep (seldom up to 3-4 m) and their areas amount to 50-100 ha. The characteristic feature of these ponds is their fast siltation and overgrowth. If these ponds are not used for intensive fish farming or they are not part of a poultry farm which specializes in waterfowling, they become lowland swamps in a very short period of time (about 7-10 years). Background facies on these ponds are cattail-reed and sedge swamps, clean deep places/tracts can be seen very seldom here. The latter covers 70-75 % of the area on the ponds which are used intensively. Cattail-reed swamps which cover about 20-25 % are also typical for them. Transitive facies are represented by sedge and calamus swamps. Different species of willow, black alder (*Alnus glutinosa*), aspen *Populus tremula*) are to be mentioned among other vegetation of transitive swamps, as to grassy vegetation – slender sedge (*Carex acuta*) and marsh iris (*Iris pseudacrus*).

Fauna of the ponds is very much diversified. The following fish is mainly bred: carp, crucian, silver carp. Quite frequently one can see pike, perch, ctenopharyngdon, dace/roach, eel. The world of birds is rich and diversified. There are swans, wild ducks and geese, water bull, various species of gulls, sandpipers, reed warblers. Tract and swamp facies are a favorable place of hunting for grey heron, white and black

storks. Marsh turtle, beavers and water rats are quite common among other animals, their area widens with every coming year.

Cultured pastures predominate among anthropogenic landscape flood complexes. In the second half of XX century after extended drainage of floods (particularly in the territory of Volyn, Zhytomyr and Kyiv Polissia), the bottoms of river valleys were plowed deeply (up to 50 cm) and agricultural crops were sown there. Annually these areas required the application of mineral fertilizers and the regular sowing of more grasses which in turn increased financial expenses of the farm businesses. Gradually people gave up taking these measures, and flood meadows began to develop naturally (by natural principles). Some of them were used for haymaking; others became the pastures for public livestock. The following plants predominate here: hemphurds (*Festuca rubra*), blue grass (*Poa pratensis*), upright and creeping tormentil (*Potentilla erecta*, *P. reptans*), various species of sedges, water and roof avens (*Geum rivale*, *G. urbanum*). Facies of reed and cattail-calamus swamps are quite common in lowlands.

Flora in flood meadows transformed into pastures is somewhat different. Due to the effect of intensive livestock pasturing such plants dominate here, namely, creeping couch grass, knotweed (*Polygonum aviculare*), blue grass, different weeds (mostly nettle (*Urtica dioica*) and various species of thistle). Tarragon (*Artemisia vulgaris*), sheep fescue are quite common in the southern regions of Podillia. In most cases flood tracts of a meadow-pasture type are cut with numerous canals. They are linear prolonged waterlogged lowlands with such species of grass as reed, cattail (*Tupha latifolia*), whereas slender sedge, water mannagrass (*Glyceria maxima*) and also swamp willows (*Calix pentandra*) are rare here.

In addition to the mentioned anthropogenic complexes in the middle tier of a “young” accumulative height-landscape level, there are other anthropogenic complexes: vegetable gardens, dacha plots, orchards, sometimes – sport complexes.

Within the boundaries of residential landscapes, floods are used as cultured haymaking areas as well as vegetable gardens. The tracts of private cultured haymaking areas are characterized with rather high productivity as every year fescue grass, ryegrass, alfalfa and clover are sown, mineral and organic fertilizers are applied. Re-plowing of these soils take place with time intervals (usually once in a 10-15 years).

The tracts of vegetable gardens are not very common. Mostly they are used for growing vegetable crops (first of all, early cabbage, radish, tomatoes, onions, peppers). Such vegetable gardens are typically frequent in the southern part of Podillia.

At the end of the 1980ties – at the beginning of

the 1990ties the formation of new anthropogenic landscape complexes began actively in the areas of dacha construction. Their characteristic feature is the small-size plots where dwelling houses, orchards and vegetable gardens are situated. These plots are very popular near big cities of the Right-bank Ukraine – Vinnytsia, Khmelnytskyi, Ternopil, Zhytomyr, Rivne, Lutsk and others.

The plots of natural forests of an above-flood-terrace type were preserved within the upper tier of a “young” accumulative height-landscape level, particularly in the north of the Right-bank Ukraine and in Middle Pobuzhia (forest-steppe polissia) [8].

In the forest-field of the Right-bank Ukraine steppe and forest plots of above-flood terraces were destroyed long ago. These are very old territories which are inhabited by people and have agricultural developments. Field and meadow-pasture types of agricultural landscapes predominate here; residential landscapes are rather typical for them.

Field agricultural landscapes associated with above-flood terraces are characterized with annual cultivation, the application of organic and mineral fertilizers to maintain proper soil fertility. Specific plant groupings are formed here. Wheat, barley, sugar beets predominate among agricultural crops; small plots are under potatoes and vegetable crops. Consequently, each plant cultivar has its certain weeds, and corresponding zoocenoses are formed.

Meadow-pasture landscapes of above-flood terraces are represented mostly by cultured meadows

which occupy 15-20 % of the terrace territory. In most cases these meadows are used to sow perennial grasses (fescue grass, clover, alfalfa) which grow for 3-5 years at the same place. These plant groupings are a good home-place for larks and partridges, hares and foxes spend a greater part of the year here.

Among other anthropogenic landscape complexes, residential landscapes occupy 5-7 % of the area on the above-flood-terrace localities. Large areas are a characteristic feature of the agricultural settlements of these localities. Villages are well-planned, but they have different configuration. The latter depends on the basin form of the main river which flows through a settlement as well as on the number of tributaries (small rivers, creeks) which run into it. Vegetable gardens which cover about 60 % of private plots are situated mostly on the leveled terrace areas. Orchards with dwelling houses and business facilities are situated on the terrace ridges. The soils in these settlements differ, but they are typically poor in humus because of the cultivation of the same crops. Both natural and cultured vegetation represent flora in rural residential landscapes of above-flood-terrace localities.

City settlements are associated with above-flood-terrace localities (Fig. 2). Although they occupy smaller areas in comparison with villages, the extent of the transformation of natural landscapes is much higher. The relief undergoes levelling in the first place. Hills are cut, ravines and gullies are covered, terraces are cut on steep slopes. Later, dwelling

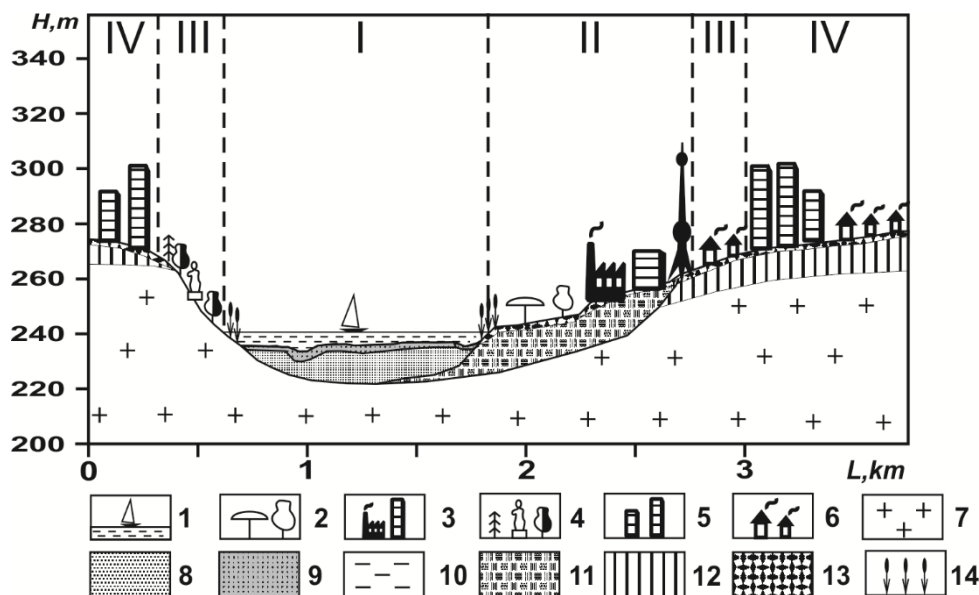


Fig. 2. Scheme of height differentiation of city landscapes within a “young” accumulative height-landscape level of Podillia.

Residential landscapes. City: 1 – water-economic-residential; 2 – recreation; 3 – industrial-residential; 4 – orchard-park; 5 – multi-storey; 6 – low-rise.

Landscape profile: 7 – pre-cambrian rocks; 8 – alluvial sand of flood; 9 – silt deposits; 10 – water mass; 11 – fluvio-glacial sand and clay sand; 12 – loess; 13 – grey forest soils; 14 – water-swamp vegetation.

Locality types. Anthropogenic: I – flood-water-reservoir; II – terrace-residential; III – sloping-residential; IV – flat-residential

houses and industrial premises are built on these territories. The area among them is asphalted. As a result, soils, natural vegetation and fauna have been totally killed.

Road and industrial landscape complexes are singled out among other anthropogenic landscape complexes which can be seen in the upper tier of a “young” accumulative height-landscape level. Road landscapes are represented by highways and railways of a different purpose. They are created on artificial embankments at long distances and have a complicated landscape structure. The trees of trembling poplar, heart-shaped linden and brittle willow are planted in the roadside protection strips. Other species of trees are seldom planted here.

Mining-industrial landscapes within the upper tier are mostly represented by quarries. The largest quarries are the following: Hnivan-Vitavskiy granite mine – 1250 ha, Zavallia graphite mine – 200 ha, Ladyzhyn sand mine – 180 ha (the valley of the Southern Buh river); Hlukhovets kaoline mine – 156 ha (the valley of the Kaolinova river); Polonsk granite mine – 140 ha (the valley of the Homora river); Korosten granite mine – 94 ha (the valley of the Uzh river); Pyniazevets granite mine – 61 ha (the valley of the Irsha river); Zhezheliv granite mine – 54 ha (the valley of the Hnylopiat river; and others.

Within the boundaries of the river valleys a “typical” *accumulative-denudation height-landscape level has one lower tier* formed with two natural types of the localities: sloping and canyon-like. Natural valley-river landscapes are preserved comparatively well on this tier (up to 35 %).

Sloping and canyon-like localities are characterized by the largest forestation within the forest-field of the Right-bank Ukraine. Natural forest landscapes occupy 22-28 % of the territory. The rest of the forests are either derivative or silvicultural. Derivative forest landscapes were formed at the places where deforestation was done in the past. Dominating species in the forests of Podillia were oak- and beech-trees. After mass deforestation, the areas were planted with hornbeam trees, aspen- and birch-trees were planted on the lower land. Oak-trees were also planted, but it was not the main species any longer. Consequently, 45 % of present-day forests of Podillia are derivative oak-hornbeam forests and in the west they are beech-hornbeam forests.

Silvicultural landscape complexes are associated with these localities. As steep slopes are more erosion dangerous, they are planted with forest crops in the first place. Oak-trees (60 %) and pine-trees (20-25 %) predominate in the tree plantations. The other species planted in the tree plantations are beech, spruce, hornbeam, and rarely – ash- and linden-trees. At the beginning of XXI century silvicultural landscapes occupy 42-46 % of all the forests of the Right-

bank Ukraine. Chaotic forestation took place, and it depended on the availability of planting material.

Residential landscapes are very common on sloping and canyon-like localities. Settlements on sloping localities are more typical in Prydnistrovya and in Middle Pobuzhia. The villages here are situated along rivers and gullies. Merging together they form rural agglomerations which stretch for dozen of kilometers. Malostruzhkiivska-Lypchanska agglomeration is the largest among them – 57 km: it begins in Khmelnytsk region and ends in Vinnytsia region.

Lithogenic basis in the settlements of sloping localities underwent drastical changes. Slopes here are terraced; ledges are strengthened with artificial walls. Landscape complexes are well differentiated by the heights. Vegetable gardens are situated in the lower part of the slopes on the passageway to the floods or on the floods themselves. Orchards and buildings occupy the main part of the slopes. Stone fruits (cherries, sweet cherries, apricots, seldom - peaches) dominate in the orchards. There are many apple-, pear-, walnut-trees. The area of vineyards increases all the time. Livestock farms, auto- and tractor-fleets as well as a part of the towns are situated in a transition lane to flat areas (plakors). Natural vegetation is well preserved on sloping localities in the settlements. It grows in deep ravines and gullies which in fact are in every village and town.

Road landscapes on this tier are represented exclusively by local and regional highways. They all run along the slopes in the form of a serpentine which makes them look like mountainous ones. There is no woody vegetation on one side of this road, on the other side there are walls – 1.5-2 m high – with shrubs and trees above them. Acacia- and maple-trees predominate among trees; lilac takes a central place among bushes. The basis of these roads is local mountain rocks which result from terracing or they are brought from near-by quarries.

Orchard agricultural landscapes are very popular on sloping localities. Orchards are very similar to silvicultural landscapes. They differ from them by a less-expressed self-regulation and a larger effect of an anthropogenic factor. Every year pruning is done, inter-rows are plowed, grain crops are sown and early vegetables are grown in the orchards.

The rest of the territory of sloping localities and a greater part of canyon-like localities is under meadows and pasture. Pasturing predominates. There is almost no haymaking. A peculiar feature of the pastures in these localities is the fact that they appeared on natural meadow-steppe plots or on the degraded forest tracts due to excessive livestock pasturing. Sheep fescue, low-rise sedge, slender koeleria (*Koeleria gracilis*) predominate among grass plants. Rare and endemic species are seldom found among this vegetation. Pastures on the slopes are “laced” with terra-

ces which have clearly-seen paths for livestock to walk but they have no vegetation. In the mid-summer these pastures change into wasteland.

Industrial landscapes are typical for the slopes of river valleys. They are represented mostly by small quarries. Local residents use opened rocks of the quarries for the construction and to fill up roads. Some of them are placed as small slagheaps on the floods and later they are covered with ruderal vegetation. They are mainly various tarragon species and blue grass. As to bush and woody vegetation, swamp willow and acacia are quite common in the southern areas, whereas birch-trees are found in the central and northern areas. Quarry slopes form almost up-right/vertical (up to 60-80 m) and sometimes terraced "walls".

Water anthropogenic landscapes are found in the lower tier of a "typical" accumulative-denudation height-landscape level. These are ponds which are attached to the slopes. Their active construction has been carried out during the last 25-30 years. The ponds occupy small areas and they are rather deep, their depth near dams amount to 7-12 m. Due to their young age, the ponds experience a serious effect of accumulative-denudation processes: bank erosion, the formation of a removal cone; all this leads to their siltation. Swamp groupings appear in the upper parts of these ponds 5-8 years later (after they were created). Cascades/waterfalls of the ponds in the gullies

were created in some villages (Yablunivka in Khmelnytsk region, Rashtivtsiin Ternopil region).

Conclusions. The analysis of height differentiation of the landscapes of the river valleys has just been started. Taking into account the increasing anthropogenic pressure on the environment, such examinations will help understand better the course of negative techno-genic processes and they will facilitate the optimization, preservation and protection of current valley-river landscapes. In perspective it can become the grounds to carry out similar research in the river valleys of the whole planet.

With further anthropogenization of the river valleys, it is expedient to carry out the designing of anthropogenic landscapes distributing them thoughtfully and evenly on height-landscape tiers. Thus, within a "young" accumulative height-landscape level, it is advisable to do the restoration and optimization of water-economic LTchS which are at the "aging" stage. In the future landscapes are subject to total nature reservation along the valley. To preserve valley-river landscapes, it is required to forbid any economic measures except for optimization ones. The formation of new anthropogenic landscapes is to be associated with the tiers of upper height-landscape levels. Alongside with this, the areas of the valley natural landscapes have to be preserved as much as possible.

Bibliography

1. Ахтырцева Н. И. Вертикальная структура и вопросы эволюции ландшафтных комплексов Калачской возвышенности / Н. И. Ахтырцева // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия : География и геоэкология.* – 2004. – № 1. – С. 57–61.
2. Белосельская Г. А. Основные вопросы вертикальной дифференциации ландшафтов центральной лесостепи / Г. А. Белосельская // *Вопросы ландшафтной географии.* – Воронеж, 1969. – С. 16–24.
3. Бережной А. В. Склоновая микроразнообразие ландшафтов среднерусской лесостепи : монография / А. В. Бережной. – Воронеж : Изд-во Воронеж. ун-та, 1983. – 137 с.
4. Висотна диференціація рівнинних ландшафтів / Г. І. Денисик, Л. М. Кирилюк, О. П. Чиж, І. М. Война // *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія : Географія.* – 2006. – Вип. 1. – С. 5–11.
5. Война І. М. Висотна диференціація та різноманіття антропогенних ландшафтів (на прикладі Вінницької області) : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геогр. наук : спец. 11.00.11 «Констр. географія і рац. викор. прир. ресурсів» / І. М. Война. – Чернівці, 2010. – 20 с.
6. Горбунов А. С. Вертикальная дифференциация ландшафтов лесостепной зоны мелового юга Среднерусской возвышенности : автореф. дис. на соискание учен. степени канд. геогр. наук : спец. 25.00.23 «Физ. география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов» / А. С. Горбунов. – Воронеж, 2002. – 22 с.
7. Денисик Г. І. Висотна диференціація рівнинних ландшафтів України : монографія / Г. І. Денисик, Л. М. Кирилюк. – Вінниця : ПП «ТД «Едельвейс і К», 2010. – 236 с.
8. Денисик Г. І. Лісостепові Полісся / Г. І. Денисик, О. П. Чиж. – Вінниця : Теза, 2007. – 210 с.
9. Денисик Г. І. Природнича географія Поділля / Денисик Г. І. – Вінниця : ЕкоБізнесЦентр, 2006. – 184 с.
10. Кирилюк Л. Висотна диференціація сучасних ландшафтів Полонського району / Л. Кирилюк, В. Корінний, Ю. Кравець // *Вісник Львівського університету. Серія географічна.* – 2014. – Вип. 48. – С. 95–99.
11. Кирилюк Л. М. Висотна диференціація ландшафтів Поділля : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геогр. наук : спец. 11.00.01 «Фізична географія, геофізика і геохімія ландшафтів» / Л. М. Кирилюк. – Львів, 2007. – 20 с.
12. Лаврик О. Д. Висотна диференціація долинно-річкових ландшафтно-технічних систем / О. Д. Лаврик // *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія : Географія.* – 2016. – Вип. 28, № 3–4. – С. 18–26.
13. Мильков Ф. Н. Воздействие рельефа на растительность и животный мир (Биогеоморфологические очерки) /

- Мильков Ф. Н. – М. : Географгиз, 1953. – 164 с.
14. Мильков Ф. Н. О явлениях вертикальной дифференциации ландшафтов на Русской равнине / Ф. М. Мильков // Вопросы географии. – 1947. – № 3. – С. 87–102.
 15. Мильков Ф. Н. Человек и ландшафты. Очерки антропогенного ландшафтоведения. – М. : Мысль, 1973. – 224 с.
 16. Михно В. Б. Высотно-ландшафтные комплексы мелового юга Среднерусской возвышенности / В. Б. Михно, А. С. Горбунов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия : География. Геоэкология. – 2001. – №1. – С. 16–24.
 17. Федотов С. В. Вертикальная дифференциация литогенных ландшафтов равнин и вопросы их оптимизации в бассейне Средней Десны / С. В. Федотов // Проблемы региональной экологии. – 2009. – № 6. – С. 25–29.
 18. Федотов С. В. Поверхности выравнивания и проблема вертикальной дифференциации литогенных ландшафтов центра Русской равнины / С. В. Федотов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия : География. Геоэкология. – 2009. – № 2. – С. 101–106.
 19. Altitudinal Landscape Complexes of the Central Russian Forest–Steppe / A. S. Gorbunov, V. B. Mikhno, O. P. Bykovskaya, V. N. Bevz // Landscape Patterns in a Range of Spatio-Temporal Scales / A. V. Khoroshev, K. N. Dyakonov (Eds.). – Cham : Springer Nature Switzerland AG, 2020. – P. 207–220. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-31185-8>.
 20. Bu X. Effect of Landform on Landscape Pattern Vertical Differentiation in Rapidly Urbanized Shenzhen City / X. Bu, Y. Wang, J. Wu // Acta Geographica Sinica. – 2008. – Vol. 63, Is. 1. – P. 75–82. <http://www.geog.com.cn/CN/10.11821/xb200801008>.
 21. Stadel C. Horizontal and Vertical Archipelagoes of Agriculture and Rural Development in the Andean Realm / C. Stadel // Sustainable Rural Development. – 2019. – P. 1–21. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.86841>.
 22. Vertical Zonation of Landscape Characteristics in the Namjagbarwa Massif of Tibet, China / Peng Buzhuo, Pu Lijie, Bao Haosheng, D. L. Higgitt // Mountain Research and Development. – 1997. – Vol. 17, No. 1. – P. 43–48. <https://doi.org/10.2307/3673912>.
 23. Vertical zonation of mountain landscape: a review / Ran-Hao Sun, Li-Ding Chen, Bai-Ping Zhang, Bo-Jie Fu // Ying Yong Sheng Tai Xue Bao. – 2009. Vol. 20, Is. 7. – P. 1617–1624.

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

References

1. Akhtyrteva, N. I. (2004). Vertical structure and issues of evolution of landscape complexes of the Kalach Upland. Bulletin of Voronezh State University. Series: Geography and Geoecology, 1, 57–61 [in Russian].
2. Beloselskaya, G. A. (1969). Main issues of vertical differentiation of landscapes of the central forest-steppe. Questions of landscape geography, 16–24 [in Russian].
3. Berezhnoy, A. V. (1983). Slope microzonality of landscapes of the Central Russian forest-steppe. Voronezh, 137 [in Russian].
4. Denysyk, G. I., Kyrylyk, L. M., Chyzh, O. P., Voina, I. M. (2006). High-altitude differentiation of plain landscapes. Scientific notes of Vinnytsia State Pedagogical University named after Mykhailo Kotsyubynsky. Series: Geography, 1, 5–11 [in Ukrainian].
5. Voina, I. M. (2010). High-altitude differentiation and diversity of anthropogenic landscapes (on the example of Vinnytsia region). Extended abstract of candidate's thesis. Chernivtsi [in Ukrainian].
6. Gorbunov, A. S. (2002). Vertical differentiation of landscapes of the forest-steppe zone of the Cretaceous south of the Central Russian Upland. Extended abstract of candidate's thesis. Voronezh [in Russian].
7. Denysyk, G. I., Kyrylyk, L. M. (2010). High-altitude differentiation of plain landscapes of Ukraine. Vinnytsia, 236 [in Ukrainian].
8. Denysyk, G. I., Chyzh, O. P. (2007). Forest-steppe Polissya. Vinnytsia, 210. [in Ukrainian].
9. Denysyk, G. I. (2006). Natural geography of Podillya. Vinnytsia, 184 [in Ukrainian].
10. Kyrylyk, L., Korinnyi, V., Kravets, Yu. (2014). High-altitude differentiation of modern landscapes of Polonsky district. Visnyk of Lviv National University. The series is geographical, 48, 95–99 [in Ukrainian].
11. Kyrylyk, L. M. (2007). High-altitude differentiation of Podillya landscapes. Extended abstract of candidate's thesis. Lviv [in Ukrainian].
12. Lavryk, O. D. (2016). High-altitude differentiation of valley-river landscape-technical systems. Scientific notes of Vinnytsia State Pedagogical University named after Mykhailo Kotsyubynsky. Series: Geography, 28 (3–4), 18–26 [in Ukrainian].
13. Mil'kov, F. N. (1953). Influence of relief on vegetation and fauna (Biogeomorphological essays). Moscow, 164 [in Russian].
14. Mil'kov, F. N. (1947). On the phenomenon of vertical differentiation of landscapes in the Russian plain. Questions of geography, 3, 87–102 [in Russian].
15. Mil'kov, F. N. (1973). Man and landscapes. Essays on anthropogenic landscape science. Moscow, 224 [in Russian].
16. Mikhno, V. B., Gorbunov, A. S. (2001). Altitude and landscape complexes of the Cretaceous south of the Central Russian Upland. Bulletin of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology, 1, 16–24 [in Russian].
17. Fedotov, S. V. (2009). Vertical differentiation of lithogenic landscapes of plains and issues of their optimization in the

- Middle Desna basin. Problems of regional ecology*, 6, 25–29 [in Russian].
18. Fedotov, S. V. (2009). *Leveling surfaces and the problem of vertical differentiation of lithogenic landscapes in the center of the Russian Plain. Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology*, 2, 101–106 [in Russian].
19. *Altitudinal Landscape Complexes of the Central Russian Forest–Steppe* / A. S. Gorbunov, V. B. Mikhno, O. P. Bykovskaya, V. N. Bezv // *Landscape Patterns in a Range of Spatio-Temporal Scales* / A. V. Khoroshev, K. N. Dyakonov (Eds.). – Cham : Springer Nature Switzerland AG, 2020. – P. 207–220. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-31185-8>.
20. Bu, X. Wang, Y., Wu, J. (2008). *Effect of Landform on Landscape Pattern Vertical Differentiation in Rapidly Urbanized Shenzhen City. Acta Geographica Sinica*, 63 (1), 75–82. <http://www.geog.com.cn/CN/10.11821/xb200801008> [in Chinese].
21. Stadel, C. (2019). *Horizontal and Vertical Archipelagoes of Agriculture and Rural Development in the Andean Realm. Sustainable Rural Development*, 1–21. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.86841>.
22. Buzhuo, P., Lijie, P., Haosheng, B., Higgitt, D. L. (1997). *Vertical Zonation of Landscape Characteristics in the Nam-jagbarwa Massif of Tibet, China. Mountain Research and Development*, 17 (1), 43–48. <https://doi.org/10.2307/3673912>.
23. Sun, R.-H., Chen, L.-D., Zhang, B.-P., Fu, B.-J. (2009). *Vertical zonation of mountain landscape: a review. Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*. 20 (7), 1617–1624 [in Chinese].

Висотна диференціація долинно-річкових ландшафтів правобережної України

Олександр Дмитрович Лаврик¹,

д. геогр. н., доцент, професор кафедри екології та географії
¹Житомирського державного університету імені Івана Франка,
вул. Велика Бердичівська, 40, Житомир, 10008, Україна;

Володимир Іванович Корінний¹,

к. геол. н., доцент кафедри екології та географії;

Леонід Миколайович Кирилюк²,

к. геогр. н., доцент кафедри географії

²Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського,
вул. Острозького, 32, м. Вінниця, 21100, Україна;

Валентина Василівна Цимбалюк³,

к. хім. н., доцент, викладач-методист циклової комісії природничих дисциплін та математики

³КЗ «Уманський гуманітарно-педагогічний фаховий коледж ім. Т. Г. Шевченка Черкаської обласної ради»,
вул. Небесної сотні, 33, м. Умань, Черкаська обл., 20301, Україна

На основі попереднього досвіду розглянуто прояви висотної диференціації у межах долинно-річкових ландшафтів Правобережної України. У річкових долинах виокремлено 2 висотно-ландшафтних рівні («молодий» акумулятивний і «типовий» акумулятивно-денудаційний) та 4 яруси. Кожному натуральному висотно-ландшафтному рівню відповідає конкретний натуральний тип місцевостей та певні урочища. Відповідно для антропогенних висотно-ландшафтних рівнів характерними є свої типи місцевостей та долинно-річкові ландшафтно-технічні системи. Зазначено, що антропогенні ландшафтні комплекси у межах «молодого» акумулятивного висотно-ландшафтного рівня розповсюджені рівномірно. Для нижнього ярусу «молодого» акумулятивного висотно-ландшафтного рівня характерні мости, дамби, гатки, дериваційні ГЕС, «водяні» млини, антропогенні острови, ставки руслового типу або меліоративні канали. Середній ярус представлений водогосподарськими і сільськогосподарськими ландшафтами. Верхній ярус формують селитебні та гірничопромислові ландшафти. У річкових долинах «типовий» акумулятивно-денудаційний висотно-ландшафтний рівень має один нижній ярус, який сформований двома натуральними типами місцевостей: схиловим і каньйоноподібним. Цей ярус характеризується гарною збереженістю (до 35 %) натуральних ландшафтів. Антропогенні ландшафти представлені переважно лісокультурними, селитебними, сільськогосподарськими і дорожніми ландшафтними комплексами. Зроблено висновок про те, що при подальшій антропогенізації річкових долин варто здійснювати проектування антропогенних ландшафтів, рівномірно й обґрунтовано розподіляючи їх по висотно-ландшафтних ярусах. У межах «молодого» акумулятивного висотно-ландшафтного рівня необхідно провести відновлення та оптимізацію водогосподарських ландшафтно-технічних систем, які перебувають на стадії «старіння». У подальшому ландшафти підлягають суцільному заповіданню уздовж долини. З метою збереження долинно-річкових ландшафтів тут потрібно заборонити будь-які господарські заходи крім оптимізаційних. Формування нових антропогенних ландшафтів має бути приурочене до ярусів вищих висотно-ландшафтних рівнів.

Ключові слова: висотна диференціація ландшафтів, антропогенні ландшафти, долинно-річкові ландшафти, ландшафтно-технічні системи, річкові долини.

New frameworks and experiences in local planning: Luhansk region and the state of main instruments

*Anatolii L. Melnychuk*¹,

PhD (Geography), Associate Professor at the Department of Economic and Social Geography,
¹Taras Shevchenko National University of Kyiv, 60 Volodymyrska St., Kyiv, 01033, Ukraine,
e-mail: melan97@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-4419-1446>;

*Olena O. Denysenko*¹,

PhD (Geography), Researcher at the Department of Economic and Social Geography,
e-mail: denysenko.olena.o@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7836-9594>;

*Svitlana S. Hnatiuk*¹,

BSc (Geography) at the Department of Economic and Social Geography,
e-mail: svetahnatiuk@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-9939-7663>

ABSTRACT

Aim. Post-communist planning in Ukraine was essentially transformed over the last years with new approaches, instruments and practices changing the very idea of planning at the local level. As a result, local planning is becoming a mix of multiple usual planning instruments, new optional tools, which have appeared with imported conceptions and widespread participatory practices. This article uses the context of Luhansk region to address the question how this variety of instruments transform the planning processes at the local level in post-transitional perspective. We examine how planning and participatory instruments are developed and combined in the territorial communities of Luhansk region, what are the outcomes and how the main actors evaluate the planning process.

Methodology. In this article, we consider how territorial communities use the planning and participation instruments from the standpoints of spatial transformations and place-making, using the experience of the region with a severe planning crisis in recent decades. In order to analyze the state of use of planning and participation instruments at the local level, we focus on planning documents and participatory tools in 26 territorial communities of the government controlled areas in Luhansk region (as of the end of 2021). Additional data for contextualizing empirical information on the planning process, its outcomes and particular instruments were obtained from two focus groups, which involved 35 persons, including local officials, local activists and residents from different territorial communities of Luhansk region.

Results. We argue that territorial communities rely on quite diverse planning documents and participatory practices with insufficient focus on planning instruments for balancing the spatial development. Active introduction of the new public participation tools that have become available in recent years had a paradoxical effect in the region, when implementing without reliance on planning instruments. At the same time, many territorial communities are adapting various instruments to specific local context, thus contributing significantly to developing the local institutional environment, creating local success stories and strengthening democratic decision-making. We show that planning instruments, their implementations and outcomes of planning activity in most cases are perceived and evaluated differently by the main actors, however many of them are becoming increasingly aware about planning process and interested in developing the planning culture.

Novelty and practical significance. This paper contributes to the discussion on the evolution of local planning instruments, the role and effectiveness of certain instruments in the post-transitional perspective. Understanding the state of affairs with local planning and participatory instruments, their interplay and ability to provide expected outcomes contributes to strengthening of the local planning policy and making it more effective.

Keywords: *planning, local level, instruments, transition, Luhansk region.*

In cites: Melnychuk A. L., Denysenko O. O., Hnatiuk S. S. (2022). New frameworks and experiences in local planning: Luhansk region and the state of main instruments. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (56), 132-142. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-09>

Introduction

Planning as a process, spatial and social practice in the post-Soviet perspective faced huge challenges: the need to rethink its functions and goals in the new socio-economic reality and mechanisms for their implementation into practice of spatial development, the need to legitimize planning as such, given its negative ideological connotation, and the need to rethink and update the planning tools. As in many other countries of the CEE region, these processes have resulted from significant social changes and transformations, creating demand for a more open and transparent governance, its de-ideologization and democratization.

Changes of the Soviet planning, typically defined as centralized [26, 8, 7, 17, 13, 23] and technocratic [16, 8, 9], in the post-Soviet period were not only related to building the institutional environment and implementing the overall trend of democratization but also rethinking the levels of planning and search for effective tools on each spatial level. As far as Soviet planning system relied upon the spatial planning as a way of spatial interpretation of economic development plans [31, 9, 7] and regulating the growth and development [23, 8] with making the main focus on the macro level in the Soviet scale, there was a strong need to reconsider these approaches in the post-transitional perspective.

Shifting attention to the local level, revising planning tools and updating them in view of the new context, have become general trends in the evolution of the planning systems in transitional countries [16, 9, 26, 21], and Ukraine has to some extent followed these trends [14]. However, the crisis of legitimacy of planning [16, 9, 22], its weakening and the subsequent crisis of planning as a tool of spatial development, along with the dominance of the so-called culture of “investor urbanism” [7, 21], as in other transitional countries, led to the chaos in spatial development, when planning instruments exist in one reality, and spatial processes develop on a far different trajectory. Often outdated, both formally and meaningfully, planning documents have largely ceased to play their role as tools for integrated development of territories over the long run, particularly since the urban situation was changing rapidly, and because of the lack of resources to implement these planning documents. The decentralization reform that began in Ukraine, albeit much later than in other countries of the region, was designed to strengthen and intensify local economic development and resulted in the emergence of new planning instruments for territorial communities, such as strategies and complex spatial development plans.

At the same time, the rethinking of planning instruments in the post-transitional period was influenced by strengthening of civil society, which contributed to the spread of diverse participatory tools and their implementation into planning practice - public hearings, inquiries, petitions and many others. Development of participatory instruments, on the one hand, reflected the overall trend of democratization of governance in post-socialist countries, as well as the growing public demand for participation in the planning processes, despite numerous difficulties in implementing participatory governance into post-socialist planning [1, 11].

As a result, a planning system has been formed, based on numerous traditional planning instruments, new optional instruments resulting from the “import” of planning practices, as concepts of integrated development, and multiple participatory instruments supplementing the planning process at different stages. Thus, a rather complicated system consisting of multiple planning instruments has been formed at the local level. On the one hand, it really allows to consider the interests of different actors in the planning processes and next developments in a “stakeholder society” [6], on the other hand, due to its complexity, emerged planning system appears as confusing and non-transparent to many involved parties, which eventually negatively affects the planning process and its outcomes.

Although post-socialist transition and its impact on planning have received considerable attention in

the literature, where various aspects of planning under transition [9, 7], rethinking planning in the post-transitional perspective [16, 21], restructuring the planning systems and particular instruments [4, 8, 22, 25] as well as introducing the new practices of governance [26, 1] are revealed, there is a lack of research on transformed planning systems based on both traditional planning instruments and participatory ones in the regions with a socialist past. At the same time, these issues are significantly affecting the local planning: the post-socialist context imposes quite specific conditions of the balance between supporting investment process and taking into account the possible consequences for environment and historical legacy, deregulating business facilitation procedures and considering other stakeholders interests in planning and development. In this article, basing on the local context of planning in the Luhansk region of Ukraine, we consider how territorial communities use the planning and participation instruments, their interaction and specificity of using diverse tools from the standpoint of spatial transformations and place-making.

Research questions of the study include: How are the challenges for developing a balanced planning system, shaped by both traditional planning tools and new participatory practices, relayed to the local level? What instruments do territorial communities rely on and how the main tools are rethinking at the local level in a region with a severe planning crisis in recent decades. In this case, we consider planning as a process of elaboration and implementing the medium- and long-term plans for territories, which includes both strategic and spatial planning and relevant instruments.

The article consists of a theoretical part that reflects the main challenges for local planning in the post-socialist context, research methodology and data, analysis of the use of planning and participation instruments, including typification of territorial communities on this basis and ends with a critical analysis of the planning process from the standpoint of the main participants.

Theoretical background

Planning during the transitional period in the post-socialist countries is mostly described in the literature as related to the crisis of planning, including its legitimacy crisis [16, 9, 22] and the subsequent changes in ideas about planning itself, its goals and actors in the planning process, and, accordingly, the planning system as a whole [4, 26, 21]. Such changes are closely related to social transformations in the region and overall changes in the political governance culture, and consequently – planning culture [3, 12], which J. Friedmann defines as “the ways, both formal and informal, that spatial planning is ... conceived, institutionalized, and enacted” [3]. In this regard, it is

necessary to emphasize some features, which contrasted sharply with the socialist past: growth of informal practices in planning process and spatial transformations, changing attitudes towards planning and ways of its institutionalization and revision of decision-making procedures, which redefine the role of different actors in planning and transformations in a new way.

New actors, especially private business, have introduced new practices of spatial transformations, which have become widespread within all transitional countries and often were realized in the form of “investor urbanism” [7; 21], when planning and its tools were, in fact, ignored while making decisions and transformations. As a result, glaring examples of disparity between the planning situation, as it is defined in the planning documents, and what it is in reality, could be observed. This imbalance is one of the hallmarks of transitional planning, as is the growth of informal transformation practices. Thus, rethinking of planning and “critical constructive thinking” [24] on its outcomes is intended to strengthen its role in the transformation of space and governance, to balance the influence of different actors and to contribute to reducing social and environmental imbalances.

Rethinking of planning is inevitably related to introduction of new approaches and concepts that were supposed to change Soviet planning and assist to “switch [it] from technical, rigid, and mostly land-use oriented planning in support of economic plans to process-based, participatory, and integrative planning activities” [16]. Changes in planning as a process and its rethinking should have contributed to the updating of existing and the establishing of new planning tools as specific ways to implement the updated content of planning activities. More than 10 years ago, S. Hirt and K. Stanilov, giving recommendations for planning activities in transitional countries, called for the broadening of planning instruments and investing into alternatives to traditional tools such as master planning with more attention to other tools, including strategic planning and issue-focused planning [9]. However, the development of new tools, their elaboration and implementation into planning practice typically is encountering numerous obstacles for their interpreting, adopting and use, as evidenced by the Ukrainian experience [14]. Such difficulties lie both in the field of the new tools introduction, and achieving of the expected outcomes, shaping the new “temporalities of planning” [19]. That is why, the institutionalization of planning, in the words of J. Friedmann is “one of the greatest challenges to be faced” [3].

In this regard, one of the biggest challenges in the last two decades for planning in transitional countries is related to “changing frames” [26] due to the implementation of approaches and tools of communicative planning. Despite the proliferation of

human-oriented approaches and principles in planning as a result of implementing various participatory practices and governance “for and by people” [5], the notion of communicative planning as a dominant paradigm has also been much criticized [10]. For the post-socialist context, the main risks of implementing the so-called imported practices [26, 20] lie between two extremes: either a flagrant disregard of participatory procedures (mostly at the initial stage) or absolutization of their use in contrast to traditional planning instruments. In this article, based on the experience of local planning in the Luhansk region, we analyze how different territorial communities in the region combine traditional planning tools and new participatory ones, thus contributing to the discussion on the evolution of local planning instruments in the post-Soviet space, role and effectiveness of certain instruments.

The effectiveness of planning largely depends on the awareness of the context in which the planning activity takes place [2]. In that connection, the regional context of planning activity can be defined as a specific environment influenced by historical, economic and socio-political characteristics of the region, as well as “legacies of the inherited institutional frameworks” [18]. The case of the Luhansk region, to which we refer in this article, is quite specific among other regions of Ukraine in terms of passivity of planning activities in the post-Soviet period and significant inertia of planning, which is substantially based on the past experiences. At the same time, due to decentralization processes and the active role of international technical assistance projects in the region, typical practices have begun to change. Thus, a rather specific mix of both inherited and new planning practices has been formed here, which is already taking place on a new territorial basis, thus creating a rather specific situation for local planning and its rethinking.

Data and methodology

This study focuses on the Luhansk region of Ukraine, a significant southern part of which was occupied in 2014. The specificity of the region is that it received special attention and support from the International Technical Assistance programs to facilitate decentralization processes. The Ministry for Reintegration of the Temporary Occupied Territories has also focused its attention on the region, mostly in rebuilding the infrastructure and developing territorial communities. As in other regions of Ukraine, planning processes here have become more complicated during the last decade, in particular, strategic planning has become mandatory, greater focus is being made on the broad citizen involvement into planning activity and transformations. Luhansk region is among the regions that actively participated in voluntary amalgamation of territorial communities at the

initial stage of decentralization reform. Thus over the past few years, the culture of spatial and strategic planning has been formed here.

In order to analyze the state of use of planning and participation instruments at the local level, we focused on planning documents and participatory tools in 26 territorial communities of the government controlled areas in Luhansk region (as of the end of 2021). On the one hand, we analyzed seven relatively new participatory instruments – electronic requests for information, citizens' appeals, electronic appeals, electronic surveys, electronic petitions, geoportal and “participatory budget”, which provide different forms for citizen involvement and communication. On the other hand, we analyzed eight “traditional” planning instruments that are at the core of the planning process – statute, passport, profile, strategy of territorial community, master plans of settlements, historical and architectural reference plan, city planning conditions and restrictions. Thus, for every territorial community in the region we collected data on elaboration of a wide variety of instruments and evaluated each of them in one point. Building upon this empirical material, the ranking of territorial communities was carried.

Additional data for contextualizing the empirical information on the planning process, its outcomes and particular instruments were obtained from two focus groups which involved 35 persons, including local officials, local activists and residents from different territorial communities of Luhansk region. These focus groups were organized in order to gain a deeper understanding of the planning activity and main obstacles for it in the territorial communities of the region, the role of particular instruments, both planning and participatory in making spatial transformations and to evaluate the impact of the main actors. Thus, the present paper is based, on the one hand, on comparative analysis of the new participatory and traditional planning instruments in the territorial communities of the region and, on the other hand, on the critical analysis of the planning processes and planning practices.

The use of participatory instruments by territorial communities of the region

Participatory instruments, especially various electronic tools, such as petitions, requests, chatbots, appeals, requests for information, surveys, geoportals have become common instruments for planning and decision-making in the region these days [15]. However, according to empirical data, most territorial communities in the region are implementing only a few tools. Some territorial communities have introduced the use of GIS and e-services. Electronic petitions and electronic appeals are the most widely used participatory tools among the territorial communities of Luhansk region: petitions are used in all communi-

ties of the region, and electronic appeals are used by the majority of them (15, or 58% of the total number of communities).

However, a wide dissemination of these instruments does not necessarily is in line with their effectiveness and effective use. In the majority of cases, it is a declaration of intentions to involve citizens in decision-making on community development rather than real appeals and their consideration with subsequent citizen involvement. While the introduction of such tools is crucially important for making transition from a rigid bureaucratic administrative system of local governance to more democratic and participatory, further efforts are needed to facilitate their use. In practice, these instruments are often viewed as imposed and unneeded, therefore many actors are not willing to cooperate in a meaningful way, local authorities mostly are not able to provide collaboration and dialogue. The first experiences of public hearings, consultations and other participatory practices quite often are rather formal or even negative. And though it is the first step for changing the patterns of governance behavior, most territorial communities in the region are at the initial stage in their efforts to involve citizens in decision-making and planning.

Chmyrivska, Novopskovska, Starobilska and Troitska territorial communities use the largest number of participation instruments among the communities of the region (Fig. 1). Specifically, Novopskovska and Troitska communities use citizens' appeals, electronic appeals, electronic petitions, geoportal and participatory budget. Starobilska community does not have an interactive geoportal where you can leave your messages, but uses electronic consultations. These communities, on the one hand, have expanded the use of different instruments, on the other hand, such use, importantly, is not formal: the use of tools to involve citizens in decision-making and planning has become established and common practice. Although the impact of participatory practices is not yet high enough, various actors are learning to use their opportunities and benefits of active involvement in local planning and governance.

At the same time, four communities (15% of the total number in the region) use only one tool for interaction with citizens. These are Bilolutska, Nyzhnoteplivska, Shyrokiivska and Schastynska territorial communities, which, in fact, refused to introduce and develop participatory instruments. It must be emphasized though that the use of only one participatory tool leads to the policies of discrimination of certain groups and their inability to influence local governance and planning (for instance, chatbots are used mainly by young people, and electronic appeals are more often registered by middle-aged people). However, it is also important to stress that the last three named communities are located adjacent to the

temporarily occupied territories of Luhansk region and function as civil-military administrations, so difficulties of citizen involvement are largely attributed

to the military threat and specificity of local governance.

The half of the communities in the region are on

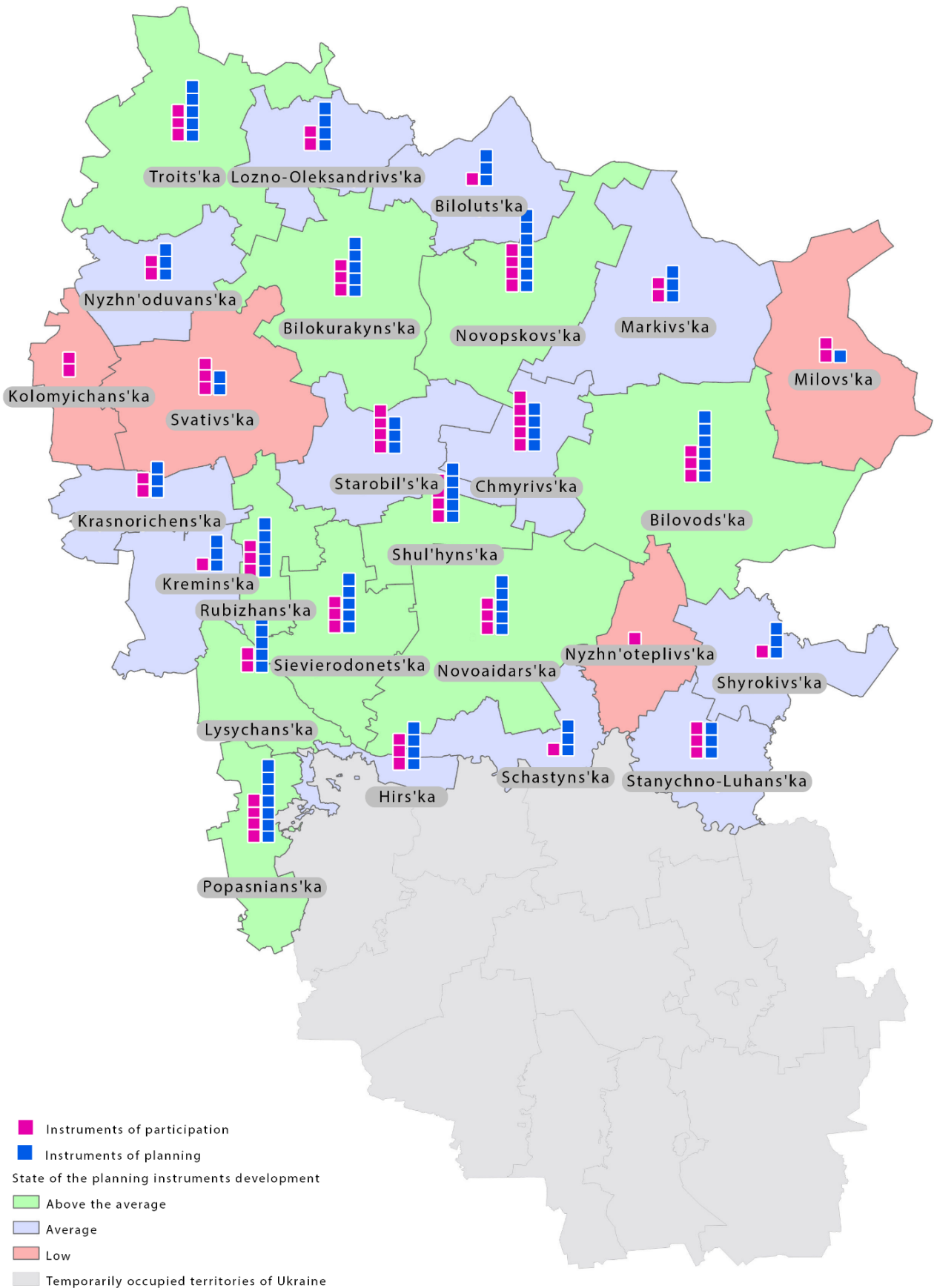


Fig. 1. The use of planning and participation instruments by territorial communities of Luhansk region, 2021

different paths from lagging behind in the use of participatory tools to enhancing their role in planning activities. Five territorial communities in the region may be identified as underdeveloped due to the peripheral location (Lozno-Oleksandrivska, Markivska, Milovska), proximity to the contact line with temporarily occupied territories (Stanychno-Luhanska community), small size (Kolomyichyska community), and that translates into participatory instruments use: these communities have only slightly increased the number of tools.

Four territorial communities - Hirska, Kreminska, Novoaidarska and Bilokurakynska - have an average level of participatory tools implementation and citizen involvement in planning activities. In these territorial communities an increase in the number of instruments had gradually led to a qualitative transformation of the involvement. Bilovodska community also has a relatively small number of participatory instruments; therefore, it can be attributed to the group of communities with a medium level of their implementation on this basis. At the same time, however, among the instruments implemented in this community the most complicated can be found, such as geoportal.

Lysychanska, Rubizhanska and Sievierodonetska territorial communities are communities with quite large cities that are administrative centers. They have significant experience of local governance with highly qualified personnel and implementing big projects, that certainly distinguishes these communities from others.

The use of planning instruments by territorial communities of the region

Development of the planning instruments in territorial communities, including strategic and spatial planning tools, evolved considerably over the past few years in Ukraine. In a number of territorial communities new strategic planning instruments were developed, such as economic profiles, investment profiles, local economic development programs, communication strategies, sustainable economic development and climate action plans, service delivery improvement plans, roadmaps for capacity development, etc. However, territorial communities vary significantly by elaborating these and other planning instruments, depending on the region, period of amalgamation, territorial community type - urban or rural, economic potential and others.

On the one hand, strategic planning for territorial communities of the Luhansk region plays a crucial role in the light of the decentralization process and new administrative division, continuous planning crises and military risks. On the other hand, the institutional capacities for developing and implementing planning documents of adequate quality are quite limited in the region.

There are several types of territorial communities in the region by availability of planning documents. Most of the communities as newly formed ones need to develop basic planning documents. Significant part of those communities, which were established on the basis of voluntary amalgamation, still have not a valid development strategy. Some of the communities elaborated development strategies of high quality, some need to update the strategies because they do not meet current requirements or must be updated due to configuration changes. Most communities do not have proper representation of planning documents on their official websites, which significantly complicates public awareness on planning activity.

Spatial planning in the region is facing a number of specific problems as well, both recent and long-standing. The inherited long-standing problems include the traditional passivity of Luhansk region in developing planning documentation at the local level, even in comparison with other regions: the vast majority of the master plans in Luhansk region were elaborated and approved in Soviet times. This requires rethinking of planning policy, both on the regional level – for the region with temporarily occupied territories and constant military risks and on the local level – for territorial communities as new basic territorial units.

Ten territorial communities in the region (39% of the total) have a well-developed and complex system of traditional planning. These are Bilovodska, Bilokurakynska, Lysychanska, Novoaidarivska, Novopskovska, Popasnianska, Rubizhanska, Sievierodonetska, Troitska and Shulhynska community. These communities are distinguished for a larger number of available planning instruments, including updated development strategies and master plans. The leading positions by the number and variety of planning instruments belong to Bilovodska, Novopskovska, Popasnianska, Rubizhanska, Sievierodonetska and Troitska territorial communities (Fig. 1).

Among the territorial communities with average level of developing planning instruments, a few can be named with rather strong positions – Kreminska, Stanychno-Luhanska, Starobilska and Chmyrivska territorial communities. Other communities lag far behind in terms of planning instruments elaboration, mostly having only development strategies that need updating. Three territorial communities in fact do not have planning documents – Kolomyichyska, Milovska and Nyzhnoteplivska.

Neither of the communities in the region started the elaboration of the complex plan for territorial community spatial development – a new planning instrument at the local level, introduced in 2020, which is further evidence of certain backwardness of the region in terms of elaboration of new planning instru-

ments. Such elaboration is complicated both by typical difficulties – search for funding to develop planning documentation, recognition of the need to update obsolete and irrelevant documentation and also by specific regional obstacles – a lack of investment, slow rate of construction and renovation, which in turn does not encourage planning activities.

Combined analysis of the use of planning and participation instruments by territorial communities

On the basis of the use of planning and participation instruments by territorial communities several different types of them could be identified. Territorial communities with developed planning instruments where implementation of new participatory instruments strengthens traditional planning stand at one extreme of this grouping (Type I) and communities only attempting to establish planning - at the other (Type II). Most of the other territorial communities are at different stages of transition between these extreme types.

The first type (I) includes communities that have the majority of planning instruments and are actively implementing them in local governance, updating and supplementing other instruments. Three subtypes of the territorial communities can be distinguished within the first type.

The first subtype (Ia) comprises territorial communities with advanced local planning and predominance of traditional planning instruments (Novoskovska and Popasnianska territorial communities). The second subtype (Ib) includes territorial communities with developed local planning and predominance of traditional planning instruments (Bilovodska, Bilokurakynska, Novoaidarska, Lysychanska, Rubizhanska, Sievierodonetska, Shulhynska, Troitska). The third subtype (Ic) includes territorial communities with low level of local planning and predominance of traditional planning instruments (Bilolutska, Hiraska, Lozno-Oleksandrivska, Krasnorichenska, Kreminska, Markivska, Nyzhnoduvan-ska, Shyrokivska, Schastynska).

The second type (II) comprises territorial communities where new participatory instruments dominate over traditional planning. Two subtypes of the communities are clearly distinguished within this type. First subtype (IIa) includes communities with average or low level of local planning and predominance of participation instruments - Svativska, Starobil'ska and Chmyrivska territorial communities. Second subtype within this type of communities (IIb) includes communities that have very low level of local planning or do not have the planning instruments (Milovska, Kolomynchaiska and Nyzhnoteplivska communities).

Experience of the Luhansk region in the implementation of local initiatives, renovation projects and

other successful practices suggests that the greatest progress has been made by those territorial communities that manage to find a balance between traditional planning instruments and participatory ones. Balancing planning and participation in local governance allows not only to make the planning process more inclusive or socially oriented, to set more balanced strategic goals, but also to transform planning culture, facilitate interactions between different actors and largely contribute to place-making processes.

However, most territorial communities are facing a passive attitude of local actors when trying to implement new tools, plans and practices. As focus group discussion illustrated, such attitudes are deeply rooted and result from credibility lack, low understanding of the interplay between planning, public involvement and citizen interests. Even those communities who have been approved planning documents recently and were trying to promote this process, have encountered low public interest in any debates and discussions. Low interest, demonstrated by residents, in this case means their conscious or unconscious “self-exclusion” from the planning process, that eventually leads to ignoring their concerns and eventually public dissatisfaction. Furthermore, such “self-exclusion” complicates implementation of the new practices and instruments. Regular involvement of many actors, in contrast, requires regular efforts from local authorities: informing about intentions, decisions and their implementation, providing visible results of involvement, enhancing the collaboration between local authorities, activists and other actors. Such interaction and communication, as focus groups participants emphasize, is essentially enhancing credibility between local authorities and residents.

Analysis of particular instruments, both planning and participatory, and their implementation by territorial communities shows that one of the important drivers for their development and effective use is rethinking of tools in the course of using. It is essential not only for the lessons learned, but also for increasing awareness on goals and objectives of different instruments, re-evaluating the collaboration between the main actors, local institutional environment development. According to focus group participants, this rethinking has been largely achieved through participation in various projects and initiatives, seminars and workshops, organized mostly by numerous International technical assistance programs acting in the region.

Planning instruments, their implementations and the outcomes of planning activity in most cases are perceived and evaluated differently by the main actors. Local authority staff see it as too long, complicated, expert-oriented and eventually inefficient. The outcomes of the planning process for them mostly lie

in the field of investment activity. Local activists, which are increasingly using tools of participation and are aware of planning documents, assess interaction with other actors as ineffective and even discriminatory. The effectiveness of planning for this group is primarily related to improving the living conditions of citizens, environmental quality and social justice. Local business owners mostly remain passive on the use of particular instruments and the planning process.

Bilovodska, Novoposkovska and Popasnyanska territorial communities in the Luhansk region have made visible progress in developing local planning instruments due to increasing the range of approved documents, citizen involvement and digitalization of many processes and interactions. Despite the whole complexity of the planning process as such, local authority staff have become increasingly aware of the planning instruments role and trying to develop the local planning culture in their communities.

Conclusions

Local planning was significantly transformed in recent years with the emergence of new planning instruments for this spatial level (development strategy, territorial community complex development concept, complex spatial development plan, etc.) and strengthening the tools and procedures of public participation. However, these recent changes have not yet led to the formation of a balanced and effective local planning in the Luhansk region. Mostly territorial communities rely on quite diverse planning

documents, using them rarely or insufficiently when making decisions on spatial development. Active introduction of the new public participation tools that have become available in recent years and have been actively promoted by International technical assistance programs to facilitate decentralization and local democracy had a paradoxical effect in the region, when implementing without reliance on planning instruments. A number of territorial communities therefore were formed with almost no experience in strategic and spatial planning and elaboration related instruments. At the same time, the leaders of a new planning culture stood out in the region, being an important benchmark for the rest of communities in the region in strengthening the local planning.

Many territorial communities in the region are adapting various instruments to specific local context, thereby developing local planning and participatory practices, such as participatory budgeting, terms of which vary significantly by funding, project categories and types among different communities. Such experiences of analyzing and improving local tools, their adaptation to specific local needs and conditions contributes significantly to developing the local institutional environment, creating local success stories and strengthening democratic decision-making. Focus group discussion illustrated that success stories are much better perceived when realizing in neighboring communities: both residents and local authorities are willing to rely upon such experiences.

Bibliography

1. Durnová, A. *Czech postcommunist trouble with participatory governance. Toward an analysis of the cultural agency of policy discourses [Текст] / A. Durnová // Policy Studies. – 2021. – 42(1). – Pp. 80-97. DOI: <https://doi.org/10.1080/01442872.2019.1581155>*
2. Fainstein, S. S. *Planning theory and the city [Текст] / S. S. Fainstein // Journal of planning education and research. – 2005. – 25(2). – Pp. 121-130. DOI: <https://doi.org/10.1177/0739456X05279275>*
3. Friedmann, J. *Globalization and the emerging culture of planning [Текст] / J. Friedmann // Progress in Planning. – 2005. – 64(3). – Pp. 183-234. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.progress.2005.05.001>*
4. Golubchikov, O. *Urban planning in Russia: towards the market [Текст] / O. Golubchikov // European Planning Studies. – 2004. – 12(2). – Pp. 229-247. DOI: <https://doi.org/10.1080/0965431042000183950>*
5. Gualini, E. *Space, politics and conflicts: A review of contemporary debates in urban research and planning theory [Текст] / E. Gualini, I. Bianchi // Planning and conflict: Critical perspectives on contentious urban developments. – Routledge, 2015. – Pp. 37-55.*
6. Healey, P. *Collaborative planning in a stakeholder society [Текст] / P. Healey // The Town Planning Review. – 1998. – Pp. 1-21.*
7. Hirt, S. *Planning during Post-socialism [Текст] / S. Hirt // International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences. – London: Elsevier, 2015. – Vol. 18. – pp. 187-192.*
8. Hirt, S. *Planning the post-communist city: Experiences from Sofia [Текст] / S. Hirt // International Planning Studies. – 2005. – 10(3-4). – Pp. 219-240. DOI: <https://doi.org/10.1080/13563470500378572>*
9. Hirt, S., & Stanilov, K. *Revisiting urban planning in the transitional countries. Regional study prepared for Planning sustainable cities: Global Report on Human Settlements 2009 [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://staging.unhabitat.org/downloads/docs/GRHS2009RegionalTransitionalCountries.pdf>*
10. Huxley, M. *New paradigm or old myopia? Unsettling the communicative turn in planning theory [Текст] / M. Huxley, O. Yiftachel // Journal of planning education and research. – 2000. – 19(4). – Pp. 333-342. DOI: <https://doi.org/10.1177/0739456X0001900402>*
11. Istenič, S. P. *Participatory Planning in a Post-socialist Urban Context: Experience from Five Cities in Central and Eastern Europe [Текст] / S. P. Istenič, J. Kozina // Participatory Research and Planning in Practice. – Springer, 2020. – Pp. 31-50. ISBN 978-3-030-28013-0.*

12. Maier, K. *Europeanization and changing planning in East-Central Europe: An Easterner's view* [Текст] / K. Maier // *Planning Practice and Research*. – 2012. – 27(1). – Pp. 137-154. DOI: <https://doi.org/10.1080/02697459.2012.661596>
13. Маруняк, Є.О. Територіальне (просторове) планування: зміст, еволюція та основні сучасні напрями [Текст] / Є.О. Маруняк // *Український географічний журнал*. – 2014. – 2. – С. 22-31.
14. Melnychuk, A. *New tools for new urban spaces? Analyses of planning and participation tools and their performance in (post)transitional perspective* [Текст] / A. Melnychuk, O. Denysenko, P. Ostapenko // *Економічна та соціальна географія*. – 2021. – 85. – Pp. 11–22. DOI: <https://doi.org/10.17721/2413-7154/2021.85.11-22>
15. Мельничук, А. *Практики та інструменти зворотного зв'язку у територіальних громадах: просування ГІС-інструментів як сервісів взаємодії* [Текст] / А. Мельничук, С. Гнатюк // *Регіон-2021*. – Харків: Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, 2021. – С.152-154.
16. Nedović-Budić, Z. *Adjustment of planning practice to the new Eastern and Central European context* [Текст] / Z. Nedović-Budić // *Journal of the American Planning Association*. – 2001. – 67(1). – Pp. 38-52. DOI: <https://doi.org/10.1080/01944360108976354>
17. Палеха, Ю.М. *Містобудівна документація у державах Європейського Союзу і в Україні: порівняльний аналіз* [Текст] / Ю.М. Палеха, А.В. Олеценко // *Досвід та перспективи розвитку міст України*. – 2016. – 30. – С. 50-57.
18. Peck, J. *Neoliberal urbanism: Models, moments, mutations* [Текст] / J. Peck, N. Theodore, N. Brenner // *SAIS Review of International Affairs*. – 2009. – 29(1). – Pp. 49-66.
19. Raco, M. *Slow cities, urban politics and the temporalities of planning: Lessons from London* [Текст] / M. Raco, D. Durrant, N. Livingstone // *Environment and Planning C: Politics and Space*. – 2018. – 36(7). – Pp. 1176-1194. DOI: <https://doi.org/10.1177/2399654418775105>
20. Roy, A. *Urbanisms, worlding practices and the theory of planning* [Текст] / A. Roy // *Planning Theory*. – 2011. – 10(1). – Pp. 6-15. DOI: <https://doi.org/10.1177/1473095210386065>
21. Salukvadze, J. *Multiple transformations, coordination and public goods. Tbilisi and the search for planning as collective strategy* [Текст] / J. Salukvadze, K. Van Assche // *European Planning Studies*. – 2022. – Pp. 1-19. DOI: <https://doi.org/10.1080/09654313.2022.2065878>
22. Sýkora, L. *Urban development, policy and planning in the Czech Republic and Prague* [Текст] / L. Sýkora // *Spatial planning and urban development in the new EU member states: from adjustment to reinvention*. – 2006. – Pp. 113-140.
23. Sýkora, L. *Cities Under Postsocialism* [Текст] / L. Sýkora // *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 2nd edition. – Oxford: Elsevier, 2015. – Vol 3. – Pp. 605-611.
24. Tasan-Kok, T. *Exploring Critical Constructive Thinking in Planning Studies* [Текст] / T. Tasan-Kok // *plnNext – next generation planning*. – 2019. – 8. – Pp. 40-44. DOI: <https://doi.org/10.24306/plnxt/45>
25. Tsenkova, S. *Planning trajectories in post-socialist cities: patterns of divergence and change* [Текст] / S. Tsenkova // *Urban Research & Practice*. – 2014. – 7(3). – Pp. 278-301. DOI: <https://doi.org/10.1080/17535069.2014.966513>
26. Van Assche, K. *Changing frames: Citizen and expert participation in Georgian planning* [Текст] / K. Van Assche, G. Verschraegen, J. Salukvadze // *Planning Practice & Research*. – 2010. – 25(3). – Pp. 377-395. DOI: <https://doi.org/10.1080/02697459.2010.503431>
27. Web platform “e-Consultations” (E-DEM) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <https://consult.e-dem.ua/>
28. Web platform “Local petitions” (E-DEM) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <https://petition.e-dem.ua>
29. Web platform “Single Platform for Local e-Democracy” (E-DEM) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <https://opencity.e-dem.ua/>
30. Web-platform Diia. *Digital hromada* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <https://toolkit.in.ua/chatbot>
31. Яргина, З.Н. *Градостроительный анализ* [Текст] / З.Н. Яргина. – Москва: Стройиздат, 1984. – 245с.

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

References

1. Durnová, A. (2021). *Czech postcommunist trouble with participatory governance. Toward an analysis of the cultural agency of policy discourses*. *Policy Studies*, 42(1), 80-97. DOI: <https://doi.org/10.1080/01442872.2019.1581155>
2. Fainstein, S. S. (2005). *Planning theory and the city*. *Journal of planning education and research*, 25(2), 121-130. DOI: <https://doi.org/10.1177/0739456X05279275>
3. Friedmann, J. (2005). *Globalization and the emerging culture of planning*. *Progress in Planning*, 64(3), 183-234. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.progress.2005.05.001>
4. Golubchikov, O. (2004). *Urban planning in Russia: towards the market*. *European Planning Studies*, 12(2), 229-247. DOI: <https://doi.org/10.1080/0965431042000183950>
5. Gualini, E., Bianchi, I. (2015). *Space, politics and conflicts: A review of contemporary debates in urban research and planning theory in Planning and conflict: Critical perspectives on contentious urban developments*. Routledge, 37-55.
6. Healey, P. (1998). *Collaborative planning in a stakeholder society*. *The Town Planning Review*, 1-21.

7. Hirt, S. (2015). *Planning during Post-socialism*. In *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 2nd Edition, Volume 18. Elsevier.
8. Hirt, S. A. (2005). *Planning the post-communist city: Experiences from Sofia*. *International Planning Studies*, 10(3-4), 219-240. DOI: <https://doi.org/10.1080/13563470500378572>
9. Hirt, S., & Stanilov, K. (2009). *Revisiting urban planning in the transitional countries. Regional study prepared for Planning sustainable cities: Global Report on Human Settlements 2009*. URL: <https://staging.unhabitat.org/downloads/docs/GRHS2009RegionalTransitionalCountries.pdf>
10. Huxley, M., & Yiftachel, O. (2000). *New paradigm or old myopia? Unsettling the communicative turn in planning theory*. *Journal of planning education and research*, 19(4), 333-342. DOI: <https://doi.org/10.1177/0739456X0001900402>
11. Istenič, S. P., & Kozina, J. (2020). *Participatory Planning in a Post-socialist Urban Context: Experience from Five Cities in Central and Eastern Europe*. In: J. Nared, D. Bole (Eds.) *Participatory Research and Planning in Practice*, 31-50.
12. Maier, K. (2012). *Europeanization and changing planning in East-Central Europe: An Easterner's view*. *Planning Practice and Research*, 27(1), 137-154. DOI: <https://doi.org/10.1080/02697459.2012.661596>
13. Marunyak, Ye. (2014). *Territorial (spatial) planning: content and evolution of major modern trends*. *Ukrainian Geographical Journal*, 2, 22-31. [In Ukrainian].
14. Melnychuk, A., Denysenko, O., Ostapenko, P. (2021). *New tools for new urban spaces? Analyses of planning and participation tools and their performance in (post)transitional perspective*. *Ekonomichna ta Sotsialna Geografiya*, 85, 11–22. DOI: <https://doi.org/10.17721/2413-7154/2021.85.11-22>
15. Melnychuk, A., Hnatiuk, S. (2021) *Practices and tools for feedback in amalgamated territorial communities: promotion of GIS as services of interaction*. In: L. Niemets (ed.) *Region-2021*. Kharkiv, V.N. Karazin Kharkiv National University, pp. 152-154. [In Ukrainian].
16. Nedović-Budić, Z. (2001). *Adjustment of planning practice to the new Eastern and Central European context*. *Journal of the American Planning Association*, 67(1), 38-52. DOI: <https://doi.org/10.1080/01944360108976354>
17. Palekha, Yu. M., Oleshchenko, A.V. (2016). *Urban planning documentation in EU states and Ukraine: comparative analysis. Experiences and perspective on urban development*. 30, 50-57. [In Ukrainian].
18. Peck, J., Theodore, N., & Brenner, N. (2009). *Neoliberal urbanism: Models, moments, mutations*. *SAIS Review of International Affairs*, 29(1), 49-66.
19. Raco, M., Durrant, D., & Livingstone, N. (2018). *Slow cities, urban politics and the temporalities of planning: Lessons from London*. *Environment and Planning C: Politics and Space*, 36(7), 1176-1194. DOI: <https://doi.org/10.1177/2399654418775105>
20. Roy, A. (2011). *Urbanisms, worlding practices and the theory of planning*. *Planning Theory*, 10(1), 6-15. DOI: <https://doi.org/10.1177/1473095210386065>
21. Salukvadze, J., & Van Assche, K. (2022). *Multiple transformations, coordination and public goods. Tbilisi and the search for planning as collective strategy*. *European Planning Studies*, 1-19. DOI: <https://doi.org/10.1080/09654313.2022.2065878>
22. Sýkora, L. (2006). *Urban development, policy and planning in the Czech Republic and Prague*. In *Spatial planning and urban development in the new EU member states: from adjustment to reinvention*, 113-140.
23. Sýkora, L. (2015). *Cities Under Postsocialism*. In James D. Wright (editor-in-chief), *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 2nd edition, Vol 3. Oxford: Elsevier, 605-611.
24. Tasan-Kok, T. (2019). *Exploring Critical Constructive Thinking in Planning Studies*. *plaNxt – next generation planning*, 8, 40-44. DOI: <https://doi.org/10.24306/plnxt/45>
25. Tsenkova, S. (2014). *Planning trajectories in post-socialist cities: patterns of divergence and change*. *Urban Research & Practice*, 7(3), 278-301. DOI: <https://doi.org/10.1080/17535069.2014.966513>
26. Van Assche, K., Verschraegen, G., & Salukvadze, J. (2010). *Changing frames: Citizen and expert participation in Georgian planning*. *Planning Practice & Research*, 25(3), 377-395. DOI: <https://doi.org/10.1080/02697459.2010.503431>
27. Web platform “e-Consultations” (E-DEM). URL: <https://consult.e-dem.ua/>
28. Web platform “Local petitions” (E-DEM). URL: <https://petition.e-dem.ua/>
29. Web platform “Single Platform for Local e-Democracy” (E-DEM). URL: <https://opencity.e-dem.ua/>
30. Web-platform Diia. Digital hromada. URL: <https://toolkit.in.ua/chatbot>
31. Yargina Z.N. (1984). *Urban planning analysis*. Moscow, Stroyizdat, 244 [In Russian].

Нові підходи і досвід планування на місцевому рівні: стан розвитку основних інструментів у Луганській області

Анатолій Леонідович Мельничук¹,

к. геогр. н., доцент кафедри економічної та соціальної географії,
¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
вул. Володимирська, 60, Київ, 01033, Україна;

Олена Олександрівна Денисенко¹,

к. геогр. н., докторантка кафедри економічної та соціальної географії;

Світлана Сергіївна Гнатюк¹,

студентка кафедри економічної та соціальної географії

Система планування на місцевому рівні суттєво змінилася в останні роки: з'явилися нові підходи, інструменти та практики, що трансформують уявлення про процес планування та систему планування як таку. У цій статті ми аналізуємо стан використання основних інструментів на місцевому рівні, їх взаємодію та вплив. Стаття спрямована на аналіз перетворення системи планування на місцевому рівні в Україні у контексті посттранзитних процесів, зокрема, аналіз основних інструментів планування та участі, які використовують територіальні громади, а також переосмислення планування як діяльності та основних інструментів, спираючись на досвід Луганської області. Аналіз стану розроблення та використання інструментів планування та залучення спирається на дані щодо основних інструментів планування у розрізі територіальних громад Луганської області – загалом 15 інструментів, серед яких і традиційні інструменти планування, у т.ч. просторового планування, і нові учасницькі інструменти. Поєднаний аналіз стану використання інструментів та типізація громад регіону за цією ознакою доповнена критичним аналізом щодо практик використання інструментів та отриманих результатів на основі даних двох фокус-груп. У статті показано, що громади мають доволі різний набір планувальних документів, слабо використовують планувальний інструментарій та мало спираються на нього у процесах перетворення території. Активна імплементація нових інструментів залучення, що стали доступними в останні роки, та активно популяризувалися як інструменти місцевої демократії, здебільшого застосовувалися без опори на інструменти планування, що є однією з форм спотворення планування місцевого розвитку. У той же час, у регіоні виділяються громади-лідери формування нової культури планування, які привносять нові практики, вдало використовують та поєднують різні типи інструментів. Здебільшого і інструменти планування розвитку громад, і процес їх застосування, і отримані результати основними акторами сприймаються та оцінюються по-різному, а відповідно – потребують подальшого збалансування. Отримані результати відображають стан використання інструментів планування та участі у громадах регіону, їх взаємодію та особливості використання різних інструментів з позицій впливу на перетворення територій та місцевих спільнот. Тим самим, стаття апелює до дискусії про еволюцію інструментів планування для країн та регіонів з досвідом транзитності, а отримані результати дозволяють вдосконалити політику планування на місцевому рівні.

Ключові слова: *планування, місцевий рівень, інструменти, транзитність, Луганська область.*

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 14 травня 2022 р.

Прийнята 29 травня 2022 р.

Methodology of human-geographical researches: contemporary approaches and methods

Kostiantyn A. Niemets¹,

DSc (Geography), Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,
¹V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,
e-mail: konnem1948@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7262-2111>;

Kateryna Yu. Sehida¹,

DSc (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,
e-mail: kateryna.sehida@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1122-8460>;

Liudmyla M. Niemets¹,

DSc (Geography), Professor, Head of the Department of Human Geography and Regional Studies,
e-mail: ludmila.niemets@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0001-9943-384X>;

Kateryna O. Kravchenko¹,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,
e-mail: kateryna.kravchenko@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4654-3185>;

Pavlo O. Kobylin¹,

PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Human Geography and Regional Studies,
e-mail: pavlo.kobylin@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0001-9718-5838>;

Ievgeniia Yu. Telebienieva¹,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,
e-mail: telebenevaev@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-7013-8836>;

Liudmyla V. Kluchko¹,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Human Geography and Regional Studies,
e-mail: ludmila.klychko@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0001-6937-3364>

ABSTRACT

Problem Statement. Human geography is a science that responds extremely quickly to the new today's demands and challenges. Thanks to the multiplier effect, it has the opportunity to be integrated into a powerful range of contemporary unresolved scientific issues and to propose its approaches to their study and solution based on the robust methodology and development of new research tools. A qualitative new development level of human geography as science in Ukraine and the world requires urgently general rethinking of the prerequisites, goals, and methods of scientific research, the question of the relationship between theoretical and empirical ones in scientific papers. The triune complex "society-nature-economy" and the study of the peculiarities of their interrelationships and contradictions form a wide range of opportunities for human-geographical research.

Research Methodology. The article uses the methods of analysis, synthesis, and dialectical method. The authors have summarized and described the set of original methods of human geography, revealed contemporary approaches and substantiated the peculiarities of the methods of researching the development trajectory of the human-geographical objects, multidimensional spatial analysis and multidimensional classification, spatial interaction of social and geographical objects (IFI modeling), developed and tested by the scientists of the Department of Human Geography and Regional Studies of V. N. Karazin Kharkiv National University.

This paper aims to highlight the methodological foundations of human-geographical research, reveal modern approaches and substantiate the human-geographical approach, and consider the content and features of the use of original methods of human-geographical research. In particular, the coverage of methodological approaches and justification of the human-geographical approach and disclosure of new methods of spatial analysis of the human-geographical process: the study of the spatial interaction of the human-geographical objects (IFI-modelling) and the study of social and geographical systems in the normalized multidimensional space.

Results. The paper describes in detail the possibilities of using original human-geographical methods to solve contemporary issues. A detailed analysis of the application of these methods allows scientists and researchers to use and solve similar or other types of problems effectively.

Scientific novelty and practical significance. The paper presents an exhaustive set of original methods for spatial analysis of the territory and provides an algorithm for their use. The authors provided various human-geographical research areas and tested the original methods.

Keywords: methodology, human geography, original research methods, spatial analysis, multidimensional analysis, an integral function of influence, development trajectory, component analysis.

In cites: Niemets K. A., Sehida K. Yu., Niemets L. M., Kravchenko K. O., Kobylin P. V., Telebienieva Ie. Yu., Kluchko L. V. (2022). Methodology of human-geographical researches: contemporary approaches and methods. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (56), 143-158. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-10>

Problem definition in general and its connection with important scientific and practical tasks (Relevance).

In today's world, given the intensive pace of progress and society's development, it is crucial to study the phenomena comprehensively and processes of

different hierarchical levels. They are both prerequisites and consequences of evolution. Human geography is a science responding extremely quickly to the new requests and challenges of the present due to the wide object and subject of research. Thanks to the multiplier effect, it has the opportunity to be integrated into a powerful range of contemporary unresolved scientific issues and to propose its approaches to their study and solution based on the robust methodology and development of new research tools [27]. A qualitative new development level of human geography as science in Ukraine and the world urgently requires the general rethinking of the prerequisites, goals, and methods of scientific research, the study of the question of the relationship between theoretical and empirical ones in scientific papers. In particular, scientific activism is a highly relevant direction in social and geographical thought movement. This direction defines the role of human geographers as initiators of solving many socio-economic and environmental problems of the XXI century: the issues of war and peace (which are acute for both the world and Ukraine), global migration (it determines the redistribution of labor and resource potential in the world, initiates the processes of "brain drain" and this is a manifestation of globalization processes), stratification of the population and social inequality, development of authoritarianism, impact of the negative environmental situation on public health, the spread of pandemics, etc. The basis for the implementation of the above goals is a robust and diverse theoretical and methodological foundation, a set of methodological principles determining the expansion of the scientific interests of geography in the following areas: cross-sectoral specializations (recreation and tourism, regional development and project work, urbanism and ecology, city-farming), SMART-specialization of cities, GIS (GIS modeling, programming in the software environments of the GIS systems), area management, geodemography, geopolitics, medical geography, the geography of religions, etc.

Thanks to the triune complex "society-nature-economy" and the study of the peculiarities of their interrelationships and contradictions, a wide range of opportunities for human-geographical research is formed. Human geography reveals various issues, such as various aspects of the economic development of specific subjects and areas, regional and district management, transformations and reformation of the administrative structure, peculiarities of self-organization, and self-development of social and geographical systems. This is also spatial development and transformation at the qualitatively new level, based on retrospective analysis, trends in socio-spatial features of development and forecast results, etc. Use a set of philosophical, general scientific, and special

methods, including digitalized ones (in particular – geographic information systems and platforms for spatial modeling), provides a verified scientifically based result and determines the use of the methodology of human geography in research activity. It allows using a variety of automated calculations, conducting spatial analysis with further modeling and mapping of their results, and constructing predictive development trajectories by various parameters and scenarios.

Analysis of recent research and publications which have been initiated a solution to the problem raised, on which the author relies; pointing out unresolved part of the problem which the article concerns.

The modern human-geographical methodology is an object of the world scientific discourse, but mostly in solving the applied issues of various research. According to the foreign researchers [2, 10], society is at the center of this world system, which is the root cause of its formation in a familiar form for us. Scientists consider that a significant role in progress and evolution is geographical thinking and comprehension of initial human-geographical categories such as demographic situation, migration processes, local culture, identity, economy, cities and regions, and disparities in spatial development. Modern human-geographical research trends largely highlight the issues of analysis of the political and economic situation as prevailing ones in forecasting the area's long-term development. The current basis of the human-geographical methodology makes it possible to investigate not only particular objects and phenomena but also powerful territorial complexes and geographical networks. It indicates the significant evolution of this basis and intensive development, including through expansion into the spheres of close scientific areas, namely economics, sociology, mathematical statistics, etc. However, this is not a negative phenomenon because each science is enriched and developed by developing and forming specific interdisciplinary methodological techniques.

S. Schollem, M. Lar-Curten et al. have proposed the concept of space and focus on the study of space as an ordered repository of specific and material objects, taking into account their mutual location [12]. They also emphasized the materiality of social life.

Analyzing the authors' position, it is worth noting the debatable question about the role of the absence and presence of the spatial dimension in the constitution of the human-geographical phenomena because it still seems the human geographers insufficiently investigated these issues. An essential task of contemporary human geography is the study of the multidimensionality of space and society's role in forming its new development vectors.

S. Eden, E. Donaldson et al. consider the possi-

bility of using the methodology of the Q analysis in human geography [1]. The authors note that the methodology of human geography has been moving confidently from quantitative to qualitative categories in recent years. The researchers see the category Q in the following: Q subjects of study sort a series of statements (or other materials, indicators) into a grid of numbered columns (from positive to negative integers, and the resulting templates are analyzed then to create a set of standard views on the study topic). The authors consider the formation and processing of this selection as important aspects of this methodology. Once the respondents have sorted the statements, the resulting patterns or "Q-sorting" are analyzed using a combination of computer processing and theoretical interpretation [1]. However, the authors noted the presence of complications in the separation of qualitative/quantitative when using the Q methodology, which determines the error of the obtained result.

The issues of the latest methodology, original techniques, and research methods are revealed by the coryphaeus and the founders of the science, opinion leaders, and influential scientists, whose research is a prerequisite for forming scientific schools (their representatives test and implement the constructed developments).

The representatives of Kyiv, Kharkiv, Lviv, and Odessa scientific schools devoted their papers to developing and improving the modern methodology of domestic human-geographical science.

J. Oliynyk paid considerable attention to the theory and methodology of human geography in studying modern trends of geographical science development [11]. The author considered that the strategic goal of the methodology development of human geography is to determine the geographical shell's economic, demographic, social, political, and environmental capacity at various hierarchical levels. He also considered the goal of the methodology development as justification of the parameters of regional and global environmental management, identification of the main trends of the human-geographical science in general, and individualized. He argued that the problem of developing the domestic methodology of human geography is researchers' activities without formulating a specific goal of implementing their partial contribution to the nationwide school of human geography, world science, and self-identification. It is associated with the simultaneous use of different names of science, such as "economic and social geography", "socio-economic geography", "human geography". As well as, this is the differentiation of human-geographical science and the absence of the system of logically completed laws of science that could integrate different scientific areas, non-realization of the applied function of the human-geographical science, etc.

In the methodological aspect, O. Shablyi focuses on the idea of three types of objects of human geography study: real, conceptual, and virtual, expanding the boundaries of social and geographical space. The scientist developed a functional classification of human-geographical courses and substantiated the main categories of human geography, namely the geospatial organization of society, theories and concepts of the latest areas of human geography (geosphereologists) during the period of global informatization of research activities; classification of natural resources taking into account diverse social needs [32, 19]. O. Shablyi substantiated four types of laws and patterns of human geography: the idea of the flexible geospatial organization of society, changes in the paradigm of the geospatial organization of society with the introduction of IT technologies, especially the URAN and GRID infrastructure networks, etc. [35].

According to O. Topchiev, the methodology and theory of human-geographical science form the concept of the scientific picture of the world [34]. The role of human geography in it is an avant-garde one, because the dynamism of the research object should take into account all new aspects of scientific thinking. The methodology of human geography is essential for developing the theory of science and possibilities of its practical use. According to O. Topchiev, the crucial aspects of the methodology of human geography are ideas about the territorial or spatial structures of geographical phenomena (depending on the dimensionality of the study). The researcher sees the study and settlement of relations in the "society-nature" system as contradictions and debatable issues in developing the human-geographical methodology. He believes it is necessary to form a new scientific area, namely the development of theoretical and methodological principles of the functioning of the landscape shell of the Earth as an integral and complex socio-economic and natural system.

Following K. Mezentsev, the methodology of modern human geography is developed and changed very quickly and determined by the study and analysis of spatial transformations and the evolution of society's economic, political, social, and cultural life. These studies are very important for identifying the opportunities and prospects of ecist, demographic policy, and studying the processes of social polarization. As well as it refers to justifying the prospects for the region's development, taking into account the peculiarities of population settlement, social stratification, new factors. The author notes the need to combine quantitative and qualitative research methods: traditional, innovative, modeling and forecasting development opportunities. K. Mezentsev sees the future development of the methodology of human geography as the broad implementation of nonlinear modeling, neural networks, etc., and the expansion of

the application of perceptual geography, self-identification of the population, etc. [3, 20].

We have already repeatedly considered the problem of the development of human geography and the need to reveal the current and relevant capabilities of the scientific methodology in our research [5, 25-28]. The development of social and geographical systems can be considered as synergy, a process of self-organization and self-development, which opens up new methodological foundations for its research. In particular, the method of modeling the development trajectory in the multidimensional space easily identifies the points of bifurcation and phases of progressive or regressive development of the system. We established a relationship between the spatial distribution of the information entropy of the interaction surface of settlements and the spatial structure of the social and geographical system (in the form of the resettlement system). It can serve as a reliable indicator of the optimal development of the social and geographical system.

Highlighting previously unsolved parts of the general problem devoted to the paper. There is convergence with economics, sociology, political science, etc., in the methodology of contemporary human geography. It promotes the use of methods of related sciences to solve some social issues. The scientific achievements of modern human geography are closely associated with the possibilities of using effective tools developed and improved by basic sciences. The first is mathematics, which contributes to forming a general scientific methodology, new methodological approaches, and methods. This is especially important at the present stage of science development when obtaining new scientific results requires implementing interdisciplinary approaches. The methodological features of human geography, the complexity of its object-subject area, and historical preconditions for its formation have led to its well-developed diverse system of methods, approaches, local theory, and concepts. The features of the object of human geography are the spatial organization of the most semantically general human-geographical process in the different levels of the social and geographical systems. They make it possible to manifest the integrative nature of human geography most vividly [27]. Successful research in one object of interaction and interconnection of natural, social, and economic systems was made possible by the robust methodology of geographical science, in particular, the developed conceptual apparatus and the use of numerous general scientific and special methods of spatial analysis, mathematical and cartographic modeling (including GIS). Following the basic principles of the geographical approach (spatial analysis and complexity of the study), human geography as a dynamic modern branch of classical geography is a

robust interdisciplinary science that studies complex socio-economic problems of Geoversum based on the integrated approach.

Formulation of the purpose of the article (setting problem). **This paper aims** to highlight the methodological foundations of social and geographical research, reveal modern approaches and substantiate the socio-geographical approach, and consider the content and features of using original social and geographical research methods. Achieving this goal is expected through the disclosure of the following research tasks:

- highlighting methodological approaches and justification of the socio-geographical approach;
- disclosure of new methods of spatial analysis of the socio-geographical process
 - study of spatial interaction of social and geographical objects (IFI modeling);
 - research of the social and geographical systems in the normalized multidimensional space:
 - modeling the development trajectory of human-geographical objects;
 - multidimensional classification and diagnosis of system development.

Presentation of the main material of the research. The need for comprehensive consideration of the features of the social and geographical systems requires the use of some methodological approaches which complement each other, namely geographical, systemic, synergistic, informational, and historical ones. Their key elements are the basis of the human-geographical approach [22, 24, 32].

The geographical approach is the primary methodological approach in human geography. It sets two mandatory requirements before any human-geographical study: the complexity of the research and consideration of the object of study in the spatial aspect. These basic requirements of the geographical approach, which characterize the basis of the modern geographical methodology, are implemented in a relatively wide range of special geographical research methods, which will be discussed below.

The historical approach involves the study of geographical objects in development. All phenomena and events are considered spatial processes in time and space. This is of particular importance for the social and geographical systems, given their dynamism and heterogeneity of composition, and makes it possible to determine the historical patterns of the social and geographical process as a whole and its components in particular.

The system approach considers the object of human-geographical research as a large, complex, open, multilevel social and geographical system functioning in a particular environment and interacting with it and other systems. Applying the system approach

involves taking into account all the properties, features, and characteristics of the system.

The synergistic approach involves, first of all, the study of internal interaction in the system, internal resources, and mechanisms that determine the evolutionary potential of the system. The synergistic approach is essential in human-geographical studies because it encourages taking into account the most significant possible number of active factors and processes to cover the functional environment where the processes and phenomena studied occur as widely as possible. Since the social and geographical systems are heterogeneous, complex, and combine different elements and subsystems, the completeness of their consideration is achieved through the study of the internal relationships from the interdisciplinary positions, i.e., from different points of view, which meets the requirements of the synergistic approach. It allows obtaining a holistic and unchanged picture of the interaction of elements and subsystems of the social and geographical system. Therefore, it reliably reproduces the process of its development in general terms or focuses on the most important details. Another feature of the synergistic approach is the following. The system development is considered as a chain of consecutive phase transitions at bifurcation points. Conditions are changed at these points so that the system, adapting, is forced to rebuild its structure and functions, i.e., to change its development trajectory. Therefore, the synergistic approach in human-geographical studies provides the most complete and exhaustive study of complex and ambiguous relationships between different subsystems of the social and geographical system [25].

New (original) methods of human-geographical research.

The task of spatial analysis in human geography is very often reduced to the study of spatial or spatial-time relationships of human-geographical objects. It is necessary, for example, to optimize the spatial structure of various subsystems of the social and geographical systems, organize the systems of the socio-geographic monitoring, solve problems of improving the infrastructure characteristics of the social and geographical systems, study transport and logistics problems, optimize the spatial structure of the location of industrial enterprises and institutions, study migration processes and many other cases. This problem is relevant in all research cases or optimization of the spatial structure of the human-geographical objects or social and geographical systems of different hierarchical levels [22].

It is crucial to introduce new research tools and methods to understand the specifics of the study object of human geography, its everyday complication, and synergistic nature. This research could provide a comprehensive study taking into account the para-

meters of space and time to perform a retrospective analysis, identify the current state, and forecast prospects for development [24].

Effective methods of studying human-geographical objects are the analysis of spatial interaction of human-geographical objects (in particular, modeling based on the integral function of influence (IFI) and the study of the social and geographical systems in the normalized multidimensional space. It means modeling the development trajectory of the human-geographical objects and multidimensional classification and diagnosis of the system development).

Study of the spatial interaction of the human-geographical objects (IFI modeling). The original techniques of modeling the field of the integral function of influence (IFI-modeling) was developed at V.N. Karazin Kharkiv National University [22, 24]. This technique is distinguished by the combination of methods of geographical modeling with methods of approximation of geographic shell fields. The structure of the geospatial data vector involves three components: X and Y coordinates on the horizontal plane and the value of the Z field parameter, namely the "height" of the point. This technique is based on the idea of dividing the field of any parameter into the background and anomalies. A specific feature for any human-geographical unit (when studying resettlement systems) is the radius of the zone of influence, namely the level of its interaction with other objects and the distance from the settlement. The distance depicts the cease of impact of the settlement on the neighboring areas and the loss of the "central place" function of this settlement. The content of this concept can be defined as the radius of the zone, where this object affects any component of the human-geographical process. The interaction of the social and geographical objects depends on the radius of the area of influence. The other component – the attributive one – determines the intensity of interaction, and this is a function of the numerical value of the parameter (power) of object Z.

When determining the radius of the influence area of the settlement, we define it as proportional to the power of the object Z. Given this, the least powerful object should have the smallest radius of influence R_0 , which can be called the basic one. In contrast, the radius of influence of all other objects can be defined as a derivative function from the base radius. K. Niemets proposed the following dependence to differentiate the human-geographical objects by the magnitude of the radius of influence (formula 1) [22]:

$$R_i = R_0 + k * \ln(Z_i/Z_{min}) \quad (1)$$

where R_i is the radius of influence of i th human-geographical object;

R_0 – basic radius of influence;

Z_i і Z_{min} is the value of the parameter of i -th and basic objects, respectively;

k is the scaling coefficient.

The intensity of the impact of the socio-geographical object within its area of influence decreases from the center to the periphery. It can be determined as an inverse proportion to the distance to a certain degree. It is advisable to use a non-linear invariant form of the following dependence:

$$\begin{aligned} & \text{at } L \geq R \quad \Delta = 0; \\ & \text{at } L < R \end{aligned} \quad (2)$$

where Δ is the function of the influence of the socio-geographical object;

L is the current distance to the center of the influence area of the socio-geographical object;

R is the radius of influence of the socio-geographical object;

n is the exponent, arbitrarily defined.

The following formula determines the potential of the influence of the socio-geographical object in the area of influence taking into account the specified dependence:

$$p = Z * \Delta \quad (3)$$

where Z is a quantitative parameter (power) of the socio-geographical object (in the center of the zone of influence).

It is expedient to consider the factor of remoteness of the socio-geographical object from the point of view of spatial analysis. Then the possibility of obtaining a service can be represented as a function of the impact of the socio-geographical object. When the user is located in the zone of influence of one socio-geographical object, it is clear that he can use the services of only this object. If the user is situated in the intersection of areas of influence of several socio-geographical objects (in fact, it means their interaction, this is competition in this case), he has a wider choice. Therefore, he is in a better position because he can receive the highest quality or effective service. Extending this conclusion to all types of the socio-geographic objects, it is possible to determine an integral quantitative parameter for each point of the study area, which objectively reflects the user's ability to obtain a particular service. Thus, the researcher creates a model of the field of the integral function of influence (IFI), which can objectively reflect all the peculiarities of the impact and spatial interaction of all similar socio-geographical objects located within the studied territory.

The formula carries out the calculation of IFI taking into account (2):

$$F = \sum_{i=1}^m (1 - L_i/R_i)^n \quad (4)$$

where F is an integral function of influence at a given point in the area;

L_i and R_i are the distance and radius of influence of the socio-geographical object;

m is the number of socio-geographical objects that influence a given point.

The relevant integral potential of the influence (IPI) can be determined either by summing the influence potentials of interacting socio-geographical objects:

$$P = \sum_{i=1}^m p_i, \quad (5)$$

or as a result of calculating the weighted average of the values of their influence function:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^m p_i * \Delta_i}{\sum_{i=1}^m p_i} \quad (5a)$$

Thus, the subject of the spatial analysis of the interaction of socio-geographical objects is the surfaces of IFI and IPI. At the same time, each of these surfaces contains its information, which collectively more fully characterizes the spatial nature of the interaction of socio-geographical objects. A characteristic feature of this technique is the possibility of changing the radius of influence of objects: the degree of the surface generalization increases with the increase of this parameter, i.e., its background component is increased and local features (anomalies) are leveled [22]. The choice of the radius of influence determines the level of generalization of the obtained image and the result of the influence of the organizational nuclei of resettlement on their surrounding area and settlements.

The IFI modeling method was tested in studying regional resettlement systems and agglomeration formations. The method allowed to establish the level of influence of organizational nuclei of resettlement on the surrounding settlements, calculate the resettlement potential of local resettlement systems, and identify agglomeration formations and those agglomerations that are only formed or have the resources for this purpose) [7, 9, 17, 18, 23], create IFI models of the use of innovation and investment potential [6, 13], make typing of the area of Kharkiv region by demographic and information indicators [29, 31]. As well as the IFI modeling method fostered to study the spatial features of the development of the population trading service system of the region (the author analyzed the number of population, trade and restaurant institutions and characterized the ratio of supply and demand) [16].

As an example, we provide the IFI surfaces of the weighted average potential of resettlement of Kharkiv region by the basic radii of influence $R_0 = 2, 10, 16$ and 24 km (Fig. 1). Based on the need to take into account the historically formed features of the interaction of settlements in the resettlement system of the region, we use the method of constructing IFI-models of the surfaces of the demographic potential

fields of the region's settlements. The change in the radius of influence of the object allows tracing the formation of relationships between settlements with increasing interaction forces. It characterizes the actual dynamics of the processes of agglomerations formation, changes in their size and configuration, spatial relations, and intersections. It allows establishing the etiological features of the interconnections studied. We used 993 reference points (settlements of Kharkiv region) in the construction of IFI models and presented the spatial distribution of the integral function of influence (IFI), demographic potential (P), and weighted average demographic IFI potential (Pw) of the resettlement. The selected parameter displays the trends of interaction of settlements. The surface of the influence function with a radius of 2 km demonstrates agglomeration processes of the local level, which characterize the relationships between rural settlements. The administrative centers of this

level are large by the population and economically developed rural-type settlements. Models with a 10-20 km radius manifest agglomeration formations with urban-type settlements as the centers. Models with a radius from 20 km determine the region's main growth poles, namely the region's largest cities with significant human and economic potential. The IFI surface with a radius of 30 km allows tracing the formation of agglomeration axes of the region's resettlement, which are associated with the historical network of resettlement and transport routes that cross the area of the region.

Therefore, an essential aspect of the contemporary human-geographical methodology is comparing and determining the correlation of the dynamics of social and geographical systems (resettlement systems, agglomerations, etc.) in the physical and phase space. The main tool is the structural and systemic analysis of social and geographical systems, high-

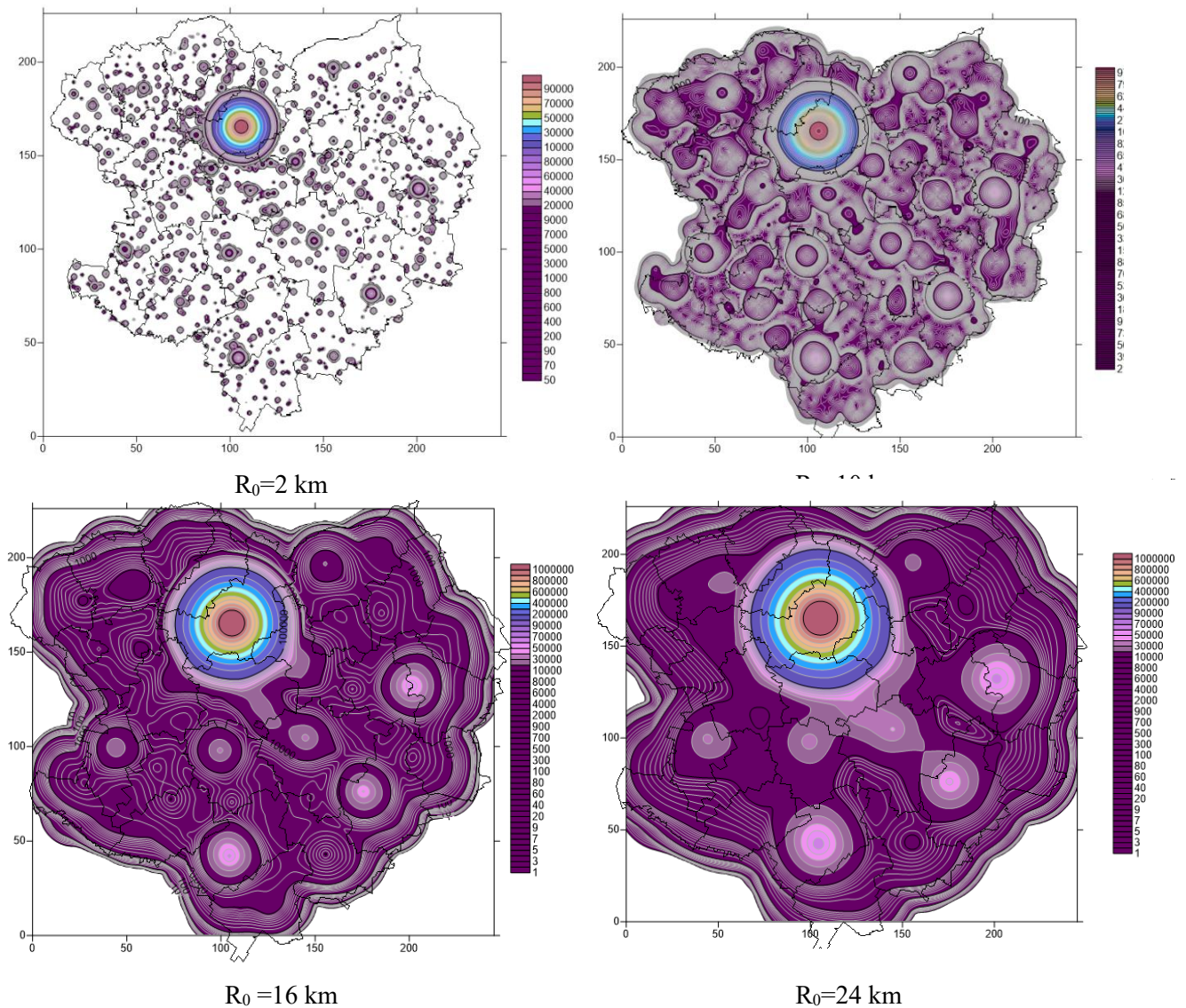


Fig. 1. IFI surfaces of the weighted average potential of resettlement of Kharkiv region by the basic radii of influence $R_0 = 2, 10, 16$ and 24 km

lighting zones of different degrees of cooperation according to statistical criteria.

It is worth noting the main methodological directions [22]:

- in the physical space of the IFI-modeling according to different parameters. At the same time, the basic radius of influence determines the criterion of spatial confinement of the social and geographical systems. The usage of the index method allows the transition to a synthetic indicator, namely the sum of indices (in particular, a weighted average index, which is more informative). The IFI surfaces are relatively stable over time (individual elements may occur or disappear, but they are not crucial concerning the overall scheme). Studying such manifestations in the physical space makes it possible to investigate the spatial symmetry (asymmetry) and disproportion of the processes or phenomena studied.

- it is also possible to use the integral influence function with the subsequent construction of the spatial model in the phase space. However, it is almost impossible to "advance in development" and determine anomalies in phase coordinates ("deviations from the optimal trajectory" (using the method of modeling the development trajectory). The content of the constructed elements will be different: firstly, they reflect not physical distances, but the similarity of the state of the components of the system studied; secondly, they are dynamic and demonstrate changes in the state of each element of the social and geographical system at each moment. It allows determining the development vectors of each component in particular and the entire social and geographical system as a whole; thirdly, the basic radius of influence determines the radius of "correlation", i.e., the similarity degree of the elements for each parameter and the synthetic indicator. It is also possible to investigate the state and functional symmetry of the agglomeration.

3. The multifunctional spectrum of possibilities has a semantic analysis of partial IFI surfaces (built based on individual parameters) in physical and phase spaces. In particular, in this plane, it can be possible to search for the correspondence of the "golden intersection" and compare the results, etc.

4. The study of mutual transformations (or unification) of agglomerations images in physical and virtual (phase) spaces will have great creativity and relevance in the future. The solution to this issue is an urgent challenge to the modern world and domestic human-geographical methodological thought.

The given list of methodological provisions allows to solve the main task of the contemporary human-geographical research, namely to find the main patterns in the formation of the spatial and functional structure of social and geographical systems of different hierarchical levels, determine the criteria for

classification, development, stability and readiness to respond to historical challenges, etc.

The research of the social and geographical systems in the normalized multidimensional space. The high level of formalization of the components of the socio-geographical process and the basic concepts of social geography allows using the multidimensional feature space for analysis and synthesis. The formation of its basis on the natural values of the parameters of the socio-geographical objects introduces quite a lot of difficulties associated with different dimensions and a large difference in the intervals of the values of the initial parameters. It is more convenient to use the normalized multidimensional feature space. As a mathematical abstraction, the multidimensional feature space makes it possible to look at the problem of studying the interaction of geographical objects in a completely different way. Among the main research areas, it is worth noting the modeling of the development trajectory of the human-geographical objects and the multidimensional classification and diagnosis of system development [24].

Modeling of the development trajectory of human-geographical objects. The human-geographical process is inherently highly complex because it occurs in significantly heterogeneous social and geographical systems, including natural, social and economic subsystems with different structures, mechanisms of functioning, systems of goals, etc. The synergistic approach is adequate for such a variety of organization of social and geographical systems because it combines the features of the geographical approach (complexity and orientation to spatial analysis) with the contemporary scientific paradigm. The complexity and unpredictability of the socio-geographical objects, caused by the growing predominance of the role of social factors in the development of social and geographical systems, fill the human-geographical research with new content and realities, which determine the leading role of human geography in the future. In particular, we are talking about the fact that modeling methods, using the ideas of synergetics and combined with modern information technologies, make it possible to create fundamentally new scientific objects (models). These models are based on the principles of their conceptual correspondence with the complexity of the human-geographical objects studied. Of course, each model is only a certain approximation to the object (the original). Still, the concept of the model determines the modeling result, particularly its structural and functional features, which should reflect the corresponding characteristics of the original [21, 22, 24]. On the one hand, the completeness of the display of the original on the model depends on the number of operating factors taken into account in the modelling. On the other hand, the increase in the measurability of the

modeling space (increase in the number of operating factors) meets the requirements of the synergistic approach. Therefore, this is one of the real ways to create a fundamentally new concept of modeling the socio-geographical process in the information-human-geographical space [22]. Two sets of indicators determine the movement trajectory of any object: the direction of movement and linear characteristics, for example, the distance traveled by the object over a certain period. The first set of the trajectory indicators includes cosines of angles formed by a segment of the trajectory of the given object with the trajectories of other objects, or specific characteristic directions, for example, an average, optimal, or project trajectory. According to the movement direction indicators, it is possible to evaluate the functioning effectiveness of individual subsystems as part of the more general social and geographical system. The decrease in the angle between the trajectories of the subsystem and the social and geographical system causes the increase of the consistency and, accordingly, the "usefulness" of the subsystem functioning. In the same way, it is possible to assess the consistency of movement (functioning) of subsystems. The growth of the cosine angle between their trajectories indicates convergence of trajectories, which is indisputable proof of the similarity of the subsystem's development.

Two leading quantitative indicators can estimate the movement vector of any object: angular as the movement direction and linear as the speed of movement. This allows comparisons of various objects (social and geographical systems) on these indicators and draws appropriate conclusions. Quantitative parameters of the direction and speed of movement of social and geographical systems make it possible to determine their various characteristics in the aggregate, depending on the purpose and objectives of the study. Firstly, we consider the criterion of the movement direction, the cosine of the angle between the trajectories display this indicator. The direction of the real trajectory should be determined relatively to a certain basic trajectory (for example, the ideal development trajectory). The cosine can be defined for a j th object by the following dependence [24]:

$$\cos \alpha_j = \frac{\sum_{i=1}^N (K_{Tr,i,k} - K_{Tr,i,0}) * (K_{j,i,k} - K_{j,i,0})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (K_{Tr,i,k} - K_{Tr,i,0})^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^N (K_{j,i,k} - K_{j,i,0})^2}} \quad (6)$$

where $K_{Tr,i,k}$ and $K_{Tr,i,0}$ are i th coordinates of the end and starting point of the base trajectory vector;

where $K_{j,i,k}$ and $K_{j,i,0}$ are i th coordinate of the end and starting point of the real trajectory vector;

Testing of the modeling method of the development trajectory of the human-geographical objects was carried out in the study of the social infrastructure of Kharkiv region [4], the development

dynamics of the system of the population trading service of Kharkiv region [14, 16], the structure of models of socio-economic development [33] and formation of the competitiveness of the region [13], modeling the dynamics development of the geodemographic system [8, 28-31].

Multidimensional classification of the social and geographical systems according to the development state. The problem of the classification of the social and geographical systems by the movement in the analytical space (social and geographical process (development) requires distinguishing between two fundamentally different formulations of the problem [24]. The first case concerns the classification of the social and geographical systems according to the development state at a certain (control or calculated) point in time, i.e., the time slice of the development process at a fixed time point. This classification makes it possible to simultaneously identify and compare the state of the social and geographical systems, just as a flash of lightning records the location of all objects moving around at night. Thus, leaders and outsiders of the movement (development) can be identified to adopt certain conclusions and appropriate measures concerning lagging the social and geographical systems. Consequently, the classification of this type is relevant and necessary. At the same time, it is static and does not carry any information about changes in the pace of development of individual social and geographical systems. This shortcoming is corrected by analyzing two consecutive static states of the social and geographical systems when solving the classification problem in the second formulation, namely according to the development dynamics. In this case, the researchers compare two (or more) consecutive time slices of the development process and conclude their development's pace for a certain (control or estimated) period. Various linear characteristics of the trajectory represent the set of indicators. It means distances in the multidimensional space, which characterize the path traveled by the object in a certain time, or the distance from the current point of the trajectory (at the given time) to the characteristic points in the space (from the origin of coordinates, the midpoint of the social and geographical system or the point of the maximum development). Depending on the purpose of the study, the following linear indicators of the trajectory can be determined [24]:

- the path traveled by the social and geographical system in the multidimensional feature space (MFS) (ΔL) is the Euclidean distance between the trajectory points at adjacent time points. This is a dynamic characteristic of the trajectory because its length indicates the intensity of the movement of the social and geographical system;

- the speed of movement is the ratio of the length of the traveled path to the time interval between adjacent calculated moments ($\Delta L/\Delta t$);

- the distance of the current trajectory point from the point of minimum development (origin of coordinates) (L0), which assesses the movement effectiveness of the social and geographical system. The more effective social and geographical system will be more distant from the starting position in an equal time;

- the distance from the current point of the trajectory to the point of maximum development (end point) (L1) characterizes the movement effectiveness of the social and geographical system. The more effective social and geographical system will reach sooner or come closest to the highest indicator;

- the difference in the path remaining to go to the point of the maximum development (L1) and the path passed (L0), which gives an idea of the movement pace of the social and geographical system in the multidimensional space. The decrease in this indicator defines a faster movement of the social and geographical system;

- the progress coefficient is the ratio L0/L1, which is also a relative assessment of the development effectiveness of the social and geographical system in the normalized MFS, because the growth of this parameter indicates faster progress of this social and geographical system.

In our opinion, analysis of the projections of the movement vectors of the social and geographical systems on the main diagonal of the hypercube of the normalized MFS is promising. It gives a direct quantitative assessment of their development dynamics.

The criterion of the speed of movement of the social and geographical system in a multidimensional feature space makes it possible to analyze the linear characteristics of their trajectories, for example, the path traveled in a particular time, the distance from the current point to the start point and the point of the maximum development, the speed of movement, the characteristic ratios of trajectories, etc.

The path traveled by a given social and geographical system over some time can be defined as the Euclidean distance between two successive points in time of the trajectory:

$$L = \sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i^t - X_i^{t+\Delta t})^2} \quad (7)$$

where X_i^t , $X_i^{t+\Delta t}$ is *ith* coordinate of space, respectively, at the moments of time t and $t+\Delta t$ (the beginning and end points of the segment of the trajectory of the social and geographical system);

N is the measurability of the space.

The total path traveled by the social and geographical system in the MFS can be defined as the sum of the Euclidean distances between all successive points of its trajectory:

$$P_{int} = \sum_{j=1}^{M^t} L_j \quad (8)$$

where L_j is the Euclidean distance traveled by the social and geographical system at j th segment of the trajectory;

M^t is a number of estimated moments in time.

Knowing the time T which the object travels the total distance, it is possible to determine the average speed of movement of the social and geographical system:

$$V_t = P_{int} / T \quad (9)$$

The movement speed of the social and geographical system in a multidimensional feature space characterizes its development's dynamism (pace).

When determining the total path, it is also necessary to consider the direction of movement. It is advisable to project the total path (or its components) on the ideal or control trajectory of movement $P_{int,pr}$. According to this, it is possible to identify the productive (effective) movement speed of the social and geographical system:

$$V_{tef} = P_{int,pr} / T \quad (10)$$

Therefore, the modeling of the development trajectory of the social and geographical system intends to determine the movement vectors of the social and geographical system and its subsystems at each calculation point of the trajectory in the multidimensional space (its components are the cosine of angle and speed of movement). Complementing the trajectory vectors with the above indicators, it is possible to determine the differences between subsystems and the efficiency of their functioning as part of the social and geographical system.

Testing of the method of the multidimensional classification of the social and geographical system according to the state of development was carried out when determining the development degree of the system of population trading service in Kharkiv region [15, 16], the features of the socio-economic development [33] and assessing the competitiveness of cities and districts of Kharkiv region [13], establishing the strengths and weaknesses of geodemographic development [28-31].

As an example, we provide the typing of cities and districts of Kharkiv region by the features of the development trajectory of geodemographic systems (Fig. 2). The distribution of districts of Kharkiv region according to the development trajectory of their geodemographic systems on the phase plane demonstrated that the best trends in the geodemographic process are observed in the Kharkiv district. The next are Dergachi district and a relatively dense group of most districts of the region. The development trajectory of the geodemographic system has a pronounced non-equilibrium character. There are years with both

positive and negative dynamics, which constantly change each other during the studied period. The most threatening situation concerning the functioning and development of the geodemographic system occurred in Pechenizky, Kolomatsky, Pervomaysky, Iziumsky, Shevchenkivsky and Kegichivsky districts, as well as in the city of Izium, which manifest the predominant regressive nature of the development of geodemographic systems [31].

The application of the multidimensional classification, in particular, the component analysis of the development vector of the social and geographical system is an important, effective tool for determining

the development problems and formation of scientifically substantiated measures for their leveling, which proved in several studies [4,9,13,16,24,31,33].

Conclusions. The article presents the methodological foundations of human-geographical research, reveals contemporary approaches, and substantiates the features of methods for studying the development trajectory of the human-geographical objects, multi-dimensional spatial analysis and multidimensional classification, developed and tested by scientists of the Department of Human Geography and Regional Studies of V.N. Karazin Kharkiv National University over the past 15 years, provides examples of their ap-

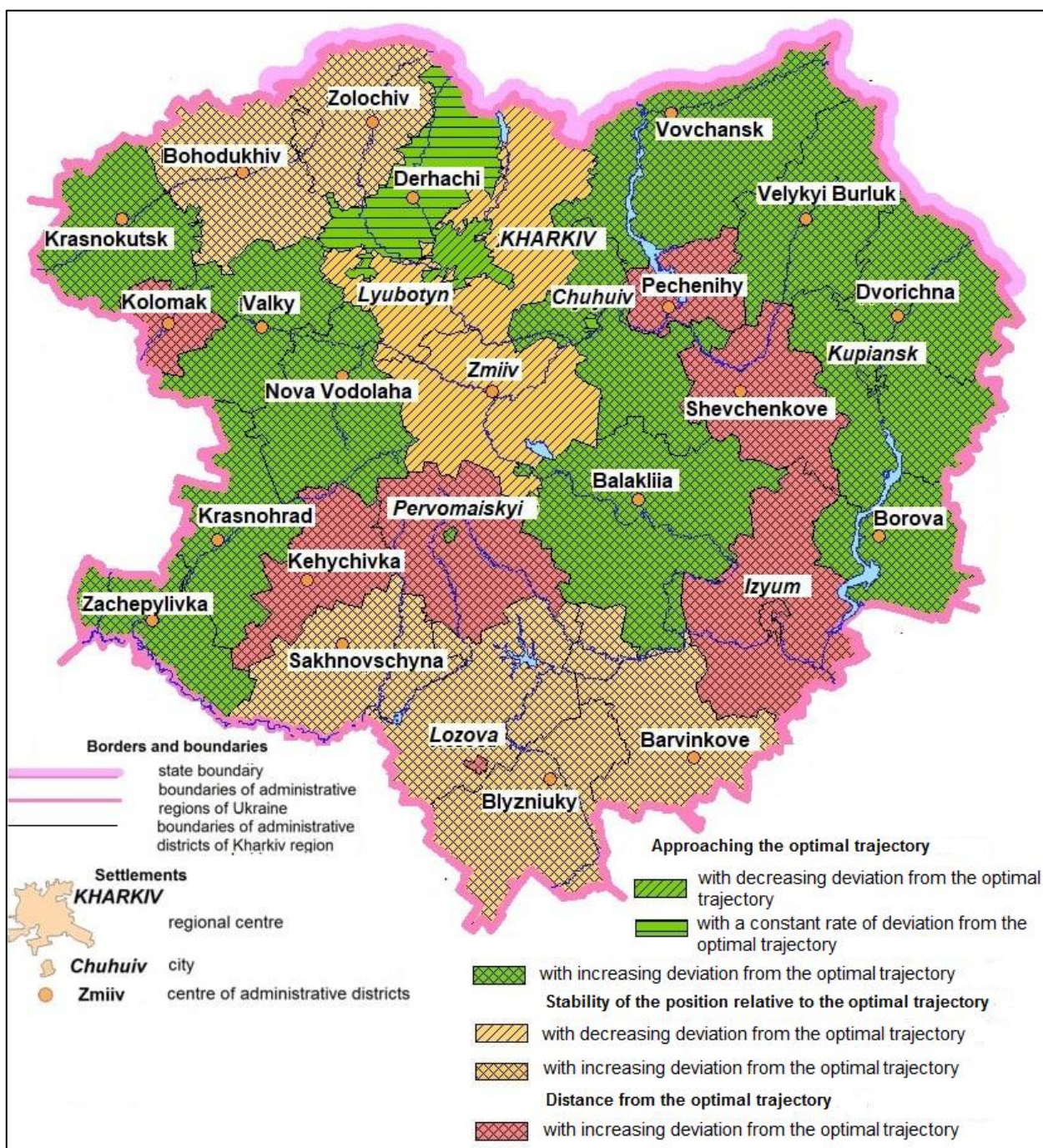


Fig. 2. Typing of cities and districts of the Kharkiv region according to the features of the development trajectory of geodemographic systems [33]

plication. Based on the understanding of the need to apply a human-geographical approach, which includes elements of the system, synergetic, information, historical ones, etc., the basis of human-geographical research is the concept of the human-geographical process in the multidimensional feature space. The authors have disclosed new methods of spatial analysis of the human-geographical process, in particular, the study of the spatial interaction of the human-geographical objects (IFI-modeling); research of the social and geographical systems in the normalized multidimensional space (modeling the development trajectory of human-geographical objects and multidimensional classification and diagnosis of system development). Also they provided the application results of the methods mentioned above for the study of the dynamics of functioning and development, monitoring and social management.

Certainly, it is the improvement of the existing methodology of human geography and the development of new research methods and approaches which

are the catalyst for the development of science. The development of the interdisciplinary methodology can be considered one of the ways of improving the research methods and approaches. It allows seeing the research object "from a different angle", but it is mandatory to consider the peculiarities and specifics of human-geographical research: dynamism, presence of the spatial aspect, and complexity. At the same time, a combination of such complex objects of research in human geography as "society-economy-nature" draws attention to the fact that the modern methodology of human geography should cover all three components and provide the possibility of analyzing relationships and interactions. The proposed original research methods allow performing an analysis taking into account aspects and factors of various kinds and etiology to regulate the degree of influence. They assess not only objects but also the links between them. It allows ensuring the complexity of the study.

Bibliography

1. Eden S. Structuring subjectivities? Using Q methodology in human geography. / S. Eden, A. Donaldson, G. Walker // *Area*, 2005. – No 37.4. – P. 413–422.
2. Erin H., Fouberg A., Murphy B. *Human Geography: People, Place, and Culture*, 12th Edition, 2020. - 512 p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.wiley.com/en-us/Human+Geography:+People,+Place,+and+Culture,+12th+Edition-p-9781119577539>
3. Mezentsev K. *Challenges of the Post-Soviet Development of Ukraine: Economic Transformations, Demographic Changes and Socio-Spatial Polarization* / K. Mezentsev, G. Pidgrushnyi, N. Mezentseva // In: Lang, T., Henn, S., Sgibnev, W., Ehrlich, K. (eds) *Understanding Geographies of Polarization and Peripheralization. New Geographies of Europe*. Palgrave Macmillan. – London, 2015. DOI: https://doi.org/10.1057/9781137415080_14
4. Nemets L. M. Analysis of development trajectory for social infrastructure of Kharkiv region / L. M. Nemets, P. O. Kobylin, K. Y. Segida // *Actual Problems of Economics*. – 2014. – No 161(11). – P. 409-418. – Режим доступу: <https://eco-science.net/downloads/>
5. Niemets K. Some issues of the methodological status of human geography in the context of interdisciplinary research / K. Niemets, L. Niemets, K. Sehida, L. Kliuchko, I. Tebiebnieva // *Регион 2019: стратегія оптимального розвитку: матеріали міжнародної науково-практичної конференції [Харків], 16-18 жовтня 2019 р. / ХНУ імені В. Н. Каразіна*. – Харків, 2019. – С. 17-22.
6. Niemets L. M. Innovation and investment potential of region as a factor of its "smart transformation" – a case study of Kharkiv region (Ukraine) / L. M. Niemets, K. V. Mezentsev, K. Y. Sehida, C. Morar, N. V. Husieva, V. A. Peresadko, I. Y. Tebiebnieva // *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 2018. – Issue 49. – P. 137-159. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-11>
7. Niemets L. Transition Features To The Policentric Development Of The Region: Technique And Practice Of The Research / L. Niemets, K. Niemets, K. Kravchenko, L. Kliuchko, P. Kobylin // *Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference (2019, 10-11 April Granada, Spain)*. – P. 3093-3101 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ibima.org/accepted-paper/transition-features-to-the-policentric-development-of-the-region-technique-and-practice-of-the-research/>
8. Немець Л. Демографічний розвиток Харківського регіону / Л. Немець, К. Немець, К. Сегіда. – ХНУ імені В. Н. Каразіна. – Харків: 2012. – 200 с.
9. Niemets, L. Trends Forming Policentric Model of Space Development and Implementation of the World Experience for Ukraine / L. Niemets, K. Sehida, K. Kravchenko, I. Tebiebnieva, V. Peresadko // *Proceedings of the 32nd International Business Information Management Association Conference (2018, November 15-16, Seville, Spain)*. – P. 362-374 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ibima.org/accepted-paper/trends-forming-policentric-model-of-space-development-and-implementation-of-the-world-experience-for-ukraine/>
10. Norton W. *Human Geography* / Norton, William, Mercier, Michael // *OUP Catalogue*, Oxford University Press, edition 9. – 2016. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ideas.repec.org/b/oxp/obooks/9780199019557.html>
11. *Dialogues in Human Geography* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://journals.sagepub.com/home/dhg_1119577539

12. Oliinyk Ya. B. Trends in the development of geographic science / Ya. B. Oliinyk // *Economic and social geography*. – 2016, No. 75. – P. 3-6.
13. Scholl, S., Lahr-Kurten, M., & Redepenning, M. Considering the role of presence and absence in space constructions: ethnography as methodology in human geography / M. Lahr-Kurten & M. Redepenning // *Historical Social Research*, 2014. – 39(2), 51-67. <https://doi.org/10.12759/hsr.39.2014.2.51-67>
14. Інноваційно-інвестиційний потенціал як основа конкурентоспроможності регіону (на прикладі Харківської області): монографія / [Л. М. Немець та ін.]; – ХНУ імені В. Н. Каразіна. – Харків: 2017. – 520 с.
15. Кобилін П. О. Просторово-часовий аналіз торговельного обслуговування населення Харківської області за параметрами траєкторії руху соціогеосистем / П. О. Кобилін // *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. – 2016. – No 44. – С. 88-97. – Режим доступу: <http://journals.urau.ua/geoecol/article/view/86442>
16. Кобилін П. О. Суспільно-географічне дослідження сфери торгівлі Харківської області за показниками системно-розвитку / П. О. Кобилін // *Часопис соціально-економічної географії*. – 2016. – No 20(1). – С. 154-165. – Режим доступу: <http://hgj.univer.kharkov.ua/index.php/ru/archive-2/20-1-2016>
17. Кобилін П. О. Територіальні особливості системи торговельного обслуговування населення Харківської області : дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.02 / П. О. Кобилін. – Харків, 2017. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://soc-econom-region.univer.kharkov.ua/wp-content/uploads/2017/07/%D0%9A%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D1%96%D0%BD_%D0%B4%D0%B8%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F.pdf
18. Кравченко К. О. Суспільно-географічні особливості формування та розвитку системи розселення Харківської області : дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.02 / К. О. Кравченко. – Харків, 2018. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://soc-econom-region.univer.kharkov.ua/wp-content/uploads/2017/07/На-сайті_Дисертаційна-робота-Кравченко-К.О..pdf
19. Кравченко К. Methods and approaches of determining the boundaries of agglomerations (basic case Kharkiv region) / К. Кравченко, К. Немець, К. Сегіда, Л. Немець, О. Сунтелло // *Часопис соціально-економічної географії*. – 2020. – No 28. – С. 5-16. DOI: <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2020-28-01>
20. Маруняк Є. О. Соціально-економічний простір (методологія геопросторових досліджень та практика планування) : дис. ... докт. геогр. наук 11.00.02 / Є. О. Маруняк. – Київ, 2016. – 503 с.
21. Мезенцев К. В. Методи дослідження в суспільній географії: традиції і новації / К. В. Мезенцев // *Економічна та соціальна географія*. – 2013. – No 1. – С. 32-42.
22. Немець К. Моделивання траєкторій у багатовимірному просторі: суспільно-географічна інтерпретація / К. Немець, Л. Немець, К. Сегіда, Є. Телебенєва, К. Кравченко // *Часопис соціально-економічної географії*. – 2018. – No 25. – С. 41-53. DOI: <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2018-25-04>
23. Немець К. А. Просторовий аналіз у суспільній географії: нові підходи, методи, моделі: монографія / К. А. Немець, Л. М. Немець; – ХНУ імені В. Н. Каразіна. – Харків: 2013. – 228 с.
24. Немець К. А. Дослідження міських агломерацій в аспекті реалізації адміністративно-територіальної реформи в Україні (на прикладі Харківської області) / К. А. Немець, К. Ю. Сегіда, Л. М. Немець, Є. Ю. Телебенєва, Л. В. Ключко, В. І. Редін // *Часопис соціально-економічної географії*. – 2019. – No 27. – С. 28-39. DOI: <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2019-27-04>
25. Немець К. Багатовимірний аналіз у суспільній географії (нетрадиційні методи): монографія / К. Немець, К. Сегіда, Л. Немець; – ХНУ імені В. Н. Каразіна. – Харків: 2016. – 120 с.
26. Немець К. А. Синергетичні засади суспільно-географічного дослідження / К. А. Немець, Л. М. Немець // *Регіон – 2017: стратегія оптимального розвитку: матеріали міжнародної науково-практичної конференції [Харків], 19-20 вересня 2017 р.* / ХНУ імені В. Н. Каразіна. – Харків, 2017. – С. 9-12. – Режим доступу: http://soc-econom-region.univer.kharkov.ua/wp-content/uploads/2017/07/Збірник_Регіон-2017.pdf
27. Немець Л. Постіндустріальний розвиток суспільства і роль суспільної географії / Л. Немець, К. Сегіда, К. Немець // *Регіон – 2021: стратегія оптимального розвитку: матеріали міжнародної науково-практичної конференції [Харків], 21-22 жовтня 2021 р.* / ХНУ імені В. Н. Каразіна. – Харків, 2021. – С. 13-17. – Режим доступу: <http://soc-econom-region.univer.kharkov.ua/wp-content/uploads/2017/07/Збірник-Регіон-2021-1.pdf>
28. Немець Л. М. Сучасна соціальна географія: аналіз стану, проблеми та перспективи / Л. М. Немець // *Часопис соціально-економічної географії*. – 2012. – No. 13(2). – 2012. – с. 14-20.
29. Сегіда К. Суспільно-географічна концепція геодемографічної системи регіону / К. Сегіда // *Часопис соціально-економічної географії*. – 2017. – No. 22 (1). – С. 53-61 DOI: <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2017-22-09>
30. Сегіда К. Ю. Оціночно-прогностичне моделювання геодемографічної системи Харківського регіону / К. Ю. Сегіда // *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. – 2017. – No 46. – С. 136-145. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2017-46-19>
31. Сегіда К. Ю. Суспільно-географічна концепція геодемографічної системи регіону : дис. ... док. геогр. наук : 11.00.02 / К. Ю. Сегіда. – Київ, 2017. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://scc.univ.kiev.ua/upload/iblock/87b/dis_Sehida%20K.Y._new.pdf
32. Соціальна географія: підручник / [за ред. Л. Немець, К. Мезенцева]. – Київ, 2019. – 304 с.
33. Телебенєва Є. Ю. Суспільно-географічне дослідження соціально-економічного розвитку регіону (на прикладі Харківської області) : дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.02 / Є. Ю. Телебенєва. – Харків, 2015. [Електронний

ресурс]. – Режим доступу: http://soc-econom-region.univer.kharkov.ua/wp-content/uploads/2017/07/Distatsiyyna_robota_Telebyenyevoyi_Ye_Yu.pdf

34. Топчієв О. Г. Суспільно-географічні дослідження: методологія, методи, методика: Навчальний посібник / О. Г. Топчієв. – Одеса, 2005. – 632 с.
35. Шаблій О. І. Основи суспільної географії: Підручник / О. І. Шаблій. – ЛНУ імені Івана Франка. – Львів, 2012. – 296 с.

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

References

1. Eden, S., Donaldson, A., Walker, G. (2005). Structuring subjectivities? Using Q methodology in human geography. *Area* 37.4, 413-422.
2. Erin, H., Fouberg, A., Murphy B. (2020). *Human Geography: People, Place, and Culture*, 12th Edition, 512. Available at: <https://www.wiley.com/en-us/Human+Geography:+People,+Place,+and+Culture,+12th+Edition-p-9781119577539>
3. Mezentsev, K., Pidgrushnyi, G., Mezentseva, N. (2015). Challenges of the Post-Soviet Development of Ukraine: Economic Transformations, Demographic Changes and Socio-Spatial Polarization. *Understanding Geographies of Polarization and Peripheralization. New Geographies of Europe*. DOI: https://doi.org/10.1057/9781137415080_14
4. Nemets, L., Kobylin, P., Segida, K. (2014). Analysis of development trajectory for social infrastructure of Kharkiv region. *Actual Problems of Economics*, 161 (11), 409-418.
5. Niemets K., Niemets L., Sehida K., Kliuchko L., Telebienieva I. (2019). Some issues of the methodological status of human geography in the context of interdisciplinary research. *Region 2019: optimal development strategy. International Scientific and Practical Conference. Kharkiv*, 17-22.
6. Niemets, L., Mezentsev, K., Morar, C., Sehida, K., Husieva, N., Peresadko, V. (2018). Innovation and Investment Potential of Region as a Factor of its "Smart Transformation": Kharkiv Region Case Study (Ukraine). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 49, 137-159. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-11>
7. Niemets, L., Niemets, K., Kravchenko, K., Kliuchko, L., Kobylin, P. (2019). Transition Features to the Policentric Development of the Region: Technique and Practice of the Research. *Proceedings of the 32nd International Business Information Management Association Conference (April 10-11, 2019, Granada, Spain)*, 3093-3101. Available at: <https://ibima.org/accepted-paper/transition-features-to-the-policentric-development-of-the-region-technique-and-practice-of-the-research/>
8. Niemets, L., Niemets, K., Segida, K. (2012). Demografichny'j rozvytok Xarkivs'kogo regionu [Demographic development of Kharkiv region]. *Kharkiv, Ukraine, V.N. Karazin Kharkiv National University*, 200 [in Ukrainian].
9. Niemets, L., Sehida, K., Kravchenko, K., Telebienieva, I., Peresadko, V. (2018). Trends Forming Policentric Model of Space Development and Implementation of the World Experience for Ukraine. *Proceedings of the 32nd International Business Information Management Association Conference (November 15-16, 2018, Seville, Spain)*, 362-374. Available at: <https://ibima.org/accepted-paper/trends-forming-policentric-model-of-space-development-and-implementation-of-the-world-experience-for-ukraine/>
10. Norton, William & Mercier, Michael, (2016). «Human Geography» OUP Catalogue, Oxford University Press, edition 9. Available at: <https://ideas.repec.org/b/oxp/obooks/9780199019557.html>
11. *Dialogues in Human Geography*. Available at: <https://journals.sagepub.com/home/dhg>
12. Oliinyk, Ya. B. (2016). Tendentsii rozvytku heohrafichnoi nauky [Trends in the development of geographic science]. *Economic and social geography*. Vol. 75. 3-6.
13. Scholl, S., Lahr-Kurten, M., & Redepinning, M. (2014). Considering the role of presence and absence in space constructions: ethnography as methodology in human geography. *Historical Social Research*, 39(2), 51-67. DOI: <https://doi.org/10.12759/hsr.39.2014.2.51-67>
14. Niemets, L., Sehida, K. (Eds) (2017). Innovative-investment potential as the regional competitiveness base (a case study of Kharkiv region). *Kharkiv, V. N. Karazin Kharkiv National University*, 520 [in Ukrainian]
15. Kobylin, P. O. (2016). Prostorovo-chasovyi analiz torhovelnoho obsluhovuvannya naseleння Kharkivskoi oblasti za parametramy traiektorii rukhu sotsioheosystem [Spatial and temporal analysis of population trade service in Kharkiv region for parameters of social and geographical system trajectory motion]. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 44, 88-97. Available at: <https://periodicals.karazin.ua/geoeco/article/view/7497> [in Ukrainian]
16. Kobylin, P. O. (2016). Suspilno-heohrafichne doslidzhennia sfery torhivli Kharkivskoi oblasti za pokaznykamy systemnoho rozvytku [Human-geographical research of the trading sphere of Kharkiv region based on indicators of system development] *Human Geography Journal*. 20, 154-165. Available at: <http://hgj.univer.kharkov.ua/index.php/ru/archive-2/20-1-2016> [in Ukrainian]
17. Kobylin, P. O. (2017). Terytorialni osoblyvosti systemy torhovelnoho obsluhovuvannya naseleння Kharkivskoi oblasti [Territorial features of the system of the population trading service in Kharkiv region]. *Phd's thesis. Karazin Kharkiv National University*, 386 [in Ukrainian]

18. Kravchenko, K. O. (2018). *Suspilno-heohrafichni osoblyvosti formuvannia ta rozvytku systemy rozselennia Kharkivskoi oblasti* [Human-geographical features of the formation and development of the resettlement system of Kharkiv region] Phd's thesis. Karazin Kharkiv National University, Available at: http://soc-econom-region.univer.kharkov.ua/wp-content/uploads/2017/07/На-саїм_Дуцєрмацїїна-робота-Кравченко-К.О..pdf [in Ukrainian]
19. Kravchenko, K., Niemets K., Sehida, K., Niemets, L., Suptelo O. (2020). *Methods and approaches of determining the boundaries of agglomerations (basic case of Kharkiv region)*. *Human Geography Journal*, 28, 5-16. DOI: <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2020-28-01>
20. Maruniak Ye. O. (2016). *Sotsialno-ekonomichni prostir (metodolohiia heoprostorovykh doslidzhen ta praktyka planuvannia)* [Socio-economic space (methodology of geospatial research and planning practice)]. Doctor's thesis. Kyiv. P. 503 [in Ukrainian]
21. Mezentsev, K. V. (2013) *Metody doslidzhennia v suspilnii heohrafii: tradytsii i novatsii* [Research methods in human geography: traditions and innovations] *Economic and Social Geography*1, 32-42 [in Ukrainian]
22. Niemets, K., Niemets, L., Sehida, K., Telebienieva, Ye., Kravchenko, K. (2018) *Modeliuvannia traiektorii u bahatovymirnomu prostori: suspilno-heohrafichna interpretatsiia* [Modeling of development trajectories in the multidimensional space: human-geographical interpretation] *Human Geography Journal*. 25, 41-53. DOI: <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2018-25-04> [in Ukrainian]
23. Niemets, K. A., Niemets, L. M. (2013). *Prostorovyi analiz u suspilnii heohrafii: novi pidkhody, metody, modelii: monograph* [Spatial analysis in human geography: new approaches, methods, models] Kharkiv, V.N. Karazin Khrakiv National University, 228 [in Ukrainian]
24. Niemets, K. A., Sehida, K. Yu, Niemets, L. M., Telebienieva, Ye. Yu, Kliuchko, L. V., Redin V. I. (2019). *Doslidzhennia miskykh ahlomeratsii v aspekti realizatsii administratyvno-terytorialnoi reformy v Ukraini (na prykladi Kharkivskoi oblasti)* [Research of urban agglomerations in the aspect of implementation of the administrative and territorial reform in Ukraine (case study of Kharkiv region)]. *Human Geography Journal*. 27, 28-39. DOI: <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2019-27-04> [in Ukrainian]
25. Niemets, K. A., Sehida, K. Yu., Niemets, L. M. (2016). *Bahatovymirnyy analiz u suspil'niy heohrafiyi (netradytsiyni metody)* [Multidimensional analysis in human geography (non-traditional methods)]: monograph, Kharkiv, V. N. Karazin Khrakiv National University, 120 [in Ukrainian]
26. Niemets, K. A., Niemets, L. M. (2017). *Synerhetychni zasady suspilno-heohrafichnoho doslidzhennia* [Synergistic principles of human-geographical research] *Region 2017: Optimal Development Strategy. International Scientific and Practical Conference*. Kharkiv. 9-12. Available at: http://soc-econom-region.univer.kharkov.ua/wp-content/uploads/2017/07/36ipnik_Регион-2017.pdf [in Ukrainian]
27. Niemets, L., Sehida, K., Niemets, K. (2021). *Postindustrialnyi rozvytok suspilstva i rol suspilnoi heohrafii* [Post-industrial development of society and the role of human geography] *Region 2021: Optimal Development Strategy. International Scientific and Practical Conference*. Kharkiv 13-17. Available at: <http://soc-econom-region.univer.kharkov.ua/wp-content/uploads/2017/07/36ipnik-Регион-2021-1.pdf> [in Ukrainian]
28. Niemets, L. M. (2012). *Suchasna sotsialna heohrafiia: analiz stanu, problemy ta perspektyvy* [Modern social geography: analysis of the state, problems and prospects] *Human Geography Journal*. 13 (2), 14-20.
29. Sehida, K. (2017) *Suspilno-heohrafichna kontseptsiiia heodemohrafichnoi systemy rehionu* [Human-geographical concept of the regional geodemographic system] *Human Geography Journal*. 22 (1), 53-61, DOI: <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2017-22-09> [in Ukrainian]
30. Sehida, K. Yu. (2017). *Otsinochno-prohnostychni modeliuvannia heodemohrafichnoi systemy Kharkivskoho rehionu* [Assessment and prognostic modeling of the geodemographic system of Kharkiv region]. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 46, 136-145. Available at: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2017-46-19> [in Ukrainian]
31. Sehida, K.Yu. (2017). *Suspilno-geografichna kontseptsiiia geodemografichnoi systemy regionu*. [Social geographic concept of the regional geodemographic system]. Doctor's thesis. Kyiv, KNU. Available at: http://scc.univ.kiev.ua/upload/iblock/87b/dis_Sehida%20K.Y._new.pdf [in Ukrainian]
32. Niemets, L., Mezentsev, K. (2019). *Sotsialna heohrafiia* [Social geography]. Kyiv, 304 [in Ukrainian]
33. Telebienieva Ye. Yu. (2015). *Suspilno-heohrafichne doslidzhennia sotsialno-ekonomichnoho rozvytku rehionu (na prykladi Kharkivskoi oblasti)* [Socio-geographic research of the socio-economic development of the region (case study of Kharkiv region)]. Phd's thesis. Karazin Kharkiv National University, Available at: http://soc-econom-region.univer.kharkov.ua/wp-content/uploads/2017/07/Disertatsiyna_robota_Telebyenyevoyi_Ye_Yu.pdf [in Ukrainian]
34. Topchiiev, O. H. (2005). *Suspilno-heohrafichni doslidzhennia: metodolohiia, metody, metodyka* [Human-geographic research: methodology, methods, methodology] 632 [in Ukrainian]
35. Shablii, O. I. (2012). *Osnovy suspilnoi heohrafii* [Basics of human geography] Lviv Ivan Franko National University. 296 [in Ukrainian]

Методологія суспільно-географічних досліджень: сучасні підходи та методи

Костянтин Аркадійович Немець¹,

д. геогр. н., професор, кафедра соціально-економічної географії і регіонознавства,

¹Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, майдан Свободи 4, Харків, 61022, Україна;

Катерина Юрїївна Сегіда¹,

д. геогр. н., доцент, кафедра соціально-економічної географії і регіонознавства;

Людмила Миколаївна Немець¹,

д. геогр. н., професор, завідувач кафедри соціально-економічної географії і регіонознавства;

Катерина Олександрівна Кравченко¹,

к. геогр. н., доцент, кафедра соціально-економічної географії і регіонознавства;

Павло Олексійович Кобилін¹,

к. геогр. н., доцент кафедри соціально-економічної географії і регіонознавства;

Євгенія Юрїївна Телебєнєва¹,

к. геогр. н., доцент, кафедра соціально-економічної географії і регіонознавства;

Людмила Василівна Ключко¹,

к. геогр. н., доцент, кафедра соціально-економічної географії і регіонознавства

У статті розкрито роль суспільної географії у складних сучасних умовах розвитку світової системи та визначено авангардну роль методології в еволюції суспільно-географічної науки. Підкреслено, що суспільна географія як динамічна сучасна гілка класичної географії, сьогодні є потужною міждисциплінарною наукою, характеризуються розвиненою різноманітною системою методів, підходів, локальних теорій та концепцій. Проведено аналіз новітньої методології світової та вітчизняної суспільної географії. Встановлено, що сучасна суспільно-географічна методологія виступає об'єктом світового наукового дискурсу, проте здебільшого у аспекті розв'язання прикладних питань різного роду досліджень. Сучасні суспільно-географічні дослідницькі тенденції значною мірою відповідають на соціальний запит та виклики сучасності; дослідження спрямовані на вирішення актуальних проблем суспільства та навколишнього середовища зокрема, просторовий аналіз, моделювання і прогнозування, моніторинг соціально-економічного розвитку територій різного ієрархічного рівня; урбаністичні, економічні, соціальні, міграційні, демографічні системи і процеси та їхні регіональні моделі тощо. Представлено методологічні основи суспільно-географічних досліджень, розкрито сучасні підходи та обґрунтовано особливості методів дослідження траєкторії розвитку суспільно-географічних об'єктів, багатовимірний просторовий аналіз та багатовимірної класифікації, розроблені та апробовані науковцями кафедри соціально-економічної географії і регіонознавства Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, наведені приклади їхнього застосування. Обґрунтовано особливості суспільно-географічного підходу, що включає елементи системного, синергетичного, інформаційного, історичного тощо. Розкрито концепцію суспільно-географічного процесу в багатовимірному ознаковому просторі, що виступає основою суспільно-географічних досліджень та вміщує спеціальні (авторські, оригінальні), методи. Розкрито оригінальні методи просторового аналізу суспільно-географічного процесу, зокрема дослідження просторової взаємодії суспільно-географічних об'єктів (ІФВ-моделювання); дослідження соціогеосистем у нормованому багатовимірному просторі (моделювання траєкторії розвитку суспільно-географічних об'єктів та багатовимірної класифікація і діагностика системного розвитку), представлено можливості застосування наведених методів, які засвідчують верифікованість отриманих результатів.

Ключові слова: методологія, суспільна географія, оригінальні методи дослідження, просторовий аналіз, багатовимірний аналіз, інтегральна функція впливу, траєкторія розвитку, компонентний аналіз.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 17 листопада 2021 р.

Прийнята 29 листопада 2021 р.

Сучасні тенденції у розповсюдженні поля відкладень ожеледі на території України протягом 1991-2020 рр. відносно 1981-2010 рр.

Світлана Іванівна Пясецька¹,

к. геогр. н., ст. наук. співроб. відділу кліматичних досліджень та довгострокових прогнозів погоди

¹Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України,

просп. Науки, 37, м. Київ, 03028, Україна,

e-mail: spyasets@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0001-8236-4139>;

Олександр Андрійович Щеглов¹,

к. геогр. н., ст. наук. співроб. відділу кліматичних досліджень та довгострокових прогнозів погоди,

e-mail: aleshcheglov@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-5702-6285>

Представлена стаття є результатом дослідження з виявлення нових тенденцій у розповсюдженні відкладень ожеледі на території України протягом останнього тридцятиріччя 1991-2020 рр. (нова стандартна кліматологічна норма) на сучасному етапі зміни клімату в Україні. Порівняння було проведено відносно 30-и річного періоду, який ВМО було рекомендовано у якості періоду для порівнянь у змінах метеорологічних показників. Було визначено осередки збільшення та зменшення середньої кількості відкладень ожеледі на території України за допомогою фізико-статистичного метода та побудовано карти для відображення просторово-часового розповсюдження осередків додатних та від'ємних відхилень. Отримана інформація представлена декількома аспектами – евристичним, як результат виявлення нових тенденцій у розповсюдженні одного з видів ожеледо-паморозевих відкладень на території України під впливом сучасних змін у кліматичній системі, а також практичним – використання інформації для планування та забезпечення безпечної роботи погодозалежних галузей господарства. Здебільшого значення відхилень протягом досліджуваного періоду виявились незначними, проте на окремих територіях вони сягали більших значень. Встановлено, що найбільш значні відхилення середньої кількості випадків відкладень ожеледі спостерігаються у зимові місяці. У січні та грудні спостерігається переважання додатних відхилень середньої кількості випадків відкладень ожеледі на території України. У лютому та березні осередки від'ємних відхилень були найбільш поширеними. Найбільш виражені з них спостерігались у західному регіоні на території від Житомирщини до Прикарпаття, а також у окремих з центральних областей. У лютому виявлено осередок додатних відкладень на півночі Чернігівщини. У квітні та жовтні поле відкладень ожеледі протягом 1991-2020 р. відносно 1981-2010 рр. майже не змінилось. У листопаді виявлено збільшення кількості та просторового розповсюдження осередків додатних відхилень середньої кількості випадків відкладень ожеледі. Здебільшого вони були розповсюджені на території центральних областей від Вінничини до Полтавщини та Дніпропетровщини, а також на сході Харківщини та півночі Луганщини. Проведене дослідження у повному обсязі для території України здійснене вперше.

Ключові слова: кліматологічна стандартна норма, просторово-часове розповсюдження осередків відкладень ожеледі, додатні та від'ємні відхилення середньої кількості випадків відкладення ожеледі.

Як цитувати: Пясецька С. І. Сучасні тенденції у розповсюдженні поля відкладень ожеледі на території України протягом 1991-2020 рр. відносно 1981-2010 рр. / С. І. Пясецька, О. А. Щеглов // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 56. – С. 159-171. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-11>

In cites: Pyasetska S. I., Shcheglov O. A. (2022). Current trends in the distribution of ice deposit fields on the territory of Ukraine during 1991-2020 regarding 1981-2010. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (56), 159-171. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-11> [in Ukrainian]

Вступ. Відкладення ожеледі на території України є поширеним явищем протягом місяців холодного та окремих місяців перехідних сезонів року та одним із основних видів ожеледо-паморозевих утворень. Вони відносяться до несприятливих погодних явищ та впливають на життєдіяльність суспільства. Найбільш небезпечними вони є для ряду галузей господарства таких як енергетика (виробництво та транспортування), більшість видів транспорту, особливо тих які використовують електричну енергію, комунальне господарство. Найбільш небезпечним є масове поширення відкладень ожеледі, коли вони спостерігаються на території декількох областей. Крім того імовірних значних збитків економіка держави зазнає у випадку виникнення значних діаметрів відкладень категорії «небезпечних» (НЯ) та

«стихійних» (СГЯ), особливо у тому випадку якщо вони також мають масовий характер прояву по території. Зміни у кліматичній системі, а саме потепління, призводять до різких змін погоди із перепадами температури та вологості особливо протягом холодного періоду року та сприяють виникненню більш сприятливих умов для утворення різних видів ожеледо-паморозевих відкладень. Це позначається на більшій повторюваності та поширенню ожеледо-паморозевих відкладень в окремих регіонах, їх тривалості та як наслідок виникнення значних за величиною відкладень, які спроможні не тільки зупинити роботу галузей економіки, а й зруйнувати об'єкти господарювання та навіть призвести до більш трагічних наслідків. Сучасне високотехнічне суспільство значно залежить від перебігу погодних умов, що

виникають внаслідок змін клімату, які підсилюються та прискорюються протягом останніх декількох десятиріч. На це неодноразово звертала увагу Всесвітня метеорологічна організація (ВМО) та світова екологічна спільнота. Найбільшу занепокоєність викликає незворотність змін. Також доведеним є факт зміни в циркуляції повітряних мас протягом останніх 20-и років, порівняно із попереднім аналогічним періодом, що пов'язане із позиціонуванням та активністю основних центрів дії атмосфери (ЦДА) у Північній півкулі, особливо взаємодії Сибірського антициклону та Північно-атлантичного коливання (осциляції) – NAO. Крім того в окремих випадках утворення та поширення ожеледо-паморозевих відкладень певну роль можуть відігравати інші центри дії атмосфери – MOI та AO (середньо-атлантична та арктична осциляції).

Постановка проблеми та зв'язок публікації із важливими науковими та практичними завданнями. Зважаючи на вище викладене, можна сказати, що натеper дослідження ожеледо-паморозевих відкладень, які є невід'ємною частиною клімату у більшості країн Північної півкулі набуває значної актуальності та сенсу. Для України, де такі явища найбільш типові постає *проблема встановити найбільш вразливі регіони від них в умовах сучасного клімату та поточні тенденції їх перерозподілу у часі та просторі*, зважаючи на різкі та тривалі зміни погодних умов протягом холодного періоду року на тлі триваючих змін клімату. Таке дослідження варто проводити по окремих місяцях обраного періоду для виділення окремих часових інтервалів із встановленими найбільшими просторовими змінами в них.

Натеper в Україні продовжують проводити дослідження зі змін клімату та їх сучасних та майбутніх наслідків, встановлення кліматовразливих регіонів, які пов'язані із розповсюдженням того чи іншого небезпечного погодного явища. Такі дослідження виконуються для встановлення змін у всіх сезонах, зокрема і протягом холодного періоду року. Проведене дослідження пов'язане із виконанням ряду науково-дослідних тем (НДР), виконавцями яких є наукові відділи Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України (УкрГМІ), зокрема відділ кліматичних досліджень та довгострокових прогнозів погоди. Протягом останнього часу у ньому було виконано декілька НДР, метою яких було встановити сучасні тенденції зміни клімату в Україні та виявити кліматовразливі регіони, а саме: 2/09 (2009-2011) – «Дослідження регіональних кліматичних змін в Україні на фоні глобальних процесів потепління» (номер держреєстрації 0110U001470); 1/12 (2012-2014) – «Фізико-статистичний аналіз та прогноз зміни клімату регіонів

України для підтримання сталого розвитку економіки країни» (номер держреєстрації 0112U004651); 1/15 (2015-2017) – «Розроблення комплексного методу виявлення кліматовразливих районів на території України в умовах глобальної зміни клімату» (номер держреєстрації 0115U002775); 1/18 (2018-2020) - «Прогнозування мінливості кліматовразливих районів на території України в найближчі десятиріччя» (номер держреєстрації 0118U000554). За результатами виконання останньої з тем з Українського гідрометеорологічного центру отримано «Акт впровадження» отриманих результатів у вигляді атласу карт, зокрема і по розділу небезпечних явищ холодного періоду року на прикладі відкладень ожеледі. Результатом впровадження були встановлені сучасні кліматовразливі регіони від відкладень ожеледі, у тому числі категорії НЯ на території України. Натеper роботу з дослідження окремих погодних явищ та для вдосконалення коротко- та середньострокового їх прогнозування на території України за допомогою сучасної гідростатичної моделі WRF-ARW продовжено у темі – 2/21 (2021-2023) «Розроблення та вдосконалення методів коротко- і середньострокового прогнозування небезпечних та стихійних метеорологічних явищ на основі сучасних чисельних моделей» (номер держреєстрації 0121U108954).

Стан дослідження проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій. Початок систематичних досліджень видів та умов виникнення ожеледо-паморозевих відкладень розпочались у 30-х роках ХХ сторіччя. Одним з таких досліджень є робота Б.П. Вайнберга «Снег, иней, град, лед и ледники» (1936) [35], де подано фізичні основи утворення ряду ожеледо-паморозевих відкладень. Ці дослідження для Європейської частини території колишнього СРСР, у тому числі дослідження та визначення характеристик фізичного стану ожеледо-паморозевих відкладень було продовжено Н. С. Муретовим (1945), а дещо згодом В.В. Бургсдорфом (1947) та О.Г. Балабуєвим (1947). Докладні систематизовані дослідження ожеледо-паморозевих відкладень було започатковано у роботах Заморського А.Д. [37], який станом на 50-і роки ХХ сторіччя найбільш докладно узагальнив та описав умови виникнення таких відкладень та навів приклади їх фізико-географічного розповсюдження по території колишнього СРСР. Було встановлено, що одним з найнебезпечніших погодних явищ, які спостерігаються у холодний період року є відкладення ожеледі. Відкладення ожеледі здебільшого утворюється при приземній температурі повітря $+0,5 \dots -3 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($-8 \dots -10 \text{ } ^\circ\text{C}$), при цьому на поверхні 850 гПа температура повітря може становити $+5 \dots -5 \text{ } ^\circ\text{C}$. Її відкладення виникають за умов випадіння переохолод-

жених опадів у вигляді дощу, мряки, щільного туману або серпанку, а у окремих випадках за наявності низької шаруватої хмарності та інверсії з температурою на нижній межі $-0,5 \dots -8,0$ °C. Здебільшого у прикордонному шарі повітря знаходиться осередок теплого повітря на поверхні 850 гПа. Фазовий стан опадів залежить від висоти ізотерми 0°C. При наявності потужного шару холодного повітря у який потрапляють краплі утворюється переохолоджений дощ, який на землі спричиняє ожеледь. Він здебільшого утворюється в зонах теплих атмосферних фронтів з приземною інверсією у декілька сот метрів та холодним повітрям у землі. Відкладення ожеледі, випадіння переохолоджених опадів та інші види наземного зледеніння спостерігались переважно при інтервалі температур $-5,0 \dots -10$ °C та вологості більше 85 %. З накопиченням результатів спостережень на мережі метеостанцій такі дослідження було продовжено у роботах В.Е. Бучинського (1966) [5] та А.В. Рудневої (1961) [30]. Було встановлено значну мінливість таких відкладень по території навіть досить однорідної за своїм складом. У 1971 р. накопичені матеріали та результати попередніх досліджень були викладені у монографії Е.П. Драневич [10]. Дослідження фізико-географічних особливостей просторового розподілу ожеледопаморозевих відкладень на території України започатковано у роботах А.М. Раєвського [24-29] та М.М. Волевахи [35]. Із врахуванням відносної висоти місцевості, ступеня захищеності по відношенню до переважаючих при відкладенні ожеледі вітрам, експозиції самого мікросхилу на якому знаходиться пункт спостереження встановлено 7 основних типів рельєфу. Визначено, що V-VII типи рельєфу є найбільш ожеледонебезпечні. Особливості та стан розповсюдження ожеледопаморозевих утворень, зокрема ожеледі на території України протягом кінця 30-х – 60-х років ХХ сторіччя представлено у роботах [7,11,13,19]. Виявлена найбільша повторюваність цього явища протягом грудня – лютого. Територіально максимального свого прояву це явище досягає в районі Донецького кряжу, Приазовської височини, Кримських горах (захід), Волино-Подільській та Придніпровській височинах, Карпатах (північно-східні схили та високогір'я). Найчастіше небезпечні відкладення ожеледі мали місце в районі Донецького кряжу, Приазовської височини та Криму. Наступний етап дослідження охоплює період з 60-х років до кінця ХХ століття. [8, 31, 34]. У проведених дослідженнях було доведено, що за вірогідністю прояву відкладень ожеледі стихійного характеру на Україні можна виділити 4 райони: 1 – Донецька, Луганська, Вінницька, Кіровоградська, Одеська, Миколаївська області (1 раз за 2-3 роки); 2 – Тернопільська, Хмельницька, Полтавська,

Харківська, Дніпропетровська, Херсонська області (1 раз за 5 років); 3 – Рівненська, Житомирська, Київська, Черкаська, Івано-Франківська, Запорізька області та АР Крим (1 раз на 10 років); 4 – Волинська, Чернігівська, Сумська, Львівська, Закарпатська, Чернівецька області (1 раз на 20 років). Останньою фундаментальною роботою з дослідження стихійних метеорологічних явищ на Україні у тому числі і сильної ожеледі є монографія [32], в якій досліджено стан інтенсивності та розповсюдження стихійних явищ протягом 1985-2005 рр.

Натепер для проведення стандартних спостережень на метеорологічних станціях, для узагальнення результатів спостережень, а також прогнозування окремих видів наземного зледеніння використовують ряд нормативних документів [12, 14-17], які регламентують проведення таких робіт та обробку і інтерпретацію результатів спостережень. Спостерігається зв'язок між змінами клімату і зростанням кількості несприятливих явищ, а серед них появи небезпечних та стихійних, що підтверджується у глобальному масштабі у доповіді IPCC, 2007: Climate Change 2007 [9]. В останніх дослідженнях ВНІГМІ- МЦД [1-3] було проаналізовано матеріали спостережень за ожеледопаморозевими відкладеннями протягом 1984-2018 рр. та доведено, що, сучасні зміни клімату проявляються у повторюваності окремих погодних явищ та їх характеристиках. Це проявляється зокрема у збільшенні повторюваності ожеледопаморозевих відкладень на більшій частині Європейської Росії особливо протягом ожеледного періоду 2017-2018 рр. Зважаючи на неможливість уникнути змін у кліматичній системі та неминучість подій, пов'язаних із зміною клімату постала проблема зменшення збитків від негативних процесів, що їх супроводжують та необхідність адаптації різних сфер життєдіяльності людства до нових кліматичних умов з метою стійкого розвитку економіки і суспільства [4,6,18,33]. Вплив погодно-кліматичних умов на розвиток економіки та соціальної сфери у останні роки сприяє зростанню диспропорції та нестійкості системи погода – господарська діяльність – суспільство, порушуючи розвиток останнього. Постає проблема визначення чутливості ряду галузей економіки держави до негативних проявів погоди та гідрометеорологічних явищ, можливості їх адаптації в умовах сучасного клімату. Головна мета адаптації - це максимальне зниження втрат з метеорологічних причин і як наслідок зниження ризику впливу умов погоди (метеорологічного ризику). Важливим заходом при визначенні метеорологічних ризиків є створення бази даних про небезпечні, стихійні явища та несприятливі метеорологічні явища, які потенційно можуть нанести збитки

економіці. Метеорологічні ризики визначаються по 2-м головним характеристикам погодозалежності споживача – через небезпеку (повторюваність несприятливих умов погоди, частоту виникнення НЯ та СГЯ), та метеорологічну вразливість (об'єктивна реальність техногенного середовища), яку можна змінити за допомогою оптимальної метеорологічної адаптації. Пріоритетність цього напрямку була затверджена Виконавчим комітетом ВМО у 2010 р. у тематичній області дослідження «Кліматична інформація для адаптації і врахування чинників ризику».

Натепер для території України існують ряд невіршених раніше питань із розповсюдження ожеледо-паморозевих відкладень, а саме –

1. Виявлення сучасних тенденцій у просторово-часовому розповсюдженні відкладень ожеледі на території України.

2. Встановлення територіального перерозподілу осередків відкладень ожеледі та частоти їх прояву по території України на сучасному етапі зміни клімату із виявленням кліматовразливих територій країни від таких відкладень.

Вже отримані попередні результати автора з цього приводу опубліковані у матеріалах низки Міжнародних конференцій та у колективних монографіях, які стосуються розвитку та досягнень з природничих наук країн Європейського Союзу та України [20 - 23].

Мета статті. Метою проведеного дослідження було –

1. Встановити нові тенденції у сучасному просторово-часовому розповсюдженні поля відкладень ожеледі на території України протягом останнього тридцятиріччя 1991-2020 рр. (нова кліматологічна норма) відносно рекомендованого ВМО для кліматичних досліджень періоду 1981-2010 рр.

2. Виявити кліматовразливі регіони країни від відкладень ожеледі на сучасному етапі зміни клімату.

Отримані результати сприятимуть не тільки розумінню спрямування змін у розповсюдженні окремих видів ожеледо-паморозевих відкладень на сучасному етапі змін клімату, який найбільш чітко проявляється у холодний період року, а й суто практичними висновками щодо подальшого планування роботи та забезпечення безперервного функціонування галузей економіки, які є найбільш погодозалежними від таких відкладень (енергетика, транспорт, комунальне та зелене господарство). Також вони можуть бути використані для оперативної роботи в УкрГМЦ при прогнозуванні імовірності виникнення відкладень ожеледі на території України. Об'єктом дослідження були випадки відкладень ожеледі на території України у місяці холодного та окремих

місяців перехідних сезонів року протягом останнього 30-и річчя 1991-2020 рр., а предметом – сучасні тенденції у їх просторово-часовому розповсюдженні відносно рекомендованого ВМО періоду 1981-2010 рр. та виявлені кліматовразливі регіони.

Матеріали та методи. Підґрунтям для проведення цього дослідження слугували фактичні матеріали інструментальних спостережень на усіх метеорологічних станціях за ожеледо-паморозевими відкладеннями на дротах стандартного ожеледного станка, які наведено у відповідних таблицях Метеорологічного щомісячника (Вип. 10. Ч. II. Україна). Вищезгадані матеріали було надано Державним галузевим архівом (ГДА) Центральної геофізичної обсерваторії (ЦГО) ім. Бориса Срезневського м. Київ.

Основним методом дослідження є фізико-статистичний, який був застосований для визначення нормованої кількості випадків відкладень ожеледі на кожній із метеорологічних станцій протягом 2-х тридцятиріч (1991-2020 рр. та 1981-2010 рр.) та розрахунку відхилень (додатних та від'ємних) для визначення поточних тенденцій у розповсюдженні таких відкладень на території України.

Для візуалізації отриманих результатів для кожного з досліджуваних місяців було застосовано метод картографування та побудовано карти, які відображають просторово-часові тенденції у розповсюдженні таких відкладень протягом поточного 30-и річчя. Нажаль з 2015 р. внаслідок агресії Росії відносно України відсутні дані по Криму та на ряді станцій Донецького регіону країни, які знаходяться на території ОРДЛО (Луганськ, Дар'ївка, Донецьк, Дебальцеве, Амвросіївка).

Надійність використаних матеріалів обумовлена затвердженою методикою спостережень на метеорологічних станціях відповідними Керівними документами та Настановами, за якими проводяться спостереження на метеорологічних станціях і постах в системі Української гідрометеорологічної служби та стандартизованими засобами спостережень. Тривалість використаних рядів спостережень забезпечує надійність та сталість отриманих результатів.

Виклад основного матеріалу. Дослідження та аналіз виявлених сучасних тенденцій у розповсюдженні відкладень ожеледі на території України протягом холодного періоду року 1991-2020 рр. відносно рекомендованого Всесвітньою метеорологічною організацією (ВМО) для проведення порівнянь та визначення змін 30-и річного періоду 1981-2010 рр. було здійснено для кожного окремого місяця зимового та окремих місяців перехідних сезонів року. Цей період був обраний ВМО для проведення порівнянь та визначення

тенденцій у розподілі метеорологічних величин та явищ на окремих територіях замість кліматологічної норми 1961-1990 рр. Підґрунтям для прийняття цього рішення було те, що протягом останнього часу істотно прискорився процес зміни клімату, внаслідок його стрімкого потепління на більшій частині Землі та як наслідок різких змін погодних умов. Такі зміни спершу проявились під час холодного періоду року, проте зараз проявляються і у теплій порі року. Все це певним чином вплинуло та продовжує впливати на зміну клімату в Україні, призводячи до зростання несприятливих, а іноді небезпечних та стихійних природних явищ на її території як у холодний так і у теплий періоди року.

Результати дослідження візуалізовано на рисунку 1. Встановлено, що у **січні** 1991-2020 рр. відносно періоду 1981-2010 рр. на території України спостерігались невеликі за значеннями додатні та від'ємні відхилення середньої кількості випадків відкладень ожеледі. Найбільші значення таких відхилень становили для додатних +0,4...+0,8(0,9), а для від'ємних -0,4...-0,9. Більш розповсюдженими та помітними виявились осередки додатних відхилень. Так, розгалужений осередок додатних відхилень спостерігається на території західного регіону від його північного заходу (Волинь, Рівненщина, Житомирщина) до півдня (Чернівецьчина), а також від Львівщини на заході до Хмельниччини на сході. Основна, найбільш помітна частина такого осередку займає крайній північний схід Волині (Любешів +0,5), більшої частини Рівненщини (Сарни +0,6), північного заходу та заходу Житомищини (Олевськ +0,5, Овруч +0,4), більшої частини Хмельниччини (+0,4...+0,6), та Тернопільщини (Тернопіль +0,7, Чортків +0,9), а також центральну частину Чернівецьчини (Чернівці +0,7). Також досить помітною є частина загального осередку додатних відхилень у західному регіоні на території Львівщини на північному заході в районі Рава-Руська – Кам'янка Бузька (+0,4) та Львів (+0,6). На півночі країни на території Київщини та Чернігівщини (північно-західна частина) серед додатних відхилень на станціях спостерігаються зовсім малі їх значення +0,1...+0,3. Проте на території центру та північного сходу Чернігівщини (від Ніжина та Чернігова на схід) та на Сумщині спостерігається більш істотні значення таких відхилень. Так, на Чернігівщині вони становлять +0,4...+0,7 (Сновськ +0,6, Семенівка +0,7, Покошичі +0,7), а на Сумщині до +0,5 у Глухові. Далі на північному сході, на Харківщині, на тлі розповсюдження менших за значеннями додатних відхилень спостерігаються два більш помітних осередки на півночі та північному заході області та на її сході. Найбільші значення таких відхилень становили у

Великому Бурлуці +0,6, Коломаку +0,8, Слобожанському +0,6, Ізюмі +0,7. Поруч на сході помітний осередок додатних відхилень спостерігається на півночі Луганщини у Новопскові (+0,6), а також на південному сході Донеччини в районі Волновахи (+0,6) та Маріуполя (+0,4). У центральному та південному регіонах країни також існують розгалужені осередки додатних відхилень середньої кількості випадків відкладень ожеледі. Найбільш помітними частинами з них є осередок на Вінниччині в районі Вінниці (+0,7) та Гайсина (+0,4). Інший розгалужений осередок додатних відхилень знаходиться на території Кіровоградщини, Дніпропетровщини, Миколаївщини, Херсонщини та Запоріжжя. Найбільш помітними частинами цього осередку є осередок на Дніпропетровщині у її західній частині в районі від Комісарівки (+0,4) до Лошкарівки (+0,7) та Нікополя (+0,5), а також на сході в районі Синельникового та Чаплиного (+0,4...+0,5). Західна частина цієї частини осередку поєднується із аналогічним осередком на території сходу Миколаївщини (Баштанка +0,5) та Херсонщини (Велика Олександрівка, Асканія Нова +0,5), а на півдні та південному сході з подібним осередком на Запоріжжі (Пришиб +0,5, Мелітополь +0,8, Ботієве +0,6). Крім того, помітний осередок додатних відхилень знаходиться на півдні Херсонщини у Бехтерах +0,8 (рис. 1).

Помітні осередки від'ємних відхилень знаходяться на території Донецького регіону із найбільш низькими значеннями -0,4...-0,9 в районі Луганська та Дар'ївки, а також Дебальцевого, Донецька та Амвросіївки.

У **лютому** на території України протягом 1991-2020 рр. відносно 1981-2010 рр. переважають розгалужені осередки від'ємних відхилень середньої кількості випадків відкладень ожеледі. Здебільшого їх значення не перевищувало -0,1...-0,3. Проте в окремих осередках були і більші значення. На заході країни найбільш помітними частинами загальних осередків від'ємних відхилень були осередки на Хмельниччині в районі Ямполь та Нової Ушиці (-0,4) та поблизу Коростеня (-0,3). На півночі та північному сході країни виділяються осередки на Київщині в районі Києва (-0,3) та на її південному сході у Барішівці (-0,4). На сході у Донецькому регіоні значення від'ємних відхилень здебільшого не перевищували -0,1...-0,3 (Донецьк -0,4). У центрі країни найбільш помітними осередками таких відхилень є осередок на заході Вінниччини в районі Хмільника (-0,4) та Жмеринки (-0,5), на південному заході Черкащини (Умань -0,4), на Дніпропетровщині в районі Дніпра та Кривого Рогу (-0,4). На півдні країни на Одещині у Чорноморську та в районі Миколаєва та Очакова також виділяються подібні осередки із значеннями від'ємних відхилень -0,3...-0,4. Ана-

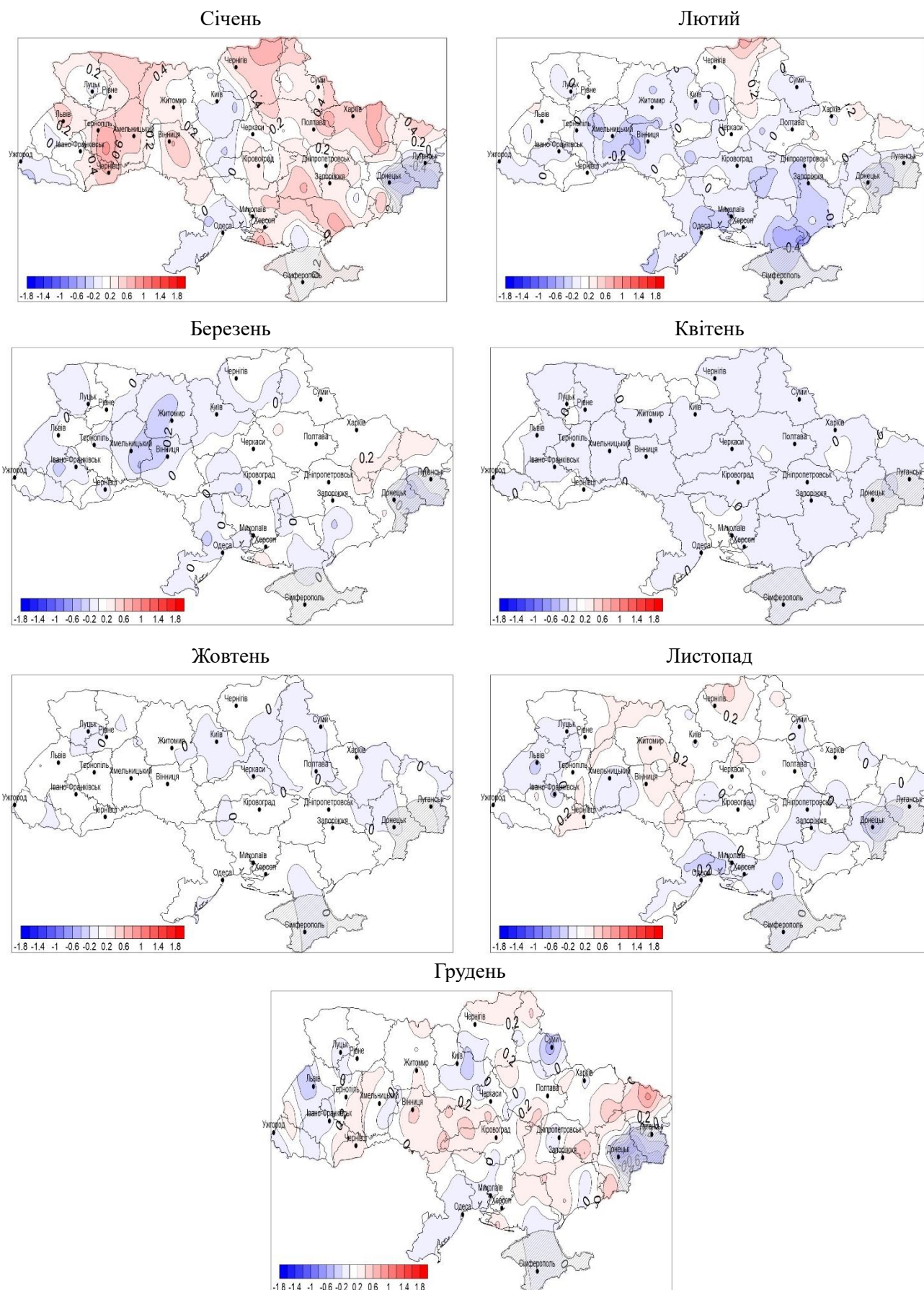


Рис. 1. Відхилення середньої кількості випадків відкладень ожеледі по місяцях холодного періоду року та окремим місяцям перехідних сезонів за період 1991-2020 рр. відносно періоду 1981-2010 рр.
 Fig. 1. Deviation of the average number of cases of ice deposits by months of the cold period of the year and individual months of transitional seasons for the period 1991-2020 compared to the period 1981-2010

логічний осередок розташований на сході Херсонської області в районі Асканії Нової (-0,5) та Генічеська (-0,8), а також на Запоріжжі в районі Пришибу та Ботієвого (-0,4).

Осередків додатних відхилень небагато. Їх інтенсивність здебільшого становить +0,1...+0,2(0,3). Проте в на північному заході Львівщини в районі Рави-Руської значення додатних відхилень становило +0,4, а на півночі Чернігівщини у Семенівці +0,7. На півночі Харківщини (Великий Бурлук) та Луганщини (Новопокров), а також на півдні Донеччини (Волноваха) та на Полтавщині у Лубнах значення додатних відхилень становило +0,3 (рис. 1).

На початку весни у **березні**, майже подібно до лютого, на території України здебільшого переважали осередки від'ємних відхилень середньої кількості випадків відкладень ожеледі незначної інтенсивності, які істотно розгалужені та можуть розповсюджуватись на території декількох областей та регіонів. Найнижчі значення становили -0,3...-0,6. Найбільш помітний осередок таких відхилень спостерігається на території західного регіону, який розповсюджується від Коростеня (-0,3), що на Житомирщині на південь Хмельниччини в район Нової Ушиці (-0,3). Цей осередок розповсюджується на територію заходу Вінницької області в район Хмільника (-0,4). Аналогічний осередок спостерігається на Івано-Франківщині у Долині (-0,3). Також більш-менш помітні осередки (часом уособлені) від'ємних відхилень спостерігались на території Кіровоградщини у Помічній (-0,3) Одещині (Роздільна -0,3), а також на Запоріжжі у Пришибі (-0,3). Дещо більш поширений осередок спостерігається у Донецькому регіоні в районі Дебальцеве – Донецьк - Амвросіївка (-0,3...-0,6).

Незначний за площею та значенням осередок додатних відхилень середньої кількості випадків відкладень ожеледі спостерігається на півдні Херсонщини у Бехтерах (+0,3), а більш поширений на сході України від Лозової на Харківщині до Новопокрова та Сватового на Луганщині (+0,3). Також уособлені осередки таких відхилень спостерігаються на Полтавщині у Лубнах (+0,3) та Волновасі (+0,3) на Донеччині (рис. 1).

У середині весни у **квітні** коли закінчується період відкладень ожеледі на території України, ситуація із розповсюдження відкладень ожеледі у 1991-2020 рр. відносно періоду 1981-2010 рр. майже не змінилась. На більшості території переважали або нульові відхилення або дуже незначні від'ємні значеннями -0,1...-0,2. Додатні відхилення спостерігались зрідка і не перевищували значення +0,1.

З настанням середини осені у **жовтні** із початком масового відкладення ожеледі, так само як і

у квітні переважають нульові відхилення середньої кількості випадків відкладень ожеледі. Серед додатних відхилень, які більш поширені ніж від'ємні у цей час, значення інтенсивності не перевищують +0,1...+0,2. Значення від'ємних відхилень, які спостерігались лише у Первомайську та Асканії Новій становили лише -0,1.

Характерною ознакою **листопада** було те, що на території України спостерігалось певне чергування осередків додатних на від'ємних відхилень середньої кількості випадків відкладень ожеледі, тобто поруч із осередками додатних відхилень спостерігались осередки від'ємних та навпаки. У цілому значення середньої кількості випадків відкладень ожеледі у 1991-2020 рр. відносно 1981-2010 рр. змінились незначно. Здебільшого переважали значення як від'ємних так і додатних відхилень у межах 0,1...0,3, проте спостерігались і дещо інтенсивніші. Найбільш істотні значення додатних відхилень становлять +0,4...+0,5, а від'ємних -0,3...-0,7. Продовжує спостерігатись тенденція, за якої на тлі менших за значеннями відхилень спостерігаються осередки більш інтенсивних. У західному регіоні територіально здебільшого переважали осередки від'ємних відхилень. Розгалужений осередок таких відхилень розповсюджувався на території південної частини Волині, Південному заході Рівненщині, крайньому заході Тернопільщини, більшій частині Львівщини та півночі Івано-Франківщини із значеннями -0,1...-0,2. Найнижчі значення відхилень у цьому осередку спостерігались у Львові та у Івано-Франківську (-0,3). На півночі та північному сході в осередках від'ємних відхилень спостерігались значення -0,1...-0,2. На сході також переважали осередки від'ємних відхилень з подібною інтенсивністю, проте на Донеччині у Дебальцевому та Донецьку значення від'ємних відхилень становили відповідно -0,3 та -0,7. В областях центрального та південних регіонів країни осередки від'ємних відхилень також були незначними. Їх найбільші значення становили -0,3 та спостерігались у центральній частині Одещини у Роздільній та Сербці, а також на сході Херсонщини в районі Асканії Нової. На Запоріжжі від'ємні відхилення не перевищували значення -0,1, а їх осередок розташовувався у північній частині області поєднуючись із подібним осередком на півдні Дніпропетровщини, сході Херсонщини та заході Донеччини (рис. 1).

Осередки додатних відхилень середньої кількості випадків відкладень ожеледі здебільшого також мали незначну інтенсивність +0,1...+0,3, проте на окремих територіях їх значення становили +0,4...+0,5. Просторове розповсюдження осередків додатних відхилень у листопаді 1991-2020 рр. відносно 1981-2010 рр. було наступним.

У західному регіоні осередок таких відхилень спостерігався від півночі Житомирської (Олевськ +0,4, Овруч +0,3) та північного сходу Рівненської областей до півночі Тернопільщини та Хмельниччини (Ямполь +0,3). Також спостерігався осередок додатних відхилень в районі Житомира (+0,4), який розповсюджувався на південь на Вінничину. Інший осередок знаходиться дещо південніше. Він охоплює південь Тернопільщини (Чортків +0,3), північ Івано-Франківщини (Долина +0,3) та західну частину Чернівецьчини (Селянин +0,4). На півночі та північному сході осередок додатних відхилень спостерігається на півночі Чернігівщини з центром в районі Сновська (+0,5), а інший осередок в районі Глухова (+0,3) на Сумщині. На Харківщині та далі на схід у Донецькому регіоні на станціях спостерігались поодинокі незначні додатні відхилення, значення яких не перевищували +0,1. У центрі країни осередки додатних відхилень поєднувались із аналогічними, розташованими у суміжних областях. Так, один з осередків об'єднував розповсюдження додатних відхилень на території Житомирської, Вінницької (Вінниця +0,4) Черкаської (Жашків, Сміла +0,3) та Кіровоградської (Гайворон +0,3) областей. Інший осередок розташовувався на території заходу Полтавської області в районі Лубен (+0,3). На території решти областей центрального регіону значення додатних відхилень становили +0,1...+0,2.

У грудні 1991-2020 рр. відносно періоду 1981-2010 рр. загальна ситуація склалась таким чином, що відбулось збільшення осередків додатних відхилень середньої кількості випадків відкладень ожеледі порівняно із листопадом. Здебільшого значення як додатних так і від'ємних відхилень були незначні, більші шість із них становила 0,1...0,3. Найбільшими значеннями додатних відхилень були +0,4...+0,5 (в окремих випадках +0,7...+0,9), а для від'ємних -0,4...-0,7 (в окремих випадках до -1,0...-1,1). У західному регіоні та на північному заході здебільшого переважають від'ємні відхилення. Їх осередок розгалужений та займає більшість території західного регіону розпочинаючись від південної частини Волинської області до Львівщини, Івано-Франківщини та Закарпаття. Найбільш помітна частина цього осередку з інтенсивністю відхилень до -0,3 знаходиться на північному заході Львівщини від Рави-Руської до Яворова та Львова. Інші осередки таких відхилень знаходиться на півдні Тернопільщини у Чорткові (-0,3) та на сході Хмельниччини. На півночі та північному сході країни один з таких осередків охоплює більшу частину Київщини окрім північного заходу, а інший центр та південь Сумщини. На Київщині найбільш помітний осередок від'ємних відхилень знаходиться на сході області

поблизу Борисполя (-0,4), а на Сумщині у Сумах (-0,6) та Лебедині (-0,3). На сході осередок від'ємних відхилень спостерігається у Донецькому регіоні від Дар'ївки до Донецька, Дебальцевого та Амвросіївки (-0,7...-1,1). У центрі країни від'ємні відхилення становлять -0,1...-0,2 та не утворюють значних просторових осередків. На півдні існують декілька незначних за інтенсивністю (-0,1...-0,2) осередки від'ємних відхилень середньої кількості випадків відкладень ожеледі. Один з них охоплює більшу частину Одещини та південь Миколаївщини, інший – південний схід Херсонщини, а третій центр та південь Запоріжжя (рис. 1).

Осередки додатних відхилень у цей час більш поширені та займають більшу площу. У цілому значення відхилень у таких осередках здебільшого становить +0,1...+0,3. Проте у ряді випадків вони можуть бути більшими +0,4...+0,7(+0,9). На заході країни у Львівській області осередок додатних відхилень спостерігається на її півдні в районі Турки (+0,3) на поєднується із аналогічним осередком у Нижніх Воротах (північ Закарпаття). Окремий осередок таких відхилень знаходиться в районі Плаю (+0,4), а також на Чернівецьчині в районі Чернівців (+0,4) та Селянина (+0,3). Незначний осередок таких відхилень спостерігається також на півночі Житомирщини у Овручі (+0,4) та у Житомирі (+0,3). На півночі та північному сході країни спостерігаються на півночі Чернігівщини та Сумщини, а саме в районі Сновська та Покошичів (+0,4), а також в районі Дружби (+0,3) та Глухова (+0,5). На Харківщині осередок додатних відхилень розташований на сході області в районі Ізюму (+0,6), який поєднується із осередком таких відкладень на півночі Луганщини в районі Новопокрово (на півночі) (+0,9) та Сватового (+0,5). Крім того існує подібний осередок на півдні Донеччини в районі Волновахи (+0,4) та Маріуполя (+0,7). У центральному регіоні країни осередки додатних відхилень більш розгалужені та спостерігаються на території декількох областей. Один з них охоплює більшу частину Вінничини, південний захід та південь Черкащини, більшу частину Кіровоградщини, північ Одещини та Миколаївщини. На тлі цього осередку найбільш помітними значення додатних відхилень є у Вінниці (+0,5) та Жмеринці (+0,4), Жашкові, Смілі, Звенігородці (+0,5), Гайвороні (+0,5), Світловодську, Кропивницькому, Помічній (+0,4). Інший осередок таких відхилень розповсюдився на території Полтавщини, Дніпропетровщини, Запоріжжя та Херсонщини. У цьому осередку найбільш помітними додатними відхиленнями є відхилення на півдні Полтавщини в районі Кобеляк (+0,5), півдні Дніпропетровщини у Синельниковому (+0,7), південному заході Запоріжжя у

Мелітополі та на північному сході Херсонщини у Великій Олександрівці (+0,4) та на її півдні у Бехтерах (+0,5).

Висновки. Встановлено загальну тенденцію, що у досліджуваних місяцях холодного та окремих місяцях перехідних сезонів 1991-2020 рр. відносно 30-и річчя 1981-2010 рр. здебільшого переважають незначні додатні та від'ємні відхилення інтенсивністю від 0,1 до 0,3 середньої кількості випадків відкладень ожеледі.

Доведено, що найбільшими та найнижчими значеннями відхилень є значення +0,4...+0,9 та -0,4...-1,1. Для місяців перехідних сезонів, коли здебільшого поле відкладень ожеледі не зазнало суттєвих змін найбільш помітними значеннями відхилень були 0,1...0,3.

Найбільші зміни у просторовому розповсюдженні відкладень протягом 1991-2020 рр. відносно 1981-2010 рр. виявились у січні та грудні. Основною ознакою цих місяців стало значне поширення осередків додатних відхилень на більшій частині України, при чому найбільш помітним цей процес виявився у січні.

Найбільш вразливими від відкладень ожеледі виявились окремі території у західному регіоні, які охоплювали значну частину Волині, Рівненщини та Житомирщини, а також більшу частину Передкарпаття. Так само вразливою від відкладень ожеледі виявилась територія, яка охоплювала північ Чернігівщини, Сумщини та більшу частину Харківщини, а також частину території областей центрального та частково південного регіону – Вінничини, Кіровоградщини, Дніпропетровщини, частини Миколаївщини Херсонщини та Запоріжжя. У грудні найбільш вразливими від відкладень ожеледі виявилась територія північного сходу Харківщини та північ Луганщини, південний схід Дніпропетровщини та Запоріжжя, а також у окремі регіони центру країни.

У лютому та березні на території України здебільшого територіально переважали осередки від'ємних відхилень. Найбільше зменшення кількості випадків відкладень ожеледі спостерігалось у західному регіоні на території Житомирщини, Тернопільщини та Хмельниччини, а також на Вінничині, Дніпропетровщині, Одещині, Херсонщини та Запоріжжі. Під найбільшим впливом зростання кількості відкладень ожеледі була територія на північному сході країни, з центром на півночі Чернігівщини та Сумщини. Зростання кількості таких відкладень спостерігалось на півночі Харківщини та Луганщини. У березні збільшення впливу випадків відкладень ожеледі відбувалось на сході Харківщини та півночі Луганщини.

У місяці перехідних сезонів (квітень, жовтень) поле відкладень ожеледі періоду 1991-2020

рр. відносно періоду 1981-2010 рр. майже не змінилось. Подекуди на окремих станціях спостерігалось незначне збільшення або зменшення кількості таких відкладень, що не вплинуло на загальну картину розповсюдження поля відкладень ожеледі та її динаміку.

У листопаді, спостерігалось збільшення осередків додатних відхилень середньої кількості випадків відкладень ожеледі. Кліматовразливі регіони від відкладень ожеледі спостерігались у центрі країни на Вінничині, Черкащині, Кіровоградщині, Дніпропетровщині та Полтавщині. Збільшення кількості відкладень ожеледі спостерігалось на південному сході Харківщини та півночі Луганщини, а також на півдні Донеччини. Зменшення випадків відкладень ожеледі відбулось на північному заході Львівщини в районі Рава-Руська – Ямпіль – Львів, на Сумщині поблизу Сум та Лебедина.

Результати щодо тенденцій у розповсюдженні поля випадків відкладень ожеледі на території України протягом місяців холодного періоду року та окремих місяців перехідних сезонів 1991-2020 рр. відносно періоду 1981-2010 рр. та виявлені кліматовразливі райони від таких відкладень отримані вперше і представляють нову інформацію про стан поля відкладень ожеледі на сучасному етапі зміни клімату в Україні.

Значимість отриманих результатів та перспективи подальших досліджень. Виявлені тенденції у розповсюдженні відкладень ожеледі дають змогу оцінити сучасні тенденції їх поширення та мати уяву про розташування кліматовразливих регіонів від цих відкладень. Отримані результати можуть бути використані для подальшого планування розміщення виробничих потужностей та забезпечення безперебійної діяльності ряду галузей господарства, які є погодозалежними від ожеледо-паморозевих відкладень. Інформація, яка отримана стосовно масового характеру розповсюдження відкладень ожеледі протягом останнього 30-и річчя буде використана для удосконалення схем коротко- та середньострокового прогнозу відкладень ожеледі на основі сучасної гідростатичної моделі WRF-ARW.

Зважаючи на зміни, які останнім чином знає кліматична система в Україні доцільним буде продовжити дослідження із розповсюдження інших окремих видів ожеледо-паморозевих відкладень на території України таких як налипання мокрого снігу, складні відкладення, сильна паморозь та ожеледиця. Найбільш актуальними будуть дослідження з розповсюдження ожеледо-паморозевих відкладень небезпечного та стихійного характеру, особливо масового їх прояву.

Список використаної літератури

1. Аржанова Н.М. Специализированный массив данных гололедно-изморозевых явлений для мониторинга климата и климатических исследований [Текст] / Н.М. Аржанова, О.Н. Булыгина, Н.Н. Коришунова. // Труды ВНИИГМИ-МЦД, 2018. Вып. 182. - С. 101-110.
2. Аржанова Н.М. Характеристики гололедно-изморозевых явлений на территории России в условиях современных изменений климата. [Текст] / Н.М. Аржанова, Н.Н. Коришунова // Труды ВНИИГМИ-МЦД, 2019. Вып. 184. - С. 33-44
3. Аржанова Н.М. Мониторинг характеристик гололедно-изморозевых отложений на территории России в холодный сезон 2017-2018 годов [Текст] / Н.М. Аржанова, Н.Н. Коришунова // Труды ГГО, 2020. Вып. 597. - С. 90-103.
4. Annual Review: Natural Catastrophes 2002? Munich Re Group Topics. – 48.
5. Бучинский В.Е. Атлас обледенения проводов [Текст] / В.Е. Бучинский. Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 116 с.
6. Changnon S. A., Pielke R.A. Jr., Changnon D., et al. (2000). Human factors explain the increased losses from weather and climate extremes. Bull. Amer. Meteorol. Soc. Vol. 81, № 3. 417-425.
7. Клімат України [Текст] / Под ред. Г.Ф. Прихотько, А.В. Ткаченко, В.Н. Бабиченко. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 413 с.
8. Клімат України [Текст] / За ред.. В.М. Липінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. – К.: Вид-во. Раєвського, 2003. – 343 с.
9. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (2007). In: Contribution of working Group II to the Forth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. M. Parry, O. Canziani, J. Palutkof, et al. (eds.). – New York, Cambridge University Press. – 976.
10. Драневич Е.П. Гололед и изморозь. Условия образования, прогноз и гололедное районирование северо-запада Европейской территории СССР [Текст] / Е.П. Драневич. Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 228 с.
11. Опасные явления погоды на Украине [Текст] / Под ред. К.Т. Логвинова // Труды УкрНИГМИ, 1972. Вып. 110. – 235 с.
12. Инструкция по подготовке к работе в зимний период и организации снегоборьбы на железных дорогах, в других филиалах и структурных подразделениях ОАО «РЖД», а также его дочерних и зависимых обществах [Текст] // Вагоны и вагонное хозяйство, 2014. №3. М.: Изд-во Российские железные дороги. – С. 14-22.
13. Кошенко А.М. Особо опасные гололеды на Украине [Текст] / А.М. Кошенко // Труды УкрНИГМИ, 1976. – Вып. 134. – С. 79-91.
14. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Ч. II. Вып. 1. Европейская часть СССР и Закавказье [Текст]. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 298 с.
15. Настанова по службѣ прогнозів та попереджень про небезпечні і стихійні явища погоди. Державна гідрометеорологічна служба [Текст]. – Київ, 2003. – 30 с.
16. Настанова гідрометеорологічним станціям і постам. Вып. 3. Ч. I. Метеорологічні спостереження на станціях. К.: Державна гідрометеорологічна служба [Текст]. 2011. – 279 с.
17. Настанова з метеорологічного прогнозування. Нормативний документ. Український гідрометеорологічний центр [Текст]. – Київ, 2019. – 35 с.
18. Предотвращение опасности и смягчение последствий стихийных бедствий [Текст] // Бюл. ВМО. – Женева, 2006. – № 993. – 34 с.
19. Прохоренко М.М. Особенности распределения гололедно-изморозевых отложений на территории Украины в аномальные зимы [Текст] / М.М. Прохоренко, А.Н. Раевский // Метеорология, климатология и гидрология, 1975. – Вып. II. – С. 33-37.
20. Пясецька С.І. Сучасний стан поля відкладень ожеледі на території України у зимові місяці 2001-2015 рр. та визначення тенденцій у його просторових змінах відносно кліматологічної стандартної норми 1961-1990 рр. [Текст] / С.І. Пясецька, Н.П. Гребенюк, О.А. Щеглов // Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: Географічні науки, 2017. – Вып. 7. – С.163-172.
21. Пясецька С.І. Тенденції зміни у розповсюдженні випадків відкладень ожеледі на території України протягом 1991-2015 рр. [Текст] / С.І. Пясецька, Н.П. Гребенюк // Тези. Збірник праць Міжнародна конференція, присвячена 100-річчю Національної академії наук України «Географічна наука та освіта: від констатації до конструктивізму» 28-29 вересня 2018 р. – С.100-102.
22. Пясецька С.І. Аналіз стану поля ожеледі на території України протягом зимових місяців в умовах сучасного клімату (2001-2010 та 2011-2015 рр.) [Текст] / С.І. Пясецька, Н.П. Гребенюк // Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Вплив кліматичних змін на просторовий розвиток території Землі: наслідки та шляхи вирішення», 13-14 червня 2019 р., Херсон (Україна). – Херсон: ДВНЗ «ХДАУ», 2019. – С. 152-155. <http://www.ksau.kherson.ua/files/konferencii/2019-06-14/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%B0%D0%BB%D0%B8%20%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%97.pdf>
23. Пясецька С.І. Тенденції у розповсюдженні середньої кількості випадків відкладень ожеледі на території України на сучасному етапі зміни клімату протягом 2011-2019 рр. відносно 2001-2010 рр. [Текст] / С.І. Пясецька, Н.П. Гребенюк // Тези III-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку». 22-23 жовтня 2020 р. Херсон, ДВНЗ «ХДАУ». – С. 528-531.

24. Раевский А.Н. К вопросу о повторяемости гололеда [Текст] / А.Н.Раевский // Метеорология и гидрология, 1953. – № 1. – С. 28-31.
25. Раевский А.Н. Влияние рельефа на распределение гололедно-изморозевых отложений // Труды ОГМИ, 1961. – Вып. XXIII. – С. 3-10
26. Раевский А.Н. О распределении гололеда на территории Украины [Текст] / А.Н. Раевский // Труды УкрНИГМИ, 1961. – Вып. 29. – С. 50-62.
27. Раевский А.Н. Влияние особенностей рельефа на распределение гололедных отложений [Текст] / А.Н.Раевский // Труды ГГО, 1961. – Вып. 122. – С. 75-80.
28. Раевский А.Н. К вопросу о влиянии характера рельефа и лесистости на распределение гололедно-изморозевых отложений [Текст] / А.Н. Раевский // Труды УкрНИГМИ, 1967. – Вып. 65. – С. 113-117.
29. Раевский А.Н. К вопросу о влиянии рельефа на распределение отложений гололеда в Украинских Карпатах [Текст] / А.Н. Раевский // Метеорология, климатология и гидрология, 1968. – Вып. 3. – С. 80-84.
30. Руднева А.В. Гололед и обледенение проводов на территории СССР [Текст] / А.В. Руднева. Л.: Гидрометеоздат, 1961. – 170 с.
31. Стихийные метеорологические явления на Украине и Молдавии [Текст] / Под ред. В.Н. Бабиченко. – Л.: Гидрометеоздат, 1991. – 223 с.
32. Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986-2005 рр.) [Текст] / За ред. В.М. Липінського, В.І. Осадчого, В.М. Бабіченко. – К.: Вид-во Ніка-Центр, 2006. – 311 с.
33. Robenburg E., Tunstall D. and Van Bulhuis F. Environmental indicators for global cooperation / E. Robenburg, D. Tunstall and F. Van Bulhuis. – Global Environment Facility, Working Paper, 1996. – № 11.
34. Природа Украинской ССР. Климат. [Текст] / Под ред. К.Т. Логвинова, М.И. Щербаня. – К.: Наукова думка, 1984. – 231 с.
35. Волеваха Н.М. О влиянии орографии на гололедные отложения [Текст] / Н.М. Волеваха // Труды УкрНИГМИ, 1958. – Вып. 13. – С. 82-86.
36. Вайнберг Б.П. Снег, иней, град, лед и ледники [Текст] / Б.П. Вайнберг. ОНТИ. – М.-Л.:1936. – 231 с.
37. Заморский А.Д. Атмосферный лед. Иней, гололед, снег и град [Текст] / А.Д. Заморский. – М.-Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1955. – 377 с.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Current trends in the distribution of ice deposit fields on the territory of Ukraine during 1991-2020 regarding 1981-2010

*Svitlana Pyasetska*¹,

PhD (Geography), Senior Researcher, Department of Climate Research and Long-Term Weather Forecasting
State Emergency Service of Ukraine National Academy of Sciences of Ukraine

¹Ukrainian hydrometeorological institute (UHMI), 37 Prospekt Nauki, Kyiv, 03028, Ukraine;

*Oleksandr Shcheglov*¹,

PhD (Geography), Senior Researcher, Department of Climate Research and Long-Term Weather Forecasting

ABSTRACT

The presented article is devoted to the study of modern trends in the spread of ice deposits on the territory of Ukraine in the last thirty years of 1991-2020 (new climate standard) relative to the period 1981-2010. recommended by WMO. The conducted research is related to the research work on the study of climate change carried out at the UkrSMI.

Question status. Despite certain achievements in the study of the distribution of ice-frost deposits in the territory of Ukraine in the past, the task of determining the existing trends and subsequent changes in their distribution under the influence of climate change remains unresolved.

The purpose of the study was to determine the current state and features of the distribution of the field of ice deposits on the territory of Ukraine with the identification of centers of increase and decrease in the average amount of such deposits, as well as trends relative to another observation period.

Materials and methods. Data of actual instrumental observations of ice deposits at all meteorological stations of Ukraine for two periods 1991-2020 and 1981-2010 were used for processing. The main research methods were physical-statistical with the determination of the normalized values of the number of cases of such deposits and cartographic with the visualization of the results. The information obtained is not only informative, since it reflects the current trends in the distribution of one of the types of ice-frost deposits, which are adverse weather phenomena, but also allows you to plan the work of weather-dependent industries in more detail, ensuring their uninterrupted operation.

Main results. It has been established that most of the deviations of the average number of ice cases for the study period relative to the period of 1981-2010. were insignificant, but in some areas during the cold season, especially in winter, they reached higher values. It has been established that in January and December there is a predominance of positive deviations of the average number of ice cases in Ukraine. Most of the centers of positive deviations are based

on the territory of the western region from Volyn. Rivne and Zhytomyr regions to the Carpathians, as well as in the north of the Chernihiv and Sumy regions, as well as in a number of central regions from Vinnitsa to Poltava and Dnepropetrovsk regions. Also, noticeable foci of such deviations are observed in the north and east of the Kharkiv region, as well as in the north of the Luhansk region. They are noticeable in the south of the country. In February and March, foci of negative deviations were most often encountered. The most pronounced of them were observed in the western region in the territory from the Zhytomyr region to the Carpathian region, as well as in some central regions. In February, a focus of positive deposits was discovered in the north of the Chernihiv region. In April-October, the field of ice deposits for 1991-2020. compared to 1981-2010 practically did not change. In November, an increase in the number and spatial distribution of positive deviations of the average amount of ice deposits was revealed. They were mainly distributed in the central regions from Vinnitsa to the Poltava and Dnepropetrovsk regions, as well as in the east of the Kharkiv region and the north of the Luhansk region.

Keywords: climatological standard norm, spatio-temporal distribution of ice deposits, positive and negative deviations of the average number of ice deposits.

References

1. Arzhanova N.M., Bulygina O.N., Korshunova N.N. (2018). A specialized array of data on ice-rime phenomena for climate monitoring and climate research. *Proceedings of VNIIGMI-MCD*, 182, 101-110. [in Russian]
2. Arzhanova N.M., Korshunova N.N. (2019). Characteristics of ice-rime phenomena on the territory of Russia under the conditions of modern climate changes. *Proceedings of VNIIGMI-MCD*, 184, 33-44. [in Russian]
3. Arzhanova N.M., Korshunova N.N. (2020). Monitoring of the characteristics of ice-rime deposits on the territory of Russia in the cold season of 2017-2018. *Proceedings of the MGO*, 597, 90-103. [in Russian].
4. *Annual Review: Natural Catastrophes 2002? Munich Re Group Topics*, 48.
5. Buchinsky V.E. (1966). *Atlas of wire icing*. L., Gidrometeoizdat, 116. [in Russian]
6. Changnon S. A., Pielke R.A. Jr., Changnon D. et al. (2000). Human factors explain the increased losses from weather and climate extremes. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 81, 3, 417-425.
7. *Climate of Ukraine (1967)*. Ed. G.F. Prihotko, A.V. Tkachenko, V.N. Babichenko. L., Gidrometeoizdat, 413 [in Russian].
8. *Climat of Ukraine (2003)*. Ed. By V.M. Lipinsky, V.A. Dyachuk, V.M. Babichenko. K., Raevsky Publishing House, 343 [in Ukrainian].
9. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (2007)*. In: *Contribution of working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. M. Parry, O. Canziani, J. Palutkof, et al. (eds.). New York, Cambridge University Press, 976.
10. Dranevich E.P. (1971). Ice and frost. Formation conditions, forecast and icy zoning of the north-west of the European territory of the USSR. L., Gidrometeoizdat, 228 [in Russian].
11. *Dangerous weather phenomena in Ukraine (1972)*. Ed. K.T. Logvinov. *Proceedings of UkrNIGMI*, 110, 235 [in Russian].
12. *Instructions for preparing for work in the winter and organizing snow fighting on the railways, in other branches and structural divisions of Russian Railways, as well as in its subsidiaries and dependent companies (2014)*. Wagons and wagon facilities, 3. Moscow, Russian Railways Publishing House, 14-22 [in Russian].
13. Koshenko A.M. (1976). Particularly dangerous ice in Ukraine. *Proceedings of UkrNIGMI*. 1976, 134, 79-91 [in Russian].
14. *Manual for short-term weather forecasts. Part II. Issue 1. European part of the USSR and Transcaucasia (1987)*. L., Gidrometeoizdat, 298 [in Russian].
15. *Guideline on the service of forecasts and information about the necessary and spontaneous events, wait a minute*. State Hydrometeorological Service (2003). Kiev. Hydrometeorological Center of Ukraine, 30 [in Ukrainian].
16. *Guideline on hydrometeorological stations and posts. Vip. 3. Part I. Meteorological warning at the stations (2011)*. Kiev, State Hydrometeorological Service, 279 [in Ukrainian].
17. *Guideline from meteorological forecast. Normative document*. Ukrainian Hydrometeorological Center (2019). Kiev, 35 [in Ukrainian].
18. *Prevention of Hazard and Mitigation of Consequences of Natural Disasters (2006)*. Bul. WMO. Geneva, 993, 34.
19. Prokhorenko M.M., Raevsky A.N. (1975). Peculiarities of the distribution of ice-frozen deposits on the territory of Ukraine in abnormal winters. *Meteorology, climatology and hydrology*, 11, 33-37 [in Russian]
20. Pyasetskaya S.I., Grebenyuk N.P., Shcheglov O.A. (2017). The current state of the field of ice deposits on the territory of Ukraine in the winter months of 2001-2015 and the definition of trends in its spatial changes in relation to the climatological standard norm of 1961-199. *Scientific Bulletin of the Kherson State University. Series geographic sciences*, 7, 163-172 [in Ukrainian].
21. Pyasetskaya S.I., Grebenyuk N.P. (2018). Trends in the dissemination of cases of ice deposits on the territory of Ukraine during 1991-2015. Abstracts. Collection of works International conference devoted to the 100th anniversary of the National Academy of Sciences of Ukraine "Geographical Science and Education: From Constalation to Constructivism" on September 28-29, 2018. 100-102 [in Ukrainian].
22. Pyasetskaya S.I., Grebenyuk N.P. (2019). Analysis of the state of ice on the territory of Ukraine during the winter months in a modern climate (2001-2010 and 2011-2015). Materials of the second international scientific and practical conference "Impact of climatic changes to the spatial development of the territories of the Earth: consequences and ways of solving", 13- June 14, 2019, Kherson (Ukraine). Kherson: DVD "KHDAU", 2019, 152-155

<http://www.ksau.kherson.ua/files/konferencii/2019-06-14/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%B0%D0%BB%D0%B8%20%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%97.pdf> [in Ukrainian].

23. Pyasetskaya S.I. Grebenyuk N.P. (2020). Trends in the distribution of average number of cases of ice deposits on the territory of Ukraine at the present stage of climate change during 2011-2019 regarding 2001-2010. Theses of the III International Scientific and Practical Conference "Environmental Problems of the Environment and Rational Nature Management in the Context of Sustainable Development". 22-23 October 2020 Kherson, PVNZ "KhDAU", 528-531 [in Ukrainian].
24. Raevsky A. N. (1953). On the question of the recurrence of ice. *Meteorology and Hydrology*, 1, 28-31 [in Russian].
25. Raevsky A.N. (1961). Influence of relief on the distribution of ice-frost deposits. *Proceedings of the OGMI*, XXIII, 3-10 [in Russian]
26. Raevsky A.N. (1961). About distribution of ice in the territory of Ukraine. *Proceedings of UkrNIGMI*, 29, 50-62 [in Russian]
27. Raevsky A.N. (1961). Influence of relief features on the distribution of ice deposits. *Proceedings of the GGO*, 122, 75-80 [in Russian].
28. Raevsky A.N. (1967). To the question of the influence of the nature of the relief and forest cover on the distribution of ice-rime deposits. *Meteorology, climatology and hydrology*, 65, 113-117 [in Russian].
29. Raevsky A.N. (1968). To the proliferation of relief on the distribution of holestone in the Ukrainian Carpathians. *Meteorology, climatology and hydrology*, 3, 80-84. [in Russian].
30. Rudneva A.V. (1961). Ice and icing of wires on the territory of the USSR. L., *Gidrometeoizdat*, 170 [in Russian].
31. Spontaneous meteorological phenomena in Ukraine and Moldova (1991). Ed. V.N. Babichenko. L., *Gidrometeoizdat*, 223 [in Russian].
32. Spontaneous meteorological events in the territory of Ukraine for the last twenty years (1986-2005) (2006). Ed. V. M. Lipinsky, V. I. Osadchy, V. M. Babichenko. K., Nika-Center Publishing House, 311 [in Ukrainian].
33. Robenburg E., Tunstall D. and Van Bulhuis F. (1996). Environmental indicators for global cooperation. *Global Environment Facility, Working Paper*, 11.
34. The nature of the Ukrainian SSR. Climate (1984). Ed. K.T. Logvinova, M.I. Shcherbania. K., *Naukova Dumka*, 231 [in Russian].
35. Volevakha N.M. (1958). On the influence of orography on ice deposits. *Proceedings of UkrNIGMI*, 13, 82-86 [in Russian].
36. Weinberg B.P. (1936). Snow, frost, hail, ice and glaciers. ONTI. M.-L., 231 [in Russian].
37. Zamorskiy A.D. (1955). Atmospheric ice. Rime, ice, snow and hail. M.-L., Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 377 [in Russian].

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 27 September 2021

Accepted 27 January 2022

Climate monitoring as an indicator of the hydrological condition of the Siversky Donets river basin

*Svitlana I. Reshetchenko*¹,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Physical Geography and Cartography,

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

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

*Sviatoslav S. Dmitriiev*¹,

Bachelor,

e-mail: xa13278062@student.karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0001-9256-6455>;

*Nadiia I. Cherkashyna*¹,

Senior Lecturer,

e-mail: n.cherka@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4066-2530>;

*Tetiana G. Tkachenko*²,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Ecology and Biotechnologies in Plant Breeding,

²State Biotechnological University, 44 Alchevskih St., Kharkiv, 61022, Ukraine,

e-mail: ttg298240@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0811-6345>;

*Vitaliy A. Sych*³,

DSc (Geography), Associate Professor, Department of Economic and Social Geography and Tourism,

³Odesa I.I. Mechnykov National University, 2 Champaign lane, Odesa, 65058, Ukraine,

e-mail: vitsych@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4756-8950>

ABSTRACT

Formulation of the problem. Today, in changing climate conditions, it is very relevant to study the impact of regional climate change on the regime of hydrological indicators and ecological status of the Siversky Donets river basin within Kharkiv region.

Analysis of recent research and publications. Hydrometeorological studies are complex and large-scale. In the late 20th - early 21st centuries, a number of articles studied annual runoff of the rivers of Ukraine under the influence of atmospheric processes. Present-day changes in temperature and humidity of the territory affect the hydrological conditions of the rivers.

The aim of the work is to assess the relationship between climatic and hydrological indicators (environmental dynamics) of the Siversky Donets basin against the background of regional climate change. In these conditions, monitoring of climate, hydrological and environmental indicators, allows us to make further management decisions on water resources management.

Research methods are presented by statistical and cartographic analysis. The source data are a number of climatological, hydrological and environmental observations within the state network of the Ukrainian Hydrometeorological Center of the SES of Ukraine.

Problems of further research. Modern changes in climatic conditions in Ukraine are characterized by locality and rapidity. Considering the volume of water use from the river Siversky Donets, the question arises about the water supply of the region, optimization of its use and further rational management.

Presentation of the main research material. The dates of the ice cover have changed in recent years, and often ice phenomena may not occur at all. We can see significant warming in winter on the example of January air temperatures.

Summer temperatures are growing the fastest (by 0.37°C every 10 years), autumn temperatures are in the second place in terms of growth rate, which means that stable ice cover on most rivers of the Donets basin has been absent in recent decades, which clearly indicates a warming trend.

Practical value. Based on the main provisions of the national environmental policy of Ukraine on the use of water resources the study of changes in hydrological regime of rivers is of practical importance for sustainable management. Calculation of the IWP has revealed that most rivers belong to the third and fourth categories - "moderately polluted" and "polluted", but there are also absolutely catastrophic cases.

Research results. Heavy economic burden on the waterway will increase its over-regulation. In future, comprehensive assessment of climate change impact on the hydrological conditions of the rivers will determine the degree of change in the ecological state of the waterways, their rational use and protect.

Keywords: *environmental monitoring, natural environment, climate monitoring, ecological condition, hydrological indicators, regional climate change, Siversky Donets basin.*

In cites: Reshetchenko S. I., Dmitriiev S. S., Cherkashyna N. I., Tkachenko T. G., Sych V. A. (2022). Climate monitoring as an indicator of the hydrological condition of the Siversky Donets river basin. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (56), 172-183. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-12>

Formulation of the problem. Present-day changes in climatic conditions are one of the factors affecting the water resources conditions of the territories, creating an additional burden on the socio-

economic ties of the country. The problem of climate risks is complex, as it affects not only the climate but also water resources, food problems, soil degradation, migration, demographic processes, uncontrolled

urbanization. The importance of adaptation to climate change is addressed in the EU's Strategy for Adaptation to Climate Change (2013). It includes several elements: from advising to disseminating new knowledge, exchanging information, strengthening the resilience of the most vulnerable sectors of the economy. Thus, global monitoring of the environment state allows us to determine the level of environmental safety and rational use, reproduction of natural resources, as well as to predict various threats, seeking measures to overcome them.

Growing anthropogenic pollution of the environment, reduction of quantitative and species status of biodiversity, scarcity of water resources, attracts the attention not only of scientists, but also of the world community. International legal instruments (UN Framework Convention on Climate Change, Kyoto Protocol, Paris Agreement, European Green Course) are aimed at consolidating global efforts, creating a global system of environmental monitoring to identify environmental changes and threats in general, and in individual regions of the planet. Ukraine follows the world experience, where monitoring studies are considered one of the measures to implement state environmental policy [6].

Current climate change, according to most countries, is a common concern of the humankind as its activities are believed to increase the concentration of greenhouse gases in the atmosphere, affecting natural ecosystems (UN Framework Convention on Climate Change, Kyoto Protocol, Paris Agreement). The need and importance of monitoring the climate system, development of measures to adapt to climate change is a current challenge, facing everyone at the local, national, regional and international levels. Thus, climate monitoring can be considered a factor in maintaining ecological balance, preservation of natural systems. It is aimed at optimal management of natural resources, prevention, minimization of losses and damages associated with the adverse effects of climate change, sustainable development of territories.

Analysis of recent research and publications.

Hydrometeorological studies are complex and large-scale [1-12, 19-21], mainly concerning large areas (the Dnieper basin or the whole country).

In the late 20th - early 21st centuries, a number of articles studied annual runoff of the rivers of Ukraine under the influence of atmospheric processes [1-3, 5]. At the beginning of the 21st century, difference in fluctuations of annual air temperatures in both western and eastern Ukraine decreases, explained by the gradual increase in air temperature indicators. The North Atlantic fluctuations affect the formation of the temperature regime in winter. [1, 7-9]. The article covers the issues of interlatitudinal connections of temperature and pressure fields in the Atlantic-European sector, as well as the dynamics of thermal and

humidity regimes in the territory of the Siversky Donets river basin. Moreover, Scandinavian fluctuations influence the river flow's variability [1, 7], determining hydrological characteristics of the upper part of the Dnieper river basin.

Climate change is also associated with floods, which are more common in Europe and vary in intensity, leading to higher economic costs. In recent decades, a number of scientists have investigated the regional climate responses [10-13]. In [17-18], the authors explain scientific and methodological approaches to calculating characteristic maximum runoff of the rivers of Ukraine. Despite the vast experience gained by scientists, the problem attracts attention due to the multifactorial nature of the studied phenomenon and regional formation features of maximum river runoff. Thus, the authors propose a universal approach, presenting the analyzed structures in the form of dimensionless complexes. They help to model the maximum runoff of the plain rivers of Ukraine, taking into account climate change, without using the initial data [17].

The article [16] considers connection between extreme precipitation and floods, noting the impact of climate change on hydrological conditions of watercourses, which future analysis of regional risks should take into account.

Selection of previously unsolved parts of the general problem. The study of the large river basin within Kharkiv region is relevant because with the development of decentralization processes, it is important to understand what processes are taking place in a particular region, to make management decisions for effective adaptive environmental management.

Formulation of the purpose of the article. The aim of the work is to assess the relationship between climatic and hydrological indicators (environmental dynamics) of the Siversky Donets basin against the background of regional climate change. The source data are a number of climatological, hydrological and environmental observations within the state network of the Ukrainian Hydrometeorological Center of the SES of Ukraine and its regional branch - Kharkiv Regional Center for Hydrometeorology and the State Agency of Water Resources of Ukraine. In our research we used the following data: air temperature, precipitation for 1961 -2020 at 7 meteorological stations of the region, data on temperature, level and water consumption for the period 1961-2020 at 13 hydroposts; data on surface water pollution at 11 points of environmental monitoring for the period 1995-2020. The basis of the study is the spatio-temporal analysis of climatic and hydrological indicators of the Siversky Donets river basin, applying statistical, mathematical and cartographic methods.

Presentation of the main research material. Conditions of water resources largely determine the

living conditions of the population in the researched area. As the Siverskiy Donets basin is the most significant source of water for Kharkiv - the second largest city in Ukraine, it is important to study the long-standing changes that have taken place and will occur here in the future (Fig. 1). The tectonic basis of the basin are the Voronezh crystalline massif, the Dnieper-Donetsk depression and the spurs of the Donetsk folded structure, which correspond in relief to the Middle Russian Upland and the Poltava Plain. Rivers contribute to land erosion, the result of which is that about a third of the basin is prone to erosion, and about 5% of soils are heavily washed away, especial-

ly in the northwestern part of the basin.

Analysis of intra-annual changes in air temperature in Kharkiv region for the period 1991-2020 indicates its homogeneous nature: the minimum values of air temperature are typical for January and February (-5.0... -5.5°C), during March - April it intensively grows, in July-August it reaches the maximum values (+ 20.5... + 22.0°C). In recent decades, there have been recorded changes in the thermal regime of the seasons: winter air temperatures are above 0 °C, significant temperature fluctuations from positive to negative values are frequent, there is no stable snow cover.

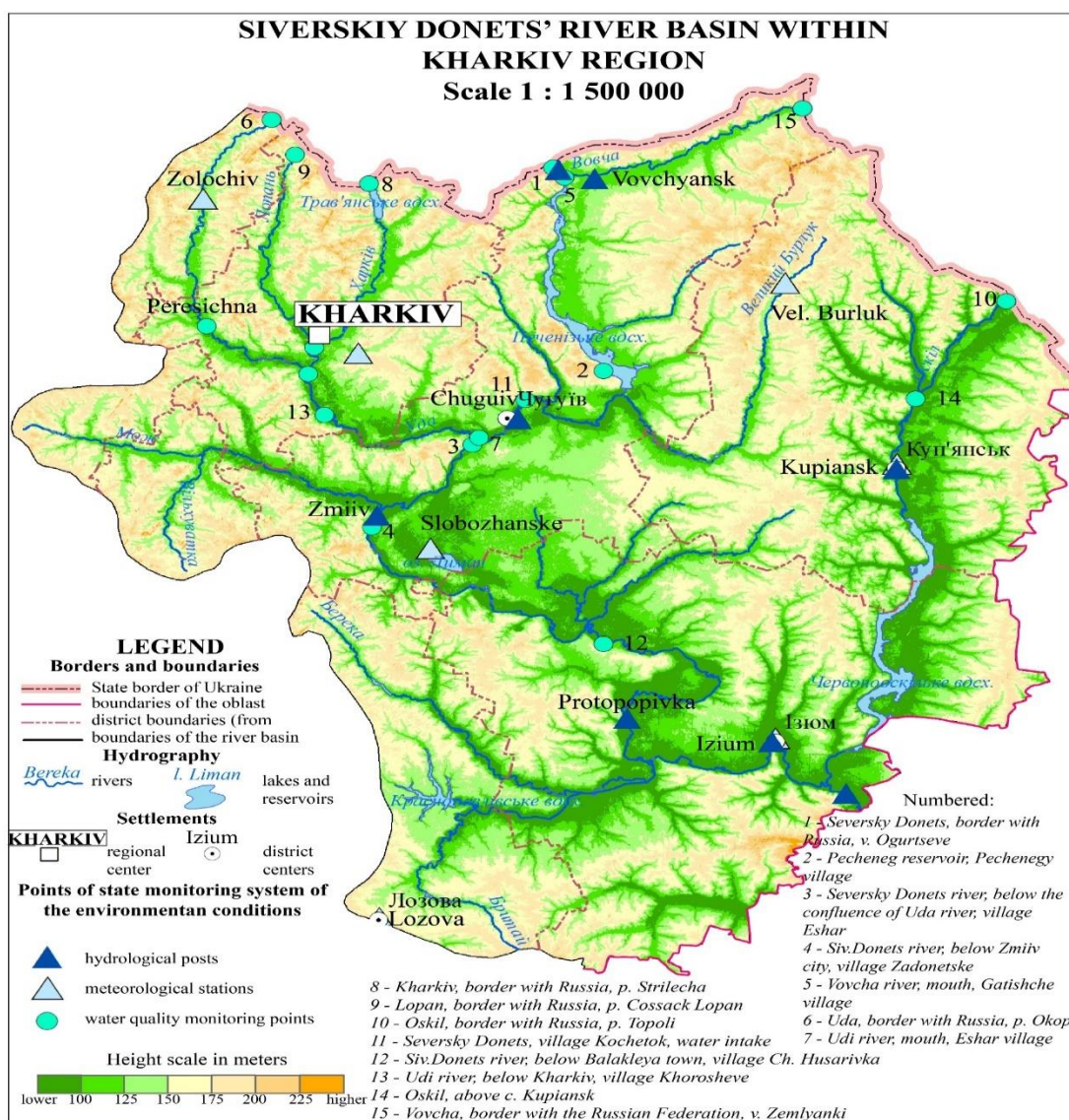


Fig. 1. Siverskiy Donets river basin within Kharkiv region

In spring and autumn, the air temperature is unstable: the average spring air temperatures in the river basin are characterized by a vivid increase in the south-east from + 8.5 °C to + 9.25 °C in the direction of Kharkiv-Izyum. In autumn, air temperatures are mainly sublatitudinal in nature, increasing from + 8.0 °C to + 8.5 °C to the south.

Precipitation is characterized by significant randomness: 550 mm / year and more recorded in the central part of the basin, in the north and south of the basin - they are up to 525 mm / year. The analysis of the precipitation amount during the year at most meteorological stations in the Siverskiy Donets basin is similar. In the north of the basin, there are three

relative peaks - in June, October and December (Fig. 2), while in the south there are two - in June and December (Fig. 3). Minimum precipitation is in March and April. During the summer, there are two thirds of the annual rainfall.

Temperature regimes of the river are very similar according to various hydroposts, only in the south temperature values gradually increase. During December-March, the river is often covered with ice and snow. In the spring, after the ice melts, the water in

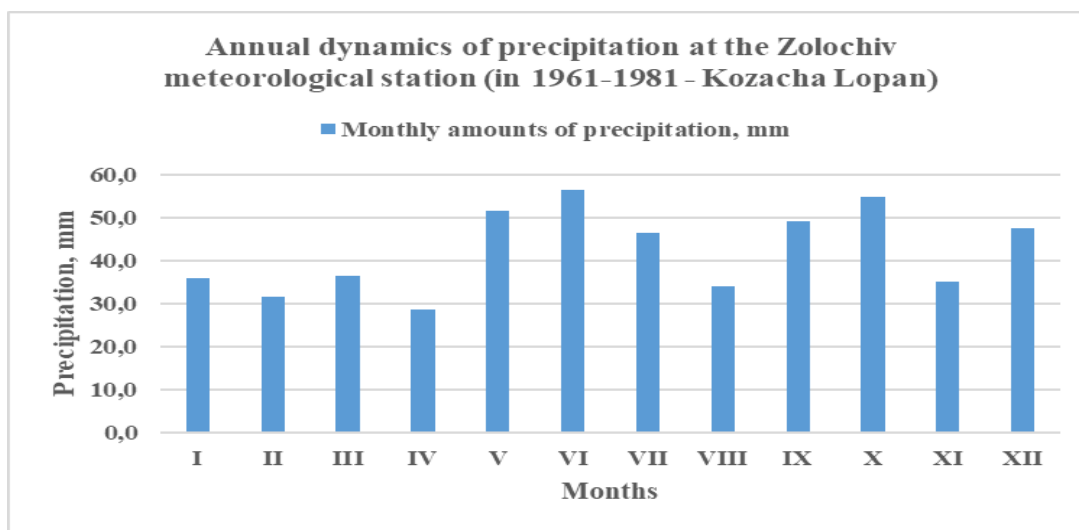


Fig. 2. Precipitation dynamics at Zolochiv station

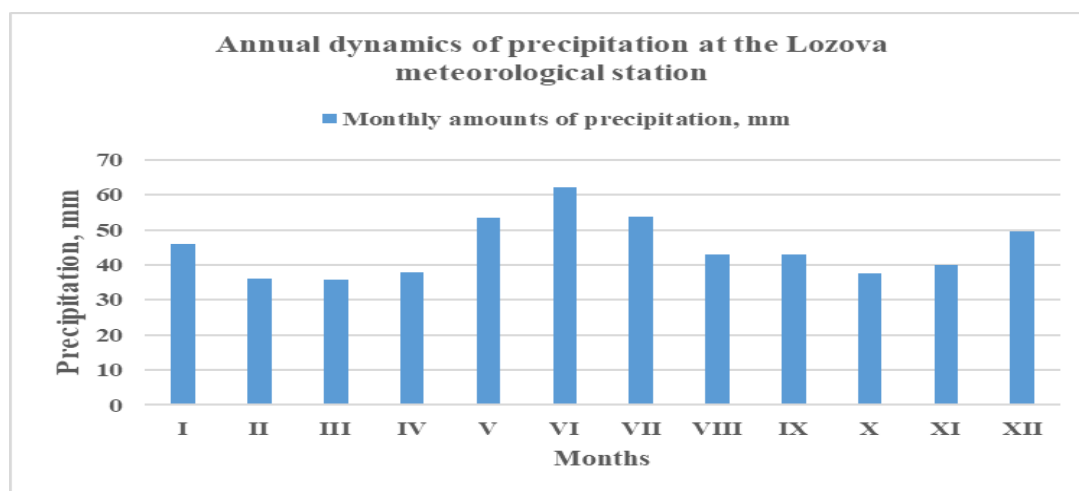


Fig. 3. Precipitation dynamics at Lozova station

the rivers begins to warm up rapidly and by June the temperature reaches + 22°C and above. The average water temperature is slightly higher than the air temperature, as the stations do not take night water temperature measurements. During July-August, the water temperature remains at 23-24°C, then it goes down, and in late November – early December reaches 0°C.

The dates of the ice cover have changed in recent years, and often ice phenomena may not occur at all. At the same time, the peculiarity is that according to the hydropost Bezlyudivka (Uda), winter temperatures are on average 2-3°C higher than at other posts, which is due to discharges from industrial enterprises, household facilities, etc.

The water regime of the Siversky Donets and its tributaries has a pronounced spring flood, in summer

and winter - low tide (Fig. 4). At the same time, we notice significant over-regulation of the Siversky Donets and Oskil rivers by reservoirs. According to the post in Pechenigy, spring floods are less pronounced than in others, as it is located near the dam of the Pechenigy reservoir. Water drains gradually over several months there, reducing the contrast of the summer flood plain. Accordingly, on the one hand, anthropogenic intervention can make the water regime more stable, and on the other - transformation of a narrow winding riverbed, the presence of an artificial lake causes a number of problems.

First, due to the increase in the water area, evaporation from the surface increases, and because the water in the reservoir moves slowly in contrast to the river, it stagnates and leads to gradual overgrowth of reed which pumps out water and additionally pollutes

the reservoir. As a result, in an effort to conserve more water within the reservoir, man reduces the total water content of the river and contributes to additional pollution of the river water.

Indicators of the module and the runoff layer characterize water supply of the territory. The modulus of runoff in the Donets basin varies between 2 and

41 / s · km², where its greatest value is around the city of Kharkiv. This is explained by numerous measures to "flood" the city's rivers in the first half and mid-twentieth century. The runoff layer varies between 60-100 mm, with the highest values observed in the north of the basin (due to more precipitation), as well as around Kharkiv.

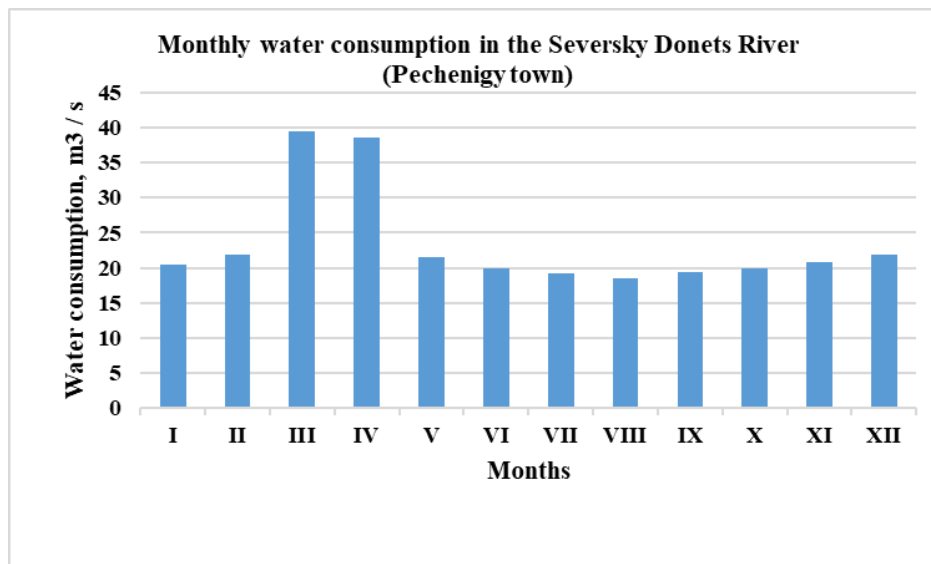


Fig.4. Dynamics of water consumption in the Siversky Donets (village of Pechenigy)

Prolonged industrial exploitation of water bodies, as well as pumping water for extensive agriculture, have led to the degradation of water resources. Currently, due to the lack of a systematic environmental policy, the region's rivers and reservoirs are in poor condition. Calculation of the IWP has revealed that most rivers belong to the third and fourth categories - "moderately polluted" and "polluted", but there are also absolutely catastrophic cases. We are talking about the rivers around the city of Kharkiv - the Uda,

the Lopan and the Kharkiv, which have IWP of the fifth and sixth categories (Table 1).

Analysis of air temperature for two periods (1961-1990, 1991-2020) allows us to determine the trend of climate change for the project period 2021-2050. We can see significant warming in winter on the example of January air temperatures (Fig. 5). Average July temperatures are not rising so fast, but the trend towards warming is obvious.

Notable warming was recorded during 1980-

Table 1

Index of water pollution in the rivers of the Siversky Donets basin within Kharkiv region

River	Observation point	Average IWP (1995-2020 pp.)	Water quality class
Siversky Donets	Ogirtseve	4,00	V. Dirty
Siversky Donets	Chuguiv (beyond the town)	0,99	II. Clear
Siversky Donets	Chuguiv	2,24	III. Moderately polluted
Siversky Donets	Zmiiv	1,75	III. Moderately polluted
Siversky Donets	Izyum	3,72	IV. Polluted
Kharkiv	Tsyркunу	4,18	V. Dirty
Lopan	Kharkiv	5,53	V. Dirty
Lopan	Kozacha Lopan	3,36	IV. Polluted
Udy	1 km	7,00	VI. Very dirty
Udy	10 km	3,70	IV. Polluted
Oskil	Kupiansk	3,61	IV. Polluted
Vovcha	Vovchansk	1,17	III. Moderately polluted

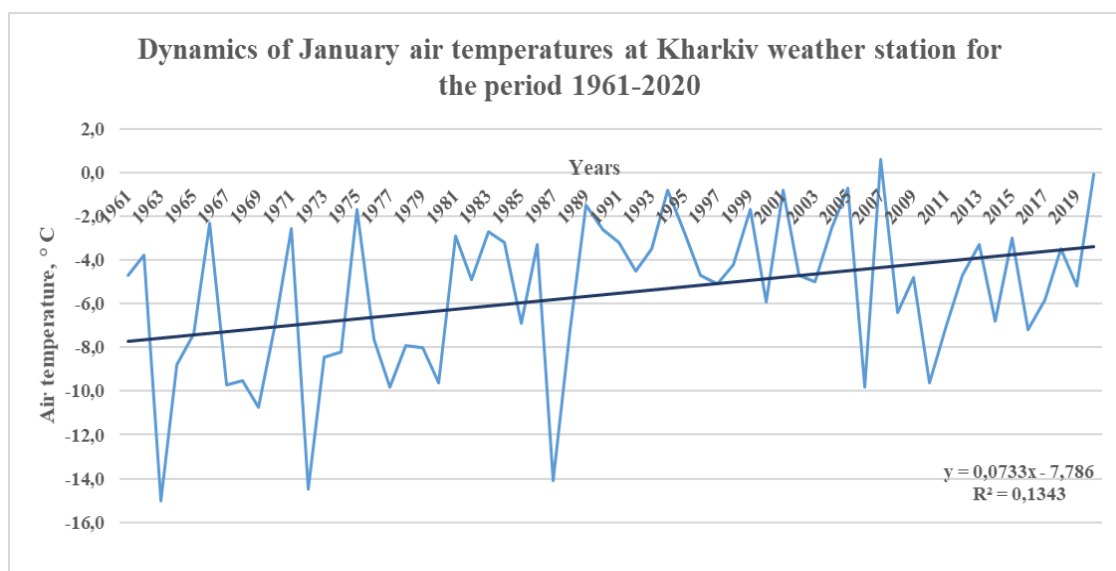


Fig. 5. Dynamics of January air temperatures in Kharkiv in 1961-2020

1990, 2000-2008, after the abnormally hot summer of 2010, air temperature growth is accelerating.

The growth rate of air temperature in January was almost twice as fast as in July for the period 1961-2020: at the meteorological station Zolochiv by 0.9 °C every 10 years, at the stations Velyki Burluk, Izyum and Lozova – by 0.7 °C every 10 years. The temperature regime in July is characterized by an increase of 0.4 °C every 10 years at almost all stations.

Analysis of the rising air temperatures for the two periods 1961-1990 and 1991-2020 in the river basin indicates an increase of 2.7 °C and 3.3 °C in January, respectively. The highest temperature rise is observed in Zolochiv and Velyki Burluk, while the lowest is in Kharkiv, Kupyansk and Izyum.

July air temperatures are characterized by 1.8°C increase in Kharkiv, by about 1.5 °C – in other cities. Average annual temperatures are characterized by an increase of 1.1-1.5 °C. A characteristic feature of the Siversky Donets river basin is decreasing precipitation, indicating drought.

In winter, rivers are often covered with ice. However, January temperatures are considered zero. July water temperatures are an important indicator of changes in summer temperatures. The data of most of the involved hydroposts indicate a rise in water temperature, except for Kozacha Lopan, where a slight decrease is noticeable. At the same time, the rate of this growth is rather insignificant compared to air temperatures, as water heats up and cools more slowly due to its high heat capacity, and accordingly, the long-term dynamics will also be less noticeable.

Average seasonal temperatures are an additional marker of changes in the thermal regime of surface waters of the Donets basin. Summer temperatures are growing the fastest (by 0.37 °C every 10 years), autumn temperatures are in the second place in terms of growth rate, followed by spring and winter tempera-

tures.

Relatively low rate of changing indicators characterize winter-spring water temperatures, where the growth is the highest for meteorological values. The reason for this discrepancy is the lack of measurements of water temperature when it is under the ice cover, i.e. from late November to early December and early to mid-March. Accordingly, winter temperatures, which were previously absent in hydrological yearbooks, are now recorded, which means that stable ice cover on most rivers of the Donets basin has been absent in recent decades, which clearly indicates a warming trend.

Peculiarities of the territorial distribution of changes in the thermal regime of water are the increase in the values of July temperatures for all hydroposts, except for Kozacha Lopan. The average annual values of water temperature also increased at all hydro posts, except for Kozacha Lopan. This can be explained by the anthropogenic load on the territory, where there are numerous enterprises – industrial and municipal not far from the hydropost, and therefore, their discharges lead to a significant increase in water temperature.

Water bodies have undergone changes in the hydrological regime: the long-term dynamics of water flow (Fig. 6) indicates a tendency to reduce the volume of water passing through the cross section of the Siversky Donets and its tributaries. However, this process does not occur at the same speed in different parts of the basin. The most noticeable decrease in water consumption in two periods is typical for the hydroposts Ogirtsevo, Zmiiv, Protopopivka and Izyum. The tributaries of the Siversky Donets have less water consumption in Bezlyudivka and Vovchansk. At the same time, water consumption in Pechenygy and Kozacha Lopan has hardly changed.

Anthropogenic intervention (presence of a regul-

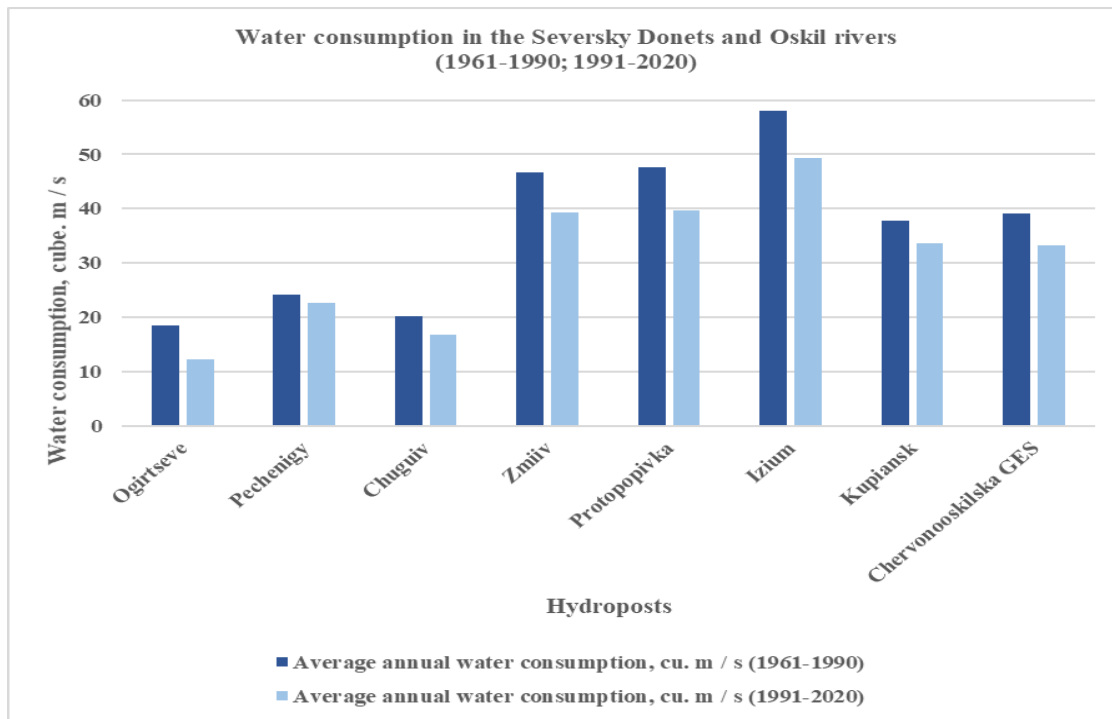


Fig. 6. Water consumption:1961-1990;1991-2020.

ated reservoir) plays an important role in the former case, while in the latter - insignificant amounts of water consumption seems insignificant.

The authors analyzed the relationship between climatic and hydrological parameters using correlation coefficients for two pairs of indicators: air temperature – water temperature and precipitation - water consumption. The connection was calculated for 5 meteorological stations and 5 hydroposts because a number of hydroposts are relatively far from mete-

orological stations (more than 20 km). There is a close relationship of air and water temperatures of 0.8 (Fig. 7). The intra-annual distribution of the correlation coefficient is characterized by quite noticeable changes: it reaches its highest values in March, July and September.

Small values of the correlation coefficient characterize precipitation influence on runoff formation: the maximum correlation is in summer during the period of maximum precipitation and a short-term in-

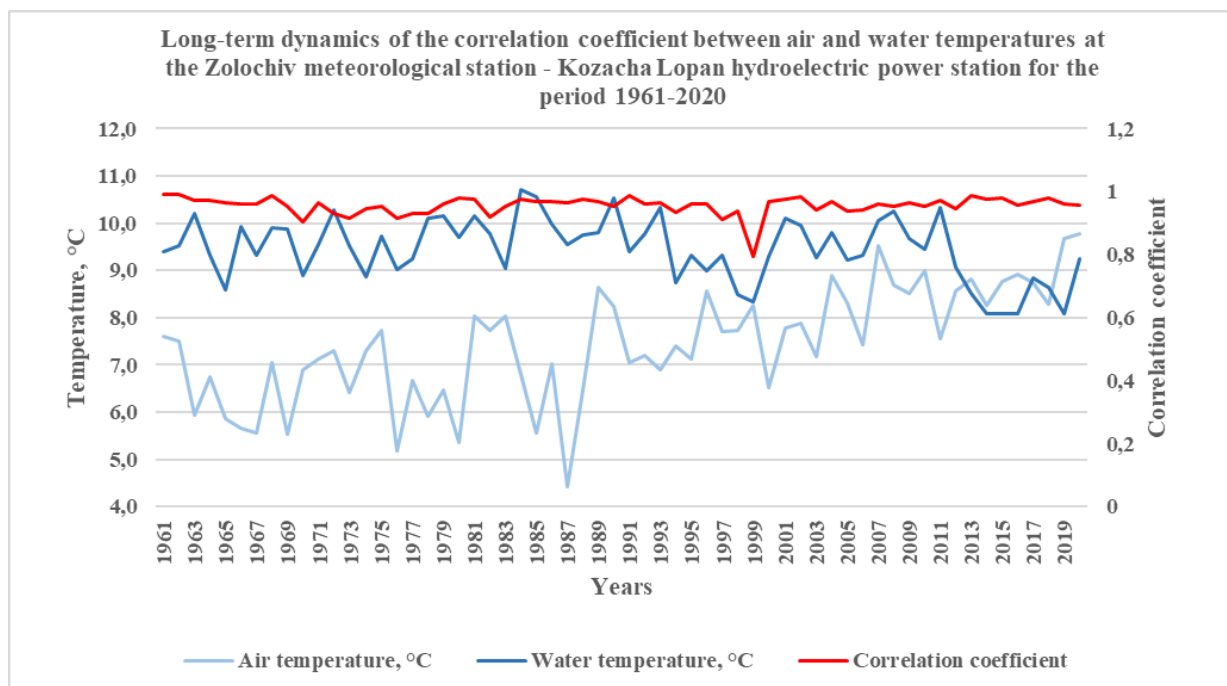


Fig. 7. Long-term dynamics of the correlation coefficient between air and water temperatures at Zolochiv meteorological station - Kozacha Lopan hydropost, 1961-2020

crease in water consumption in the middle of summer. In spring, during the spring floods, when the amount of precipitation decreases, the coefficient is inverse. A similar situation is in August, when water consumption begins to rise, and precipitation reaches its minimum.

The significance of the obtained coefficients was checked by calculating the Student's criterion (Table 2), which indicates statistically significant relationships.

The correlation analysis confirmed a strong relationship between air and water temperatures. At the same time, the intra-annual distribution is characterized by a change in the coefficient, depending on the ratio of different temperatures. That is, the strongest relationship is observed in summer, when the temperature stabilizes, and the minimum – in periods of active heating and cooling. The relationship between precipitation and water consumption is average, as water consumption in the spring coincides with the minimum precipitation, and underground sources play a considerable role in the summer, too.

The projection of future changes in the main meteorological and hydrological values is important because it is the basis for ecological assessment of the

territory. The project changes were built by comparing two periods: 1961-1990, 1991-2020. The authors calculated the rate of changes in the characteristics and their transfer to the forecast period (2021-2050), using regression equations. Further increases in air temperatures are expected in January and July at all meteorological stations in the direction from northeast to south, southwest (Fig. 8). The highest temperatures will be observed in Kharkiv, Kupyansk and Izyum.

The article emphasizes that the amount of precipitation will change ambiguously (Fig. 9): mostly there will be a decrease of precipitation in the territory of Kharkiv region by 20-60 mm.

We can also expect changes in the main characteristics of water bodies: their temperature and costs. Average annual water temperatures will change in the direction of growth (0.3-0.5 °C), seasonal fluctuations will be typical for autumn and spring. In the future, water consumption will continue to decline mostly in the central part of the Donets River (Zmiiv, Protopopivka), as well as on the Uda river (Bezlyudivka). To a lesser extent, this applies to the area of the Pechenigy reservoir, where significant over-regulation of the river hinders the shallowing

Table 2

Calculation of Student's criterion for the correlation coefficient between air and water temperatures at meteorological stations and Kupyansk hydroposts

Months	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
r	0,45	0,55	0,90	0,38	0,81	0,85	0,82	0,60	0,83	0,54	0,55	0,53
t	1,89	2,63	16,50	1,46	7,67	10,50	8,15	3,13	8,63	2,54	2,57	2,45
σ	0,24	0,21	0,05	0,26	0,11	0,08	0,10	0,19	0,10	0,21	0,21	0,22
α	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

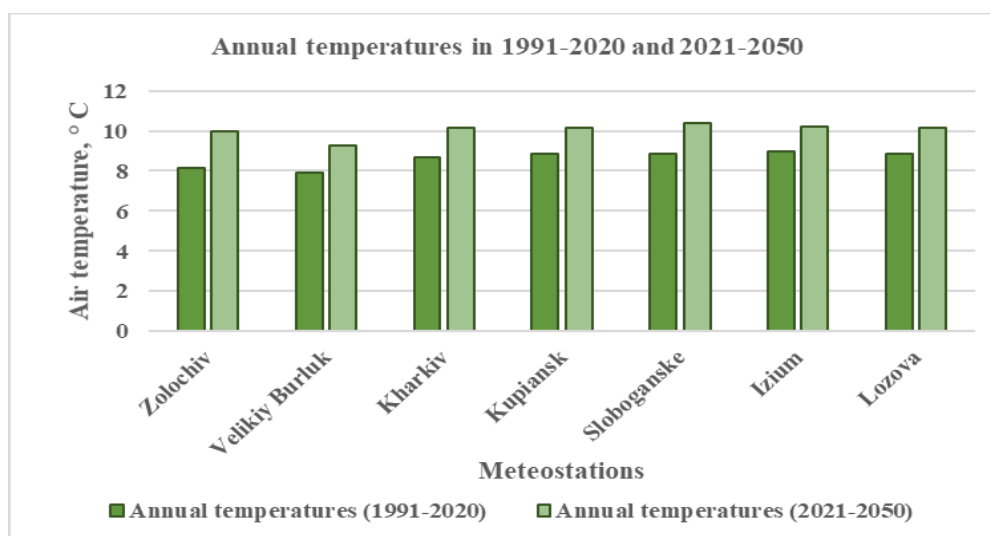


Fig. 8. Projections of annual air temperatures

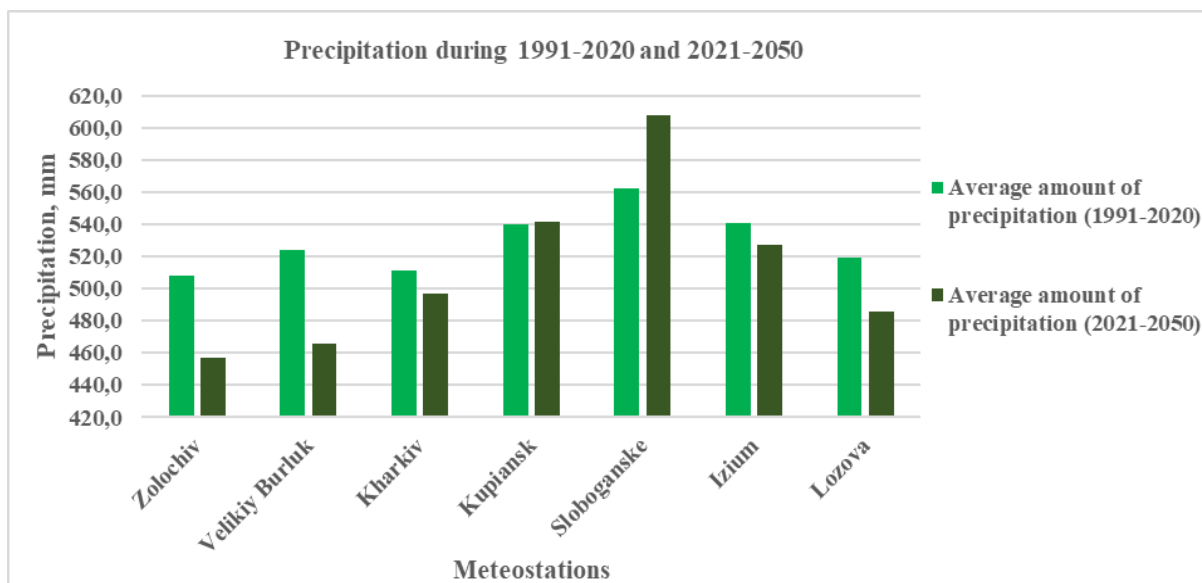


Fig. 9. Projections of precipitation amount

process.

Conclusions. The results of the study indicate the relevance of identifying factors that have the greatest impact on changes in the hydrological characteristics of water resources. Research has shown that the maximum relationship exists between air and water temperatures. Precipitation influence on the runoff formation is characterized by small values of the correlation coefficient with maximum influence in summer.

The identified projections of future changes in air temperature are characterized by their further rise. The change in the amount of precipitation will obviously depend on a variety of fluctuations, although we can note a predominant tendency to their reduction.

Climate change are an important factor in the formation of the modern regime of water resources,

so their projections are aimed at making the right management decisions on the use and restoration of water resources.

Therefore, in the future, according to the air temperature, the water temperature is expected to increase, water consumption will continue to decrease mostly in the central part of the Siversky Donets basin. The water content of the rivers is declining at a fairly significant rate: by 2050, the average water consumption will be 40-50% of the cost in the previous period. Heavy economic burden on the waterway will increase its over-regulation.

In future, comprehensive assessment of climate change impact on the hydrological conditions of the rivers will determine the degree of change in the ecological state of the waterways, their rational use, allowing us to implement measures to reduce the negative impact and protect water resources.

Bibliography

1. Лобода Н.С. Використання метеорологічних даних для реконструкції рядів річного стоку на невизначеній ділянці: підхід емпіричної ортогональної функції для регіону Молдова-Південно-Західна Україна / Н.С. Лобода, А. Глушков, В.М. Хохлов // Атмосферні дослідження. – 2005. – Вип. 77/1-4. – С. 100-113.
2. Лобода Н.С. Використання недецимованого вейвлет-розкладу для аналізу змін у часі північноатлантичних коливальних, вихрової кінетичної енергії та українських опадів / Н.С. Лобода, А. Глушков, В.М. Хохлов // Гідрологічний журнал. – 2006. – Вип. 323/1-4. – С. 14-24.
3. Лобода Н.С. Про нелінійну взаємодію між глобальними схемами телез'єднання / Н.С. Лобода, А. Глушков, В.М. Хохлов // Q. J. R. Meteor. – 2006. – Вип. 132. – С. 447-465.
4. Hurrell J.W. Marine ecosystems and climate variation. Analysis and regionalization of northern European winter precipitation based on its relationship with the north Atlantic oscillation / J.W. Hurrell, R.R. Dickson // International journal of climatology. – 2003. – №23. – P. 1185-1194.
5. Лобода Н.С. Зміна клімату та її важливі наслідки у формуванні якості води (на прикладі річок Псел та Ворскла) / Н.С. Лобода, В.В. Пилип'юк // Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2017. – Вип. 22. – С. 69-79. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vodeu_2017_22_10
6. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року: Закон України від 21.12.2010 № 2818-VI. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2818-17>

7. Решетченко С.І. Вплив процесів у Північній Атлантиці на кліматичні показники України та Східної Європи / С.І. Решетченко, І.О. Кібальчич // Альманах сучасної науки та освіти. – 2014. – Вип. 4. – С. 139-145. – Режим доступу: https://www.gramota.net/articles/issn_1993-5552_2014_4_38.pdf
8. Решетченко С.І. Зміна температурного режиму в Харківській області / С.І. Решетченко, Т.Г. Ткаченко, О.Г. Лисенко // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія». – 2015. – Вип. 43. – С. 153-158. doi: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2015-43-24>.
9. Reshetchenko S.I. Climate indicators of changes in hydrological characteristics (a case of the Pszol river basin) / S.I. Reshetchenko, S.S. Dmitriiev, N.I. Cherkashyna, L.D. Goncharova // Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology". – 2020. – №53. – P. 153-158. doi: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-12>
10. AghaKouchak A. Climate Extremes and Compound Hazards in a Warming World / A. AghaKouchak, F. Chiang, L.S. Huning, C.A. Love, I. Mallakpour, O. Mazdiyasnı, H. Moftakhari, S.M. Papalexıou, E. Ragno, M. Sadegh // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. – 2020. – № 48. – P. 519-548. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-071719-055228>
11. Blöschl G. Changing climate both increases and decreases European river floods / G. Blöschl, J. Hall, A. Viglione, R.A. Perdigão, et al. // Nature. – 2019. – № 573. – P. 108-111. doi: <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1495-6>
12. Blöschl G. Changing climate shifts timing of European floods / G. Blöschl et al. // Science. – 2017. – Vol. 357, Iss. 6351. – P. 588-590. doi: <https://doi.org/10.1126/science.aan2506>
13. Bernhofer C. Regional climate change: to be included in Future Flood Risk analysis? Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures / C. Bernhofer, J. Franke, V. Goldber, et al. // NATO Science Series. – 2006. – № 67. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4598-1_8
14. Гонченко С.Д. Методика розрахунку характеристик максимального річкового стоку за відсутності даних спостережень: на прикладі річок України / С.Д. Гонченко, В.А. Овчарук, М.С. Романчук // Водні ресурси. – 2015. – Вип. 42 (3). – С. 285-291. Режим доступу: http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/1567/1/wrj_42_2015_285.pdf
15. Гонченко С. Проблеми нормативної документації при розрахунку характеристик граничного стоку річок України та можливі шляхи їх вирішення / С. Гонченко, В. Овчарук, О. Тодорова // JOUR. – 2016. – С. 49-57. doi: [10.17072/2079-7877-2016-1-49-57](https://doi.org/10.17072/2079-7877-2016-1-49-57)
16. Гонченко С.Д. Теоретичне обґрунтування нормативної бази для розрахунку характеристик максимального стоку та його практична реалізація. Транскордонні повені: зменшення ризиків через управління / С.Д. Гонченко, В.А. Овчарук // Наукова серія НАТО. IV Земля і довкілля. – 2006. – Вип. 72. – С. 91–99. doi: https://doi.org/10.1007/1-4020-4902-1_9
17. Овчарук В. Сучасна методика оцінки характеристик стоку максимальної весняної повені для рівнинних річок України / В. Овчарук, С. Гонченко // Український географічний журнал. – 2018. – Вип. 2. – С. 26-33. doi: <https://doi.org/10.15407/ugz2018.02.026>
18. Ovcharuk V. Determination of characteristics maximal runoff Mountain Rivers in Crimea / V. Ovcharuk, O. Todorova // J. Fundam. Appl. Sci. – 2016. – № 8 (2). – P. 525-541. doi: <https://doi.org/10.4314/jfas.v8i2.23>
19. Сніжко О. С. Регіональна оцінка змін стоку річок Українських Карпат в умовах зміни клімату / О.С. Сніжко, О. Ободовський, В. Шевченко, Ю. Гребінь, І. Дідовець, О. Купріков // Український географічний журнал. – 2020. – Вип. 2. – С. 20-29. doi: <https://doi.org/10.15407/ugz2020.02.020>
20. Скриник О. Просторова інтерполяція кліматологічних даних з урахуванням рельєфу та фізико-географічних особливостей території України / О. Скриник, В. Осадчий, Т. Сентимрей, З. Біхари, В. Сіденко, Д. Ошурак, Д. Бойчук, О. Скриник // Український географічний журнал. – 2020. – Вип. 2. – С. 13-19. doi: <https://doi.org/10.15407/ugz2020.02.013>
21. Василенко С.В. Ділянка як основна одиниця гідроморфологічного моніторингу озер / С.В. Василенко, О.В. Кошкіна, Т.В. Маслова // Український географічний журнал. – 2018. – Вип. 2. – С. 34-37. doi: <https://doi.org/10.15407/ugz2018.02.034>

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

References

1. Loboda N., Glushkov A., Khohlov V. (2005). Using meteorological data for reconstruction of annual runoff series over an ungauged area: Empirical orthogonal function approach to Moldova-Southwest Ukraine region. *Atmospheric Research*, 77/1-4, 100-113.
2. Loboda N., Glushkov A., Khohlov V. (2006). Using non-decimated wavelet decomposition to analyse time variations of North Atlantic Oscillation, eddy kinetic energy and Ukrainian precipitation. *Journal of Hydrology*, 323, 1-4, 14-24.
3. Khohlov V., Glushkov A., Loboda N. (2006). On the nonlinear interaction between global teleconnection patterns. *Q. J. R. Meteor. Soc.* 132, 447-465.
4. Hurrell J.W., Dickson R.R. (2003). Marine ecosystems and climate variation. Analysis and regionalization of northern European winter precipitation based on its relationship with the north atlantic oscillation / C.B. Uvo // *International journal of climatology*. 23, 1185-1194.

5. Loboda, N.S., Py`ly`p'yuk, V.V. (2017). Climate change and its important consequences in the formation of water quality (a case of the rivers Psyol and Vorskla). *Bulletin of Odessa State Ecological University*, 22, 69-79. [in Ukrainian]. Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vodeu_2017_22_10
6. On basic principles (strategy) of the state ecological policy of Ukraine for the period up to 2020: Approved by the Law of Ukraine of 21.12.2010 № 2818-VI. [in Ukrainian]. Access mode: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2818-17>
7. Reshetchenko, S.I., Kibalchich, I.A. (2014). Influence of processes in the North Atlantic on climatic indicators in Ukraine and Eastern Europe. *Almanac of modern science and education*, 4, 139-145. [in Russian]. Access mode: https://www.gramota.net/articles/issn_1993-5552_2014_4_38.pdf
8. Reshetchenko, S.I., Tkachenko, T.G., Ly`senko, O.G. (2015). Changing the temperature regime in the Kharkiv re-gion. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 43, 153-158. [in Ukrainian]. doi: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2015-43-24>.
9. Reshetchenko S.I., Dmitriiev S. S., Cherkashyna N.I., Goncharova L.D. (2020). Climate indicators of changes in hydrological characteristics (a case of the Psyol river basin). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 43, 153-158. [in Ukrainian]. doi: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-12>
10. AghaKouchak A., Chiang F., Huning L.S., Love C.A., Mallakpour I., Mazdiyasi O., Moftakhari H., Papalexioiu S.M., Ragno E., Sadegh M. (2020). Climate Extremes and Compound Hazards in a Warming World. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 48, 519-548. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-071719-055228>
11. Blöschl G., Hall J., Viglione A., Perdigão R. A., et al. (2019). Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature*, 573, 108-111. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1495-6>
12. Blöschl G. et al. (2017). Changing climate shifts timing of European floods. *Science*, 357, 6351, 588-590. <https://doi.org/10.1126/science.aan2506>
13. Bernhofer C., Franke J., Goldber V., et al. (2006). Regional climate change: to be included in Future Flood Risk analysis? *Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures*. NATO Science Series, 67. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4598-1_8
14. Gopchenko E. D., Ovcharuk V. A., Romanchuk M. E. (2015). A Method for Calculating Characteristics of Maximal River Runoff in the Absence of Observational Data: Case Study of Ukrainian Rivers. *Water Resources*, 42 (3), 285-291. Access mode: http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/1567/1/wrj_42_2015_285.pdf
15. Gopchenko Ye., Ovcharuk, V., Todorova O. (2016). Problems of the regulatory documents in calculating characteristics maximum runoff rivers of Ukraine and possible solutions. *JOUR*, 49-57. doi: [10.17072/2079-7877-2016-1-49-57](https://doi.org/10.17072/2079-7877-2016-1-49-57)
16. Gopchenko E. D., Ovcharuk, V. A. Theoretical ground of normative base for calculation of the characteristics of the maximum runoff and its practical realization, *Transboundary Floods: Reducing Risks Through Management*. NATO Sciences Series. IV Earth and Environ. Sci, 72, 91-99. doi: https://doi.org/10.1007/1-4020-4902-1_9
17. Ovcharuk V., Hopchenko Ye. (2018). The modern method of maximum spring flood runoff characteristics valuation for the plain rivers of Ukraine. *Ukrainian Geographical Journal*, 2, 26-33. <https://doi.org/10.15407/ugz2018.02.026>
18. Ovcharuk V., Todorova O. (2016). Determination of characteristics maximal runoff Mountain Rivers in Crimea. *J. Fundam. Appl. Sci.*, 8(2), 525-541. <https://doi.org/10.4314/jfas.v8i2.23>
19. S.I. Snizhko, O., Obodovskyi, O., Shevchenko, V., Grebin, Iu., Didovets, I., Kuprikov, O. (2020). Pochaievets. Regional assessment changes of the rivers runoff of Ukrainian Carpathians region under climate changes. *Ukrainian Geographical Journal*, 2, 20-29. <https://doi.org/10.15407/ugz2020.02.020>
20. Skrynyk, O., Osadchyi, V., Szentimrey, T., Bihari, Z., Sidenko, V., Oshurok, D., Boichuk, D., Skrynyk O. (2020). Spatial interpolation of climatological data with relief and physicogeographical peculiarities of the territory of Ukraine taken into account. *Ukrainian Geographical Journal*, 2, 13-19. <https://doi.org/10.15407/ugz2020.02.013>
21. Vasylenko E.V., Koshkina O.V., Maslova T.V. (2018). Hab-plot as the main unit of lakes hydromorphological monitoring. *Ukrainian Geographical Journal*, 2, 34-37. <https://doi.org/10.15407/ugz2018.02.034>

Кліматичний моніторинг як індикатор гідрологічного стану басейну річки Сіверський Донець

Світлана Іванівна Решетченко¹,

к. геогр. н., доцент, кафедра фізичної географії і картографії,

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

Святослав Сергійович Дмитрієв¹,

бакалавр;

Надія Іванівна Черкашина¹,

старший викладач;

Тетяна Григорівна Ткаченко²,

к. геогр. н., доцент, кафедра екології та біотехнологій у рослинництві,

²Державний біотехнологічний університет, вул. Алчевських, 44, м. Харків, Україна;

Віталій Андрійович Сич³,

д. геогр. н., доцент, професор кафедри економічної та соціальної географії і туризму,

³Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, пров. Шампанський, 2, м. Одеса, 65058, Україна

Вивчення впливу регіональних змін клімату на режим гідрологічних показників та екологічний стан басейну річки Сіверський Донець у межах Харківської області є актуальним, оскільки даний водотік із супутніми річками та іншими водними об'єктами є найважливішим джерелом води для східної частини України, особливо для урбанізованого міста Харків та промислового району Донбасу. Сучасні зміни температурно-вологісного режиму території відбиваються на гідрологічному стані річок, які стають маловодними та характеризуються погіршенням свого якісного стану. Враховуючи об'єми водокористування, які припадають на річку Сіверський Донець, виникає питання про водозабезпеченість регіону, оптимізацію його використання та подальше раціональне управління. Метою роботи виступає взаємозв'язок між кліматичними та гідрологічними показниками (оцінка динаміки екологічного стану) басейну Сіверського Дінця на тлі регіональних змін клімату. Моніторинг кліматичних, гідрологічних та екологічних показників дозволяє приймати подальші управлінські рішення щодо управління водними ресурсами під час кліматичних змін. Основними завданнями дослідження є визначення взаємозв'язків між кліматичними та гідрологічними показниками басейну річки Сіверський Донець та їх проєкцій. В результаті проведення кореляційного аналізу була підтверджена наявність сильного зв'язку між температурами повітря і води. У внутрішньорічному розподілі характерним є зміна коефіцієнта в залежності від співвіднесення ходу різних температур, тобто найсильніший зв'язок помітний влітку, коли температура стабілізується. Встановлено середній зв'язок між опадами та витратами води, оскільки хід витрат води навесні співпадає із мінімумом опадів, а влітку значну роль відіграють підземні джерела. Дослідження впливу змін кліматичних показників на гідрологічні дає можливість встановити стан еколого-гідрологічних умов річок за умов антропогенного навантаження на тлі подальших змін кліматичних показників, що матимуть різноспрямовані тенденції.

Ключові слова: моніторинг довкілля, природне середовище, кліматичний моніторинг, екологічний стан, гідрологічні показники, басейн річки Сіверський Донець, регіональні зміни клімату.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 27 січня 2022 р.

Прийнята 11 лютого 2022 р.

Problems of spatially distributed quantitative evaluation of soil erosion losses

*Oleksandr O. Svitlychnyi*¹,

DSc (Geography), Professor, Department of Physical Geography, Nature Management and Geoinformation Technologies, ¹Odessa I.I. Mechnikov National University, 2 Champagne Lane, Odessa, 65058, Ukraine,

e-mail: svetlitchnyi.aa.od@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1111-2978>;

*Alla V. Piatkova*¹,

PhD (Geography), Associate Professor,

Department of Physical Geography, Nature Management and Geoinformation Technologies,

e-mail: avpyatkova2011@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0001-8349-105X>

ABSTRACT

Formulation of the problem. Water erosion of soils is the most widespread and dangerous soil degradation process in Ukraine. The development of an effective system of soil protection measures requires the use of spatially distributed mathematical models of soil erosion losses. This, in turn, highlights the problem of spatially distributed source data, which adequately reflect the spatial differentiation of factors of the erosion process, among which the main one is the relief.

The purpose of the article. Assessing the adequacy of available spatially distributed source data, including cartographic and freely distributed global digital elevation models (DEMs), for spatially distributed quantitative assessment of soil erosion losses at the local level of territorial coverage is the aim of the article. Assessing from this point of view the scale of the original cartographic data, different global DEMs and their spatial resolution, as well as the degree of spatial generalization of the original data.

Materials and methods. The solution of the set tasks was performed by the method of simulation modeling with the use of physical-statistical GIS-realized mathematical model of soil erosion-accumulation, developed at Odessa I. I. Mechnikov National University. Source data arrays were tested with DEMs SRTM90 and SRTM30 with a spatial resolution of 3 and 1 angular seconds, respectively, and AW3D30 with a spatial resolution of 1 angular second, as well as with cartographic DEMs based on topographic maps of scale 1:10000 and 1:25000. For testing the initial data, three test plots with an area of 2.67, 0.59 and 0.21 km² were selected. The plots are located in the Balta district of Odessa region on the southern spurs of the Podolska upland.

Results. It is established that freely distributed global digital elevation models SRTM and AW3D30 in the conditions of flat terrain do not always allow to adequately display the structure of slope runoff and, accordingly, to correctly perform calculations of soil erosion losses. The maximum deviation of the average soil erosion losses calculated for the test plots using global DEMs from the soil losses calculated using the reference DEM for SRTM30 and AW3D30 was 27%, for SRTM90 – almost 70%. The distribution of soil losses over the area of test plots obtained using different global DEMs differs even more.

When using DEM based on topographic maps, reducing the scale of the original maps from 1: 10000 to 1: 25000 leads to a decrease in the average value of soil erosion losses by about 20% due mainly to reducing the magnitude and area of distribution of maximum soil losses, and on slopes of complex shape also due to changes in the area of accumulation zones. The degree of spatial generalization of the initial data significantly affects the results of the assessment of soil erosion losses both in relation to the average values and their distribution over the area. For small areas, the use of raster cells larger than 50 m is impractical.

Scientific novelty and practical significance. It has been shown for the first time that in the conditions of flat terrain at the local level of spatial coverage, the freely distributed global DEM SRTM and AW3D30 are not always hydrologically correct. The reasons and conditions of violation of this correctness are specified. It has been established that the global DEM AW3D30 has local instrumental errors that may make it impossible to use it. The most realistic values of soil erosion losses are provided by DEM SRTM with a spatial resolution of 1 angular second.

Keywords: soil erosion, spatially-distributed assessment, global DEMs, cartographic DEMs.

In cites: Svitlychnyi O. O., Piatkova A. V. (2022). Problems of spatially distributed quantitative evaluation of soil erosion losses. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (56), 184-197. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-13> [in Ukrainian]

Formulation of the problem. Water erosion is the most common soil degradation process in Ukraine, affecting almost all components of the landscapes and causing enormous economic and environmental damage. The end result of the development of erosional soil degradation is desertification [2]. According to the National Report [5], about 16 million hectares of agricultural land or 38.4% of their area, including 12.94 million hectares of arable land or 39.9% of their area, are eroded to varying degrees. Soil erosion is common in all over natural areas of

Ukraine, but especially – in the north of the steppe and the south of forest-steppe zones, where the so-called zone of maximum erosion is located [14].

Given the prevalence of water erosion of soils in all over natural zones of Ukraine, it is important to develop a complex of anti-erosion measures to prevent erosion degradation of agricultural landscapes. In conditions of increasing erosion danger of agricultural lands, the protection of soils from water erosion can be provided only on the base of adaptive-landscape farming systems, which take into account the

spatial differentiation of all major factors of water erosion. The leading role in the substantiation of soil protection complexes belongs to the mathematical model of soil erosion losses, which adequately takes into account the impact on the process of soil erosion of both natural and economic factors. Given that all these factors are characterized by complex spatial distributions, such a mathematical model must be, firstly, spatially distributed, and secondly, provided with the necessary spatial information.

Relief plays the greatest role in the spatial differentiation of soil erosion, providing a complex distribution on the surface of sloping lands of heat, moisture, surface runoff, the nature and intensity of the erosion and accumulation. At the same time, the informational support of the relief factor of soil erosion is the most difficult challenge.

Digital elevation models (DEM) are the basis of information support of modern mathematical models of soil erosion. Until recently, digital elevation models were typically built on the base of topographic maps of scale ranging from 1:10000 to 1:100000. Unfortunately, in our country only the last ones are publicly available. But for soil protective designing within an agricultural enterprise or farm the maps of scale 1:25000 or more detailed are required. If such maps can be used, the inevitable problem is the high laboriousness of creating DEMs based on them. The situation has changed dramatically in recent years with the advent of freely distributed global DEMs of high spatial resolution (3 and 1 arc seconds), built on the basis of remote sensing of the earth's surface. These are currently the SRTM digital elevation models developed by the National Aeronautics and Space Administration (NASA) and the Geological Survey of United States [21], the ASTER GDEM developed jointly by the Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan (METI) and NASA [15], as well as the "digital surface model" or "digital elevation model" Alos World 3D-30 m (AW3D30), created by the Japan Aerospace Exploration Agency – JAXA [25].

Analysis of previous research. To date, a large number of studies have been conducted in various countries to assess the accuracy of digital elevation models SRTM and ASTER, to a much lesser extent – AW3D30. The vast majority of studies have assessed the compliance of global DEMs with some referential DEMs. A digital elevation model built for the test site based on either instrumental surveying of the terrain, or geodetic reference marks or digitization of a topographic map ("cartographic DEM") was used as a reference DEM. The mean square error (RMSE), correlation coefficient (R) or Nash-Sutcliffe conformity criterion (NS) were most often used as evaluation criteria. A fairly detailed review of the results of these studies is presented in [11].

The assessment of the suitability of global DEMs

for soil loss calculations has only just begun. However, in most studies on this issue, the accuracy of calculations on the basis of freely distributed global DEM only geomorphological indicators that to some extent determine soil erosion losses was evaluated. Only in works [4, 19, 23] the global DEMs SRTM and ASTER evaluated in terms of their direct application to quantify soil losses. In these works, the Universal Soil Loss Equation (USLE / RUSLE) [22, 27] was used, which has only a profile version and, strictly speaking, is not a spatially distributed model. In [4] an erosion model of the State Hydrological Institute [1] was used to calculate the spring soil erosion losses in which the terrain is taken into account very roughly. In [11] presents the results of a study of the application of global DEMs SRTM, ASTER and AW3D30 for calculations of soil erosion based on a spatially distributed mathematical model for a fairly large area (about 340 km²) using as a reference DEM the cartographic digital elevation model which built on the base of a topographic map of 1: 25000 scale.

In general, it can be stated that the results obtained in research on this problem are of undoubted theoretical and practical interest. They provided an overall positive answer to the question of the possibility of using global DEMs for erosion calculations, made certain conclusions about possible limitations. However, in some respects the conclusions are contradictory. Many aspects of the use of global DEMs for spatially distributed assessment of soil erosion instead of or together with traditional sources of data about relief at different levels of territorial coverage, including local, have not been explored.

The purpose and objectives of the study. The purpose of the article is to assess the adequacy of various source data, including global DEMs based on remote sensing data, for spatially distributed quantitative assessment of soil erosion losses at the local level of territorial coverage. Assessment of the impact on the results of water erosion calculations of the scale of the original cartographic data, different global DEMs and the degree of their spatial resolution, as well as the degree of spatial generalization of the original data are the tasks that achieve the goal.

Materials and methods of research. Three plots K1, K2, K3 which are situated within the territory of the educational and scientific center of geology and geography faculty of Odesa I. I. Mechnikov National University "Krynychky" are chosen for the purpose of testing of initial data. The center is located in Balta district of Odesa region, on southern hillsides of Podolska upland (Fig. 1).

The test plot K1 is a part of the left slope of the dry valley Labushna. The area is 2.67 km². The slope is southwestern exposition. Average length from the watershed line to the valley bottom is 800 m. The transverse profile has a complex convex-concave-

convex form. Slope gradients change from 1-2° in the upper slope part to 11-15° closer to valley bottom. The soil cover is represented by typical chernozems

on heavy loams of various degrees eroded, as well as accumulated (about 4% of the plot area).

Upper part of the plot is intensively used for pl-

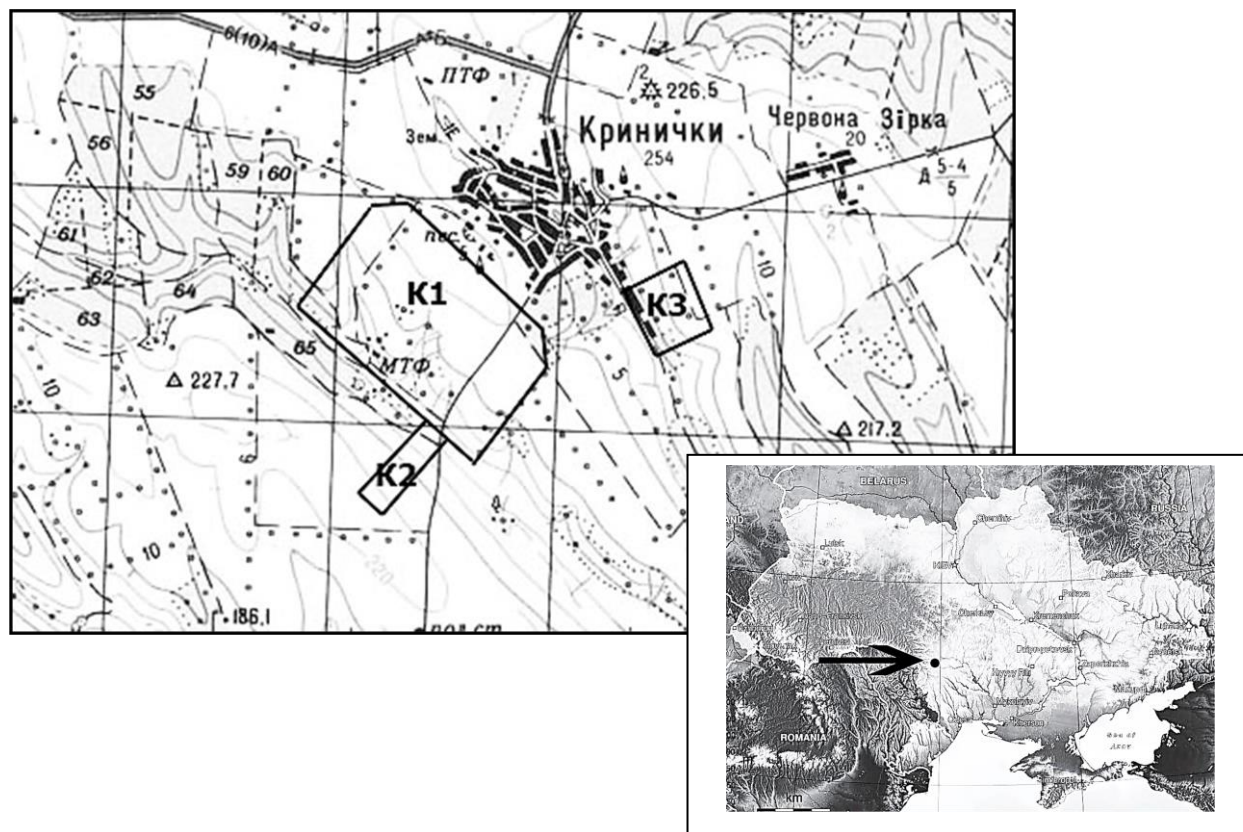


Fig. 1. Location of the test plots and a fragment of topographic map scale 1:100000 with plots boundaries

anting agricultural crops (cereals, sunflower, corn). The lower part of the plot is occupied by natural vegetation with species which are typical for dry grassland of the forest-steppe zone are predominant there. The projective covering of natural vegetation is 70-100%. The thickness of grass waste is about 1 cm, and root mat is about 2 cm. The valley bottom is also plowed up.

Plot K1 is divided by hollows and ravines in the middle and bottom part. One of the ravines (in the middle part of the plot) is covered by artificial forest which is 50 years old. The area of the forest is about 9 ha. There is a forest shelter-belt remainder along the road which is directed from Krynychky village to the southern west (Fig. 1). Somewhere alone trees and bushes also occur within the lower part of the plot.

The test plot K2 is situated on the opposite slope of the dry valley Labushna. The slope is northeastern exposition. The plot area is 0.21 km². The length is 750 m, the average slope gradient is 5.5°, and maximum one is 8.5°. The transverse slope profile is convex. On the bottom part of the plot the heavy diluvial sediments are observed. In the lower part of the plot there is a powerful diluvial plume, in the middle part a hollow up to 1 m deep was formed, which is weakly reflected on the existing topographic maps. Soils are

regraded chernozems on heavy loam which are eroded especially in the middle and bottom parts. The plot is completely plowed. In spite of the big slope gradients and eroded soils the plot is annually used for cultivation agricultural crops (sunflower, soybean, barley, rape etc.).

The test plot K3 is situated on the left slope of the middle part of the dry valley Krynychanska. The slope is southwestern exposition. The area is 0.59 km². The average hill length is 350 m, and the length from watershed line to bottom is 700 m. The transverse slope profile is convex in the most part. The slope is 1-3° in the upper part, 6-7° in the middle part and within the lower part it exceeds 7°, sometimes reaching 15-18°. The soil cover is represented by typical chernozems on heavy clays, eroded to varying degrees.

The upper part of the plot is plowed. The lower part is covered by natural vegetation with the predominance of typical gramineous species of forest-steppe herbs. Its projective covering ranges from 60 to 90%. Characteristic of this part of the plot are the remains of vines, as well as groups of trees and shrubs, located sporadically. The valley bottom is sheeted by herbs and weeds and is used like livestock pasture.

Topographic maps of scales 1: 10000 and M 1:25000, fragments of global digital elevation models SRTM with spatial resolution 3" (about 90 m), which hereinafter will be called SRTM90, SRTM with spatial resolution 1" (about 30 m), hereinafter - SRTM30, and AW3D30 with a spatial resolution of 1" were used as source data on the relief. The initial raster cell size of DEM created on the basis 1:10000 scale map is 10 m (in the article this DEM called "topo10") and on the basis of 1:25000 scale map is 30 m ("topo30"). The global DEM ASTER is not used in the research because of instrumental errors, which were not put away in postprocessing [4, 11].

The creation of a digital soil map and a map of land use of the test plots was performed on the basis of the relevant paper maps, a space image from the Internet service Google Earth and materials from the authors' field research.

The spatially distributed physical-statistical model of rainstorm erosion-sedimentation of soil is used like a working model implemented using the language and analytic abilities of package for environmental modelling PCRaster [20] and program language Visual Basic. The model was developed and programmatically implemented at the Department of Physical Geography, Nature Management and Geoinformation Technologies of I. I. Mechnikov Odessa National University [6, 7, 9, 10, 12] on the basis of logical-mathematical model of soil erosion losses by H. I. Shvebs [13, 14]. The advantage of the model is taking into account the non-stationarity of stormwater erosion-accumulation process, spatial variability

of all factors of water erosion, complex spatial structure of surface runoff and independent verification for the conditions of the Forest-Steppe and Steppe zones of Ukraine.

Results. Assessing the adequacy of global DEMs. The results of calculations of soil erosion losses using cartographic DEM topo30, which was considered at this stage of the study as a reference DEM, and global DEMs AW3D30, SRTM30 and SRTM90 for test plots K1-K3 are presented in Table 1 and in Fig. 2-4. In order to identify the impact of the features of the DEMs on the results, calculations of soil erosion losses were carried out under the assumption that the territory of the test plots is completely plowed, anti-erosion measures are not carried out. That is, the so-called "potential" soil losses were calculated. At the same time, for the K2 plot, soil erosion losses calculations using the AW3D30 DEM were not performed due to the presence in the middle part of the plot of an explicit "artifact" – a practically horizontal diamond-shaped "terrace" with a maximum width of about 150 m.

The calculated area average soil erosion losses obtained using global DEM, less than calculated using the reference DEM by 8.4-27.0%. In this case, for digital elevation models with a spatial resolution 1" (AW3D30 and SRTM30) values of the average soil losses differ the most from those obtained using reference-DEM for the plot K3 (21.6-27.0%), and for DEM SRTM90 with a spatial resolution of 3" – for the plot K2 (by 21.9%).

The spatial distributions of soil erosion losses

Table 1

Soil erosion losses averaged over the area of the test plots, calculated using various DEMs

Test plot	Characteristic	Digital elevation model			
		topo25	AW3D30	SRTM30	SRTM90
K1	Average soil losses, t/ha/yr	10.7	8.80	9.05	8.44
	Part relative to losses obtained using reference DEM, %	100	82.2	84.5	78.9
K2	Average soil losses, t/ha/yr	26.9	-*	23.8	21.0
	Part relative to losses obtained using reference DEM, %	100	-*	88.5	78.1
K3	Average soil losses, t/ha/yr	16.7	13.1	12.2	15.3
	Part relative to losses obtained using reference DEM, %	100	78.4	73.0	91.6

* digital elevation model AW3D30 of the plot was rejected

over the area of test plots, obtained using different digital elevation models, differs even more (Fig. 6-8). Firstly, these distributions are characterized by different values of the coefficient of variation, which varies from 1.14 (for DEM SRTM90) to 2.21 (for DEM AW3D30). Secondly, the ratio between the parts of the area of the test plots with different values of soil erosion losses and, accordingly, with different

erosion hazards differ significantly. It should be emphasized that these differences are manifested in different ways in different test plots (Fig. 2-4).

Thus, for test plots K1 and K2 the spatial distribution of soil losses, calculated using the global DEM SRTM90, is characterized by significantly smaller compared to the reference DEM and other DEMs areas of accumulation zone (<0 t/ha/year) and

catastrophic soil erosion losses zone (>50 t/ha/year). Within the plot K3, the area of the accumulation zone for all global DEMs is approximately the same, and the area of the catastrophic soil loss zone is significantly different. A similar situation is typical for other ranges of soil erosion losses. For test plot K1, the best correspondence of the spatial distribution of the calculated soil losses of the reference distribution was obtained using the DEM AW3D30, for which only the areas of the accumulation zone differ significantly (7.7 and 12.5%, respectively). For the plot K2, the DEM AW3D30 could not be used due to existing errors in this relief model. For the plot K3 the situation is opposite to K1 - only the areas of the accumulation

zone are close to each other, the areas of all other gradations of soil erosion losses differ significantly from each other.

The analysis of digital elevation models used in the study showed that the difference between the global DEMs and cartographic DEM is, firstly, due to the fact that global DEMs are, strictly speaking, digital surface models that take into account the altitude of artificial and natural objects located within the territory. In the test plots, these objects are represented by soil-protective forest plantations in the form of separate massifs of trees (including an area of approximately 9 ha in plot K1) and sporadically located individual groups of silver sucker, hawthorn, wild

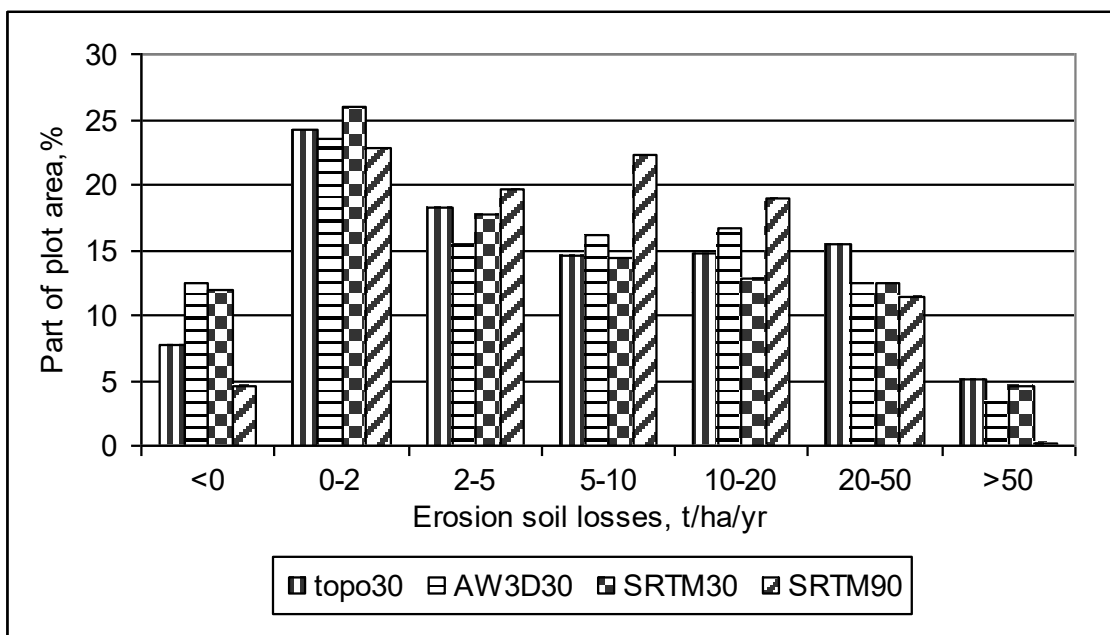


Fig. 2. Distribution of soil erosion losses, calculated using different DEMs, over the area of plot K1

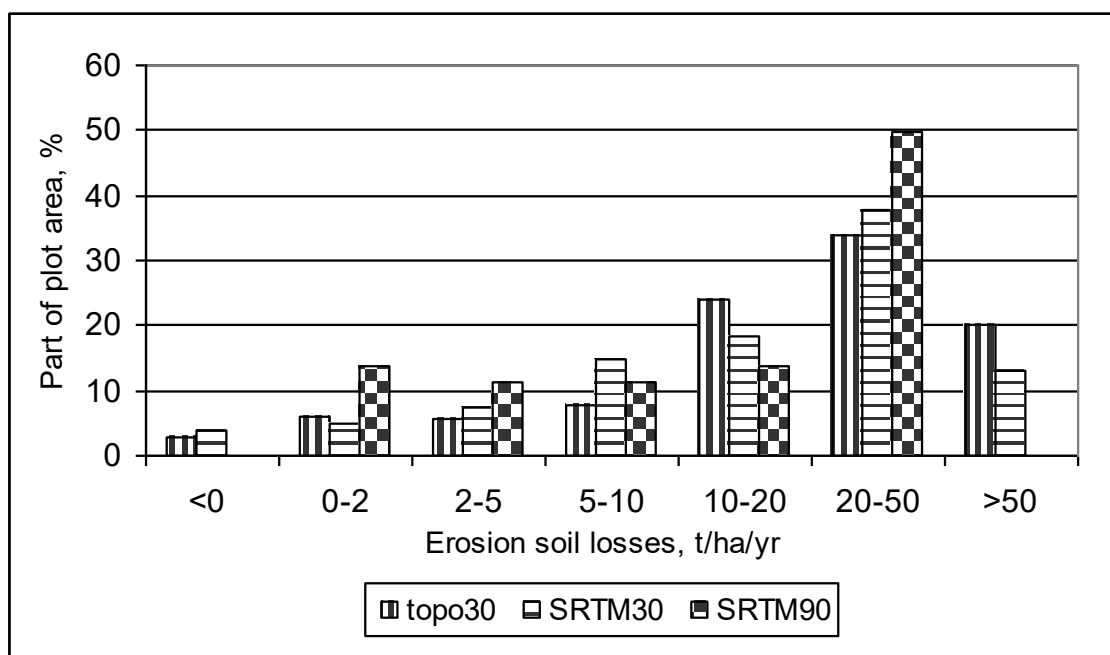


Fig. 3. Distribution of soil erosion losses, calculated using different DEMs, over the area of plot K2

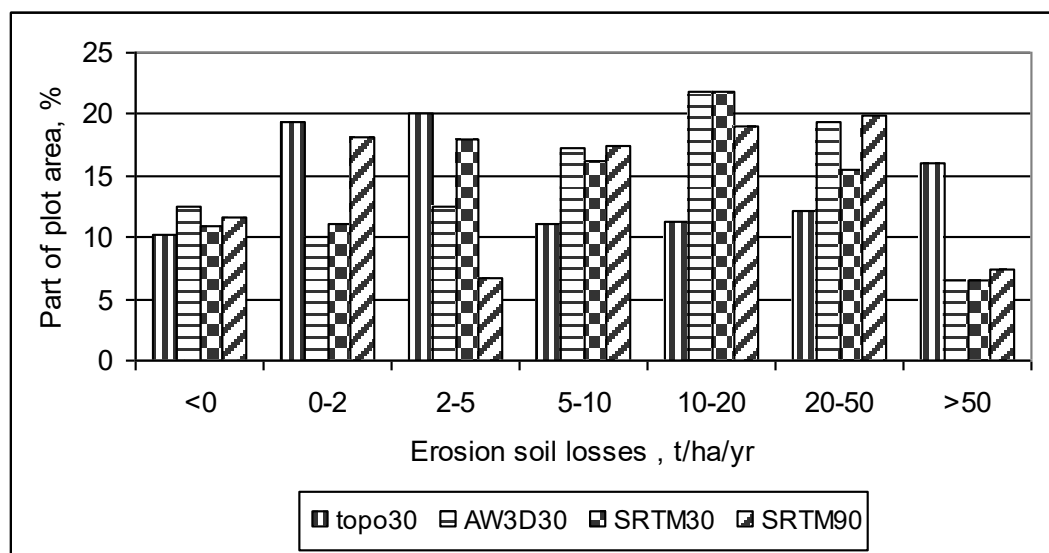


Fig. 4. Distribution of soil erosion losses, calculated using different DEMs, over the area of plot K3

pear and apple on beam slopes, and soil-protective forest belts, and their remains 3-5 m wide on agricultural lands.

Secondly, for agricultural lands, perhaps the main reason for the differences is the publication of matrixes of heights of most global DEMs with rounding of surface heights to whole meters. This rounding at small slope's gradients of the surface, characteristic within the study area for the upper parts of slopes near watersheds, has a significant impact on the magnitude of the length of flow lines, the distances from a certain location on the slope to the local watershed along the path of water movement. As a result, the artificial "hilly" surface with short multidirectional slopes and closed drainless depressions form because

of such rounding on DEMs with high resolution [11]. In this regard, firstly, the influence of the upper part of the slopes is actually excluded from the calculation of such an important parameter of the soil erosion model as the length of the flow line, and secondly, a large number of short slopes appear. From the Table. 2 it clearly shows that for digital elevation models of 30-meter spatial resolution (AW3D30 and SRTM30) the estimated average length of flow lines in the test plot K1 and K3 is almost 2 times less than obtained using a cartographic DEM. At the same time, the average slope gradients calculated using these global DEMs differ from the average slope gradients of the reference DEM slightly, but in different ways – from -6 to +17%.

Table 2

Average lengths of flow lines and slope gradients for different digital elevation models

Test plot	Parameter	Digital elevation model			
		topo25	AW3D30	SRTM30	SRTM90
K1	Average lengths of flow lines, m	376	180	250	369
	Average slope gradients, ‰	49.8	53.4	46.6	39.6
K3	Average lengths of flow lines, m	306	164	142	270
	Average slope gradients, ‰	67.2	78.8	74.1	62.1

The situation is different for the DEM SRTM90. Due to the three times lower spatial resolution and correspondingly larger raster cell size, the effect of rounding the surface heights to whole meters on the construction of the map of flow lines and, accordingly, their estimated length is much smaller. Their average length differs from the average length of flow lines calculated using the reference DEM by only 2-12%. In addition, the DEM SRTM90 is characterized by 8-20% smaller compared to the DEM topo30 slope gradients, but here, obviously, is affected by a 9-fold increase.

Considering the reasons for the differences between the global DEMs, it is impossible not to mention the technical features of the survey, in particular, its original spatial resolution. Thus, the spatial resolution of shooting of digital elevation models SRTM is 10x20 m, digital elevation model AW3D30 - 5x5 m. Subsequently, when constructing a DEM with a spatial resolution of 1" (about 30 m) and 3" (about 90 m), the initial information was generalized. However, analysis of the global DEM SRTM30 and, especially, DEM AW3D30 shows that the effect of the original spatial resolution on them can be traced.

An attempt to eliminate the irregularity of the digital terrain models AW3D30 and SRTM30 at low slope gradients using the procedure of their sliding averaging in the window 3x3 of the raster cell size did not give a positive result. Although the values of the average soil losses, flow lengths and slope gradients obtained using smoothed DEMs became closer to the corresponding values obtained using the reference DEM, the correspondence of the spatial distributions of erosion dangerous within the test plots as a whole did not significantly improve.

The area average soil erosion losses are of interest from the point of view of the general assessment of the intensity of the erosion situation within the considered territory. The difference between the calculated average values of the soil erosion losses of 20-25% can even be considered acceptable. But for the design of soil protection systems of agriculture is important namely the spatial distribution of soil erosion losses and, accordingly, erosion hazard within the design area. Studies have shown that none of the tested global DEMs provides a sufficiently complete correspondence of the spatial distribution of the calculated soil erosion losses of the distribution obtained

using the reference DEM for all test plots.

The digital relief model, designed for spatially distributed calculations of soil erosion losses, must be hydrologically correct, providing the generation of an adequate map of water flow lines for the study or design area. Unfortunately, today's freely distributed global DEMs do not fully comply with this requirement. In this regard, their use for the design of soil protection systems against erosion, including on the basis of adaptive-landscape farming systems, requires careful preliminary analysis.

Assessment of the impact of the scale of cartographic basis, which is usually used for the territory of agricultural enterprise, is based on comparing the results of calculations of soil erosion losses using an array of digital maps based on digitization of paper maps at a scale of 1: 10000 (topo10) and 1: 25000 (topo25). As a result, it was obtained that when reducing the scale of the cartographic basis from 1: 10000 to 1: 25000, the average over area soil losses decreases by about 20%. This is mainly due to changes in the share of the area with a catastrophic soil erosion loss (>50 t/ha/year), which usually decreases (Fig. 5) and possibly due to changes in the

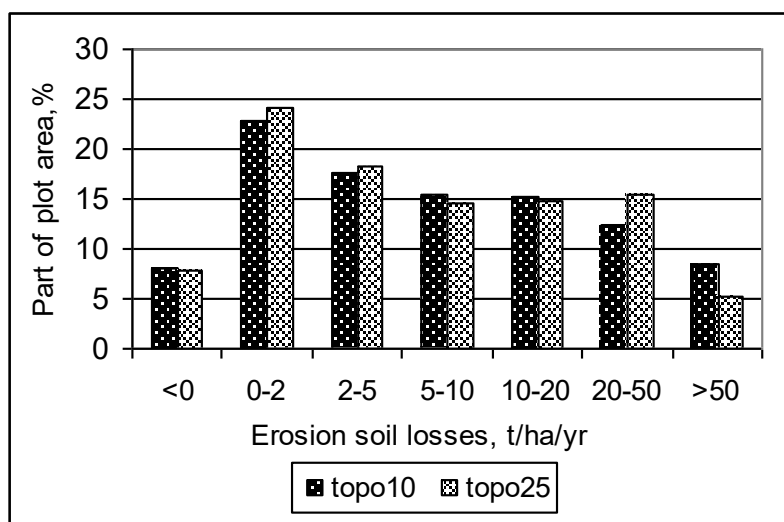


Fig. 5. Distribution of soil erosion losses calculated using cartographic DEMs topo10 and topo25 over the area of plot K1

area of accumulation zones (<0 t/ha/year).

Assessment of impact of the initial data spatial generalization on calculated soil erosion losses is made by application of raster cells sizes 10, 20, 30, 50, 70 and 90 meters. In this case the DEM by raster cell size 10 meters constructed on the basis of the 1:10000 scale paper map is considered like a reference one.

The implemented calculations of soil losses in current land use conditions and soil cover structure make it clear that the results are extremely susceptible to the range of initial data spatial generalization (Table 3). The difference in the area average soil losses can equal almost 70%. In most cases, the

increase of raster cell size demonstrates the decreasing area average soil losses on 1.1 – 67.9 %. But the decrease is not monotonous. For the plots K1 and K3 there are defined local maximum values of average soil losses for raster cell size 30 m, and for the plot K2 – for raster cell size 70 m. Thus, on all three plots the greatest decrease in soil erosion losses takes place at the size of a cell of a raster of 90 m.

The general tendency of decrease in calculated erosion losses of soil with increase in spatial generalization of initial data received in research is quite expected and confirms the results received earlier [8, 23]. But the absence of monotony of those changes is not exactly expected. The used mathematical model

of soil erosion allows to take into account not only the average values of one or another erosion factor, but also their spatial distributions, which can be quite complex. The result is a complex spatial structure of the calculated soil erosion losses. In particular, the

map of soil losses shows the alternation of zones of washout and accumulation, showing "waves" in the distribution of soil erosion losses along the slopes. (Fig. 6).

As the raster cell is enlarged, the longitudinal

Table 3

Soil erosion losses averaged over the area of the test plots, calculated using different raster cell sizes

Test plot	Characteristics	Raster cell size, m					
		10	20	30	50	70	90
K1	Average soil losses, t/ha/year	5.8	4.3	5.8	5.7	4.8	2.7
	Fraction of soil losses in comparison with cell size 10 m, %	100	74.1	100.0	98.3	82.8	46.6
K2	Average soil losses, t/ha/year	27.3	27.0	26.9	26.9	28.1	25.2
	Fraction of soil losses in comparison with cell size 10 m, %	100	98.9	98.5	98.5	102.9	92.3
K3	Average soil losses, t/ha/year	5.3	4.1	4.8	4.2	4.5	1.7
	Fraction of soil losses in comparison with cell size 10 m, %	100	77.4	90.6	79.2	84.9	32.1

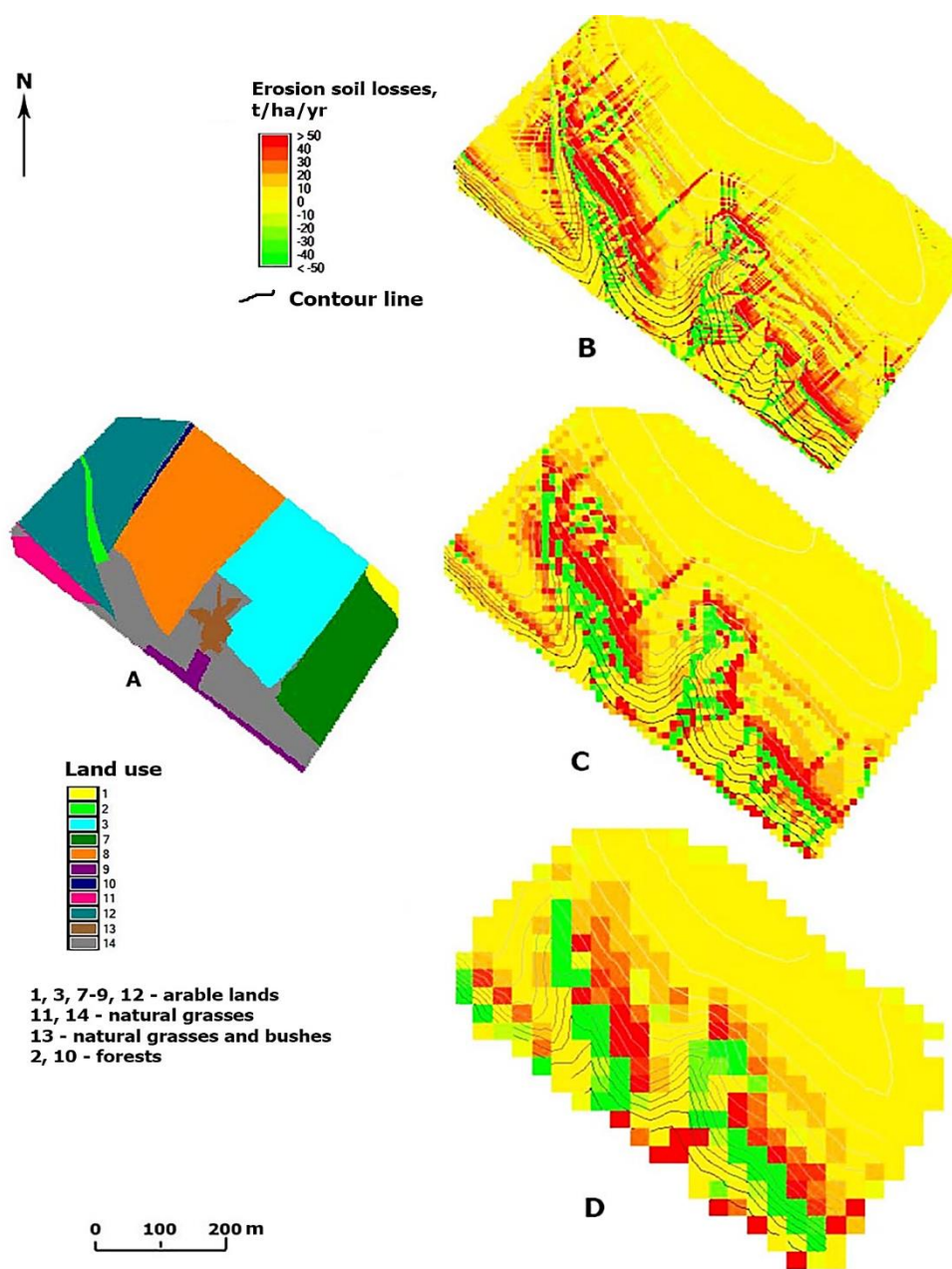


Fig. 6. Land use map (A) and maps of soil erosion losses calculated using raster cell size of 10 m (B), 30 m (C) and 90 m (D) for test plot K1

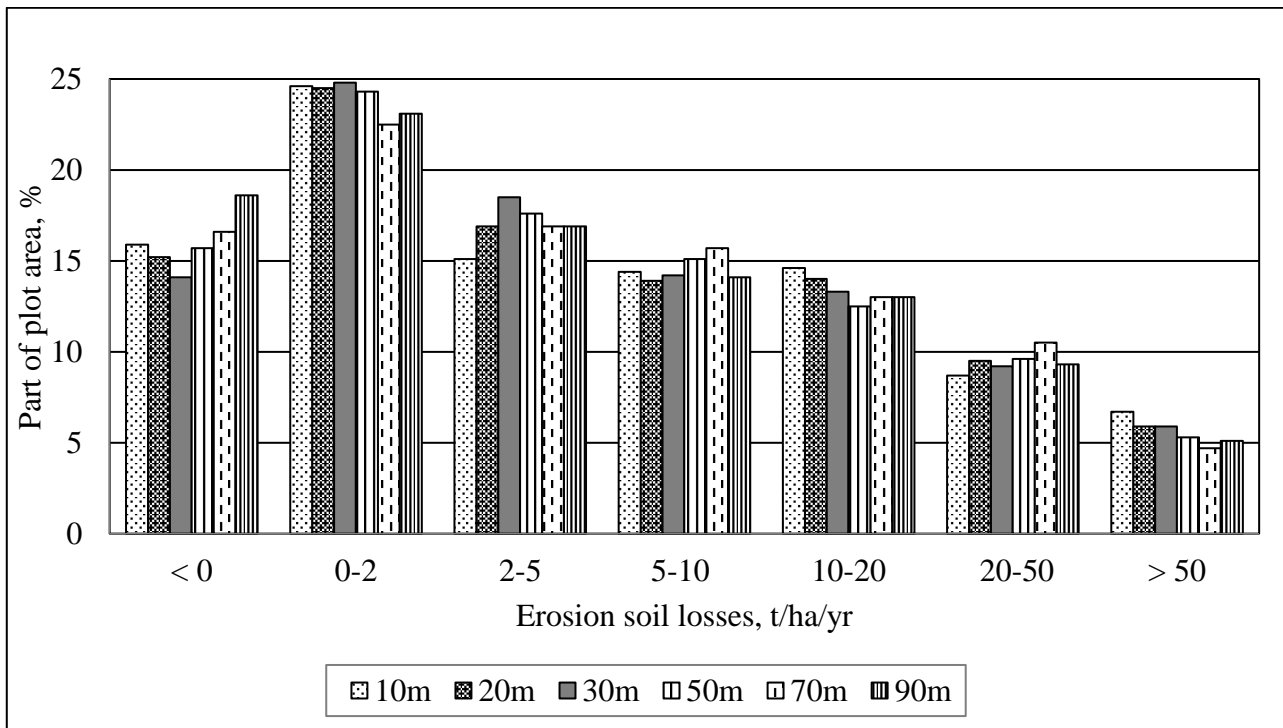


Fig. 7. Spatial distribution of erosion soil losses for the test plot K1

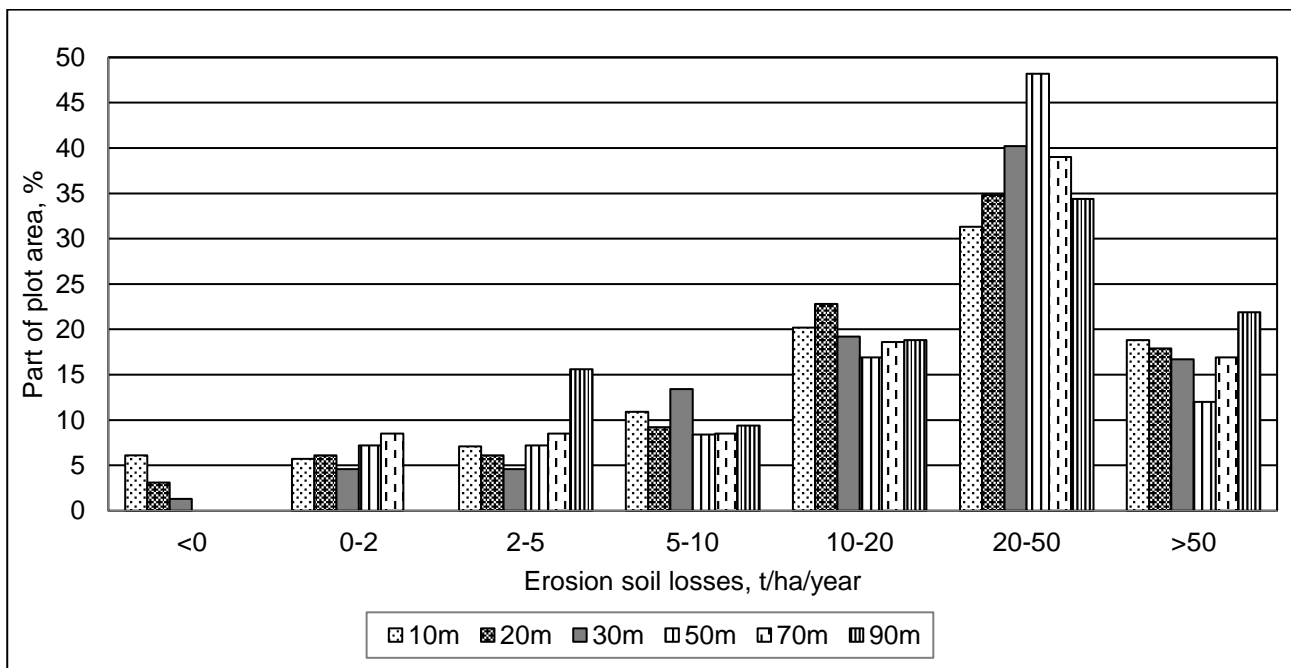


Fig. 8. Spatial distribution of erosion soil losses for the test plot K2

and transverse shape of the slope and the spatial structure of the surface runoff are simplified accordingly. All small relief forms within the slope “disappear”. The "wave-likeness" of changes in soil losses along the slope also disappears. The contribution of the spatial distribution of erosion factors to the amount of soil erosion losses is leveled. As a result, when the raster cell increases, contrary to the general trend average soil losses can suddenly increase locally.

In general, for the test plot K1 the average soil losses which is the nearest to the reference value obtained using raster cell size 30 m. For the test plot K3 such result obtained for the raster cell sizes 30 m and 70 m. For the plot K2, the values of average soil losses are close to each other for all raster cell sizes except 90 m. That is, here, as in other plots, the largest difference in the average soil losses was obtained by using raster cells with a size of 90 m.

It should be noted that using different raster cell

sizes there is also a difference in the distribution of areas with different ranges of soil erosion losses (Fig. 7-9). Interestingly, this distribution is different for different plots. For example, for the plot K1 the most common soil losses from the range of 0-2 t/ha/year – 23-25% of the plot area. A significant area is occupied by accumulation zones – 14-17%. For other ranges of soil losses, the distribution area is reduced from an average of 15% for the range of 2-5 t/ha/year to 5% for the range of >50 t/ha/year.

For the plot K2, the estimated soil losses from the range of 20-50 t/ha/year occupy the largest areas (from 32% using 10 m cell size and to 48% using 50 m cell size). On a significant area soil loss 10-20

and >50 t/ha/year are from 15 to 20% of the plot area. Accumulation zones on the plot using 50 m cell size and more are absent at all.

Another distribution of areas occupied by different ranges of calculated soil erosion losses is observed for the test plot K3. Here, accumulation zones occupy significant area (from 12.2 to 22.5%) when using raster cells of any size. Moreover, this area increases with increasing cell size. The minimum soil losses (0-2 t/ha/year) are spread over 18-23% of the plot area, and the size of the area decreases with increasing cell size. For the remaining ranges of soil erosion losses, the areas of their distribution change in different directions with an increase in the cell size.

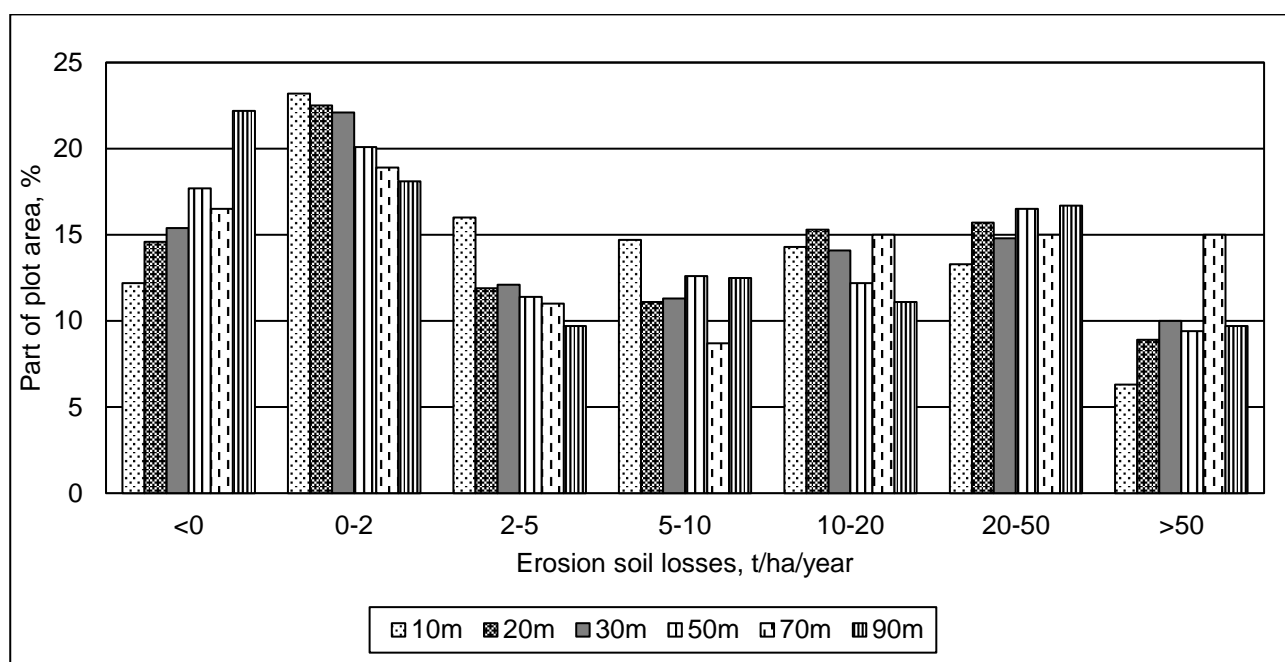


Fig. 9. Spatial distribution of erosion soil losses for the test plot K3

Conclusions. First of all, it is necessary to define that at the moment the global DEM ASTER cannot be recommended to use because of the great number of instrumental errors that have not been removed during post-processing.

Freely distributed global digital elevation models with high spatial resolution SRTM and AW3D30 in the conditions of flat terrain and local level of spatial coverage are not always hydrologically correct, that do not allow to adequately reflect the structure of the surface runoff and soil erosion. The maximum deviation of the average soil erosion losses calculated for three test plots with the area from 0.21 to 2.67 km² from the soil losses calculated using the reference DEM for SRTM30 and AW3D30 was 27%, for SRTM90 – almost 70%. The distribution of soil losses over the area of test plots obtained using these DEMs differs even more. The closest to the reference values of soil losses obtained using the DEM SRTM30.

Using DEM based on large-scale topographic maps, reducing the scale of the original cartographic basis from 1:10000 to 1:25000 reduces the average value of erosion losses of soil by about 20% mainly due to the reduction of the area with maximum soil losses, and on slopes of complex shape also due to changes in the area of accumulation zones.

The degree of spatial generalization of the initial data significantly affects the results of the assessment of soil erosion losses both in relation to the average values and their distribution over the area. For small areas, the use of raster cell larger than 50 m is impractical. Decreasing the raster cells makes it possible to take into account the complex structure of surface runoff more accurately, but the decreasing cannot be infinite. As a compromise, a raster cell size of 30 m can be recommended, which practically coincides with the spatial resolution of the freely distributable global DEMs with a spatial resolution of 1 arc second.

Bibliography

1. Инструкция по определению расчетных гидрологических характеристик при проектировании противоэрозионных мероприятий на Европейской территории СССР [Текст]. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 49 с.
2. Крупеников И. А. Почвенный покров и эрозия [Текст] / И. А. Крупеников // Экологические аспекты защиты почв от эрозии. – Кишинев: Молдагроинформреклама, 1990. – С. 4-16.
3. Ларионов Г. А. Эрозия и дефляция почв : монография [Текст] / Г. А. Ларионов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. – 200 с.
4. Мальцев К. А. Цифровые модели рельефа и их использование в расчётах темпов смыва почв на пахотных землях [Текст] / К. А. Мальцев, В. Н. Голосов, А. М. Гафуров // Учен. зап. Казан. ун-та. Серия естеств. науки. – 2018. – Т. 160, кн. 3. – С. 514–530.
5. Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України [Текст] / Балюк С.А., Медведєв В.В., Тараріко О.Г. [та ін.]. – К.: ТОВ "ВИК ПРИНТ", 2010. – 111 с.
6. Пяткова А. В. Особенности моделирования водной эрозии с учетом пространственной изменчивости ее факторов [Текст] / А. В. Пяткова // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2008. – Вип. 50. – Ч. II. – С. 437-442.
7. П'яткова А. В. Просторове моделювання водної ерозії ґрунту як основа наукового обґрунтування раціонального використання ерозійно-небезпечних земель: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геогр. наук: спец. 11.00.11. Конструктивна географія і раціональне використання природних ресурсів [Текст] / А. В. П'яткова. – Одеса: ФОП Попова Н. М., 2011. – 20 с.
8. П'яткова А. В. Проблеми кількісної оцінки ерозійних втрат ґрунту [Текст] / А. В. П'яткова // Вісник ОНУ. – Серія географічні та геологічні науки. – Серія географічні та геологічні науки. – 2014. – Том. 19. – Вип. 4(23). – С. 28-37.
9. Светличный А. А. Принципы совершенствования эмпирических моделей смыва почвы [Текст] / А. А. Светличный // Почвоведение. – 1999. – № 8. – С. 1015–1023.
10. Світличний О. О. Принципи просторового моделювання гідрометеорологічних умов зливового змиву ґрунту [Текст] / Світличний О. О., Іванова А. В. // Вісник ОНУ. – Серія географічні та геологічні науки. – 2003. – Том 8. – Вип. 5. – С. 77-82
11. Світличний О. О. Про використання вільно поширюваних глобальних цифрових моделей рельєфу високої просторової роздільної здатності для розрахунків водної ерозії ґрунту [Текст] / О. О. Світличний // Вісник ОНУ. – Серія географічні та геологічні науки. – 2020. – Т. 25. – Вип. 2(37). – С. 44-65. – DOI: [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.2\(37\).216561](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.2(37).216561)
12. Светличный А. А. Эрозиоведение: теоретические и прикладные аспекты: монография [Текст] / А. А. Светличный, С. Г. Черный, Г. И. Швец. – Сумы: Университетская книга, 2004. – 410 с.
13. Швец Г. И. Формирование водной эрозии, стока наносов и их оценка : монография [Текст] / Г. И. Швец. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 184 с.
14. Швец Г.И. Теоретические основы эрозиоведения: монография [Текст] / Г. И. Швец. – Киев-Одесса: Вища школа, 1981. – 223 с.
15. ASTER GDEM Validation Team. ASTER Global DEM Validation: Summary Report, METI & NASA [Текст]. – 2009. – 28 p. – Режим доступу: <https://pdfs.semanticscholar.org/5606/ead88307ae1700c3db6744c6be5aedc4935c.pdf?ga=2.258449996.738829358.1594921941-993585188.1594921941>
16. Jeiner Yobany Buitrago E. Digital elevation models (DEM) used to assess soil erosion risks: a case study in Boyaca, Colombia [Текст] / Jeiner Yobany Buitrago E., Luis Joel Martínez M. // Agronomía Colombiana. – 2016. – Vol. 34. – N 2. – P. 239-249. – DOI: <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n2.56145>.
17. Khal M. Evaluation of open Digital Elevation Models: estimation of topographic indices relevant to erosion risk in the Wadi M'Goun watershed, Morocco [Текст] / M. Khal, A. Algouti, A. Algouti, N. Akdim, S. A. Stankevich, M. Menenti // AIMS Geosciences. – 2020. – V. 6(2). – Pp. 231–257. – DOI: <https://doi.org/10.3934/geosci.2020014>
18. Kovalchuk I. P. Assessment of open source digital elevation models (SRTM-30, ASTER, ALOS) for erosion processes modeling [Текст] / I.P. Kovalchuk, K.A. Lukianchuk, V.A. Bogdanets // Journal of Geology, Geography and Geocology. – 2019. – V. 28(1). – Pp. 95-105. – DOI: <https://doi.org/10.15421/111911>
19. Mondal A. Uncertainty analysis of soil erosion modeling using different resolution of open source DEMs [Текст] / A. Mondal, D. Khare, S. Kundu // Geocarto International. – 2017. – V. 32(3). – P. 334-349. – <http://doi.org/10.1080/10106049.2016.1140822>
20. PCRaster: Software for Environmental Modeling, 2018. – Режим доступу: <http://pcraster.geo.uu.nl/downloads/latest-release/>
21. Rabus, B. The Shuttle Radar Topography Mission – A New Class of Digital Elevation Models Acquired by Spaceborne Radar / Rabus, B., Eineder, M., Roth, A. and Bamler, R. // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2003. – V. 57. – Pp. 241-262. – DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0924-2716\(02\)00124-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0924-2716(02)00124-7).
22. Renard K.G. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) / K. G. Renard, G. R. Foster, G. A. Weesies, D. K. McCool, D. C. Yoder // U.S. Dept. of Agriculture, Agric. Handbook. – 1997. – № 703. – 404 p. – Режим доступу: https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/64080530/RUSLE/AH_703.pdf
23. Shan L. Effects of DEM resolutions on LS and hillslope erosion estimation in a burnt landscape [Текст] / L. Shan, X. Yang, Q. Zhu // Soil Research. – 2019. – V.57(7). – Pp. 797-804. – DOI: <http://doi.org/10.1071/SR19043>

24. Svetlitchnyi A. A. Spatially distributed GIS-realized mathematical model of rainstorm erosion losses of soil [Текст] / A. A. Svetlitchnyi, A.V. Piatkova // *Journal of Geology, Geography and Geomorphology*. – 2019. – V.28(3). – Pp. 562-571. – DOI: <https://doi.org/10.15421/111953>
25. Takaku, J. Generation of High Resolution Global DSM from ALOS PRISM [Текст] / J. Takaku, T. Tadono, K. Tsutsui // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, ISPRS*. – 2014. – Vol. XL-4. – Pp.243-248. – DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-4-243-2014>
26. Vijith H. Comparison and Suitability of SRTM and ASTER Digital Elevation Data for Terrain Analysis and Geomorphometric Parameters: Case Study of Sungai PatahSubwatershed (Baram River, Sarawak, Malaysia) [Текст] / H. Vijith, L.W. Seling, D. Dodge-Wan // *EnvironResEngManag*. 2015. – V. 71. – P. 23–35. – Режим доступу: <https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.5755%2Fj01.arem.71.3.12474>
27. Wischmeier, W. H. Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning [Текст] / W. H. Wischmeier, D. D. Smith // *The USDA Agricultural Handbook No. 537*. – Washington: USDA, 1978. – 58 p. – Режим доступу: <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>

Author Contributions: All authors have contributed equally to this work.

References

1. *Instruktsiya po opredeleniyu raschetnykh gidrologicheskikh karakteristik pri proektirovani protivoerozionnykh meropriyatiy na Evropeyskoy territorii SSSR (1979)*. [Instructions for determining the calculated hydrological characteristics for designing anti-erosion measures in the European territory of the USSR], Leningrad: Hydrometeoizdat, 58 [in Russian].
2. Krupenikov I. A. (1990). *Pochvennyiy pokrov i eroziya. Ekologicheskie aspekty zaschityi pochv ot erozii* [Soil covering and erosion. Ecological aspects of soil erosion protection. Environmental aspects of soil erosion protection], Chishinau, Moldagroinformreklama, 4-16 [in Russian].
3. Larionov H. A. (1993). *Eroziya i deflyatsiya pochv*. [Soil erosion and deflation], Moscow, Moscow University publishing house, 200 [in Russian].
4. Maltsev K. A., Golosov V. N., Gafurov A. M. (2018). *Tsifrovyye modeli relefa i ih ispolzovanie v raschyotah tempov smyiva pochv na pahotnykh zemlyakh* [Digital elevation models and their use in calculating the rate of soil washout on arable land] *Scient. Not, Kazan. un-t. Ser. Natural Science*, 160, 3, 514–530.
5. Balyuk S. A., Medvedev V. V., Tarariko O. G. etc. (2010), *Natsionalna dopovid pro stan rodiuchosti gruntiv Ukrainy* [National report about soil fertility state in Ukraine] Kyiv, RPO "VYK PRYNT", 111 [in Ukrainian].
6. Pyatkova, A. V. (2008). *Osobennosti modelirovaniya vodnoy erozii s uchetom prostranstvennoy izmenchivosti ee faktorov* [Features of soil water erosion modeling taking into account spatial changeability of its factors] *Odesa National University Herald, Series geographical and geological sciences*, 13, 6, 156-163 [in Russian].
7. Pyatkova, A.V. (2011). *Prostorove modeliuвання водної ерозії ґрунту yak osnova naukovoho obgruntuvannya ratsionalnoho vykorystannya eroziino-nebezpechnykh zemel* [The Spatial Modelling of Water Soil Erosion as the Basis of Scientific Justification of the Rational Use of Erosion Dangerous Lands] *Extended abstract of candidate's thesis, Odesa: PPO Popova N.M.*, 20 [in Ukrainian].
8. Piatkova, A. V. (2014). *Problemy kilkisnoi otsinky eroziynykh vtrat ґрунту* [Problems of the assessment of the erosion soil loses] *Odesa National University Herald, Series Geography and Geology*, 19, 4 (23), 28-37 [in Ukrainian].
9. Svetlitchnyi, A. A. (1999). *Printsipyi sovershenstvovaniya empiricheskikh modeley smyiva pochvyi* [Principles of improving empirical soil loss models] *Pochvovedenie*, 8, 1015-1023 [in Russian].
10. Svitlychnyi O. O., Ivanova A. V. (2003). *Pryntsypy prostorovoho modeliuвання hidrometeorologichnykh umov zlyvovoho zmyvu ґрунту* [Principles of spatial modelling of hydrometeorological conditions of soil storm wash off] *Odesa National University Herald. Series geographical and geological sciences*, 8, 77-82 [in Ukrainian].
11. Svetlitchnyi A. A. (2020). *Pro vykorystannya vilno poshyriuvanykh hlobalnykh tsyfrovyykh modelei reliefu vysokoi prostorovoi rozdilnoi zdatnosti dlia rozrakhunkiv vodnoi erozii hruntu* [On the use of freely distributed global digital elevation models of the high spatial resolution for calculations of water erosion of soil], *Odesa National University Herald. Series geographical and geological sciences*, 25, 2(37), 44-65 [in Ukrainian].
12. Svetlitchnyi, A. A., Cherny, S. G., Shvebs, H. I., (2004). *Eroziovedenie: teoreticheskie i prikladnyie aspekty* [Soil erosion science: theoretical and applied aspects], Sumy: VTD "University Book", 410 [in Russian].
13. Shvebs, H. I. (1974). *Formirovanie vodnoy erozii, stoka nanosov i ih otsenka* [Formation of water erosion, sediment yield and their evaluation], Leningrad: Hydrometeoizdat, 184 [in Russian].
14. Shvebs, H. I. (1981). *Teoreticheskie osnovy eroziovedeniya* [The theoretical foundations of soil erosion science], Kiev-Odesa: Vyshcha shkola, 223 [in Russian].
15. *ASTER GDEM Validation Team (2009). ASTER Global DEM Validation: Summary Report, METI & NASA*. 28. Available at: https://pdfs.semanticscholar.org/5606/ead88307ae1700c3db6744c6be5aedc4935c.pdf?_ga=2.258449996.738829358.1594921941-993585188.1594921941

16. Jeiner Yobany Buitrago E., Luis Joel Martinez M. (2016). Digital elevation models (DEM) used to assess soil erosion risks: a case study in Boyaca, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 34, 2, 239-249. <https://doi.org/10.15446/agron.lomb.v34n2.56145>.
17. Khal M., Algouti A., Algouti A., Akdim N., Stankevich S.A., Menenti M. (2020). Evaluation of open Digital Elevation Models: estimation of topographic indices relevant to erosion risk in the Wadi M'Goun watershed, Morocco. *AIMS Geosciences*, 6(2), 231–257. <https://doi.org/10.3934/geosci.2020014>
18. Kovalchuk I. P., Lukianchuk K. A., Bogdanets V. A. (2019). Assessment of open source digital elevation models (SRTM-30, ASTER, ALOS) for erosion processes modeling. *Journ.Geol.Geograph. Geoecology*, 28(1), 95-105. <https://doi.org/10.15421/111911>
19. Mondal A., Khare D., Kundu S. (2016). Uncertainty analysis of soil erosion modeling using different resolution of open source DEMs. *Geocarto International*, 32(3), 334-349. <http://dx.doi.org/10.1080/10106049.2016.1140822>
20. PCRaster: Software for Environmental Modeling (2018). Available at: <http://pcraster.geo.uu.nl/downloads/latest-release/>
21. Rabus, B., Eineder, M., Roth, A. and Bamler, R. (2003). The Shuttle Radar Topography Mission – A New Class of Digital Elevation Models Acquired by Spaceborne Radar. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 57, 241-262. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0924-2716\(02\)00124-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0924-2716(02)00124-7).
22. Renard K.G, Foster G.R, Weesies G.A, McCool D.K, Yoder D.C (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Dept. of Agriculture, Agric. Handbook 703, 404 Available at: https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/64080530/RUSLE/AH_703.pdf.
23. Shan L., Yang X., Zhu Q. (2019). Effects of DEM resolutions on LS and hillslope erosion estimation in a burnt landscape. *Soil Research*, 57(7), 797-804. DOI: <http://dx.doi.org/10.1071/SR19043>
24. Svetlitchnyi A.A., Piatkova A.V. (2019). Spatially distributed gis-realized mathematical model of rainstorm erosion losses of soil. *Journal of Geology, Geography and Geomorphology*, 28(3), 562-571. DOI: <https://doi.org/10.15421/111953>
25. Takaku, J., Tadono, T., Tsutsui, K. (2014). Generation of High Resolution Global DSM from ALOS PRISM. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, ISPRS, XL-4*, 243-248. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-4-243-2014>
26. Vijith H, Seling L.W., Dodge-Wan D (2015). Comparison and Suitability of SRTM and ASTER Digital Elevation Data for Terrain Analysis and Geomorphometric Parameters: Case Study of Sungai PatahSubwatershed (Baram River, Sarawak, Malaysia). *Environ Res Eng Manag*, 71, 23–35. Available at: <https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.5755%2Fj01.arem.71.3.12474>
27. Wischmeier, W. H.; Smith D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses; a guide to consevation planning. *The USDA Agricultural Handbook*, 537, Washington DC, 58. Available at: <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>

Проблеми просторово-розподіленої кількісної оцінки ерозійних втрат ґрунту

Олександр Олексійович Світличний¹,

д. геогр. н., професор, ¹Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,
Шампанський пров., 2, м. Одеса, 65058, Україна;

Алла Вікторівна П'яткова¹,

к. геогр. н., доцент

Розглянуто проблеми просторово-розподіленої оцінки ерозійних втрат ґрунту з використанням сучасних математичних моделей як основи оптимізації раціонального використання ерозійно-небезпечних земель. Метою статті є оцінка адекватності наявних просторово-розподілених вихідних даних, включаючи картографічні і вільно поширювані глобальні цифрові моделі рельєфу (ЦМР), для просторово-розподіленої кількісної оцінки ерозійних втрат ґрунту на локальному рівні територіального охоплення. Досягнення поставленої мети виконано методом імітаційного моделювання з використанням фізико-статистичної ГІС-реалізованої математичної моделі змиву-аккумуляції ґрунту, розробленої в Одеському національному університеті імені І. І. Мечникова. Тестувалися масиви просторово-розподілених вихідних даних з ЦМР SRTM90 з просторовою роздільною здатністю 3 кутові секунди і з ЦМР SRTM30 і AW3D30 з просторовою роздільною здатністю 1 кутова секунда, а також з «картографічними» ЦМР, отриманими на основі топографічних карт масштабів 1:10000 і 1:25000. Для тестування вихідних даних обрано три ділянки площею 2,67, 0,59 і 0,21 км². Ділянки розташовані в Балтському районі Одеської області на південних відрогів Подільської височини. Встановлено, що вільно поширювані глобальні цифрові моделі рельєфу SRTM і AW3D30 в умовах рівнинного рельєфу далеко не завжди дають можливість адекватно відобразити структуру схилового стоку і, відповідно, коректно виконати розрахунки ерозійних втрат ґрунту. При використанні

ЦМР, побудованих на основі топографічних карт, зменшення масштабу карт з 1:10000 до 1:25000 призводить до зменшення середньої величини ерозійних втрат ґрунту приблизно на 20% за рахунок, головним чином, зменшення площі з максимальними втратами ґрунту, а на схилах складної форми – також за рахунок змін площі зон акумуляції. Вказано причини і умови порушення коректності глобальних ЦМР. Встановлено, що на глобальній ЦМР AW3D30 зустрічаються локальні інструментальні похибки, які можуть зробити неможливим її використання. Показано, що найбільш наближені розрахункові значення ерозійних втрат ґрунту до референційних продуктів ЦМР SRTM30.

Ключові слова: *ерозія ґрунту, просторово розподілена оцінка, глобальні цифрові моделі рельєфу, оцінка адекватності.*

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 20 квітня 2021 р.

Прийнята 19 січня 2022 р.

ЕКОЛОГІЯ

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-14>

UDC 911.53:556.53

Received 23 November 2021

Accepted 17 January 2022

Trubizh water management paradynamic landscape-technical system

*Hryhoriy I. Denysyk*¹,

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

¹Vinnitsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University,

32 Ostrozkyi St., Vinnitsia, 21000, Ukraine,

e-mail: grygden@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0002-0941-9217>;

*Sofiia K. Mizina*¹,

PhD student,

e-mail: sofiyamizina21@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-3108-8554>

ABSTRACT

Formulation of the problem. The incorporation of any reclamation system into the existing landscape complexes leads to increased contrast of environments and activation of material-energy-information flows. The construction of the reclamation system in the basin of the Trubizh River radically changed the landscape structure of the riverbed and floodplain, which led to a significant impact on the adjacent landscape complexes. Trubizh water management landscape-technical system goes beyond one river valley, so ill-considered economic activity can lead to deterioration of the ecological condition of adjacent landscape complexes. The study of anthropogenic paradynamic connections between different landscape structures will provide a better understanding of the functioning of the Trubizh water management landscape-technical system and the peculiarities of interaction with adjacent landscapes, which, in turn, will predict its further development and develop ways of rational use.

Purpose. The purpose of the article is to study the Trubizh water management landscape-technical system as an anthropogenic paradynamic system.

Methods. The process of transformation of natural paradynamic connections into anthropogenic and formation of anthropogenic paradynamic landscape complexes with the help of databases of GIS packages SAS.Planet.Release and GoogleEarthPro is analyzed. The research was conducted using the following methods: system analysis, generalization, comparative-geographical, final results, cartographic, GIS-method. To analyze anthropogenic paradynamic landscape complexes and anthropogenic paradynamic connections between them, GIS packages were used, with the help of databases the process of restructuring of natural paradynamic connections into anthropogenic and formation of anthropogenic paradynamic landscape complexes was analyzed.

Results. Because the Trubizh water management landscape-technical system extends beyond one river valley (covering floodplain, floodplain terrace and slope types of areas), it unites the entire river basin into a single whole with the help of anthropogenic paradynamic connections. This poses a threat to the environment, as ill-considered economic activities can lead to the deterioration of the ecological condition of landscape complexes both within one basin and have a negative impact on adjacent basins.

Factors in the functioning of paradynamic connections are due to the presence of external and internal links, contrast and spatial dependence between the interacting landscapes complexes. External anthropogenic paradynamic connections include: *thermal* – the effect of solar radiation on the landscape; *mechanical* – gravitational influence of watersheds on the low-lying channel-floodplain complex; *aquatic* – the influence of surface and groundwater on the supply of rivers and the chemical composition of water; *social* – the impact of economic activity. The internal anthropogenic paradynamic connections include: *biocosmic* (interaction between living and nonliving matter) and *biotic* (biocenosis interaction between components).

Scientific novelty. The study of paradynamic connections in this complex natural economic structure will provide a better understanding of the features of its functioning and decline, to develop ways of rational use and predict its further development.

Keywords: *Trubizh water management landscape-technical system, paradynamic system, paradynamic connections, spatial dependence, contrast, external and internal connections, rational nature management.*

In cites: Denysyk H. I., Mizina S. K. (2022). Trubizh water management paradynamic landscape-technical system. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (56), 198-208. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-14>

Formulation of the problem. Landscape dynamics is not a new problem. Geographers and landscape scientists have been working on it for almost a century. Already at the beginning of the 20th, the landscape was often considered a dynamic formation [10, 24, 30, 33]. L. S. Berg noted: «Due to the fact that landscapes are not something immutable over time, the geographer must keep in mind not only the statics, but also the dynamics of landscapes, that is, to study

their change» [7]. However, for a long time the interest in understanding the dynamics of landscapes was low, and only from the early 70s of the 20th, the problem of the dynamics of landscape complexes became almost central in landscape research. The VII All-Union Conference on Landscape Studies, held in Perm (Russia) in 1974, was entirely devoted to theoretical, methodological and practical aspects of landscape dynamics. At the same time, despite the significant

number of publications on landscape dynamics, a number of problems have not been solved, including an unambiguous understanding of the concept of «landscape dynamics». This can be verified by analyzing the concept of landscape dynamics in the most authoritative geographical sources of the late 20th – dictionaries and encyclopedias [35, С. 117; 28, С. 69]. In the Geographical Encyclopedia of Ukraine [9] the dynamics of the landscape is not mentioned at all. At the end of the 20th O. M. Marynych, defining the main tasks and prospects for the development of physical geography, noted that «the study of theoretical problems, methodological and practical issues of landscape dynamics requires accelerated development» [22, С. 47].

However, even at the beginning of the 21st, this problem was not properly reflected in the research of landscape scientists in Ukraine. There are especially few researches devoted to the dynamics of anthropogenic landscapes, although they have intensified over the past decade [12, 14, 15, 20, 21, 36, 37]. Experience shows that the dynamics of anthropogenic landscapes should be studied in three closely interrelated aspects: retrodynamic analysis, the internal dynamics of the landscape complex and its paradyamic connections with the environment [12]. Each of them needs separate consideration. This study focuses on the paradyamic connections between different types of anthropogenic landscape complexes as the least studied in modern landscape science. Model structure «Trubizh water management landscape-technical system – adjacent Forest-Field». The study of paradyamic connections in this complex natural economic structure will provide a better understanding of the features of its functioning and decline, to develop ways of rational use and predict its further development.

Analysis of recent research and publications. Selection of previously unsolved parts of the overall problem. An analytical review of the publications of foreign scientists shows that most of them are devoted to the study of hydrological objects as dynamic systems [1, 5]. Almo Farina [3] considers the landscape as a powerful model for studying the dynamics of landforms, organisms and human activities (land use) and notes that «landscape dynamics» refers to every change that occurs in the physical, biological and cognitive assets of the landscape. Jacques Baudry [2] points out that the landscape does not remain static in space and time and its scales change from a month to millennia and emphasized the importance of the acquired knowledge about changes in the landscape, which, first of all, is necessary for understanding and managing the environment. The issue of the perspective of river management in the Anthropocene era is studied by J. Horacio García, Alfredo Ollero, Askoa Ibisate, Ian C. Fuller, Russell G. Death, Hervé

Piégayf [4]. Scientists consider rivers as natural and dynamic systems and emphasize an integrated approach to the creation of a new river landscape, which they propose for the Anthropocene era. An integrated approach should be based on the use of discussions between an interconnected network of actors, regulators, scientists and natural and cultural values. The collective research of Polish scientists [6] deserves attention, where in separate (5, 6 and 7) chapters the current state and paradyamic connections of the Polish and Opil landscape complexes of the western part of Poland, which are similar to the landscape complexes of the Forest-Steppe Poles in a number of features, are considered of Ukraine. However, anthropogenic factors in the formation of paradyamic interconnected have been considered only partially.

The idea of the existence of integral paradyamic landscape complexes in nature at the same time as the development of the concept of «catena» by A. Koneicher was developed in the works of F. M. Milkov [23, 25]. According to his definition, a paradyamic landscape complex is a system of spatially contiguous regional or typological structures characterized by the presence of an exchange of matter and energy between them [24]. Later, F. M. Milkov and his students substantiated that paradyamic landscape systems are formed as a result of the joint manifestation of the main directions of the physical-geographical process – zonal, azonal, vertical and economic activity of people [13]. At the end of the 20th anthropogenic paradyamic landscape complexes in Ukraine began to be investigated by G. I. Denisyk, A. V. Gudzevich – between mining and adjacent landscapes [11, 16, 18], water management paradyamic landscape systems of the Right Bank of Ukraine – G. I. Shwebs [34], G. I. Denisyk [14], Yu. V. Yacentyuk [36]; on the example of an individual paradyamic landscape system «Dniester Reservoir – Adjacent Landscapes» – M. V. Dudchak [19]. Valley-river paradyamic systems of the Southern Bug, and then of the rivers of the Right Bank of Ukraine, were studied by O. D. Lavryk [14, 20, 21]. The original searches of the Azov anthropogenic paradyamic system within Ukraine were carried out by V. P. Vorovka [8]. There are still few studies of paradyamic connections between the reclamation systems of the Forest Steppe (Lysopol) and the adjacent landscapes [33].

The purpose of the article is to investigate the Trubizh water management landscape-technical system as an anthropogenic paradyamic system.

Materials and methods of research. In the process of research of the Trubizh paradyamic water management landscape-technical system, the following methods were used: system analysis (establishment of paradyamic anthropogenic connections between paradyamic anthropogenic landscape comp-

lexes); generalization (based on the received data on paradyamic anthropogenic landscape complexes the conclusion on paradyamic anthropogenic landscape system in general is made); comparative-geographical (analysis of spatial and temporal differences between natural and anthropogenic paradyamic connections in the study area); final results (establishment of features of formation of paradyamic anthropogenic landscape system and paradyamic anthropogenic connections between its paradyamic anthropogenic landscape complexes on the basis of available results only); cartographic (information processing and map construction) and GIS-method (analysis of changes in natural landscape complexes and their transformation into anthropogenic and, accordingly, transformations of paradyamic connections).

The materials used in the article were obtained in the process of analyzing archival and cartographic materials and own field research. This made it possible to draw up a preliminary, overview version of the maps for further detailed field research. With the help of the GIS packages SAS.Planet.Release and GoogleEarthPro, the existing cartographic material was clarified and the routes of field investigations and field research areas of paradyamic connections between different types of landscape complexes, both within the Trubizh water management landscape and technical system, and its adjacent ones were determined forest field landscape complexes. In the future, the materials of the 2016, 2018, 2020 field studies on the development of paradyamic connections were monitored monthly at a specified time using the specified GIS packages. Recorded changes, both in the landscape complexes of natural areas, and in the relationships between them, were verified in the process of field landscape studies. More often and more clearly, such paradyamic relationships were manifested as a result of changes in microclimatic indicators, the state and nature of the use of soil and vegetation cover, as well as the functioning of reclamation hydrotechnical structures.

Presentation of the main research material.

Any reclamation systems are not built in an isolated space, but fit into a complex mosaic of existing landscapes. At the same time, they are not only neighbors with fields, pastures or oak groves on the slope, but are in close cooperation with them. The very appearance of the reclamation system in the relatively balanced structure of the existing landscapes is accompanied by an increase in the contrast of the environment and the intensification of the exchange of matter and energy between them. Active and complex paradyamic systems are formed, the peculiarities of development and dynamics of which are determined both by the dynamics of the reclamation systems themselves and by the peculiarities of the dynamics

of previous and adjacent landscapes. The paradyamic connections of the reclamation systems of swampy river headwaters differ significantly from those in the lower reaches of rivers formed within wide wetlands and swamps or on terraces. The Trubizh water management drainage-humidification landscape-technical system is no exception.

Trubizh water management system (TVMS) is a reclamation system of bilateral action within Kyiv and Chernihiv regions (Fig. 1). It was built during 1954–1966. The area of reclaimed lands is 37,6 thousand hectares (one of the largest in the Forest-Field zone of Ukraine), in particular in the floodplain of Trubizh – 28,3 thousand hectares, Nedra – 4,2 thousand hectares, Karan – 5,1 thousand hectares. Drainage and humidification is carried out by means of open canals with a total length of 1238 km and closed drainage with an area of 12,5 thousand hectares. It is raining on an area of 732 hectares. The system has 1125 different hydraulic structures, including 827 control locks, of which 19 are on the main canal (length 216 km) [26].

At the beginning of the third decade of the 21st, the Trubizh water management drainage-humidification landscape-technical system was desolate. Only some of its components are supported in the «working condition» – small (0,5–1,5 km) sections of canals and underground drainage systems (up to 300–420 ha), which prevent waterlogging of reclaimed areas, dams and pumping stations. Landscape research conducted during 2018–2021 allow us to conclude that the paradyamic connections between the Trubizh reclamation landscape-technical system and the adjacent landscape complexes (natural, natural-anthropogenic and anthropogenic) will continue in one way or another.

The factors of functioning of paradyamic interrelations are caused by natural features of development of interacting landscape complexes.

Spatial dependence. Trubizh water management drainage-humidification landscape-technical system is built within Trubizh Polissya. This Polissya is a component of the Forest-Steppe (Forest-Field) Polissya strip, which forms a trinity (Opille-Polissya Ribbon, Main Landscape Frontier, Forest-Steppe Polissya Ribbon) structure of the Middle Landscape Belt of the Eastern European Plain [17]. The presence of mixed-forest landscape complexes in the structure of forest-steppe ones, already at the stage of their natural development, led to the intensification of paradyamic connections between them. Each of these landscape complexes differs in a unique and complex structure and a variety of geocomponents forming them [13]. Gradually, longitudinal and transverse paradyamic connections developed between them, most clearly expressed in the systems «river valley – adjacent territories», in particular between the Polis-

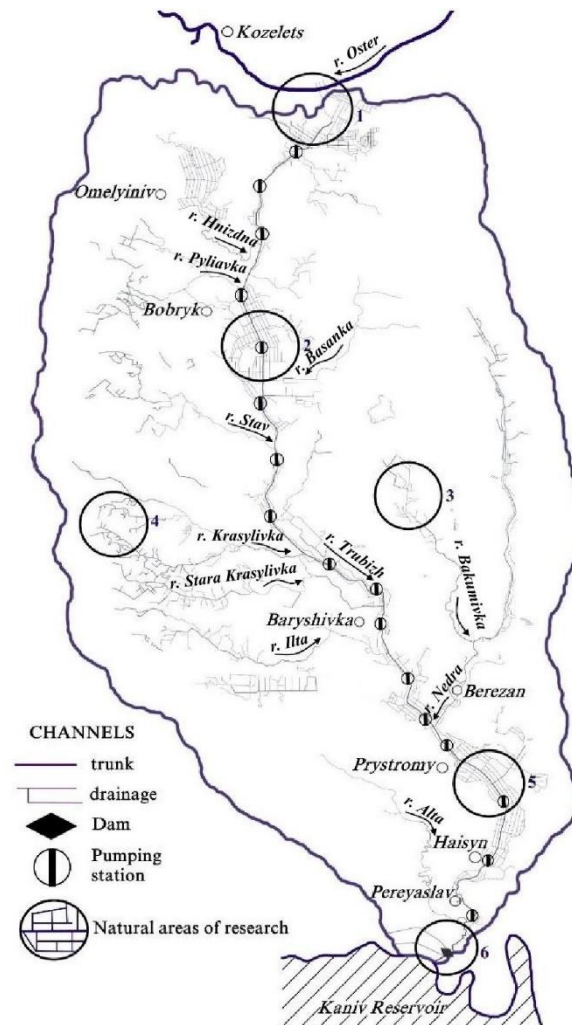


Fig. 1. Scheme of Trubizh drainage-humidification landscape-technical system

sya landscape of the lower part of the Trubizh river valley and the adjacent Forest-Steppe.

Contrast. The natural contrast between Trubizh Polissya and the adjacent Forest-Steppe is primarily due to the affiliation of the contacting landscape complexes to different orographic structures. Heights (Poltava Upland) and plain (Dnieper Lowland) landscape complexes, rising above the lowland forests of the Dnieper, including Trubizh, together form a single landscape paradynamic system of orographic type [27]. The difference in the height levels of the paradynamic system «Trubizh Polissya – adjacent Forest-Steppe» is due to neotectonic and modern vertical movements of the earth's crust with the simultaneous deepening of river valleys. The undulating watersheds of the plains and heights of the Left Bank Dnieper are located in areas where the intensity of modern tectonic movements is up to $\pm 3\text{--}5$ mm/year, most often $-\pm 1\text{--}2$ mm/year [31].

The active process of continental denudation also contributed to the contrast and, accordingly, to the formation of the paradynamic system «Trubizh Polissya – adjacent Forest-Steppe». Eluvium was formed on the heights, in the adjacent river and ancient valleys of glacial runoff (Middle Dnieper) – the

accumulation of deluvial-alluvial deposits. That is, the different altitude level of Trubizh Polissya and the adjacent heights (30–80 m), due to which the paradynamic system was formed, is a consequence of the newest and modern tectonic-geomorphological processes (Fig. 2).

In this system, at insignificant (5–7 km) distances, there is also a change in high-altitude watershed landscape complexes with fertile dark-colored soils of the Forest-Steppe, lowland swampy landscapes of Trubizh Polissya with relatively poor humus light gray, sod-podzolic and peat-swamp soils. In the paradynamic landscape system «Trubizh Polissya – adjacent Forest-Steppe» contrasting (1–2°C) were microclimatic conditions, water regime, flora and fauna [29].

External and internal connections. The interaction of the lowland landscape of Trubizh Polissya with the adjacent landscape of the Forest-Steppe is carried out through internal and external connections. It is caused by influence of various natural factors (fig. 3). In particular, the impact of solar energy on the landscape of Trubizh Polissya and adjacent areas of the Forest-Steppe is mostly manifested in their temperature regime. Analysis of climatic directories

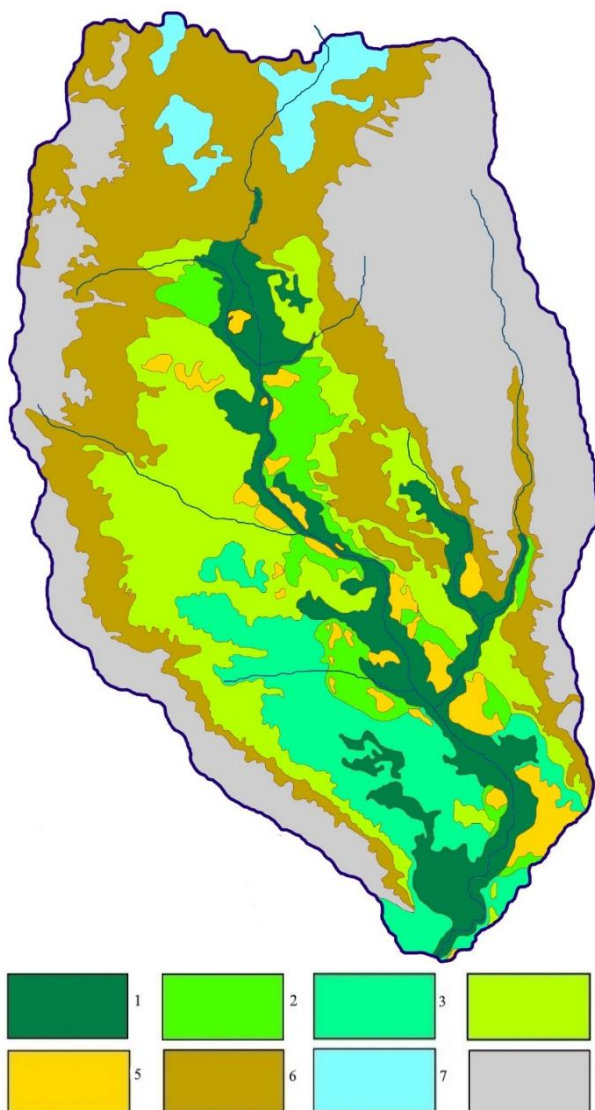


Fig. 2. Geomorphological structure of the territory of the Trubizh river basin:
 1 – floodplain (90–100 m); 2 – high floodplain (95–105 m); 3 – low floodplain terrace (buried) (100–105 m);
 4 – high floodplain terrace (buried) (100–110 m); 5 – pine terrace (110–115 m);
 6 – slopes; 7 – passage valley; 8 – plakor

and materials of regional (meteorological station of the Central Geophysical Observatory in Boryspil and United Hydrometeorological Station in Baryshivka) meteorological stations shows that the adjacent plains and heights receive more heat than lowland fields. During the warm period, the difference in the sum of temperatures of these areas reaches 35-50°C. Within Trubizh Polissya, frosts are more frequent (12–14%) and their duration is longer in spring and autumn. Compared to the adjacent Forest-Steppe, the humidity is higher here (more by 10–20 days with a relative humidity of 80%) and fogs are formed more often.

Anthropogenic factors in the functioning of paradyamic landscape connections. Since the 1960s, the exchange of matter, energy, and information in the paradyamic system «Trubizh Polissya – adjacent Forest-Steppe» has been under the ever-increasing influence of anthropogenic factors. Based

on Trubizh Polissya, the Trubizh drainage-humidification system was gradually built up, the main parameters of which were mentioned earlier. Between it and the adjacent Forest-Field, new and previously acquired connections are being formed. The informativeness of natural geocomponents and landscape complexes decreases significantly. These losses are offset by the growth of information due to technogenesis. In general, the state of the landscape of the adjacent Forest-Steppe and the landscape of Trubizh Polissya is changing. A new anthropogenic paradyamic mesosystem «Trubizh water management landscape-technical system – adjacent Forest-Field» is being formed. External mechanical connections are most active in this system.

Mechanical anthropogenic paradyamic connections are manifested due to changes in the landscape structure of watersheds, terraces, floodplains

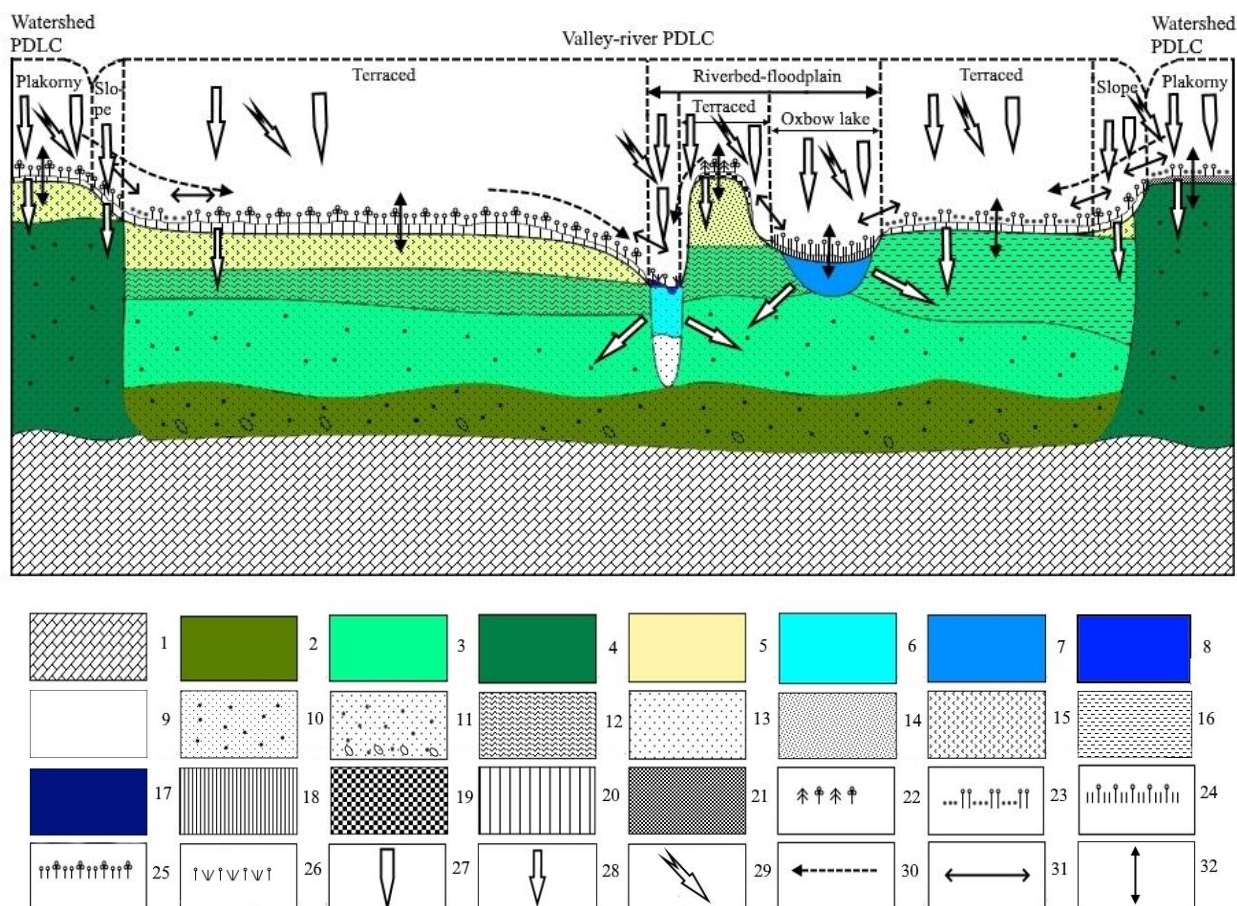


Fig. 3. Paradynamic anthropogenic landscape system

«Trubizh water management landscape-technical system – adjacent Forest-Field».

Landscape profile: 1 – pre-Quaternary formations (siltstones, clays, sands); 2 – modern alluvial deposits (Trubizh degree); 3 – modern alluvial deposits (Vilshan degree); 4 – modern alluvial deposits (Cherkasy degree); 5 – eluvial and aeolian-deluvial deposits; 6 – alluvial-swamp sediments of floodplains; 7 – lake-swamp deposits; 8 – surface waters (riverbed); 9 – alluvial deposits of floodplains; 10 – multi-grained sands; 11 – multi-grained sands with pebbles; 12 – clay sands; 13 – fine-grained sands; 14 – sands, sandy loams; 15 – light loess woody; 16 – loam; 17 – peat-swamp soils and peatlands; 18 – meadow-chnozem surface-saline light loam soils in combination with meadow-swamp and meadow-saline; 19 – sod-slightly podzolic sandy and clay-sandy soils; 20 – light gray, gray and dark gray podzolic light loam and sandy soils; 21 – chernozems typical low-humus and low-humus light loam; 22 – oak-pine (eagle, herbaceous) and pine forests; 23 – meadow steppes and steppe meadows and agrocenoses in their place; 24 – saline and brackish meadows in combination with agrocenoses in their place; 25 – agrocenoses mainly in place of beech, oak, oak-hornbeam forests; 26 – agrocenoses on the site of drained grass bogs and swampy meadows.

Paradynamic connections. *External:* 27 – social; 28 – aquatic; 29 – thermal; 30 – mechanical.

Internal: 31 – biotic; 32 – biocosmic

and riverbed. Increase of anthropogenically caused erosion processes is observed everywhere, despite insignificant relative heights within the river valley of Trubizh (watershed PDLC – 140–120 m asl and channel-floodplain PDLC – 110–90 m asl). In the Trubizh basin, the intensity of planar runoff on plowed slopes averages 17,5 t/ha per year. The development of linear erosion processes is due to the nature, mainly, of agricultural and reclamation activities. In the coastal strip of the river Trubizh it is widespread stormwater erosion, due to the destruction of soils due to erosion of shores and coastal slopes by wastewater flows,

which did not have time to seep into the soil due to lack of grassy vegetation (plowing, trampling by cattle, recreational regression, etc.). All these erosion processes contribute to siltation and lowering of the water level in the Trubizh riverbed.

Aquatic anthropogenic paradynamic connections are formed in the conditions of over-regulation of the riverbed, its transformation into a main canal and the construction of a reclamation network that extends beyond the floodplain and terrace types of terrain. Due to the stabilization of the water regime in the canals and the lowering of the groundwater level,

there is a decrease in the substance-energy exchange between the floodplain and adjacent landscape complexes. Aquatic anthropogenic paradynamic connections are also manifested during the transfer of water from the Oster basin paradynamic landscape complex to Trubizh, which is caused by the latter's water deficit.

Because of the construction of the Trubizh water management landscape-technical system around the drainage canals, a hydrogeological field was formed, which manifests itself as a drainage zone. The larger the area of the landscape-technical system, the more blurred the boundaries of the paradynamic anthropogenic landscape system. The manifestation of the hydrogeological field is traced in the direction from the «central place» to the peripheral landscape complexes and gradually at a distance of 1–3 km reaches zero, which is the limit of Trubizh paradynamic water management landscape-technical system [37].

The formation of *thermal* anthropogenic paradynamic connections is due to the difference in average air temperature between plowed watersheds and reclaimed floodplains. The average temperature in July on the watersheds is 20°C, and on the floodplain – 18°C. The pattern of distribution of the average January temperature is followed in the same direction and is -5°C and -7°C, respectively. Peat-swamp soils, even plowed, need more heat to warm up, so the number of days with frost on these soils is 2–2,5 times more than on mineral watersheds. The duration of the frost-free period near the riverbed and floodplain is much shorter (156–160 days) than on the slopes (170–175 days).

The functioning of the landscape paradynamic mesosystem «Trubizh water management landscape-technical system – adjacent Forest-Field» is not only under the influence of external natural and social connections. Internal connections are no less important here. Biocosmic connections in the landscapes of the «Trubizh water management landscape-technical system – adjacent Forest-Field» mesosystem are manifested through the biological cycle of substances, which covers the soil and various tiers of vegetation with the animals living in them. Photosynthesis, respiration of animals, plants and microorganisms are involved in the cycle, and due to the decomposition of plants and animals, biogenic accumulation of humus and microelements in the soil horizon is carried out. As a result of mineralization, humification, deciduous, and grass litter enriches the soil with mineral nutrients. In the landscapes of the Forest-Field, due to a more intensive washing regime and the presence of an active aerobic environment, the process of decomposition of plant remains is rapid. Humification of deciduous forests in Forest-Field Polissya, in particular in Trubizh, is slowed down by the presence of an acidic environment and significant wetlands. This is manifested in various

enrichment of soils with humus: from 3–4% in dark gray and podzolic chernozems of the Forest-Steppe to 1–1,5% in sod-podzolic soils of the Forest-Field Polissya.

Biocosmic connections in the landscapes of the paradynamic mesosystem «Trubizh water management landscape-technical system – adjacent Forest-Field» can be traced in the flow of substances from the underground tier to the terrestrial in the form of carbon dioxide released from the soil. Equally important is the role of animals in the biocosmic connections, which function in the soil and actively move various substances vertically. The flow of substances up the soil profile is much larger than the flow directed downwards [15]. Earthworms and burrowing animals do a particularly significant job in this direction. The soil raised to the surface is enriched with mineral compounds (carbon, nitrogen, flint, iron, aluminum, calcium, magnesium), which are dispersed in other landscape complexes due to exogenous processes. Thus, biocosmic connections in different landscapes, in particular Forest-Field and their Polissya, are interconnected and act as unifying for the whole paradynamic mesosystem «Trubizh water management landscape-technical system – adjacent Forest-Field».

Biotic connections in the landscape paradynamic mesosystem «Trubizh water management landscape-technical system – adjacent Forest-Field» are most manifested between plants and animals, as well as different species of animals. This is observed not only in their trophic connections, but also in the migratory features of plants and animals. The eroded and mosaic relief of Forest-Field with variegated soil cover facilitates the latter. Biotic connections are also influenced by the quantitative and species composition of organisms. Drained and plowed areas of heights with small areas, often dissected by fields, areas of oak and hornbeam forests are less favorable for wild ungulates than Forest-Field Polissya. Within Trubizh Polissya, on an area of 100 km², there are on average 16 to 30 European roe deer, more than 5 European moose, 6–15 wild pigs, etc. Beavers, muskrats are actively breeding. In the territories of the Forest-Steppe adjacent to Trubizh Polissya, these indicators are lower: European roe deer – 11–15; European moose – 1–5; wild pigs – 4–5 [27].

Conclusions. The formation and functioning of natural (natural, natural-anthropogenic and anthropogenic) paradynamic systems is a complex, long and still poorly studied process. Modern water management paradynamic landscape-technical systems were built not only on various landscape complexes, but also on already existing paradynamic landscape systems. As an example, the development of the paradynamic mesosystem «Trubizh water management landscape-technical system – adjacent Forest-Field»,

which is formed based on the paradyamic system «Trubizh Polissya – adjacent Forest-Steppe» is considered. In the process of cognition of these systems, special attention should be paid to the use of the principle of natural-anthropogenic combination and the comparative method of natural analogues.

The modern landscape paradyamic mesosystem «Trubizh water management landscape-technical system – adjacent Forest-Field» functions as a result of the manifestation of weakened internal and somewhat activated by anthropogenic factors, external paradyamic connections. External anthropogenic paradyamic connections include: *thermal* (formed due to the difference in average air temperature between plowed watersheds and anthropogenic floodplains); *mechanical* (manifested due to anthropogenic changes in the landscape structure of terraces, floodplains and streams, accompanied by increased erosion, despite the small relative heights within the river valley); *aquatic* (formed in the conditions of over-regulation of the riverbed, its transformation into a main canal and construction of a reclamation network that goes beyond the floodplain and terrace types of terrain); *social* (formed due to the growing impact of anthropogenic pressure on material-energy-information processes). Internal anthropogenic paradyamic connections include: *biocosmic* (formed by the biological cycle of substances, which causes the accumulation of humus in floodplains due to photosynthesis, decomposition of living organisms and accumulation of alluvial-deluvial deposits); *biotic* (observed in the following processes: cross-pollina-

tion of plants, trophic food chains, animal migration and interspecies competition).

In general, for more than 70 years of not always well-thought-out functioning of the paradyamic mesosystem «Trubizh water management landscape-technical system – adjacent Forest-Field» there has been an almost complete transformation of natural paradyamic connections into anthropogenic ones. This was facilitated by the replacement of the Trubizh riverbed by the main canal and drainage of the floodplain by reclamation canals, which led to a decrease in groundwater levels and the formation of limniophilic conditions. The reduction of the intensity of material-energy-information flows has led to the formation of stagnant areas, intensification of accumulation processes and the formation of paradyamic anthropogenic landscape zones of influence, which have a significant distribution.

One of the largest paradyamic mesosystems of the Forest-Field of Ukraine «Trubizh water management landscape and technical system – adjacent Forest-Field», as well as others in this natural area, especially within the Middle Dnieper, at the beginning of the 21st is in disrepair. Their reconstruction requires further joint structural-geographical and landscape studies with hydrologists, soil scientists, reclamation engineers and ecologists. This will give a better understanding of the processes of functioning of the Trubizh water management landscape-technical system, to predict its further development and to develop ways of rational use.

Bibliography

1. Barhagh S. E. System dynamics to assess the effectiveness of restoration scenarios for the Urmia Lake: A prey-predator approach for the human-environment uncertain interactions [Text] / S. E. Barhagh, M. Zarghami, Y. A. G. Ghale, M. R. Shahbazbegian // *Journal of Hydrology*. – 2021. – Vol. 593. – 125891.
2. Baudry J. Landscape Dynamics [Text] / Baudry J. // *Biodiversity: structure and function*. – Vol. II. – EOLSS Publications, 2009. – P. 161–184.
3. Farina A. Landscape Dynamics [Text] / A. Farina. – 2021. <https://doi.org/10.1093/OBO/9780199830060-0182>
4. Garcia J. H. Promoting fluvial geomorphology to «live with rivers» in the Anthropocene era [Text] / J. H. Garcia, A. Ollero, A. Ibisate, I. C. Fuller, R. G. Death, H. Piegay // *Geomorphology*. – 2021. – 107649. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107649>
5. Pruyt E. What is System Dynamics? A Paradigmatic Inquiry [Text] / Erik Pruyt // *Conference of the System Dynamics Society*. – July 26, 2006.
6. Richling A. Regionalna geografia fizyczna Polski / Richling A., Solon J., Macias A., Balon J., Borzyszkowski J., Kistowski M. // *Bogucki Wyd. Naukowe, Poznan*. – 2021.
7. Берг Л. С. Физико-географические (ландшафтные) зоны СССР [Текст] / Л. С. Берг. – Ленинград, 1936. – 427 с.
8. Воровка В. П. Ландшафтно-екологічний аналіз парадинамічної системи Північно-Західного Приазов'я [Текст] / В. П. Воровка // *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету ім. М. Коцюбинського. Серія: Географія*. – 2008. – Вип. 16. – С. 24–28.
9. Географічна енциклопедія України [Текст] / ред. О. М. Маринич. – Київ: «Українська Радянська Енциклопедія» ім. М. П. Бажана, 1989. – Т. 1. – 416 с.
10. Григорьев А. А. География теоретическая и прикладная, их современное состояние и намечающиеся пути развития [Текст] / А. А. Григорьев // *Труды географического отдела КЕПС*. – Ленинград, 1929. – Вып. 2. – С. 10–18.
11. Гудзевич А. В. Роль гірничопромислових ландшафтів Поділля у пізнанні динаміки і розвитку антропогенних комплексів [Текст] / А. В. Гудзевич // *Антропогенні географія і ландшафтознавство у XX та XXI століттях*. – Вінниця: Гіпаніс, 2003. – С. 125–129.

12. Денисик Г. І. Антропогенне ландшафтознавство : навчальний посібник. Частина І. Загальне антропогенне ландшафтознавство [Текст] / Г. І. Денисик. – Вінниця: Вінницька обласна друкарня, 2014. – 334 с.
13. Денисик Г. І. Антропогенні ландшафти Правобережної України : монографія [Текст] / Г. І. Денисик. – Вінниця: Арбат, 1998. – 292 с.
14. Денисик Г. І. Антропогенні ландшафти річища та заплави Південного Бугу : монографія [Текст] / Г. І. Денисик, О. Д. Лаврик. – Вінниця: ПП «ТД «Едельвейс і К», 2012. – 210 с.
15. Денисик Г. І. Висотна диференціація рівнинних ландшафтів України : монографія [Текст] / Г. І. Денисик, Л. М. Кирилюк. – Вінниця: ПП «ТД «Едельвейс і К», 2010. – 236 с.
16. Денисик Г. І. Лісополе України : монографія [Текст] / Г. І. Денисик. – Вінниця: Тезис, 2001. – 284 с.
17. Денисик Г. І. Міжзональні геоекотони України : монографія [Текст] / Г. І. Денисик, О. І. Ситник, О. П. Чиж, Л. О. Безлатня, Б. Г. Денисик, І. М. Война. – Вінниця: ТОВ «Твори», 2020. – 368 с.
18. Денисик Г. І. Похідні процеси та явища в ландшафтах зон техногенезу : монографія [Текст] / Г. І. Денисик, Г. М. Задорожня. – Вінниця: ПП «Едельвейс і К», 2013. – 220 с.
19. Дудчак М. В. Ландшафтні комплекси Середнього Придністер'я та їх зміни під впливом гідротехнічної системи : монографія [Текст] / М. В. Дудчак. – Чернівці: Видавничий дім «РОДОВІД», 2013. – 160 с.
20. Лаврик О. Д. Долинно-річкові ландшафтно-технічні системи Правобережної України : дис. ... д-ра геогр. наук [Текст] / О. Д. Лаврик. – Київ, 2019. – 454 с.
21. Лаврик О. Д. Річкові ландшафтно-технічні системи : монографія [Текст] / О. Д. Лаврик. – Умань: ВПЦ «Візаві», 2015. – 297 с.
22. Маринич О. М. О комплексной программе географических исследований в целях рационального природопользования [Текст] / О. М. Маринич // Географические аспекты экономического и социального планирования. – Ленинград, 1980. – С. 43–49.
23. Мильков Ф. Н. Паразитические ландшафтные комплексы [Текст] / Ф. Н. Мильков // Научные записки Воронежского отдела Географического общества. – Воронеж, 1966.
24. Мильков Ф. Н. Словарь-справочник по физической географии [Текст] / Ф. Н. Мильков. – Москва: Мысль, 1970. – 344 с.
25. Мильков Ф. Н. Физическая география: учение о ландшафте и географическая зональность [Текст] / Ф. Н. Мильков. – Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1986. – 328 с.
26. Мізіна С. К. Просторово-часовий аналіз господарського освоєння ландшафту річища Трубіжжю [Текст] / С. К. Мізіна // Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія: Географія. – Вінниця, 2019. – Вип. 31. – № 3–4. – С. 61–67.
27. Національний атлас України / гол ред. Л. Г. Руденко. – Київ: ДНВП «Картографія», 2007. – 440 с.
28. Охрана ландшафтов : Толковый словарь [Текст] / ред. В. С. Преображенский. – Москва: Прогресс, 1982. – С. 69.
29. Полупан М. І. Енциклопедія Сучасної України [Текст] / М. І. Полупан. – Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2007. – Т. 7.
30. Польшов Б. Б. Ландшафт и почва [Текст] / Б. Б. Польшов // Природа. – 1925. – № 1. – С. 24–28.
31. Сучасна динаміка рельєфу України / за ред. В. П. Палієнко. – Київ: Наукова думка, 2005. – 268 с.
32. Удовиченко В. В. Морфодинамічні риси ландшафтної будови території дослідження: теоретичні та прикладні аспекти картографування [Текст] / В. В. Удовиченко // Часопис картографії. – Київ: КНУ ім. Тараса Шевченка, 2016. – Вип. 15. Ч. 1. – С. 162–174.
33. Швец Г. И. Долинно-речные паразитические комплексы (типология и районирование) [Текст] / Г. И. Швец, Т. Д. Васютинская, С. А. Антонова // География и природные ресурсы. – 1982. – № 1. – С. 24–32.
34. Швец Г. И. Территориальная организация землепользования и мелиорация земель [Текст] / Г. И. Швец // Физическая география и геоморфология. – 1987. – Вып. 34. – С. 96–100.
35. Энциклопедический словарь географических терминов [Текст] / ред. С. Калесник. – Москва: Советская энциклопедия, 1968. – С. 117.
36. Яценчук Ю. В. Водогосподарські антропогенні паразитичні ландшафтні системи [Текст] / Ю. В. Яценчук // Людина та довкілля. Проблеми неоекології. – 2013. – № 3–4. – С. 147–152.
37. Яценчук Ю. В. Регіональні парадинамічні антропогенні ландшафтні системи : дис. ... д-ра геогр. наук [Текст] / Ю. В. Яценчук. – Київ, 2018. – С. 56.

Author Contributions: All authors have contributed equally to this work

References

1. Barhagh, S. E., Zarghami, M., Ghale, Y. A. G. & Shahbazbegian M. R. (2021). System dynamics to assess the effectiveness of restoration scenarios for the Urmia Lake: A prey-predator approach for the human-environment uncertain interactions. *Journal of Hydrology*, 593, 125891.
2. Baudry, J. (2009). *Landscape Dynamics. Biodiversity: structure and function*. Vol. II. EOLSS Publications.
3. Farina, A. (2021). *Landscape Dynamics*. <https://doi.org/10.1093/OBO/9780199830060-0182>

4. Garcia, J. H., Ollero, A., Ibisate, A., Fuller, I. C., Death, R. G. & Piegay H. (2021). Promoting fluvial geomorphology to «live with rivers» in the anthropocene era. *Geomorphology*, 107649. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107649>
5. Pruyt, E. (2006). What is System Dynamics? A Paradigmatic Inquiry. *Conference of the System Dynamics Society*.
6. Richling, A., Solon, J., Macias, A., Balon, J., Borzyszkowski, J., Kistowski, M. (2021). *Regoinalna geografia fizyczna Polski*. Bogucki Wyd. Naukowe, Poznan [in Polish]
7. Berg, L. S. (1936). *Physical-geographical (landscape) zones of the USSR*. Leningrad, [in Russian]
8. Vorovka, V. P. (2008). Landscape-ecological analysis of the paradyamic system of the North-Western Azov region. *Scientific notes of Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University. Series: Geography*, 16, 24–28 [in Ukrainian]
9. *Geographical encyclopedia of Ukraine* (1989). Ed. O. M Marinich. Kyiv: «Ukrainian Soviet Encyclopedia» named after M. P. Bazhana, 1 [in Ukrainian]
10. Grigoriev, A. A. (1929). *Geography theoretical and applied, their current state and outlined ways of development. Proceedings of the geographical department of KEPS*, 2, 10–18 [in Russian]
11. Gudzevych, A. V. (2003). The role of mining landscapes of Podillya in the knowledge of the dynamics and development of anthropogenic complexes. *Anthropogenic geography and landscape science in the XX and XXI centuries. Vinnytsia: Gipanis* [in Ukrainian]
12. Denysyk, G. I. (2014). *Anthropogenic landscape science: a textbook. Part I. General anthropogenic landscape studies. Vinnytsia: Vinnytsia Regional Printing House* [in Ukrainian]
13. Denysyk, G. I. (1998). *Anthropogenic landscapes of the Right Bank of Ukraine: monograph. Vinnytsia: Arbat* [in Ukrainian]
14. Denysyk, G. I. (2012). *Anthropogenic landscapes of the riverbed and floodplain of the Southern Bug : monograph. Vinnytsia: PE «Edelweiss and K»* [in Ukrainian]
15. Denysyk, G. I. (2010). *High-altitude differentiation of plain landscapes of Ukraine: monograph. Vinnytsia: PE «Edelweiss and K»* [in Ukrainian]
16. Denysyk, G. I. (2001). *Lisopole Ukrainy: monograph. Vinnytsia: Thesis* [in Ukrainian]
17. Denysyk, G. I., Sytnyk, O. I., Chyzyh, O. P., Bezlatnia, L. O., Denysyk, B. G. & Voina I. M. (2020). *Interzonal geoco-tones of Ukraine: monograph. Vinnytsia: LLC «Works»* [in Ukrainian]
18. Denysyk, G. I. & Zadorozhnyia, G. M. (2013). *Derivative processes and phenomena in the landscapes of zones of technogenesis. Vinnytsia: PE «Edelweiss and K»* [in Ukrainian]
19. Dudchak, M. V. (2013). *Landscape complexes of Middle Transnistria and their changes under the influence of the hydraulic system : monograph. Chernivtsi: RODOVID Publishing House* [in Ukrainian]
20. Lavryk, O. D. (2019). *Valley-river landscape and technical systems of the Right Bank of Ukraine : dis. ... Dr. Geogr. Sciences. Kyiv* [in Ukrainian]
21. Lavryk, O. D. (2015). *River landscape and technical systems: monograph. Uman: VOC «Vizavi»* [in Ukrainian]
22. Marinich, O. M. (1980). *About the complex program of geographical researches for the purposes of rational nature management. Geographical aspects of economic and social planning. Leningrad* [in Russian]
23. Milkov, F. N. (1966). *Paragenetic landscape complexes. Scientific notes of the Voronezh department of the Geographical Society. Voronezh* [in Russian]
24. Milkov, F. N. (1970). *Dictionary-reference book on physical geography. Moscow: Thought* [in Russian]
25. Milkov, F. N. (1986). *Physical geography: teaching about the landscape and geographical zoning. Voronezh: Voronezh University Publishing House* [in Russian]
26. Mizina, S. K. (2019). *Spatial-temporal analysis of economic development of the landscape of the Trubizh riverbed. Scientific notes of Vinnytsia Mykhailo Kotsyubynsky State Pedagogical University. Series: Geography*, 31, 3–4 [in Ukrainian]
27. *National Atlas of Ukraine* (2007). Ed. L. G. Rudenko. Kyiv: DNVP «Cartography» [in Ukrainian]
28. *Protection of landscapes: Explanatory dictionary* (1982). Ed. V. S. Preobrazhensky. Moscow: Progress [in Russian]
29. Polupan, M. I. (2007). *Encyclopedia of Modern Ukraine. Kyiv. Vol. 7* [in Ukrainian]
30. Polynov, B. B. (1925). *Landscape and soil. Nature*, 1, 24–28 [in Ukrainian]
31. *Modern dynamics of the relief of Ukraine*. Ed. V. P. Palienko. Kyiv: Scientific Opinion, 2005 [in Ukrainian]
32. Udovychenko, V. V. (2016). *Morphodynamic features of the landscape structure of the research area: theoretical and applied aspects of mapping. Journal of Cartography*, 15, 1, 162–174 [in Ukrainian]
33. Shwebs, G. I. (1982). *Valley-river paragenetic complexes (typology and regionalization). Geography and natural resources*, 1, 24–32 [in Russian]
34. Shwebs, G. I. (1987). *Territorial organization of land use and reclamation of lands. Physical geography and geomorphology*, 34, 96–100 [in Russian]
35. *Encyclopedic Dictionary of Geographical Terms* (1968). Ed. S. Kalesnik. Moscow: Soviet Encyclopedia [in Russian]
36. Yatsentiuk, Yu. V. (2013). *Water management anthropogenic paragenetic landscape systems. Man and the environment. Problems of neoecology*, 3–4, 147–152 [in Ukrainian]
37. Yatsentiuk, Yu. V. (2018). *Regional paradyamic anthropogenic landscape systems : dis. ... Dr. Geogr. Sciences. Kyiv* [in Ukrainian]

Трубізька водогосподарська парадинамічна ландшафтно-технічна система

Григорій Іванович Денисик¹,

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

¹Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського,
вул. Острозького, 32, м. Вінниця, 21100, Україна;

Софія Костянтинівна Мізіна¹,

аспірантка кафедри географії

Вписування будь-якої меліоративної системи у наявні ландшафтні комплекси призводить до посилення контрастності середовищ і активізації речовинно-енерго-інформаційних потоків. Побудова меліоративної системи у басейні річки Трубіж докорінно змінила ландшафтну структуру річища і заплави, що зумовило значний вплив на суміжні ландшафтні комплекси. Сформована Трубізька водогосподарська ландшафтно-технічна система виходить за межі однієї річкової долини. Не завжди продумана господарська діяльність призвела до погіршення екологічного стану не лише самої системи, але й взаємодіючих з нею ландшафтних комплексів. Суть роботи полягає у дослідженні антропогенних парадинамічних зв'язків у складній природно-господарській структурі «Трубізька водогосподарська ландшафтно-технічна система – прилегле Лісополе». Метою роботи є дослідження Трубізької водогосподарської ландшафтно-технічної системи, як антропогенної парадинамічної системи. На основі системного аналізу, порівняльно-географічного, картографічного і ГІС-методу (бази даних ГІС-пакетів SAS.Planet.Release і GoogleEarthPro) проаналізовано процеси формування, розвитку та функціонування парадинамічних зв'язків у мезосистемі «Трубізька водогосподарська ландшафтно-технічна система – прилегле Лісополе». Чинники функціонування парадинамічних взаємозв'язків зумовлені наявністю зовнішніх (термічних, механічних, водних і суспільних) і внутрішніх (біокосних і біотичних) зв'язків, контрастності (належність *Трубізького Полісся і прилеглого Лісополя до різних орографічних структур*) та просторової залежності (повздовжні й поперечні парадинамічні взаємозв'язки між поліським ландшафтом нижньої частини долини річки Трубіж і прилеглого до неї Лісополя) між взаємодіючими ландшафтними комплексами. Дослідження антропогенних парадинамічних зв'язків між різними ландшафтними структурами дасть можливість краще зрозуміти процеси функціонування Трубізької водогосподарської ландшафтно-технічної системи й особливості взаємодії із суміжними ландшафтами, що, у свою чергу, дозволить спрогнозувати її подальший розвиток і розробити шляхи раціонального використання.

Ключові слова: *Трубізька водогосподарська ландшафтно-технічна система, парадинамічна система, парадинамічні зв'язки, просторова залежність, контрастність, зовнішні та внутрішні зв'язки, раціональне природокористування.*

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 23 листопада 2021 р.

Прийнята 17 січня 2022 р.

Classification of settlements on the basis of the ecological situation in the Navoi region and the factors affecting the health of the population

*Nilufar K. Komilova*¹,

DSc (Geography), Professor, Department of Social and Economic Geography,

¹National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek,

4 University St., Olmazor district, Tashkent, 100174, Republic of Uzbekistan,

e-mail: nkomilova75@mail.ru, Scopus ID 57210788923;

*Normurod F. Latipov*¹,

PhD student, Department of Social and Economic Geography,

e-mail: latipovnormurod@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5372-2320>

ABSTRACT

Formulation of the problem. In today's age of globalization, the urgent task of socio-economic development is to mobilize the potential of regions to ensure sustainable economic growth within an innovative, socially-oriented development model. Territories are one of the main principles of state development. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No. 60 of January 28, 2022 "On the Development Strategy of the New Uzbekistan for 2022-2026" is particularly important with a focus on optimizing the current environmental situation and public health.

Analysis of recent research and publications. In developing countries, the share of industrial production is higher than that of agriculture. Uzbekistan belongs to the classification of developing countries, with a relatively high share of industrial clusters and technology parks in the administrative unit. If we pay attention to the analytical data, the gross domestic product of the Republic in 2017 amounted to 317 476.4 billion soums, in 2019 - 529 391.4 billion soums, and in 2020 - This figure amounted to 605,551.3 billion soums. The share of industry in GDP is 23.5%, 31.4% and 36%, respectively.

The aim of the work. Although the Navoi region is considered the smallest administrative unit of our republic, it stands out among the regions in terms of industry and production with huge natural resources. This in itself is the basis for the formation of a negative ecological environment and the emergence of problems related to the health of the population, and from this point of view, the Navoi region and its administrative units were chosen as the object of research. The presence of administrative units with a high share of industry in the country, such as Tashkent, Fergana, Andijan, Samarkand, Navoi, Kashkadarya, has a serious impact not only on the region but also throughout the country. Clearly, local, regional and international cooperation is key to preventing environmental crises, as is the case around the world. If we take the Navoi region alone, it will provide 18% of the republic's industrial output in 2020 alone, which is the third-largest among the administrative units. But there is another side to the issue, and today the ecological environment in urbanized and highly industrialized cities is deteriorating significantly. As one problem raises another, environmental crisis has a serious impact on the health of the people living in the area, which in turn has an impact on living standards and life expectancy.

Research methods. This article uses methods such as comparative analysis and comparison, and direct observation based on the statistical data of the Republic of Uzbekistan.

Problems of further research. As a result of the harmonious growth of industry and production, problems related to the environmental condition of cities and the health of the population are becoming widespread. Preventing these problems, and forecasting the future by analyzing the current environmental situation is the main problem.

Presentation of the main research material. Studies show that atmospheric air pollution is the most important factor in determining the state of the living environment. The total amount of gases emitted into the atmosphere in the country is 924.4 thousand tons, and the Navoi region accounts for 48.8 thousand tons of these gases or 52.7% of the total. The proximity of large industrial enterprises in the region to residential areas leads to the direct impact of toxic gases on the population, such as external respiration and cardiovascular disorders. The number of patients with respiratory problems in the province increased from 246 in 2019 to 277 in 2021, and the number of patients with the vascular disease increased from 17,400 to 18,300, respectively, indicating a serious concern about atmospheric air problems in the province.

Practical value. The practical significance of the work is that it consists of the stabilization of the ecological situation in the region, paying attention to the health of the population and especially children, and presenting proposals and recommendations to the relevant organizations to reduce the number of harmful gases released into the atmosphere.

Research results. It should be noted that the development of recommendations to reduce the negative impact of industrial and manufacturing enterprises, transport and other factors on human health and the natural environment is very relevant today.

Keywords: *Urban ecology, death rate, nosogeographic scale, tananatogeographic situation, industrialized cities, environmental crisis.*

In cites: Komilova N. K., Latipov N. F. (2022). Classification of settlements on the basis of the ecological situation in the Navoi region and the factors affecting the health of the population. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (56), 209-213. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-15>

Introduction. Increased anthropogenic impact on the environment leads to negative changes in the structure, fertility and activity of ecosystems and the

biosphere in general. Of particular importance are information on the levels of pollution, the nature and intensity of the reaction of biological objects to the

effects of toxic substances. Therefore, it is expedient to develop criteria for assessing, forecasting and searching for indicators of deviations in ecosystems.

This impact is important for the development of cities and their sustainability. As M. Lappo said, "this area is not considered to be studied unless the state of the environment is taken into account in the study or planning of cities and their environs." The variety of methods proposed by different authors for use in monitoring urban pollution is very wide, and they have been developed for different natural zones and cities. These methods can vary in their scope, quality and quantity, and in their ability to provide accurate results and conclusions. It should be noted that such monitoring can be carried out first in small areas and then by expanding the area.

Literature review. On the organization of urban areas, Professor Soliev A.S. paid special attention to the huge economic potential of the Navoi region. He thought that in the future Zarafshan will be an important part of the economic geographical region.

Khalmirzaev A.A. As a result of the rapid development of the urban system in the region, there are negative consequences. He noted that the rapid growth of cities has negative environmental consequences and that industrial cities can become a nosogeographic hotbed if the health of the population is not regularly monitored.

Professor Komilova N.K. focused on the ecological factor in the nosogeographic situation of the Zarafshan economic geographical region. Given the growing threat to public health as the industry developed, he recommended that medical and environmental monitoring be carried out in a coordinated manner.

Tanatogeographic analysis of Navoi region and problems in public health, classification of regions by mortality can be seen in the work of Muhammedova N.M. In the classification of this division, it was suggested that the reproductive health of the population should be assessed as a leading factor in the health of children.

According to H. Tukhtaeva, the Navoi region is one of the largest industrial enterprises in the country, rich in natural resources. More than 200 mineral deposits have been identified in the region, including 16 uranium deposits, 37 rare metal deposits and 12 mineralized deposits. the availability of a source of water, and the extraction of mineral resources in 78 of these identified deposits.

Research methodology. It was established on April 20, 1982, to explore the Kyzylkum Desert, but was built between two ancient and young Bukhara and Samarkand regions. In 1992, the status of the Navoi region was restored and is recognized as one of the youngest administrative units of the republic. The territory of the region is 111.1 thousand km²,

which is 24.7% of the total area of the Republic, the population is 1,033,869 people and the population density is 9.3 people per km², and 2.9% of the population of the Republic. , polarity ", i.e. second from the top in terms of region, second from the end in terms of population. Administratively, it is divided into 8 districts, 7 cities and 46 towns, 579 rural settlements. The area decreases from southeast (up to 2000 m above sea level) to northwest (90-100 m).

The region is also rich in mineral resources, which serve for the development of the mining industry. The Uchkuduk uranium deposit, the Muruntau gold deposit and others are clear examples of this. These large deposits have an impact on employment and living standards and as a source of income. The opening of the mines directly led to the emergence of cities. Along with water, climatic resources, transport and geographical factors, the formation of cities is greatly influenced by mineral resources. In particular, the cities of Zafarabad and Zarafshan were formed on the basis of the mining industry. These areas do not have fertile soil for agriculture and favourable climatic conditions. Nevertheless, the formation of these cities is based on the availability of deposits and the well-established mining industry. For example, the soil in and around Zafarabad is reddish-yellow, suitable for agriculture, but there are no water resources to establish irrigated agriculture, and access to it is limited. The marble deposit in Ghazgan is one of the largest deposits in the republic. The industrial mining and processing of marble in Gazgan were founded in the 1930s. Today, 31.0 million cubic meters of unused marble and 104.1 million cubic meters of granite deposits have reserves of at least 150 years. This situation plays an important role in employment.

The influence of the mining industry, which is expanding year by year, is significant, along with other anthropogenic factors, in accelerating the process of desertification in the current arid landscape complexes of the region. The escalation of desertification in the Central Kyzylkum is leading to a decline in landscape bioresources and their economic potential, deterioration of the quality of the environment, living conditions and health of the population.

As a result of open-pit mining, the area of influence of the mining industry is also expanding, leading to the deterioration of the geocological conditions of the surrounding arid landscapes. This has a major impact on the degradation of pastures around the mine and the health of the people living in those areas. It should be noted that the volume of processed rock is several times higher than the volume of minerals extracted in the mining industry. Therefore, the waste and rocks accumulated around the mines in the mining areas of the region have created artificial hills.

Analysis and results. The presence of many heavy industrial enterprises in the region and their

proximity to settlements have a serious impact on the health of the population. While the total death rate in 2018 was 4,161 people in the province, the figure was 4,378 in 2019, 5,038 in 2020 and 4,988 in 2021.

According to these indicators, it is expedient to divide the regional differences into three groups:

- Areas with low overall mortality: Konimex, Tomdi, Uchkuduk, districts;
 - Areas with average overall mortality: Nurata, Navbahor districts and the city of Navoi;
 - Areas with high overall mortality: Karmana, Kyzyltepa, Khatirchi district;
- Tomdi, Uchkuduk, and Konimex districts have low overall mortality rates, with morbidity and

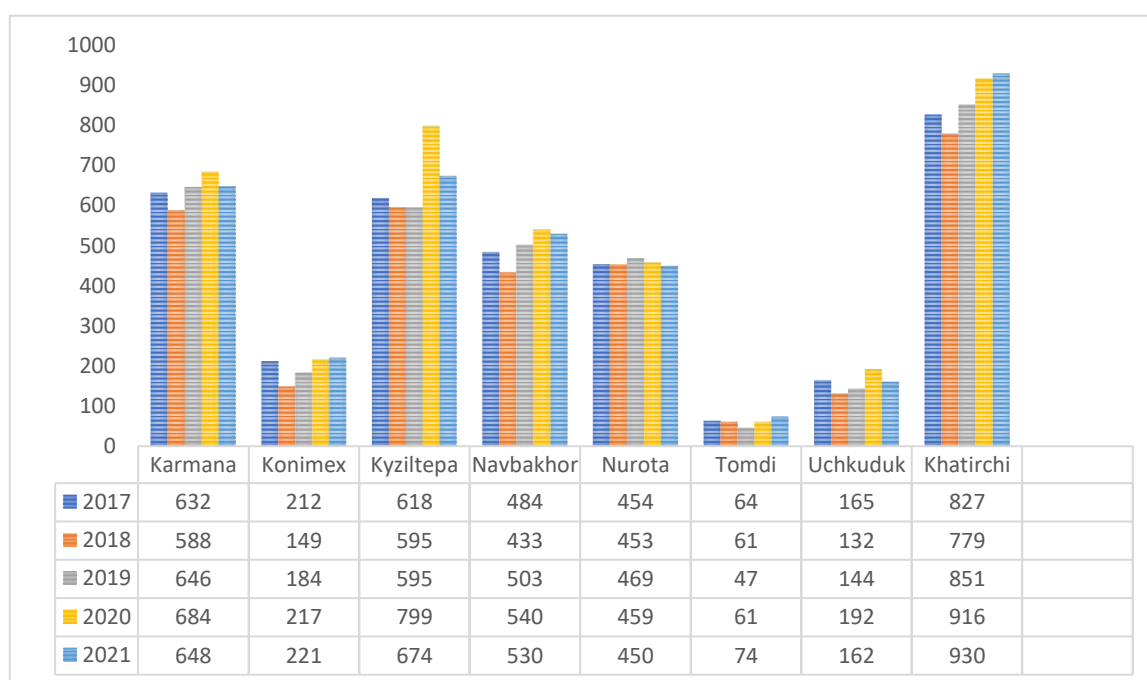
mortality declining over the past 10 years. This condition also had a significant effect on life expectancy.

With the exception of Nurata district, where the average mortality rate is close to industrial complexes in Nurata, Navbahor districts and Navoi city, the high mortality rate due to diseases of the circulatory system indicates a partial increase in mortality in these areas. This requires timely seasonal and continuous preventive measures in the above areas.

The overall mortality rate of the population of Karmana, Kyzyltepa, Khatirchi districts is high, which can be seen as an increase compared to previous years. This leads to an increase in diseases such as gastrointestinal diseases, chronic anaemia and pul-

Table 1

Population mortality by regional administrative units (2017-2021)



monary tuberculosis in these areas. In order to prevent these cases, the district should be provided with specialists in narrow specialities. In 2021, 19.1 thousand doctors were involved in the health of the population in the region, which is 1,800 more than in the previous year. But even so, the majority of the population is dying of health problems. The following factors affect the health of the population of the region:

1. Atmospheric air condition
2. The composition of drinking water
3. Soil layer quality
4. Noise level

Studies show that atmospheric air pollution is the most important factor in determining the state of the living environment. The total amount of gases emitted into the atmosphere in the country is 924.4 thousand tons, and the Navoi region accounts for 48.8 thousand tons of these gases or 52.7% of the total.

The proximity of large industrial enterprises in the region to residential areas leads to the direct impact of toxic gases on the population, such as external respiration and cardiovascular disorders. The number of patients with respiratory problems in the province increased from 246 in 2019 to 277 in 2021, and the number of patients with the vascular disease increased from 17,400 to 18,300, respectively, indicating a serious concern about atmospheric air problems in the province. Non-ferrous metallurgy, chemical and construction industries are particularly developed in the region, which is reflected in the health of the population in the cities and suburbs of the region. For example, in cities with a developed metallurgical industry, children are physically and neuropsychologically retarded compared to other regions.

In addition to atmospheric pollution, the ecological condition of the region is also affected by factors

such as the quality of drinking water and the condition of the soil cover. The quality of drinking water is especially important because it is widely believed that the substances in water that adversely affect human health can cause gastrointestinal and urological diseases. The total number of people with digestive problems in the province reached 74,700 in 2019, and by 2020, the figure had risen to 87,600. If the process continues with this trend, the region is likely to become a major contender for the status of a nosogeographic hotbed of the republic.

The pollution of the soil layer is also an important factor in the ecological situation because the products of widespread consumption are grown precisely through the soil. Deterioration of the geochemical condition of the soil is associated with liver, kidney and nerve diseases. In the industrialized region, this is also a matter of concern, as dust in the city moves not only in the city but also around the city, causing significant damage to the surface layer of the soil in the Karmana and Navbahor areas adjacent to the city. Given that the above-named administrative units are the number one regions supplying the city with agricultural products, chemically contaminated agricultural products return again for urban consumption as a circulating chain, and this serves as the basis for functional changes in the urban population.

Although noise is an invisible factor at first glance, the fact that industrial enterprises are located close to residential areas and the movement of the transport network, in our opinion, is sufficient to analyze this factor separately. Analyzes show that high noise levels in large cities affect the nervous system

of people and are the main reason for the decline in the ability of employees to work, to be in a tired mood throughout the day.

Conclusion. It should be noted that in order to reduce the negative impact of industrial and manufacturing enterprises, transport and other factors on human health, the natural environment, the following should be done:

1. For a healthy environment, great care should be taken not to exceed the permissible levels of pollutants in the air;
2. Use of landscaping trees, bushes and lawns in the formation of sanitary zones (1000, 500, 300 meters) around industrial enterprises;
3. planting of high dust-resistant trees on the parts of existing Terrassa, highway or other roads where traffic lights are located;
4. Establishment of trees, green walls, suitable for this condition, based on the natural and ecological conditions of each area;
5. Transition to safe modes of transport;
6. Wastewater treatment in various ways and added to water basins;
7. Application of modern technologies in maintaining the purity of the environment;
8. Training of highly moral and ecologically cultured personnel - improving the ecological condition of the environment while protecting nature;
9. In the protection of nature, it is necessary to pay attention to its aspects (health, economic, cultural, educational, aesthetic) among the general public, to carry out advocacy work.

References

1. Allaberdiev, R., Rakhimova, T., Komilova, N., Kamalova, M., Kuchkarov, N. (2021). Study of Plant Adaptation to the Arid Zone of Uzbekistan based on System Analysis. *Scientific Horizons*, 24(10), 52–57. [https://doi.org/10.48077/sci-hor.24\(10\).2021.52-57](https://doi.org/10.48077/sci-hor.24(10).2021.52-57)
2. Faxriddin o'g'li, L. N., & Erkaboevich, E. H. (2022). The process of urbanization and its relation to the environment. *Web of Scientist: International Scientific Research Journal*, 3(3), 188-196. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/9U3SJ>
3. Kalonov, B. H., & Latipov, N. F. (2021). Characteristics Of Geographical Location of The Population of Navoi Region. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 25(2), 477-479. <http://dx.doi.org/10.52155/ijpsat.v25.2>
4. Kalonov, B. H., Latipov, N. F., & Shirinova, M. S. (2021). Environmental problems in the Navoi region cotton field. *Мировая наука*, (4), 15-18. https://doi.org/10.46566/2541-9285_2021_49_15
5. Komilova, N.K., Rakhimova, T., Allaberdiev, R.Kh., Mirzaeva, G.S., Egamberdiyeva, U.T. (2021). Ecological situation: The role of education and spirituality in improving health of population. *International Journal of Health Sciences*, 5(3), 302–312 <https://doi.org/10.53730/ijhs.v5n3.1512>
6. Komilova, N. K., Haydarova, S. A., Xalmirzaev, A. A., Kurbanov, S. B., & Rajabov, F. T. (2019). Territorial structure of agriculture development in Uzbekistan in terms of economical geography. *J. Advanced Res. L. & Econ.*, 10, 2364. [https://doi.org/10.14505/jarle.v10.8\(46\).15](https://doi.org/10.14505/jarle.v10.8(46).15)
7. Komilova, N., Karshibaeva, L., Egamberdiyeva, U., Abduvalieva, Z., & Allanov, S. (2020). Study of nozogeographic situation and its study on the basis of sociological survey. *Indian Journal of Forensic Medicine and Toxicology*, 14(3), 2093-2098.
8. Komilova, N., Mukhammadova, N., Tojiyeva, Z., Nazarov, M., & Egamberdiyeva, U. (2019). Territorial definitions of population mortality in Uzbekistan. *Astra Salvensis*, 1, 619-640.
9. Latipov, N. (2021). Factors influencing the territorial distribution of the population. *Экономика и социум*, 9(88), 105-108.

10. Latipov Normurod Fakhriiddin Ugli (2019). *Geourbanistic's role in socio-economic geography. International scientific review, (LXV), 47-50.*
11. Latipov, N. (2022). *Urboecology-Interdisciplinary Synthesis of Geography and Ecology. Middle European Scientific Bulletin, 24, 16-20.* <https://doi.org/10.47494/mesb.2022.24.1254>
12. Latipov, N. F. (2018). *International migration tours and works. Наука и мир, (8), 108-110.*
13. Kalonov, B. H., & Latipov, N. F. (2018). *Geographical peculiarities of population in Navoi region. Наука и мир, (2-2), 79-80.*
14. Latipov, N. F. (2017). *Locality and factors affecting the population. Наука и мир, 1(11), 74-75.*
15. Komilova, N. K., Latipov, N. F., & Kahramonova, D. Z. (2022). *Some problems with creating a medical-geographical atlas map of Uzbekistan. International journal of early childhood special education, 14(2), 5836-5840.* <https://doi.org/10.9756/INT-JECSE/14I2.656>

Author Contributions: All authors have contributed equally to this work.

Класифікація населених пунктів регіону Навой на основі екологічної ситуації та факторів впливу на здоров'я населення

Нілуфар Каршибоївна Комілова¹,

д. геогр. н., професор, кафедра соціальної та економічної географії,
¹Національний університет Узбекистану імені Мірзо Улугбека,
вул. Університетська, 4, Ташкент, 100174, Республіка Узбекистан;

Нормурод Фахріддін огли Латіпов¹,

аспірант кафедри соціальної та економічної географії

У сучасний вік глобалізації актуальним завданням соціально-економічного розвитку є мобілізація потенціалу регіонів для забезпечення сталого економічного зростання в рамках інноваційної, соціально орієнтованої моделі розвитку. Території є одним із основних принципів державного розвитку. Постанова Президента Республіки Узбекистан № 60 від 28 січня 2022 року «Про Стратегію розвитку Нового Узбекистану на 2022-2026 роки» має особливе значення з акцентом на оптимізацію екологічної ситуації та здоров'я населення, що склалася. У країнах частка промислового виробництва вища за частку сільського господарства. Узбекистан належить до класу країн з відносно високою часткою промислових кластерів і технопарків в адміністративній одиниці. Якщо звернути увагу на аналітичні дані, то валовий внутрішній продукт республіки в 2017 році склав 317 476,4 млрд сум, у 2019 році – 529 391,4 млрд сум, а в 2020 році – цей показник склав 605 551,3 млрд сум. Частка промисловості у ВВП становить 23,5%, 31,4% та 36% відповідно. Наявність у країні адміністративних одиниць з високою часткою промисловості, таких як Ташкент, Фергана, Андіжан, Самарканд, Навої, Кашкадар'я, надає серйозний вплив не тільки на регіон, але і на всю країну. Зрозуміло, що місцева, регіональна та міжнародна співпраця є ключем до запобігання екологічним кризам, як це має місце у всьому світі. Якщо взяти лише Навоїйську область, то лише у 2020 році вона забезпечить 18% промислової продукції республіки, яка є третьою за величиною серед адміністративних одиниць. Але є й інший бік питання, і сьогодні екологічне середовище в урбанізованих та високо-індустріальних містах значно погіршується. Оскільки одна проблема породжує іншу, екологічна криза серйозно впливає на здоров'я людей, які проживають у цьому районі, що, у свою чергу, впливає на рівень життя та тривалість життя.

Ключові слова: екологія міст, смертність, нозогеографічний масштаб, танатозгеографічна ситуація, індустріальні міста, екологічна криза.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 27 травня 2022 р.
Прийнята 29 травня 2022 р.

Air pollution of the largest cities in the Volyn region: preconditions, consequences and ways of solution of this problem

*Mykhailo M. Melniichuk*¹,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Physical Geography,
¹Lesya Ukrainka Volyn National University, 9 Potapova St., Lutsk, 43021, Ukraine,
e-mail: melniichuk.mm@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7258-2869>;

*Victoriia V. Horbach*¹,

MSc, Department of Physical Geography,
e-mail: vichorbach@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9532-1610>;

*Liudmyla M. Horbach*²,

PhD (Economics), Associate Professor, Director of the ²Vyacheslav Lipinski Institute of Volyn JSC «MAUP»,
8 Copernicus St., Lutsk, 43025, Ukraine,
e-mail: ludmilahorbach@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5977-6474>;

*Oleksandr P. Vovk*¹,

PhD (Geology), Associate Professor, Department of Physical Geography,
e-mail: vovk.oleksandr@vnu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1509-0905>

ABSTRACT

Formulation of the problem. Air pollution is one of the biggest modern ecological problem, which aggravates with process of urbanization, industrial development, increasing number of vehicles, etc. So that, the article is devoted to the study the of air pollution in the largest cities of the Volyn region: Lutsk, Kovel, Novovolynsk and Volodymyr-Volynskiy. The purpose of the article is to estimate state and quality of the air in the largest cities of the Volyn region, discover the main sources of air pollution, characterize the effects of pollution on people health and environment, propose measures for solving this problem.

Review of previous publications and studies. State of the air pollution in the urban areas of the Volyn region became the subject of scientific interest of many scientists. Hulai L. D., Karaim O. A. and Syniuk, A. Yu. researched ecological state of air basin and structure of sources of air pollution in the Novovolynsk City. Panasiuk M. V. and Hulai L. D. analyzed air quality in the Kovel district and Kovel City. Problems of air pollution were investigated in the studies of Kiptenko Ye. M., Kozlenko T. V. and Molchak Ya. O., Fesiuk V. O., Kartava O. F. Moreover, Poruchynska, I. V. in her publication explored ways of reducing air pollution by vehicle in the Volyn region.

Methods. The most common methods in the research were analysis and synthesis, correlations and regressions, generalization and comparison. Moreover, to study the quality of air basin in the largest urban area – Lutsk City, the authors calculated index of air pollution.

Results. The study defined that the main source of air pollution in the urban systems are automobiles, which produce into the atmosphere 85-95 % of all emissions. Furthermore, stationary sources such as industrial enterprises and utility companies also pollute air basin of cities with hazardous substances. However, the amount of pollutants from these sources in the Lutsk City and Volodymyr-Volynskiy City slowly decreases. The authors researched that the air basin in Lutsk City is exposed to the greatest anthropogenic loading. According to the calculation of the air pollution index, city's air basin belongs to the quality class «polluted air». Consequences of air pollution are quite different and have impact on environment and economic complex. Besides, poor air quality can cause different diseases. To solve this problem the authors propose to reconstruct and modernize enterprises' treatment systems, to increase the number of environmental friendly public transport, to increase the areas with greenery, to introduce green logistics in transportation. The authors concluded that air basin in the most urbanized areas of the Volyn region is quite polluted, which caused by using vehicles and functioning of manufacture. So that, it is suggested measures to reduce the amount of emission from different source of pollution.

Scientific novelty and practical significance. The main preconditions and trends of modern changes in air quality of the largest cities in the Volyn region was researched for the first time. Furthermore, the authors identified the main sources of air pollution, which have affected the quality of urban air basins during recent years. In addition, index of air pollution in the Lutsk City was calculated for the period 2015-2020. The article proposes measures to improve air quality and reduce emissions from stationary and mobile sources of pollution.

Keywords: *air pollution, pollutants, urban areas, sources of air pollution, air pollution index, specific urban diseases.*

In cites: Melniichuk M. M., Horbach V. V., Horbach L. M., Vovk O. P. (2022). Air pollution of the largest cities in the Volyn region: preconditions, consequences and ways of solution of this problem. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (56), 214-224. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-16>

Formulation of the problem. Atmospheric pollution is one of the biggest environmental problems today. With the rapid development of science and technology, industrial production and increasing the number of vehicles, the level of air pollution is growing rapidly, especially in urban settlements, where

small areas are concentrated large population and concentrated production. According to the World Health Organization, anthropogenic air pollution kills about 9 million people worldwide each year [20]. Therefore, the problem of air pollution in urban systems requires detailed study in order to minimize

the negative impact on human life and the environment.

Volyn region is a typical agro-industrial region of Ukraine with a weak development of industrial production, a scattered settlement network and the absence of large cities. In terms of pollutant emissions, the region belongs to one of the cleanest regions of Ukraine and is second only to Zakarpattia and Chernivtsi regions in terms of pollution by stationary sources and Luhansk and Chernivtsi – in terms of mobile pollution [19]. Cities are the largest centers of air pollution in the study region, due to the significant development of industrial production, the concentration of large populations and vehicles, and so on. In the context of intensification of urbanization, the study of the problem of air quality in urban areas is one of the most important tasks, the solution of which will help to preserve an environment conducive to human life and health.

Analysis of recent research and publications.

The information base of the study consisted of the works of many scientists who studied the state of the atmospheric air of individual settlements and territories of Volyn region. Problems of atmospheric air pollution are covered in the works of Ya. O. Molchak, V. O. Fesiuk, O. F. Kartava [7], E. M. Kiptenko, T. V. Kozlenko [4]. L. D. Gulai, O. A. Karaim and A. Yu. Siniuk studied the ecological state of the air in Novovolynsk [2]; M. V. Panasiuk and L. D. Gulai studied the air basin of Kovel district [9]. The theoretical basis of the article is the work of S. A. Plahotnii [10], V. V. Tarasova [16], Yu. V. Knysh [5], Y. L. Kozubenko [6], S. M. Smirnova, V. N. Smirnov, O. O. Shapovalov [14]. Among foreign scientists, the works of S. Chen, D. Zhang [17], E. D. Lozano-Sabido, E. A. Berios-Barcenas [18], etc. are devoted to the study of atmospheric pollution and its consequences. In addition, the study used and processed statistical data of the Main Department of Statistics in Volyn region, Volyn regional center for hydrometeorology, the State Statistics Service of Ukraine, etc.

Coverage of previously unresolved parts of the overall problem. The problem of air pollution in urban systems of Volyn region is covered in many of fundamental works on ecology and geography. However, the current state of the air basins of the largest cities in the region has not been sufficiently studied in the scientific literature. Therefore, for the first time in the article the main reasons for the change in air quality of the considered urban areas are clarified and the main modern sources of pollution of their air basins are revealed. In addition, the index of air pollution in the regional center of the region – Lutsk for the period 2015-2020 was calculated, and it was established that the atmospheric city basin belongs to the class of “polluted”.

Formulation of the purpose of the article. The

aim of the work is to study the condition and quality of the air basin of the largest cities of Volyn region, taking into account the preconditions and consequences of air pollution. In accordance with the goal, the following tasks were solved:

- describe the features of the location of the studied cities;
- identify the main sources of emissions of impurities into the air basins of settlements;
- analyze the dynamics of pollution of the cities;
- calculate the index of air pollution in Lutsk;
- identify the most polluted areas of the regional center and the main stationary sources of pollution;
- find out the consequences of air pollution in cities;
- propose measures to improve the air quality of the studied areas.

Research methodology. The methodological apparatus of the work is based on the use of methods of analysis and synthesis, correlation and regression, generalization and comparison. To study the state of the air in Lutsk, one of the most common methods was chosen – to determine the index of air pollution by a single substance, the index of air pollution by 5 substances and a comprehensive index of pollution. The index of air pollution by a single substance is calculated as the ratio of the concentration of this substance in the air to the maximum allowable norm (1.1). It is used to compare the level of air pollution in individual regions or cities, as well as to compare the level of air pollution with different substances

$$API_i = (C_i \div TLV_i)^{K_i}, \quad (1.1)$$

where C_i is the average concentration of the i -th substance in the air during the study period; TLV_i – threshold limit value of the i -th substance in the air; K_i is a constant that changes its values depending on the hazard class of the substance. If the pollutant belongs to the 1st class of danger, the average value of the constant is 1.5; to the 2nd – 1.3; to the 3rd – 1.0; to the 4th – 0.85.

The air pollution index (API_5) is used for the complex analysis of the air basin composition. The index we calculated for 5 pollutants, the concentration of which is the highest in the air of the study area by formula 1.2 [10, p. 10].

$$API_5 = \sum_{i=1}^5 API_i, \quad (1.2)$$

where 5 is the number of substances for which the index is calculated, API_i is the index of air pollution by a particular substance. In case of need of the expanded research of structure of atmospheric air calculate the complex index of atmospheric pollution (CIAP) according to the formula 1.3 for which calculation the quantity of substances is not limited. (1.3)

$$CIAP = \sum_{i=1}^n API_i, \quad (1.3)$$

where n is the number of substances for which the index is calculated, API_i – the index of air pollution by a particular substance. According to the obtained results of calculations, the class of air pollution is determined. If the values obtained are less than 2.5, the atmosphere is considered clean; 2.5-7.5 - slightly polluted atmosphere; 7.5-12.5 – polluted atmosphere; 12.5-22.5 – heavily polluted atmosphere; 22.5-52.5 – highly polluted atmosphere; over 52.5 – extremely polluted atmosphere.

Presentation of the main research material. Volyn region is located in the extreme north-west of Ukraine and borders with the Republic of Poland, the Republic of Belarus, Rivne and Lviv regions, its total area is 20,144 thousand km². There are 11 cities in the region (1 of them is a medium-sized city and 10 small cities) and 22 urban-type settlements. The largest cities are: Lutsk, Kovel, Novovolynsk, Volodymyr-Volynskiy (Fig. 1).

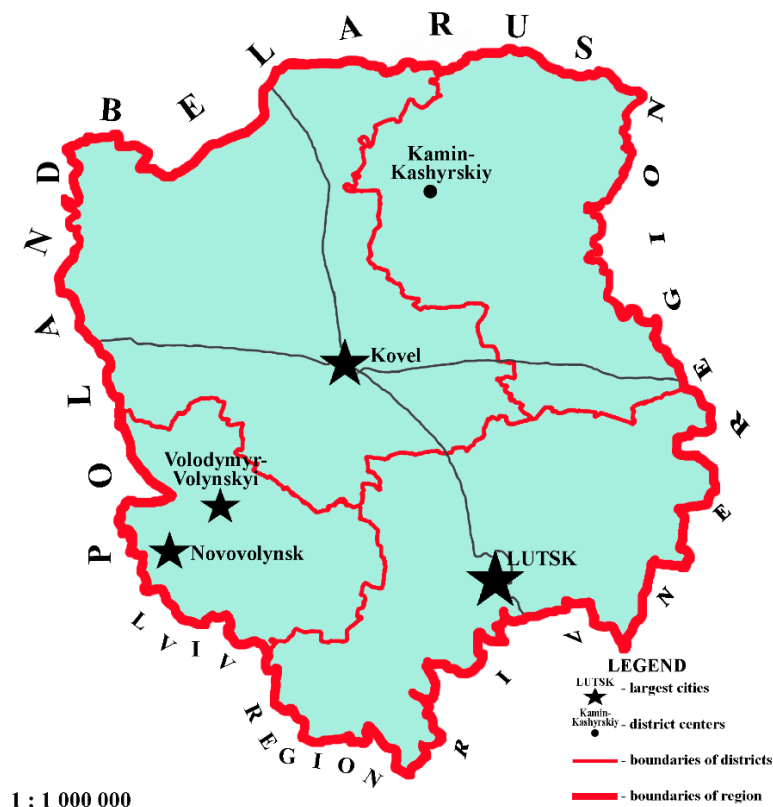


Fig. 1. Location of the largest cities of Volyn region

Due to the lowland position and significant wetlands in the north of the region, the settlement network is quite scattered, and the settlements are small. The largest settlements are concentrated mainly in the southern part of the region within the Volyn Upland, where natural conditions are more favorable for farming and industrial development, there are deposits of combustible and non-metallic mineral resources. Thus, most of the considered cities are located in the south of the region, in particular, the city of Novovolynsk was formed in the place of coal mining of the Lviv-Volyn coal basin, the city of Volodymyr-Volynskiy is an important historical and cultural center of Volyn, Lutsk is the administrative center of the region. Only the city of Kovel lies in the central part of the Volyn region, within the Polesian lowland, and is a major railway transport hub. It should be noted that the atmosphere of Kovel has the best ability to disperse pollutants in the air, and the processes of accumulation of harmful substances in

the air are most actively developing in Volodymyr-Volynskiy [1, p. 65]. In general, the natural conditions of Volyn region are favorable for the dispersion of pollutants in the air, reducing their concentration and self-cleaning of the atmosphere. In particular, there are no significant orographic obstacles to the movement of air masses in the study area. In addition, the processes of dispersion of pollutants in the atmosphere are affected by wind speed, which averages from 2.5 to 4.5 m/s during the year. In winter, westerly and south-westerly winds prevail, in summer – westerly and north-westerly do [8, p. 54]. The number of days with calm weather is small, however, in the recent years, there has been a general trend towards increasing the duration of such conditions. A negative aspect that impairs the self-cleaning properties of the atmosphere by trapping pollutants within cities is urban infrastructure, such as high-rise buildings, narrow streets, and so on. Another positive prerequisite that helps to reduce the concentration of

pollutants in cities is their small area, small population and small areas occupied by multistory buildings (Table 1). In general, the region belongs to the regions with one of the lowest levels of urbanization in Ukraine. Thus, in 2020, 52.3 % of the population

lived in cities, of which 40.4 % – in Lutsk. It should be noted that there are no large cities in the region, only the city of Lutsk belongs to the medium-sized cities and has a total area of 42 km². The largest area is the city of Kovel – 47 km².

Table 1

The largest cities of the Volyn region

City	Area, km ²	Number of people, thousand people	Population density, people/km ²	Proportion of the urban population, %	Proportion of the whole population, %
Lutsk	42	217,2	5 171,4	40,4	21,1
Kovel	47	68,0	1 446,8	12,7	6,6
Novovolynsk	17	55,1	3 241,2	10,3	5,4
Volodymyr-Volynskyi	17	38,1	2 241,2	7,1	3,7

*calculated by authors based on the statistics [15, p. 30]

Based on the above, we summarize that the concentration of pollutants in the cities of Volyn region depends on the amount and composition of emissions from transport and industrial enterprises, building features, congestion of roads, location of enterprises relative to the prevailing wind directions and so on.

Due to the active development of transport, in Ukraine, cars emit about 6.5 million tons per year or 37% of all harmful emissions into the air, and in some cities they outnumber all others [6, p. 87]. In general, the level of air pollution in the studied cities of Volyn region is quite high and has a general upward trend. The largest amount of the pollutants in the air basin of cities is supplied by mobile sources of pollution, in particular, cars, which account for more than 85-95 % of all emissions. Such a high share of mobile sources in the structure of air pollution is due to the concentration of a large number of road transport in cities, significant indicators of passenger and freight turnover, as well as the congestion of roads.

A working car emits carbon monoxide, nitrogen oxides, as well as more than 200 compounds with toxic effects [14, p. 64]. Cars emit the most of the pollutants into the atmosphere at idle, during braking and speeding. Long-lasting cars deliver significantly more impurities to the air than new ones, due to equipment wear after 5-10 years of use. In addition, such sources are dangerous because they emit pollutants into the surface layer of the air where the population lives. It should be noted that since 2016, monitoring of emissions from mobile sources is not carried out. As of 2015, 10 300.7 tons of impurities were released into the air of Lutsk by mobile sources, which is 92 % of all emissions, in Volodymyr-Volynskyi – 1 215.7 tons (89.7 %), in Kovel – 3 452.2 tons (90 %), in the city of Novovolynsk – 2 097.4 (91.4 %). Despite the small share in the structure of emissions, stationary sources of pollution supply the atmosphere of cities no less harmful pollutants. Note

that in accordance with Article 10 of the Law of Ukraine «On Protection of Atmospheric Air», enterprises, institutions, organizations and citizens – business entities that emit pollutants into the atmosphere and whose activities are related to the influence of physical and biological factors on its condition, are obliged to provide uninterrupted effective work and maintenance in a serviceable condition of constructions, the equipment and the equipment for clearing of emissions and reduction of levels of influence of physical and biological factors, etc. [3]. However, a significant number of enterprises and organizations produce pollutants into the atmosphere due to the moral and technical obsolescence of their treatment plants. On average, in these cities, there are 3.9 kg of emissions per inhabitant, and 12 tons of impurities from stationary sources of pollution per 1 km² of urbanized territory. The highest indicators of the concentration of pollutants during 2015-2020 are observed in Lutsk, the lowest – in Volodymyr-Volynskyi (Fig. 2).

Note that in Lutsk there is a positive trend in the amount of pollutant emissions. In particular, in 2015, 0.95 thousand tons of impurities were discharged from stationary sources into the air basin, in 2018 – only 0.4 thousand tons, in 2020 emissions increased slightly and amounted to 0.7 thousand tons. A slight reduction in emissions is also typical for Volodymyr-Volynskyi. The phenomenon is due to the reduction of industrial production in cities, the closure of a large number of enterprises, as well as the improvement of sewage treatment plants of individual organizations. In the cities of Novovolynsk and Kovel, on the contrary, the volume of impurity discharges increased compared to 2015. This feature is due to the deterioration of sewage treatment plants of most enterprises in the cities.

During the study period, emissions increased significantly in the industrial city of Novovolynsk,

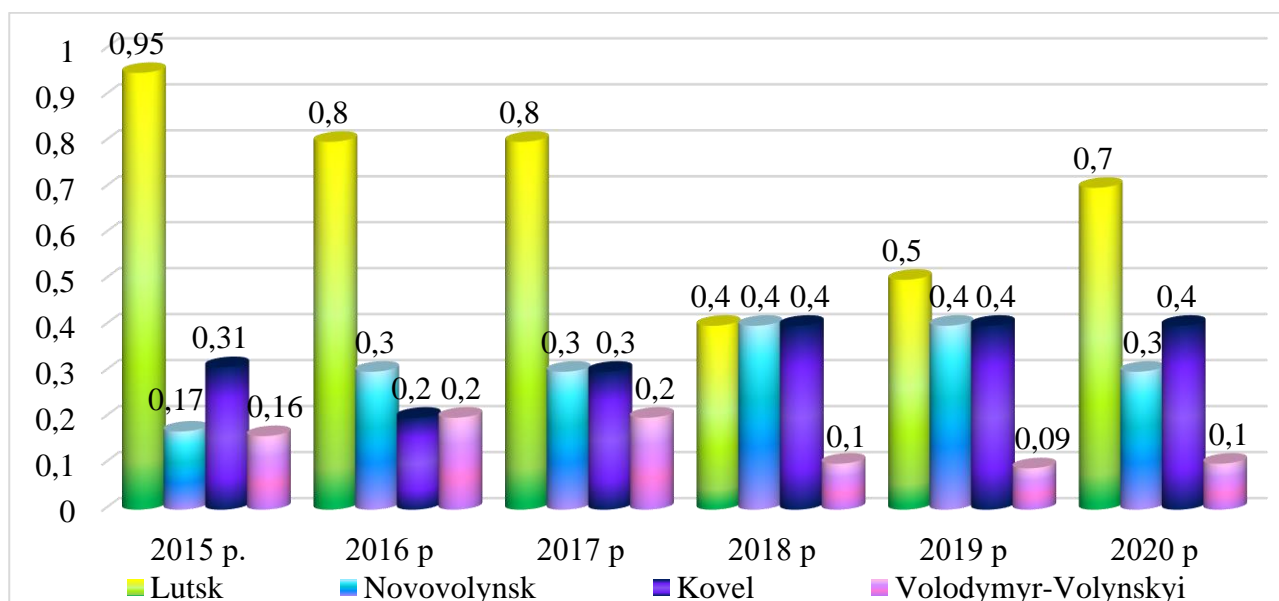


Fig. 2. Dynamics of emissions of pollutants from stationary sources of pollution in the largest cities of the region during 2015-2019, thousand tons (*done by authors based on the [12, p. 9; 13, p. 10])

which specializes in coal mining. The city's air quality is monitored at two checkpoints on Peremohy Avenue and Sokalska Street. Note that in 2015, 0.17 tons of impurities were released into the atmosphere of the settlement, and in 2020 – 0.3 tons. The most of the pollutants enters the air basin from the coal mining association «Volynvugillya» about 40 % of emissions from the stationary sources, furniture company «BRV – Ukraine», utility company «Novovolynskteplokomunenerho» and woodworking company «Kronospan UA» [2, p. 64-65]. Pollution rates in Kovel are consistently high. The settlement is an important railway junction of Ukraine, so, a large amount of the pollutants enters to the city air from the rail transport. The largest stationary polluters of the Kovel air basin are OJSC Kovelskyi miasokombinat (Kovel Meat Processing Plant), which supplies carbon monoxide to the atmosphere, and Kovel Passenger Car Depot (which produces carbon oxides and dust) [9, p. 153]. However, as in other cities of the region, the main source of pollution is road transport.

The smallest amount of the pollutants from stationary sources enters the air basin of Volodymyr-Volynskyi. The phenomenon is associated with much less development of industrial production of the settlement than in other studied cities. The main enterprises that emit pollutants into the atmosphere include: LLC «Gerbor-Holding», PJSC «Luga», LLC «Khlibozavod» (Bread-baking plant), Privately held company «Sklo-Tsentr» (Glass Center), Privately held company «BTR-S». These are mainly agricultural organizations and the small processing enterprises, that produce a relatively small amount of the pollutants into the atmosphere. The administrative center of the Volyn region – Lutsk – suffers the

greatest technogenic load. The city has concentrated powerful industrial productions of the processing industry, developed a dense transport network, 21.1 % of the region's population and a significant number of cars. Systematic observations of air quality are carried out at three observation points (Rivnenska Street, Konyakina Street, Chopin Street), where observations are carried out four times a day (Fig. 3).

During 2020, the largest number of exceedances of the TVL in Lutsk was observed in the content of nitrogen dioxide, formaldehyde and phenol, which is associated with a large number of vehicles on the roads of the city. For the convenience of analyzing the quality of the air basin of Lutsk, we calculate the index of air pollution by individual substances, as well as the complex index of air pollution (Table 2).

The total index of air pollution in Lutsk in 2020 in terms of the content of the five substances with the highest concentration (nitrogen dioxide, formaldehyde, phenol, nitric oxide and dust) is 7.1, which corresponds to the state of the atmosphere «polluted». According to the calculations of the complex index of atmospheric pollution (CIAP), the air of the administrative center of the region also belongs to the polluted and is 7.5. It should be noted that such indicators of the level of air pollution in Lutsk are the lowest in the last six years. The phenomenon is explained by the reduction of road traffic on the roads of the settlement, the reduction of industrial production by some enterprises due to quarantine restrictions during March-December 2020. The main share of the pollutants' emission in Lutsk is accounted for by road and accounts for 92-95 % of all emissions. According to Ya. O. Molchak, V. O. Fesiuk and O. F. Kartava, the most polluted areas are large

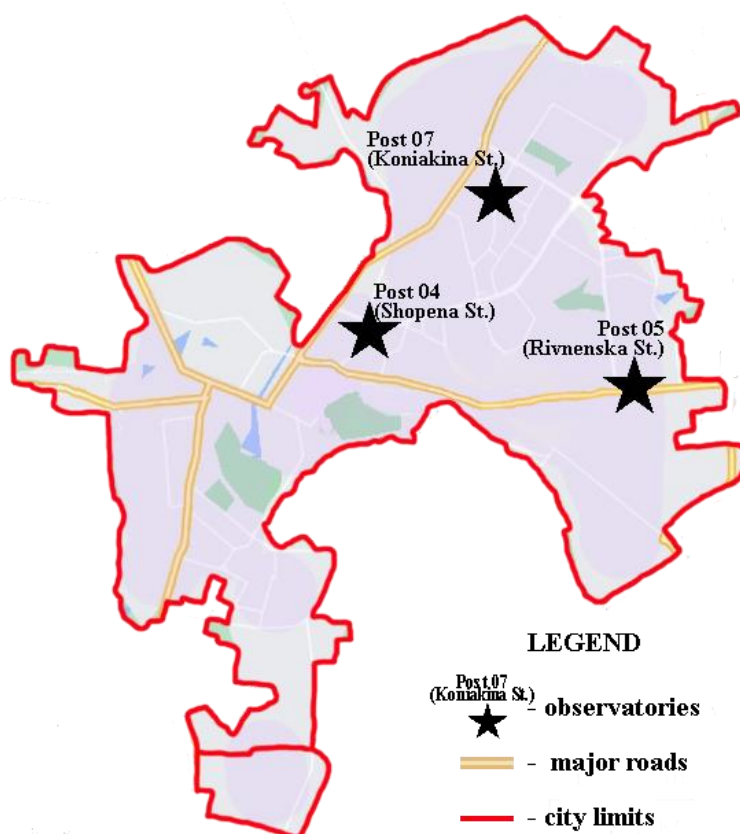


Fig. 3. Skeleton-map of the location of stationary observation posts in Lutsk

Table 2

Index of air pollution by certain substances in Lutsk

Impurities	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Dust	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
Sulfur dioxide	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Carbon monoxide	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39
Nitrogen dioxide	2,28	2,28	2,28	2,07	1,87	2,07
Nitric oxide	0,50	0,66	0,66	1,00	0,66	0,50
Phenol	1,45	1,94	1,94	2,46	1,94	1,94
Formaldehyde	2,46	3,00	3,58	4,17	2,46	1,94
API_{general}	7,36	8,55	9,13	10,37	7,60	7,12
CIAP	7,73	8,92	9,5	10,74	7,97	7,55

*calculated by authors based on data from the Volyn Regional Center for Hydrometeorology

transport interchanges, the road Zluky Square – Old Market – Parkova Street, the road Vidrozhennia Avenue – Rivne Street, departure street Shevchenko – street Kovelska – Volodymyrska, as well as the central streets of the city (Volia Ave., Vynnychenko St., Peremohy Ave., Bohdan Khmelnytsky St., etc.) [7, p. 218].

Despite the small share of stationary sources of pollution, emissions from them are quite dangerous, and some require pre-treatment. The largest stationary sources of pollution include the Hnidavskyi tsukrovnyi zavod (Gnidava Sugar Plant), the Lutskteplo utility company, the SKF Ukraine plant, and the Lutskiy remontnyi zavod «Motor» (Lutsk Motor Repair Plant) (Fig. 4).

The largest amount of the pollutants is emitted by stationary sources in the south-eastern industrial area of the city, due to the concentration of many powerful industrial enterprises. As the prevailing winds during the year are north-west and north, such emissions, together with the air masses, are dissipated outside the city. However, we should consider changes in wind direction depending on the pressure field during a year. [4, p. 320]. Thus, in the spring the wind acquires south-eastern and southern rhumbs, which causes pollution of the adjacent areas of the city.

Note that it is rather difficult to trace the differentiation of the level of pollution in the context of individual districts of the city, since the spread of

impurities in the air is influenced by many factors that vary during different time intervals such as day, month and year. Thus, during the period of sugar beet processing at the Hnidavskiyi tsukrovyyi zavod (end of September – December) the content of pollutants in

the air of the southern part of the city increases. In addition, the content of impurities in the air of a particular area of the city may increase due to a single local impact: road repairs, construction of houses and more.

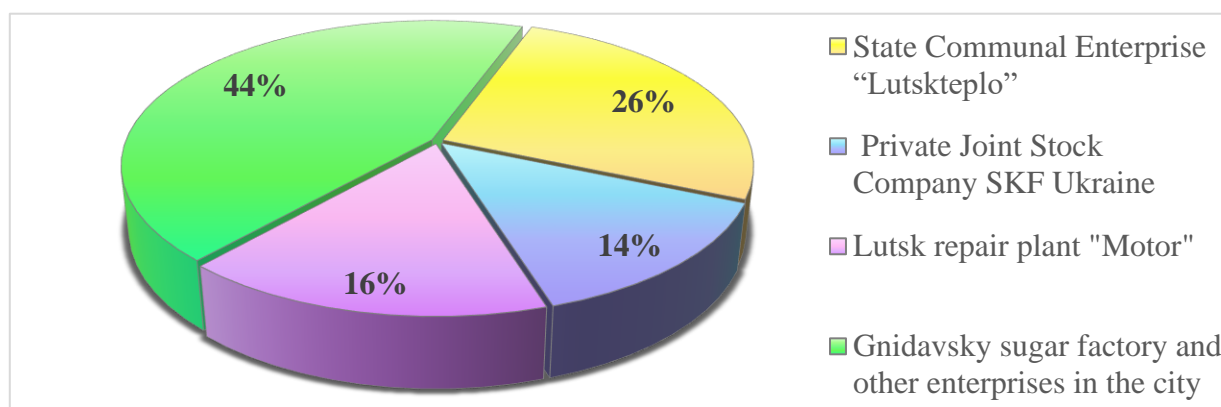


Fig. 4. The structure of emissions of pollutants into the air by stationary sources in 2020, % (*done by authors based on data from the Volyn Regional Center for Hydrometeorology)

Atmospheric air pollution of urban systems has a negative impact on the environment, life and health of the population, the economic complex, etc. (Fig. 5). The consequences of the presence of impurities in the air basin of the considered cities are extremely diverse and can be manifested immediately or have a long-term impact.

Atmospheric air pollution is one of the main environmental causes of poor public health, as the human body is constantly in contact with the air. Depending on the component and the individual characteristics of the organism, caused by the impurities in the air, various pathologies can occur in the human body. It is investigated that at constant action on a human body of exhaust gases of cars on diesel fuel there are disturbances in work of cardiovascular system, risks of formation of thrombi increase, vegetative regulation of heart is broken [18, p. 2]. In particular, the high content of phenols in the air causes the risk of dysfunction of the cardiovascular and nervous systems, liver and kidneys. Formaldehyde causes respiratory, immune and eye troubles. Nitrogen dioxide causes the respiratory system illness [16, p. 24-25]. It is the content of these pollutants in the city of Lutsk that exceeds the permissible norm.

In total, during 2019, the number of deaths in the studied cities was 4,151 people, which is 31.1 % of all deaths in the region. Of these, 65.4 % died from diseases of the cardiovascular system, 15.5 % – from tumors and 1.9 % – from respiratory diseases. Note that the number of deaths has a general tendency to increase, especially from diseases of the cardiovascular system. However, the decrease in mortality from respiratory diseases over the last 5 years is positive.

In addition, it has been proven that an increase in the concentration of pollutants in the air causes a

decrease in efficiency. Thus, with increasing air pollution index (API) every 10 conventional units, labor productivity decreases by an average of 4 % [17, p. 153]. Pollution of the air basin of cities causes material damage to the economy. In particular, impurities in the atmosphere destroy iron products, buildings and other structures. Air pollution is especially dangerous for architectural monuments (temples, castles, monuments, etc.), which can be gradually destroyed by impurities. In general, it is difficult to estimate the damage from air pollution, as it acts together with other factors that damage the products of material industry.

Due to the concentration in a relatively small area of the studied urban systems of a large number of vehicles and industrial production, their air basin receives much more greenhouse gases than the surrounding areas. For example, in 2015, 349.1 tons of methane and carbon dioxide came to the city of Lutsk from stationary and mobile sources of pollution, which is 82 % of the emissions of these gases in the Lutsk region. In 2019, 184.8 tons of investigated greenhouse gases entered the city atmosphere from stationary sources alone.

The constant presence of heat-retaining impurities in the atmosphere, as well as the anthropogenic transformation of landscapes (in particular, the change of the underlying surface) determines the formation of the so-called microclimates on the territory of the considered cities. Therefore, the air temperature in these cities is several degrees higher than in the surrounding areas.

Atmospheric air quality problems in urban areas of Volyn region and their consequences in the process of technogenesis continue to grow and need to be addressed. In general, today most of the systems for

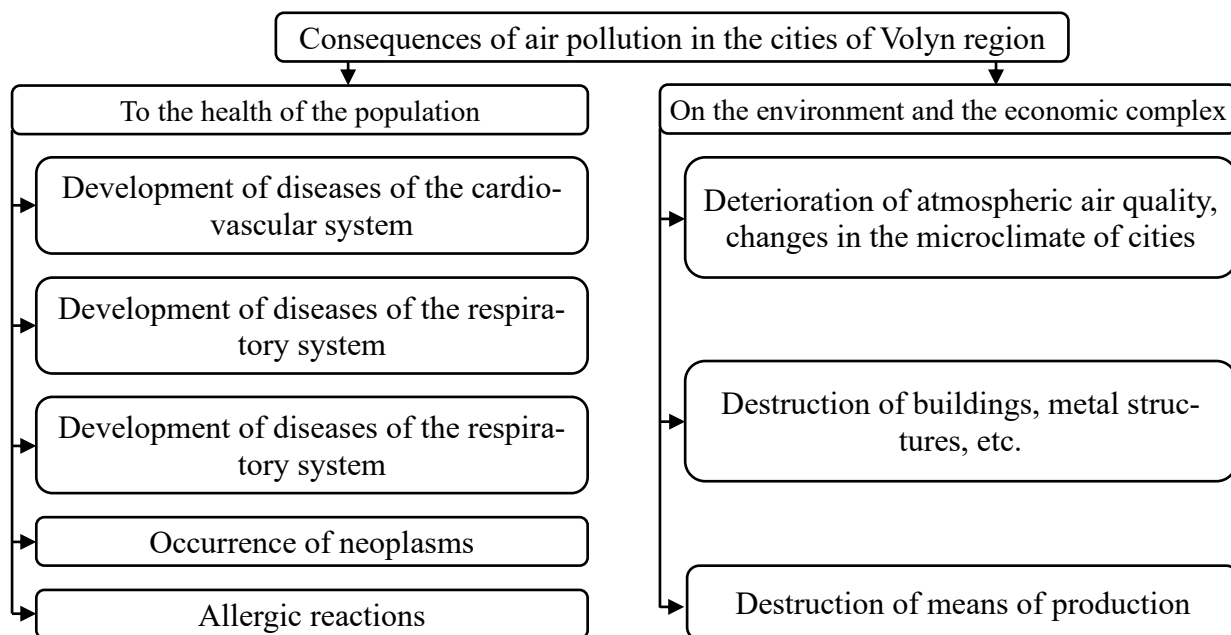


Fig. 5. The main consequences of air pollution in the cities of Volyn region

cleaning stationary sources of air pollution in Volyn region do not clean the emissions at the proper level but allow much of impurities to go into the air. The phenomenon is associated with obsolescence and technical deterioration of sewage treatment plants.

In addition, a significant problem is the uncontrolled and unregulated emissions of road transport. To date, there are only a number of projects and developments that can reduce emissions of impurities into the air, but we do not know radical solution to this problem. The urgent measures to solve this problem include: establishing speeds up to 60 km / h in cities, designing bypass roads for transit transport, equipping new cars with efficient systems and devices to reduce emissions, development and implementation of new types of internal combustion engines, etc. [5, p. 84].

Also, one of the ways to improve the condition of the air basin of urban areas is to increase the share of electric transport in public transport or the introduction of environmentally friendly modes of transport. Such projects are already being implemented in Lutsk, in particular, since December 2020, two environmentally friendly buses operating on gas-fired internal combustion engines have been operating.

In addition, one of the measures to improve the condition of the air can be the introduction of «green» logistics in road and rail transport in the Volyn region. Such ecologically oriented logistics aims to minimize chemical and noise pollution of the atmosphere by optimizing passenger and freight traffic using environmentally friendly or least environmentally hazardous vehicles [11, p. 53]. Based on the above, in our opinion, the most effective measures to reduce

emissions from stationary and mobile sources of pollution and improve air quality in the largest cities of Volyn region are:

- reconstruction and modernization of gas cleaning systems and dust collectors of individual enterprises;
- strengthening control over emissions of impurities into the atmosphere by individual organizations;
- centralization of heating and liquidation of small boilers;
- increasing the share of electric and environmentally friendly public transport in cities;
- increase of the territories of the cities occupied under perennial green plantings;
- introduction of «green» logistics.

Conclusions. Thus, the largest amount of pollutants in the atmosphere of Lutsk, Kovel, Volodymyr-Volynskyi and Novovolynsk is produced by road transport – 85-95 % of all emissions. Stationary sources of pollution produce an average of 12 tons of emissions per 1 km² of urban area. In the cities of Lutsk and Volodymyr-Volynskyi during 2015-2020 there is a decrease in emissions from stationary sources, and in Kovel and Novovolynsk pollution volumes have a slight tendency to increase.

The most of the concentration of impurities is observed in Lutsk, and the indices of air pollution in the city (API₅ and CIAP) correspond to the class «contaminated». The main air pollutant in the city is transport (92-95 % of all emissions). Among the stationary sources of pollution, the largest are: utility company «Lutskteplo» (26 % of point source emissions), Lutskiy remontnyi zavod «Motor» (16 %) and SKF Ukraine Plant (14 %). The most polluted areas

are the Vynnychenko St., Volia Ave., Peremohy Ave., Vidrozhennia Ave., Kovelska St., Rivnenska St., etc.

The consequences of air pollution are manifested in all spheres of life, especially dangerous air pollution is for humans life and health, as it does provoke the development of respiratory and cardio-

vascular disease and cancer. Therefore, the necessary measures to improve the condition of the air are the modernization of treatment plants for air pollutants; reduction of car emissions through the use of environmentally friendly vehicles and the introduction of «green» logistics.

Bibliography

1. Боярин М. В. Вплив метеорологічних умов на рівень забруднення атмосфери ландшафтів Волинської області [Текст] / М. В. Боярин, І. М. Нетробчук, В. У. Волошин // Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна серія «Екологія». – 2016. – Вип. 15. – С. 58-66. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://journals.uran.ua/visnukhnu_ecology/article/view/90393
2. Гулай Л. Д. Екологічна оцінка стану атмосферного повітря у м. Нововолинськ [Текст] / Л. Д. Гулай, О. А. Караїм, А. Ю. Синюк // Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія». – 2016. – Вип. 14. – С. 58-65. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://periodicals.karazin.ua/ecology/article/view/6337>
3. Закон України «Про охорону атмосферного повітря». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12#Text>
4. Кіптенко Є. М. Розроблення схеми короткотермінового прогнозу забруднення повітря для міста Луцьк [Текст] / Є. М. Кіптенко, Т. В. Козленко // Наукові праці УкрНДГМІ. – 2007. – Вип. 256. – С. 318-330. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uhmi.org.ua/pub/np/256/5_Kiptenko_Kozl.pdf
5. Книш Ю. В. Шляхи зменшення шкідливих викидів автотранспорту у навколишнє середовище [Текст] / Ю. В. Книш, М. Л. Копій // Науковий вісник НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.3. – С. 81-86. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2014/24_3/81_Kny.pdf
6. Козубенко Ю. Л. Сучасні реалії забруднення атмосфери в Україні та світі / Ю. Л. Козубенко // Молодий вчений. – 2016. – № 9.1(36.1). – С. 87-90. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://molodyvchenny.in.ua/files/journal/2016/9/22.pdf>
7. Мольчак Я. О. Луцьк: сучасний екологічний стан та проблеми [Текст] / Я. О. Мольчак, В. О. Фесюк, О. Ф. Картава. – Луцьк: РВВ ЛДТУ, 2003. – 488 с.
8. Павловська Т. С. Географія Волинської області: навч. посібник [Текст] / Т. С. Павловська. – Луцьк: Вежа-Друк, 2019. – 212 с.
9. Панасюк М. В. Екологічний стан атмосферного повітря Ковельського району Волинської області на основі статистичних даних [Текст] / М. В. Панасюк, Л. Д. Гулай // Вісник ЛДУ БЖД. – 2015. – № 12. – С. 152-156. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ldubgd.edu.ua/sites/default/files/3_nauka/visnyky/visnyk/12/12_22.pdf
10. Плахотній С. А. Удосконалення системи управління екологічною безпекою атмосферного повітря та гідрогеологічного середовища навколо вугільних шахт: автореф. дис. канд. тех. наук [Текст] / С. А. Плахотній. Київ, 2017. – 21.
11. Поручинська І. В. Передумови впровадження «зеленої» логістики на автомобільному транспорті Волинської області [Текст] / І. В. Поручинська // Молодий вчений: соціальні комунікації. – 2017. – № 3(43). – С. 53-56. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://molodyvchenny.in.ua/files/journal/2017/3_43_2017.pdf
12. Регіональна доповідь про стан навколишнього середовища в Волинській області за 2020 рік. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://voladm.gov.ua/article/regionalna-dopovid-pro-stan-dovkillya/>
13. Регіональна доповідь про стан навколишнього середовища в Волинській області за 2017 рік. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://voladm.gov.ua/article/regionalna-dopovid-pro-stan-dovkillya/>
14. Смирнова С. М. Забруднення атмосферного повітря транспортними засобами м. Миколаєва / С. М. Смирнова, В. М. Смирнов, О. О. Шаповалов // Науковий вісник МДУ імені В. О. Сухомлинського. Біологічні науки. – 2014. – Вип. 6.2(107). – С. 64-70. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://mdu.edu.ua/wp-content/uploads/files/15_13.pdf
15. Статистичний щорічник Волинь 2020 [Текст] / за ред. В. Науменка. – Луцьк: Головне управління статистики у Волинській області, 2021. – 419 с.
16. Тарасова В. В. Вплив забруднення атмосферного повітря на стан здоров'я населення / В. В. Тарасова // Агросвіт. – 2013. – № 16. – С. 24-28. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.agrosvit.info/pdf/16_2013/6.pdf
17. Chen S. Impact of air pollution on labor productivity: Evidence from prison factory data [Text] / S. Chen, D. Zhang // China Economic Quarterly International. – 2021. – Vol. 1. – Pp. 148-159. <https://doi.org/10.1016/j.ceqi.2021.04.004>
18. Lozano-Sabido E. D., ST-elevation myocardial infarction associated with air pollution levels in Mexico City [Text] / E. D. Lozano-Sabido, E. A. Berrios-Barcenas, A. C. Cazares-Diazleal, E. Viveros-Renteria, J. B. Alvarez-Mosquera, J. M. Portos-Silva, C. R. Kiamco-Castillo // IJC Heart & Vasculature. – 2021. – Vol. 35. – 100846-100854. <https://doi.org/10.1016/j.ijcha.2021.100846>
19. State Statistic Service of Ukraine: Air emissions total and carbon dioxide emissions (1990-2019). [Electronic resource]. – Retrieved from <http://www.ukrstat.gov.ua/>
20. World health organization. Air Pollution. [Electronic resource]. – Retrieved from: <http://www.who.int/airpollution/en/>

Author Contributions: All authors have contributed equally to this work

References

1. Boiaryn, M. V., Netrobchuk, I. M., & Voloshyn, V. U. (2016). Vplyv meteorologichnykh umov na riven zabrudnennia atmosfery landshaftiv Volynskoi oblasti [Influence of meteorological terms on contamination level atmosphere of landscapes Volyn region]. *Visnyk KhNU imeni V. N. Karazina serii «Ekolohiia»*, (15), 58-66. Retrieved from <http://journals.urau.ua/visnyk/ekology/article/view/90393> [in Ukrainian].
2. Hulai, L. D., Karaim, O. A., & Syniuk, A. Yu. (2016). Ekolohichna otsinka stanu atmosfery u m. Novovolynsk [Ecological assessment of atmospheric air in Novovolynsk]. *Visnyk KhNU imeni V. N. Karazina. Serii «Ekolohiia»*, (14), 58-65. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/ecology/article/view/6337> [in Ukrainian].
3. Zakon Ukrainy «Pro okhoronu atmosfery» [Law of Ukraine «On protection of atmospheric air»]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12#Text> [in Ukrainian].
4. Kiptenko, Ye. M., & Kozlenko, T. V. (2007). Rozroblennia skhemy korotkotermynovoho prohnozu zabrudnennia povitria dlia mista Lutsk [Development of a scheme of short-term forecast of air pollution for the Lutsk City]. *Naukovi pratsi UkrNDHMI*, (256), 318-330. Retrieved from https://uhmi.org.ua/pub/np/256/5_Kiptenko_Kozl.pdf [in Ukrainian].
5. Knysh, Yu. V., & Kopyi, M. L. (2014). Shliakhy zmenshennia shkidlyvykh vykydiv avtotransportu u navkolyshnie seredovyshche [Some ways to reduce harmful automobile emissions into the environment]. *Naukovi visnyk NLTU Ukrainy*, (24.3), 81-86. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2014/24_3/81_Kny.pdf [in Ukrainian].
6. Kozubenko, Y. L. (2016). Suchasni realii zabrudnennia atmosfery v Ukraini ta sviti [Modern realities of air pollution I Ukraine and in the world]. *Young Scientist*, 9.1(36.1), 87-90. Retrieved from <http://molodyvcheny.in.ua/files/journal/2016/9/22.pdf> [in Ukrainian].
7. Molchak, Ya. O., Fesiuk, V. O., & Kartava, O. F. (2003). Lutsk: suchasnyi ekolohichnyi stan ta problemy [Lutsk: modern ecological state and problems]. Lutsk: RVV LDTU. [in Ukrainian].
8. Pavlovska, T. S. (2019). Heohrafiia Volynskoi oblasti: navch. posibnyk [Geography of the Volyn region]. Lutsk: Vezha-Druk. [in Ukrainian].
9. Panasiuk, M. V., & Hulai, L. D. (2015). Ekolohichnyi stan atmosfery Kovelskoho raionu Volynskoi oblasti na osnovi statystychnykh danykh [The ecological analysis of air in Kovel district of the Volyn region based on statistical data]. *Visnyk LDU BZhD*, 12, 152-156. Retrieved from https://ldubgd.edu.ua/sites/default/files/3_nauka/visnyky/visnyk/12/12_22.pdf [in Ukrainian].
10. Plahotnii, S. A. (2017). Udoskonalennia systemy upravlinnia ekolohichnoiu bezpekoiu atmosfery ta hidroheolohichnoho seredovyshcha navkolo vuhilnykh shakht [Improvement of the ecological safety management system of the hydrogeological and atmospheric environment around coal mines] (Extended abstract of Candidate's thesis). Kyiv. [in Ukrainian].
11. Poruchynska, I. V. (2017). Peredumovy vprovadzhennia «zelenoi» lohistyky na avtomobilnomu transporti Volynskoi oblasti [Pre-conditions of introduction of «green» logistic are om motor and railway transport of Volyn region]. *Molodyi vchenyi: sotsialni komunikatsii*, 3(43), 53-56. Retrieved from http://molodyvcheny.in.ua/files/journal/2017/3_43_2017.pdf [in Ukrainian].
12. Rehionalna dopovid pro stan navkolyshnoho seredovyshcha v Volynskii oblasti za 2020 rik [Regional report on the state of the environment in the Volyn region in 2020]. Retrieved from <https://voladm.gov.ua/article/regionalna-dopovid-pro-stan-dovkillya/> [in Ukrainian].
13. Rehionalna dopovid pro stan navkolyshnoho seredovyshcha v Volynskii oblasti za 2017 rik [Regional report on the state of the environment in the Volyn region in 2017]. Retrieved from <https://voladm.gov.ua/article/regionalna-dopovid-pro-stan-dovkillya/> [in Ukrainian].
14. Smirnova, S. M., Smirnov, V. N., & Shapovalov, O. O. (2014). Zabrudnennia atmosfery transportnymy zasobamy m. Mykolaieva [Atmospheric air pollution from transport of Mykolaiv]. *Zabrudnennia atmosfery povitria transportnymy Naukovi visnyk MDU imeni V. O. Sukhomlynskoho. Biolohichni nauky*, (107), 64-70. Retrieved from http://mdu.edu.ua/wp-content/uploads/files/15_13.pdf [in Ukrainian].
15. Naumenko, V. (Ed.). (2021). *Statystychnyi shchorichnyk Volyn 2020* [Statistical Yearbook of Volyn 2020]. Lutsk: Holovne upravlinnia statystyky u Volynskii oblasti. [in Ukrainian].
16. Tarasova, V. V. (2013). Vplyv zabrudnennia atmosfery na stan zdorovia naseleння [The impact of air pollution on the health of the population]. *Ahrosvit*, 16, 24-28. Retrieved from http://www.agrosvit.info/pdf/16_2013/6.pdf [in Ukrainian].
17. Chen, S., & Zhang, D. (2021). Impact of air pollution on labor productivity: Evidence from prison factory data. *China Economic Quarterly International*, 1, 148-159. [in English]. <https://doi.org/10.1016/j.ceqi.2021.04.004>
18. Lozano-Sabido E. D., Berrios-Barcenás, E. A., Cazares-Díazleal, A. C., Viveros-Rentería, E., Álvarez-Mosquera, J. B., Portos-Silva, J. M., & Kiamco-Castillo C. R. (2021). ST-elevation myocardial infarction associated with air pollution levels in Mexico City. *IJC Heart & Vasculature*, 35, 100846-100854. <https://doi.org/10.1016/j.ijcha.2021.100846>
19. State Statistic Service of Ukraine: Air emissions total and carbon dioxide emissions (1990-2019). Retrieved from <http://www.ukrstat.gov.ua/>
20. World health organization. Air Pollution. Retrieved from: <http://www.who.int/airpollution/en/>

Забруднення атмосферного повітря найбільших міст Волинської області: передумови, наслідки та шляхи вирішення проблеми

Михайло Михайлович Мельничук¹,

к. геогр. н., доцент, кафедра фізичної географії,

¹Волинський національний університет імені Лесі Українки, вул. Потапова, 9, м. Луцьк, 43025, Україна;

Вікторія Віталіївна Горбач¹,

магістр кафедри фізичної географії;

Людмила Миколаївна Горбач²,

к. економ. н., доцент, директор ²Волинського інституту імені В'ячеслава Липинського

ПрАТ «ВНЗ «МАУП», вул. Коперника, 8, м. Луцьк, 43025, Україна;

Олександр Павлович Вовк¹,

к. геол. н., доцент, кафедра фізичної географії

Стаття присвячена дослідженню проблеми забруднення атмосферного повітря найбільш урбанізованих територій Волинської області: м. Луцьк, м. Ковель, м. Нововолинськ та м. Володимир-Волинський. Проаналізовано природні та соціально-економічні умови досліджуваних населених пунктів, що впливають на особливості поширення та розсіювання забруднюючих речовин у просторі. Зокрема, охарактеризовано фізико-географічні особливості розміщення міст (орографію, особливості циркуляції атмосфери тощо), чисельність та густоту їхнього населення, наявність та специфіку промислових виробництв тощо. Виявлено основні стаціонарні та пересувні джерела забруднення повітря, склад та обсяги викидів, їхню просторову та часову динаміку. Встановлено, що основним джерелом забруднення атмосферного повітря у розглянутих містах є автомобільний транспорт, на який припадає 85-95 % усіх викидів. З'ясовано, що динаміка викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел забруднення протягом останніх п'яти років у м. Луцьк та м. Володимир-Волинський мають загальну тенденцію до зниження. У м. Ковель та м. Нововолинськ спостерігається незначне зростання обсягів викидів. За даними моніторингу на трьох стаціонарних пунктах спостереження, досліджено стан повітряного басейну адміністративного центра області – м. Луцьк, виявлено, що найбільш забрудненим є південно-східний промисловий район міста. Розраховано індекс забруднення атмосферного повітря м. Луцьк окремими компонентами та комплексний індекс забруднення та встановлено, що атмосферне повітря найбільшого міста Волинської області – Луцьк належить до класу «забруднене». З'ясовано, що внаслідок карантинних обмежень, протягом 2020 р у м. Луцьк спостерігався найнижчий показник індексу забруднення атмосфери за останні шість років. Окрім того, у статті висвітлено вплив забруднення атмосферного повітря на навколишнє природне середовище, життя і господарську діяльність мешканців міст Волинської області. Запропоновані заходи покращення стану атмосферного повітря досліджуваних урбосистем, що полягають у скороченні обсягів викидів за рахунок модернізації очисних споруд на підприємствах, використання екологічно-чистих видів транспорту та впровадження «зеленої» логістики.

Ключові слова: забруднення атмосфери, забруднюючі речовини, урбанізовані території, джерела забруднення атмосфери, індекс забруднення атмосфери, специфічно міські хвороби.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 23 жовтня 2021 р.

Прийнята 8 січня 2022 р.

Аналіз впливу техногенних об'єктів Лисичансько-Рубіжанського промвузла на екологічний стан навколишнього природного середовища

Ніна Василівна Міхалкова¹,

аспірант кафедри гідрогеології ¹Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна,
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна,

e-mail: mikhalkovanini@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9119-213X>;

Аліна Володимирівна Кононенко¹,

к. геол. н., доцент кафедри гідрогеології,

e-mail: kononenko_alina01@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-0382-3910>;

Ігор Валерійович Удалов¹,

д. геол. н., професор, зав. кафедри гідрогеології,

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

У статті досліджено вплив техногенних об'єктів Лисичансько-Рубіжанського промвузла на екологічний стан компонентів навколишнього природного середовища (НПС) – атмосфери, поверхневих вод, ґрунтів та підземних вод. Описано, що головною особливістю території дослідження є відмінність геолого-тектонічної будови: лівий берег р. Сіверський Донець є терасованою рівниною, правий берег – це зона розвитку тектонічних порушень. Доведено, що механізм забруднення НПС на лівому березі – інфільтрація забруднювачів з поверхні, на правобережжі – це вплив забруднювачів із глибини надр. В статті проаналізовано дані щодо забруднення атмосфери і поверхневих вод на початок 2000-х років та за сучасний період «застою» промисловості. Показано, що впродовж останніх 15 років спостерігається тенденція до зменшення викидів забруднювачів до атмосфери підприємствами промвузла. Встановлено, що поверхневі води піддаються техногенному пресингу навіть після закриття більшості підприємств-гігантів промисловості. Рівень забруднення ґрунтів у місцях найбільшого техногенного впливу визначено за допомогою розрахунку сумарного показника забруднення. Встановлено, що діапазон значень відповідає від 0,7 до 46. Виявлено комплекс елементів-забруднювачів в ґрунті: для правого берегу р. Сіверський Донець характерними є F, Be, As, Pb та інші важкі метали; для лівого берегу – це нафтопродукти, феноли, нітрати, нітроти, хлориди і т. ін. Зауважено, що промайданчики шахт створюють велику небезпеку для НПС, маючи при цьому невеликі значення показника сумарного забруднення (< 16). Зазначено, що високе техногенне навантаження внаслідок діяльності шахт призвело до накопичення в ґрунтах токсичних елементів I-III класу небезпеки. Проаналізовано екологічний стан алювіального та мергельно-крейдяного водоносних горизонтів. Відмічено, що алювіальний горизонт найбільше піддається техногенному впливу. Показано, що мінеральне забруднення обох горизонтів має багатокомпонентний склад. Встановлено, що високе техногенне навантаження в мергельно-крейдяному горизонті активізувало карстовий процес. При цьому відмічено підвищення температури підземних вод в обох горизонтах. Надано довгострокові прогнози змін екологічного стану території Лисичансько-Рубіжанського промвузла. Запропоновано проведення постійного моніторингу НПС задля більш детального дослідження екологічної ситуації.

Ключові слова: екологічний стан, промвузол, техногенний вплив, забруднювачі, ґрунти, підземні води, поверхневі води, навколишнє природне середовище, геологічне середовище.

Як цитувати: Міхалкова Н. В. Аналіз впливу техногенних об'єктів Лисичансько-Рубіжанського промвузла на екологічний стан навколишнього природного середовища / Н. В. Міхалкова, А. В. Кононенко, І. В. Удалов // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 56. – С. 225-239. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-17>

In cites: Mikhalkova N. V., Kononenko A. V., Udalov I. V. (2022). Analysis of the influence of technogenic facilities of the Lysychansk-Rubizhne industrial hub on the ecological state of the natural environment. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (56), 225-239. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-17> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. В Україні однією із найгостріших проблем є складна екологічна ситуація в техногенно перевантажених регіонах. Лисичансько-Рубіжанський промвузол протягом багатьох років навіть як для Донбасу характеризується суттєвим перевантаженням промисловими підприємствами. Спектр впливу промислових підприємств на компоненти НПС визначається вкрай широким діапазоном – від нафтохімічної і хімічної промисловості (Лисичанський НПЗ, Краситель, Азот, Лиссода та ін.) до шахтних підприємств із значним комплексом забруднювачів – від підвищення мінералізації, жорсткості, появи

нітратів, фенолів та ін. до важких металів і, можливо, радіонуклідів в місцях розташування шахт.

Відомо, що на сьогодні з величезної кількості промислових підприємств Лисичансько-Рубіжанського промвузла не працює приблизно 80 % [17]. Але це поки що не призвело до покращення екологічного стану досліджуваної території. Ступінь техногенного навантаження на промислових майданчиках, наявність великої кількості промислових відходів, відстійників, шламонакопичувачів, териконів і т. ін. призводить до того, що з інфільтрацією атмосферних опадів та іншими шляхами міграції забруднення розповсюджується як по

площині, так і з глибиною. Наявність такої великої кількості техногенних джерел забруднення вказує на те, що ореоли їх впливу, ймовірно, за все, накладаються один на інший. Тому дослідження екологічного стану складових НПС є, з одного боку, резонним, з іншого – актуальним. Оцінка та аналіз ступеню техногенного навантаження Лисичансько-Рубіжанського промвузла на складові НПС є основним завданням даної роботи.

Аналіз попередніх досліджень. Аналіз наукової літератури показує, що дослідженням техногенного впливу промислових підприємств на компоненти НПС займалася велика кількість різних вчених – Гольдберг В. М., Улицький О. А., Котлов Ф. В., Бабаєв М. В., Шнюков Є. Ф., Тарахкало О. В., Шестопапов В. М., Котелевець Є. П., Яковлев Є. О., Огняник М. С., Трофімов В. Т., Сергеев Є. М., Стрижельчик Г. Г., Мохонько В. І., Удалов І. В., Кононенко А. В., Яковлев В. В., Кодрик А. І., Давиденко В. А., Ноженко О. О., Єрмаков В. М. та багато інших.

Гольдберг В. М. у своїй роботі [1] на прикладі промислового району здійснив комплексне вивчення забруднення НПС та підземних вод. Вплив техногенних об'єктів на екологічний стан району автор розглянув з наступної позиції: забруднення підземних вод є наслідком забруднення НПС в цілому – ґрунтів, поверхневих вод та атмосфери.

У роботах Трофімова В. Т., Сергеева Є. М., Котлова Ф. В. [2, 3] значна увага приділяється впливу різних видів інженерно-господарської діяльності людини на зміну основних компонентів природного і, головним чином, геологічного середовища (ГС). Котловим Ф. В. [3] показано взаємозв'язок зміни одних компонентів природного середовища з іншими в результаті техногенного впливу.

Роботи авторів [4-7] (Єрмаков В. М., Бабаєв М. В., Улицький О. А., Тарахкало О. В., Котелевець Є. П. та ін.) спрямовані на дослідження екологічних проблем, що виникли внаслідок діяльності вуглевидобувної промисловості, а також закриття шахт. Описано процеси підтоплення, які пов'язані зі зміною ГС. Улицьким О. А. в роботі [7] розраховано оцінку небезпеки та її інтенсивності впливу на НПС для 97 шахт. Автор зазначив, що високі рейтингові показники багатьох шахт (перевищують 200) пов'язані із тим, що на їх території розташовані терикони, що горять, і знаходяться вони неподалік від житлових масивів.

Низкою вчених в довідковому посібнику [8] приведена оцінка зміни ГС під впливом природних, техногенно-природних та техногенних факторів. Стрижельчиком Г. Г. проаналізовано вплив техногенних об'єктів на еколого-геологічну ситу-

ацію та зміни НПС в промислово-міських агломераціях найбільш урбанізованих територій України, в тому числі Донбасу. Науковцями Шестопаповим В. М., Огняником М. С. та Яковлевим Є. О. розглянуто техногенний вплив промислових об'єктів на режим підземних вод: описано техногенні фактори та процеси, що виникають в результаті впливу цих факторів.

Роботи останніх років спрямовані на вивчення екологічних проблем внаслідок техногенного навантаження на основні складові НПС. Враховуючи тенденцію до закриття промислових підприємств за останні 10-15 років, велика частина робіт присвячена дослідженню впливу вже ліквідованих промислових підприємств та подальшої негативної дії існуючих накопичувачів стічних вод і промислових відходів на НПС. Розглянемо деякі роботи останніх років.

Більш сучасні роботи [9-11] Яковлева Є. О. присвячені здебільшого екологічним проблемам надрокористування. Зокрема, в роботі [9] автор зіставляє зміни екологічного стану НПС зони аварійного впливу Чорнобильської АЕС і зони впливу закриття шахт на Донбасі. Надано рекомендації щодо поліпшення ситуації у зв'язку з розвитком процесу некерованого (аварійного) затоплення шахт і ризиком втрати природно-ресурсного потенціалу для його майбутнього екологічно збалансованого розвитку.

В роботі [10] Яковлевим Є. О. зазначено важливість оцінювання асиміляційного (захисного) потенціалу ГС як чинника екологічної, економічної та соціальної безпеки держави. Автор відмітив, що для гірничодобувних районів ГС стає головним «депо» більшості техногенних викидів та механічних, фізичних і хімічних впливів на складові НПС. Наведено провідні еколого-геологічні чинники впливу масового закриття вугледобувних шахт.

Заслугує уваги робота [11] науковців, в якій розглянуто метод геоінформаційного аналізу еколого-техногенних загроз для вуглепромислових районів Донбасу. На прикладі природно-техногенної геосистеми «вуглепромислова агломерація – навколишнє природне середовище» АТ «Лисичанськвугілля» проведено аналіз факторів впливу на загрози виникнення надзвичайної ситуації для шахт. Охарактеризовано основні чинники впливу вугільних шахт на НПС. Автори розглянули три сценарії розвитку ситуації на шахтах, визначаючи при цьому склад заходів щодо стабілізації та основні наслідки впровадження стабілізуючих заходів.

В роботі [12] проведений комплексний аналіз впливу гірничо-видобувних робіт на ГС Донбасу. На прикладі Горлівської гірничо-міської агломерації охарактеризовано фактори впливу екологіч-

но небезпечних об'єктів та оцінено небезпеку хімічного забруднення гірничого простору під промайданчиком Горлівського хімзаводу. Надано рекомендації щодо проведення заходів еколого-геологічного напрямку, які забезпечать зниження ризику небезпечних змін ГС і наслідків, пов'язаних із цими змінами.

Мохонько В. І. опубліковано ряд робіт [13-15], пов'язаних з дослідженням впливу накопичувачів промислових відходів ВАТ «Лисичанська сода» на стан НПС. Зокрема, в роботі [13] досліджено вплив високомінералізованих стоків виробництва кальцинованої соди, що складаються в накопичувачі «Біле море», на активізацію крейдово-мергельного карстогенезу. Проведено аналіз даних моніторингу підземних вод за період, коли підприємство ще працювало (до 2010 року), та встановлено, що основними техногенними факторами активізації крейдово-мергельного карсту є надходження промислових стоків в підземні горизонти та багаторічна інтенсивна експлуатація родовища тріщино-карстових вод. В роботі описано основні забруднювачі, концентрація яких в підземних водах в десятки і сотні разів перевищують ГДК.

В роботі [15] розглянуто стан накопичувачів ВАТ «Лисичанська сода» та їх вплив на підземні води з точки зору сучасності. Враховуючи, що близько 10 років підприємство не працювало і надходження стоків не відбувалося, накопичувач залишається небезпечним об'єктом. Відмічено, що навіть при відсутності фільтраційних втрат із накопичувачів, вони залишаються джерелом забруднення підземних вод.

Удалов І. В. опублікував ряд робіт [16-20] по дослідженню впливу техногенних об'єктів на підземні води в межах території Північно-Східного Донбасу. В роботі [16] встановлено, що поверхневі води Лисичанського і Алмазно-Мар'їнського геолого-промислових районів знаходяться під інтенсивним техногенним впливом. Враховуючи гідравлічний зв'язок підземних вод із забрудненими поверхневими, проаналізовано стан ґрунтових вод та визначено основні елементи-забруднювачі поверхневих і ґрунтових вод. В ході дослідження автором виявлено, що скидання великої кількості солей в річки геолого-промислових районів призвело до збільшення жорсткості та мінералізації води на деяких водозаборах.

В монографії [17] Удалов І. В. проаналізував особливості розподілу токсичних елементів у вугіллі та вмшуючих породах Північно-Східного Донбасу, розглянув особливості процесів міграції природних радіонуклідів у підземних водах та вмшуючих породах під час ліквідації вугільних шахт. Крім того, автором досліджено вплив закриття вугільних шахт на трансформацію ГС та

зміни стану НПС. Вплив на підземні води автор розглянув на прикладі шахти «Пролетарська» й Світличанського водозабору, умови розміщення та геологічна будова яких подібні до водозаборів і шахт в Лисичансько-Рубіжанському промвузлі. З'ясовано, що шахта «Пролетарська» впливала на якісний склад підземних вод, які експлуатує Світличанський водозабір.

Дослідженням впливу техногенних та природних чинників на зниження якості підземних вод в межах Північно-Східного Донбасу займається Кононенко А. В. Її роботи [18-21] присвячені дослідженню негативного впливу діяльності шахти «Пролетарська» на якість вод Світличанського водозабору. В дисертації [21] одним із об'єктів дослідження є Житлівський водозабір, що знаходиться в межах Лисичансько-Рубіжанського промвузла. Авторка розглядає декілька факторів погіршення якості підземних вод, основними з яких є техногенні чинники.

Екологічні проблеми Лисичансько-Рубіжанського промвузла разом з іншими промисловими районами Луганщини описано в роботі Давиденко В. А., Ноженко О. О. [22]. В роботі проаналізовано стан атмосферного повітря та гідросфери, що постійно піддаються техногенному впливу, за двадцятирічний період спостережень (до 2010 р.). Виявлено, що з роками зберігається тенденція до погіршення якості підземних вод на водозаборах.

Низкою науковців [23] зроблено комплексний аналіз екологічної ситуації на території Донецької і Луганської областей. В роботі оцінено ступінь трансформації і стан ґрунтів, екологічний стан атмосферного повітря, поверхневих та підземних вод; охарактеризовано об'єкти критичної інфраструктури та потенційно небезпечні об'єкти на території цих двох областей, в тому числі і промвузла. Авторами надані рекомендації щодо покращення екологічної ситуації в регіоні.

В роботі [24] досліджено стан техногенних ландшафтів міста Рубіжне, а саме: полігону промислових відходів Рубіжанського картонно-гарного комбінату, золошлаковідвал колишньої ТЕЦ-2, відвалів відходів Силікатного заводу, який давно не працює. По кожному з цих об'єктів надано рекомендації щодо переробки або використання відходів, що дасть змогу зменшити їх вплив на НПС.

Заслужує уваги робота [25] Виставної Ю. Ю., Яковлева В. В. та інших науковців, в якій досліджено нітратне забруднення поверхневих та підземних вод басейну р. Сіверський Донець. Результати показали високі просторові і часові варіації вмісту нітратів; науковці припустили, що антропогенний вплив є основним фактором, що впливає на міграцію і накопичення їх в басейні. Встановлено, що у цілому рівень забруднення

нітратами води джерел на 2014 рік є суттєво вищим, ніж у 80-х роках минулого століття.

Значну увагу дослідженню впливу промисловості на компоненти НПС приділено в роботах зарубіжних авторів [26-29]. Зокрема, робота [26] присвячена дослідженню ґрунту та ґрунтових вод в міських районах в постіндустріальну епоху (на прикладі покинутих родовищ в одній із провінцій Китаю). В результаті представлено площі забруднення ґрунтів та ґрунтових вод (відповідно 14903,6 м² та близько 18880 м³).

В роботі [27] досліджено вплив промислових очисних споруд на поверхневі води в Нідерландах. Авторами визначено, що загалом 32% води, яка забирається для питного водопостачання, піддається негативному впливу з боку очисних споруд промислових стічних вод.

В попередніх дослідженнях доведено, що аналізувати весь спектр забруднювачів не має сенсу. В даній роботі будуть досліджуватися характерні елементи-забруднювачі, котрі виділили науковці за останні 10-15 років. По території розміщення шахт – це важкі метали; по терасам, де розташовані водозабори – це інші комплекси забруднювачів: сухий залишок, жорсткість, нітрати, нітрити, нафтопродукти, феноли та ін. Це зазначено в роботах Улицького О. А., Удалова І. В., Бабаєва М. В. та інших науковців.

Мета статті – проаналізувати техногенний вплив об'єктів Лисичансько-Рубіжанського промвузла на компоненти НПС.

Результати досліджень. При дослідженні впливу техногенних об'єктів промвузла на компоненти НПС основна увага приділяється саме забрудненню ґрунтів та підземних вод. Це пояснюється наступним.

Територія досліджень у зв'язку з особливостями структурно-геологічної будови характеризується відсутністю природної захищеності ГС. Високий ступінь тріщинуватості та проникності порід, що складають геологічний розріз, зумовлений проходженням тут великого тектонічного порушення – Північнодонецького насуву. У товщі порід зони активного водообміну знаходяться алювіальний водоносний горизонт та великий підземний басейн – тріщинувата зона верхньої крейди.

Мергельно-крейдианий водоносний горизонт (МКВГ), що використовується для централізованого водопостачання, поширений в межах піщаних терас лівобережжя р. Сіверський Донець і його приток. Гідралічно водоносний горизонт зв'язаний з водами річки і вище залягаючим водоносним горизонтом в алювіальних відкладах. В покрівлі крейди залягає слабопроникна товща елювію (зона замулювання), потужністю кілька метрів, яка не захищає горизонт від інфільтрації

забруднення «зверху» і пропускає його крізь гідрогеологічні «вікна» у товщі [21].

Зважаючи на зв'язок МКВГ з алювіальним водоносним горизонтом та інфільтраційне живлення останнього, зрозуміло, що забруднення ґрунтів відображається на якісному стані підземних вод. Найбільша кількість забруднювачів, інфільтруючись в зону аерації, затримується саме в ґрунтах, поступово забруднюючи підземну гідроферу.

Лисичансько-Рубіжанський промвузол протягом багатьох десятиріч був насичений великою кількістю підприємств хімічної, гірничовидобувної, нафтохімічної, машинобудівної, скляної промисловості та ін. Багаторічна діяльність цих підприємств внесла значні корективи в природний стан НПС – виникнення техногенного рельєфу, накопичення забруднювачів в ґрунтах та міграція їх в підземних водах, періодичні скиди неочищених або слабо очищених стоків до поверхневих вод, забруднення атмосфери тощо. Станом на сьогодні працюючих підприємств залишилося мало, але це не вказує на зменшення чи значне покращення стану забрудненості ґрунтів. Це відбувається, ймовірно, через «накопичувальний ефект» ґрунтів внаслідок постійного інтенсивного накопичення забруднюючих речовин.

Враховуючи здатність ґрунтів затримувати велику частину забруднювачів, важливим є також дослідження впливу техногенних об'єктів на інші складові НПС: комплексний підхід дозволяє показати картину екологічного стану в цілому.

Розглянемо техногенний вплив промвузла на кожну складову НПС. Зокрема, стан забруднення атмосферного повітря і поверхневих вод розглянемо за 2005 та 2019 роки, що відповідають періодам інтенсивної роботи підприємств і навпаки – сучасного стану «застою» промвузла.

Викиди забруднюючих речовин в атмосферу мають великі обсяги на території Лисичансько-Рубіжанського промвузла. Динаміку викидів розглянуто за декілька років, що дає змогу визначити тенденцію до збільшення або зменшення викидів у повітря.

За період 2000 – 2005 рр. відзначається деяке погіршення у стані атмосферного повітря (табл. 1). Основні джерела забруднення – численні хімічні підприємства, гірничодобувна галузь, Северодонецька ТЕЦ та автотранспорт. Якщо описати викиди в атмосферу кількісно – то основними джерелами забруднення за 2005 рік є: ВАТ «ЛІНІК» (18003,504 т/рік), ВАТ «Лисичанська сода» (7655,207 т/рік), ЗАТ «Северодонецьке об'єднання Азот» (3116,935 т/рік), ТОВ «Рубіжанський Краситель» (103,342 т/рік), ВАТ «Об'єднання Склопластик» (314,457 т/рік) [30].

За останні 5-10 років через закриття багатьох

промислових підприємств ситуація змінилася (табл. 2). Станом на сьогодні основними причинами забруднення повітря залишаються використання підприємствами застарілих технологій виробництва та зношеного технологічного устатку-

вання, низький рівень забезпеченості джерел викидів пилогазоочисним обладнанням.

Аналізуючи динаміку викидів за останні роки, спостерігається тенденція до зменшення викидів забруднювачів підприємствами промвузла.

Таблиця 1

Динаміка викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення у Лисичансько-Рубіжанському промвузлі (тис. т) [30]

Назва населених пунктів	2000 р.	2003 р.	2005 р.
м. Лисичанськ	32,1	36,8	45,1
м. Рубіжне	1,3	1,5	2,2
м. Северодонецьк	4,4	4,2	4,5

Таблиця 2

Динаміка викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення у Лисичансько-Рубіжанському промвузлі (тис. т) [31]

Назва населених пунктів	2016 р.	2017 р.	2019 р.
м. Лисичанськ	16,6	16,4	13,13
м. Рубіжне	1,7	1,7	1,23
м. Северодонецьк	0,71	0,71	1,07

Найбільш поширеними забруднювачами, що викидаються в атмосферу підприємствами в межах промвузла, є оксид вуглецю, сірки діоксид, двоокис азоту, метан та тверді частинки. Основними джерелами викидів на 2019 рік є ПрАТ «Рубіжанський КТК» (859,669 т/рік), ПрАТ «Северодонецьке об'єднання Азот» (542,604 т/рік), ТОВ НВП «Зоря» (238,736 т/рік), ПрАТ «ЛИНІК» (66,670 т/рік) [31].

Забруднення поверхневих вод зумовлене скиданням в річки Сіверський Донець, Борова та Верхня Біленька більш ніж 15 млн. м³ стічних вод щорічно. Забруднювачі потрапляють в річки із зворотними водами промислових підприємств та підприємств житлово-комунального господарства. Скидання води проводиться як через стічні канали, так і безпосередньо в річки через стічні труби.

До м. Рубіжне р. Сіверський Донець забруднюють скиди шахтних вод ВО «Лисичанськвугілля», стоки комунальних господарств міст Привілля та Новодружеськ. Нижче за течією Сіверський Донець та інші річки на початку 2000-х років забруднювали скиди наступних підприємств: РВО «Краситель», Рубіжанський картонно-гарний комбінат, Рубіжанський хімзавод «Зоря», «Об'єднання Азот», Лисичанське ВУВКГ та «Лисичанська сода» [30].

Основними забруднювачами поверхневих вод Лисичансько-Рубіжанського промвузла на 2005 рік є «Краситель» (6950 т/рік), «Лиссода» (67300 т/рік) та «Азот» (9760 т/рік). Основними речовинами, що забруднювали поверхневі води, є органічні сполуки, про що свідчить жовтуватий та коричневий колір стоків.

За 2005 рік, як і за попередні 2004-2002 рр., вміст солей важких металів суттєво не змінився і варіював у межах ГДК. По всім створам річок феноли практично відсутні [30]. Мінералізація води в р. Сіверський Донець нерівномірна – то підвищується після впадіння певного скидного каналу чи притоки, то дещо зменшується (табл. 3).

У 2019 році стан поверхневих водних об'єктів – річок Сіверський Донець, Борова та Верхня Біленька – залишився на рівні минулих п'яти років, суттєвих змін не зафіксовано. У сольовому складі води річок переважали сульфати, хлориди, гідрокарбонати і вода є досить мінералізованою. На основних створах спостерігалось перевищення середньорічних концентрацій показників по деяким елементам (Ni, Zn, Mn, Cu, Al та ін.) (табл. 4).

Таблиця показує, що збільшення середньорічних концентрацій фіксується після впадіння техногенно-навантажених приток (скидні канали КП «Рубіжанське ВУВКГ», «Зоря» та «Азот» тощо), р. Борова та р. Верхня Біленька.

Після кожного із скидних каналів в річковій воді спостерігається збільшення сухого залишку: до проммайданчика ТОВ «Краситель» – 1085 мг/дм³, після скиду стічних вод «Зоря» – 1194 мг/дм³, після скиду стічних вод «Азот» – 1306 мг/дм³, нижче скидних каналів та приток всього промвузла, а також накопичувачів ліквідованого підприємства «Лиссода» – 1206 мг/дм³.

Найбільший об'єм скиду забруднених стічних вод до поверхневих водних об'єктів у 2019 році на території досліджень здійснювали підприємства: ЛКСП «Лисичанськводоканал» – 3,107 млн. м³ та КП «Рубіжанське ВУВКГ» – 2,213 млн. м³,

Оцінка якості поверхневих вод басейну р. Сіверський Донець за гідрохімічними показниками (2005 р.) [30]

Місце спостереження за якістю води	рН	Показники складу та властивостей, мг/дм ³								
		Fe (заг)	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	розч. кисень	мінералізація	БСК ₅
ОБРВ (1990 р.)*, г/дм ³	6,5-8,5	0,1	0,5	300	100	0,08	40	>6	1000	2
р. Сів. Донець до проммайданчика ТОВ «Краситель»	8,0	0,11	0,6	229	300	0,11	11,5	5,29	1105	2,2
р. Сів. Донець після каналу «бичок» ТОВ «Краситель»	7,74	0,08	3,13	236	319	0,57	6,56	6,77	1117	2,2
р. Сів. Донець після скидання ТОВ НВП «Зоря»	7,9	1,68	0,6	220	253	1,7	7	6,48	972	2,4
р. Сів. Донець до скидання ПрАТ «Азот»	7,75	0,09	0,7	236	258	1,7	11,0	6,32	1016	2,4
р. Сів. Донець після скидання ПрАТ «Азот»	7,71	0,7	0,7	322	341	0,85	17,2	5,16	1339	2,6
р. Сів. Донець нижче скиду стічних вод «Лиссода»	7,7	0,22	0,4	222	360	0,128	15,6	6,11	1200	2,8
р. Борова	8,0	0,09	0,49	270	492	0,25	4,1	5,49	1436	2,1
р. В. Біленька	7,28	0,27	1,75	330	450	0,56	4,0	5,04	1700	2,4

ПрАТ «Рубіжанський КТК» – 2,745 млн. м³; ПрАТ «Северодонецьке об'єднання «Азот» – 5,112 млн. м³ [31].

Аналізуючи дані щодо забруднень річок Лисичансько-Рубіжанського промвузла за 2005 р. і 2019 р., спостерігаються досить різні забруднюючі елементи по створам. Причиною цього є «зношеність» підприємств, застарілі технології, витоки з промканалізацій на проммайданчиках заводів і накопичувачів. З роками відбувалося збільшення обсягів таких витоків, і тому забруднюючі речовини, які раніше не перевищували ГДК, з'явилися в створах.

Забруднення ґрунтів та підземних вод.

Причинами забруднення ґрунтів на території промвузла, як уже було описано раніше, є: складування відходів виробництва, різних видів шламу та стоків; викиди до атмосфери забруднюючих речовин, що сприяють накопиченню в ґрунтах різних хімічних елементів, і насамперед, важких металів – Hg, Pb, Cr, Zn, Mn та ін.

Досліджуючи вплив техногенних об'єктів на ґрунти та підземні води, варто відмітити наступне. Аналізуючи геологічну будову, тектоніку та

гідрогеологічні умови території досліджень, відмічено певні особливості: р. Сіверський Донець розділяє територію на дві принципово різні частини – лівий і правий береги. Відповідно до цих особливостей будови, територія має також різні шляхи потрапляння забруднювачів до НПС.

Правобережжя в рельєфі відображає північну зону дрібної складчастості Донбасу, тому знаходиться під впливом геолого-тектонічних та техногенних факторів. Найявні розривні порушення та проведення гірничих робіт у великих обсягах і на різних глибинах сприяють розповсюдженню та накопиченню забруднювачів в ґрунтах, підземних водах і на земній поверхні. Іншими словами, забруднення йде із глибини до поверхні.

Лівий берег представляє собою терасовану рівнину, яка знижується до річки Сіверський Донець від вододілу. Тераси складені піщаними добре проникними ґрунтами, мають інфільтраційне живлення та добре промиваються. Техногенне навантаження сформоване потужними промисловими та малими підприємствами. Забруднення на лівобережжі має локальний характер, завдяки проникності ґрунтів забруднюючі речовини акти-

Оцінка якості поверхневих вод басейну р. Сіверський Донець за гідрохімічними показниками (2019 р.) [31]

Місце спостереження за якістю води	Показники складу та властивостей, мг/дм ³															
	БСК ₅	Мінералізація	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	нафто-продукт	розчин. кисень	Zn	Mn	Fe	NO ₂ ⁻	Cu	Ni	Al	Co
ОБРВ (1990 р.)*, мг/дм ³	2	1000	100	300	0,5	40	0,05	>6	0,01	0,01	0,1	0,08	0,001	0,02	0,2	0,1
р. Сів. Донець до проммайданчика ТОВ «Краситель»	3,33	1085	294	231	0,29	1,24	0,02	8,8	0,013	0,039	0,04	0,023	0,003	0,024	-	-
р. Сів. Донець нижче скиду стічних вод ТОВ «Краситель»	3,74	1158	307	255	0,32	1,32	0,02	8,3	0,013	0,024	0,04	0,026	0,002	0,024	-	-
р. Сів. Донець нижче скиду стічних вод «Зоря», до впадіння р. Борова	3,8	1194	317	265	0,33	1,39	0,02	8,3	0,012	0,026	0,05	0,027	0,002	0,026	-	-
р. Сів. Донець нижче скиду стічних вод «Азот»	4,01	1306	343	301	0,34	1,41	0,03	7,9	0,047	0,028	0,3	0,028	0,002	0,028	-	-
р. Сів. Донець нижче накопичувача «Лиссода»	3,65	1206	320	270	0,32	1,35	0,03	8,4	0,012	0,024	0,04	0,026	0,002	0,032	-	-
р. Борова, гірло	3,1	1400	285	255	0,33	1,37	0,1	8,1	0,018	0,033	0,2	0,021	0,0023	0,048	0,22	0,11
р. Верхня Біленька, гірло	3,4	1300	310	297	0,35	1,33	0,1	8,3	0,023	0,029	0,23	0,023	0,0024	0,052	0,28	0,11

вно мігрують, тому локальні забруднення мають ореоли розповсюдження. Тобто забруднення надходить інфільтрацією з поверхні.

Зрозуміло, що кожне джерело техногенного забруднення певним чином відображається на стані НПС, зосереджуючись, в основному, в ґрунтах та підземних водах. Перш ніж досліджувати рівень забруднення, важливо визначити фоновий вміст елементів в ґрунтах досліджуваної території.

Із врахуванням різкої різниці у віці та літології порід дочетвертинних відкладів лівобережжя р. Сіверський Донець та її правобережжя (область відкритого карбону), проведено вибірку для визначення фонового вмісту хімічних елементів. Виділено місця, найбільш віддалені від міст з потужними джерелами забруднення НПС. По окремих вибірках проведено математичну обробку геохімічної інформації. Підраховано вміст певних хімічних елементів в ґрунтах Лисичансько-Рубіжанського промвузла. Ці дані використано для розрахунку коефіцієнту концентрації, формула приведена нижче.

Рівень хімічного забруднення ґрунтів, як індикатора несприятливого впливу на здоров'я населення, визначається за наступними показниками [17]:

1) коефіцієнт концентрації хімічної речовини (K_C), який визначається відношенням її реального вмісту в ґрунті (C) і фоновому (C_Φ):

$$K_C = \frac{C}{C_\Phi}$$

2) сумарний показник забруднення (Z_C), який дорівнює сумі коефіцієнтів концентрацій хімічних елементів і виражається наступною формулою:

$$Z_C = \sum_1^n K_C - (n - 1),$$

де n – число сумарних елементів.

У місцях найбільшого техногенного впливу на території Лисичансько-Рубіжанського промвузла розраховано показники за попередніми формулами, результат подано у таблиці 5.

Оцінка рівня забруднення ґрунтів здійснюється за такою шкалою: $Z_C < 16$ – задовільний, $Z_C = 16-32$ – помірно-небезпечний, $Z_C = 32-128$ – надзвичайно небезпечний, $Z_C > 128$ – дуже небезпечний.

Величини $Z_C > 16$ відмічаються в основному в межах міст на території великих промислових підприємств, таких як ПрАТ «Севєродонецьке об'єднання Азот», ПрАТ «ЛИНІК», ТОВ НВП «Зоря», проммайданчики ліквідованих заводів «Краситель» та «Лиссода», а також на полігоні твердих побутових відходів біля с. Фугарівка. Тут же відмічаються локальні, значно менші за

розміром, ділянки з рівнем забруднення ґрунтів з величиною $Z_C = 32 - 128$.

Основними елементами, що забруднюють ґрунти досліджуваного району, є Hg, Pb, F, Zn, Cu, Fe, Cl та ін. Максимальна концентрація хімічних елементів приурочена до промислових площадок підприємств. Так, на території ПрАТ «Севєродонецьке об'єднання Азот» в ґрунтах концентрація забруднювачів перевищує ГДК в 2 і більше разів. Це Cr, Zn, Pb, Cu, Fe.

На території заводу «Краситель» небезпечна ділянка – центральна частина промислової площадки заводу. З елементів забруднювачів, що перевищує ГДК – Pb, Zn, Cu тощо. В центральній частині заводу «Зоря» ґрунти забруднені Cu, Pb, Zn у кількостях, що значно перевищують гранично допустимі концентрації.

Зважаючи на розміщення на правобережжі р. Сіверський Донець в межах Лисичансько-Рубіжанського промвузла комплексу проммайданчиків шахт (імені Г. Г. Капустіна, Привільнянська, імені Д. Ф. Мельникова та ін.), варто зазначити наступне. За роки роботи по видобутку вугілля в ґрунтах шахтних відводів, проммайданчиків та оточуючих територіях накопичилися великі концентрації токсичних елементів 1 – 2 класу небезпеки: As, Be, F, Pb, Hg, Ni, Co. Кларки концентрації деяких елементів (As – 55,5; Ni – 116,0; Co – 28,0) мають аномальні значення. Інші елементи мають значення понад 10, а то й 30, тобто має місце величезне техногенне навантаження на НПС території. Сприятливими умовами для накопичення та міграції токсичних елементів є тектонічні, геологічні та гідрогеологічні особливості будови території правобережжя р. Сіверський Донець. Їх вплив і позначився на утворенні аномальних концентрацій, які наявні у вміщувальних породах [17]. Внаслідок багаторічного вуглевидобутку такі концентрації тепер мають місце і на поверхні: в ґрунтах, породних відвалах тощо.

Підприємства вугільної промисловості за роки своєї діяльності, окрім очевидної проблеми накопичення та зберігання твердих відходів, мають іншу значну проблему: підвищення мінералізації ґрунтів, яке відбувається через недостатньо якісну гідроізольованість чаш ставків-накопичувачів шахтних вод та стоків збагачувальних фабрик. Ці витoki містять велику кількість розчинних хімічних сполук (до 4 г/дм³), у тому числі й шкідливих, з накопичувачів інфільтруються у ґрунти і далі – у водоносні горизонти, що призводить до їх забруднення.

Забруднення підземних вод Лисичансько-Рубіжанського промвузла спостерігається з 1976 року, що є результатом експлуатації проммайданчиків, ставків-накопичувачів ПрАТ «Севєродонецьке об'єднання Азот» та ВАТ «Лисичанська со-

Коефіцієнти концентрації забруднюючих речовин в ґрунтах
у місцях найбільшого техногенного впливу Лисичансько-Рубіжанського промвузла

Місце відбору	Феноли	SO ₄	NH ₄	NO ₂	NO ₃	Cl	Mn	Fe	Cu	Zn	Cr	As	Hg	Be	F	Pb	Co	V	Z _c
«Краситель»	9		27			5			2,8	4,2						3			46
«Зоря»	2		5,4					8	2,5	3,4						3,2			19,5
«Азот»	5		10,4			1,6		2,7	3,6	4	3					3,7			27
«Лисосода»	3		25	6,6		2,3	5,4	1,4											38,7
«ЛИНИК»	3	6,8	2,8		4,1	2,3	10,8												24,8
Полігон ТПВ (сел. Фугарівка)		1,6	3			2		14,5	12	4	2								33,1
Шахта імені Г.Г. Капустіна													11,14			3,6			13,7
Шахта Привільнянська													3,9	3,9					6,8
Шахта Томашевська- південна												0,8	3,9	0,8	3,9	2,6			8
Шахта ОГПУ												1,4					1,43	1,5	2,3
Шахта Матроська													0,7						0,7
Шх. 60-річчя Радянської України														2,9	1,43	1,43	1,43	1,5	4,7

да», а також супутньої фільтрації високомінералізованих та забруднених стічних вод у водоносні горизонти.

Встановлено, що в меженний період запаси підземних вод формуються на 40 – 60% за рахунок інфільтрації річкових вод. Тому постійне скидання неочищених стічних вод в річки Сіверський Донець, Борова та Верхня Біленька сприяє забрудненню підземних вод практично по всій площі їх розповсюдження.

Екологічний стан підземних вод, що використовують для питного та технічного водопостачання в межах промвузла, охарактеризовано нижче.

В алювіальному водоносному горизонті мінеральне забруднення має багатокомпонентний склад: хлориди і сульфати, група азоту, нафтопродукти, феноли, Fe, Mn і деякі важкі метали, перевищені також мінералізація і жорсткість. Найбільш забруднені води алювіального горизонту знаходяться навколо джерел забруднення (проммайданчиків підприємств, відстійників стічних вод тощо) здебільшого у вигляді локальних ділянок.

Алювіальний водоносний горизонт знаходиться в зоні зміни температур внаслідок близького до поверхні розташування. Фонові температури підземних вод складають приблизно 8 – 9 °С. Характеристика температурного режиму була проведена по результатах площадних досліджень. Підземні води практично на всій площі Лисичансько-Рубіжанського промвузла характеризуються підвищеними температурами, причому найбільш аномальні температури визначено в місцях джерел забруднення.

Підземні води *тріщинуватої зони верхньої крейди* (МКВГ) практично по всій території зазнають теплового та хімічного забруднення [20]. Найбільш контрастні аномальні температури підземних вод спостерігаються на площах впливу промислових площадок та накопичувачів ТОВ «Краситель», ТОВ НВП «Зоря», ПрАТ «Севродонецьке об'єднання Азот», ТОВ «Лиссода» та ПрАТ «Рубіжанський КТК». Незважаючи на те, що «Краситель» та «Лиссода» було ліквідовано, рекультивативні території підприємств не було проведено, тому проммайданчики та їх накопичувачі до цього часу є джерелом забруднення підземних вод регіону. Практично на всій території температура підземних вод на 1,1-1,6° перевищує фонові значення.

На теперішній час відмічається забруднення підземних вод мінеральними солями, азотними сполуками і фенолами, нафтопродуктами в залежності від специфіки виробництва підприємств, які розташовані поблизу водозаборів питних вод.

На території промвузла через високе техногенне навантаження активізувалися екзогенні геологічні процеси, основним з яких є карстовий. Різка активізація карстових процесів на описуваній території сталася через значне зниження рівнів ґрунтових вод і збільшенням зони аерації, зміною гідродинамічного і гідрохімічного режимів підземних вод тріщинувато-карстової зони верхнього крейди.

Зростання жорсткості і мінералізації підземних вод МКВГ на водозаборах пов'язане з розчиненням порід, що залягають вище. В природних умовах відбувається взаємодія вуглекислого газу і карбонатів водоносного горизонту. Відомо, що при середньому вмісті CO₂ у повітрі близько 0,03 % при температурі 0 °С кількість розчиненого CaCO₃ складає 3,2 мг-екв/дм³, що відповідає 0,1 г/дм³. Так, вміст NaSO₄ (сульфат натрію) збільшує розчинність мергельно-мулових порід до 1,04 г/дм³, що відповідає 156 мг-екв/дм³. Присутність в розчині хлоридів та сульфатів прискорює швидкість карстових процесів порівняно з фоною більш ніж в 5 разів.

Відомі випадки проявлення техногенного карсту, викликаного фільтрацією у водоносний горизонт промислових стоків з рН = 3. Весною 1983 р. в рельєфі навколо дамби накопичувача промислових стоків ТОВ «Краситель» виявлені місця, в яких відбувалося западання форми. Западини овальні, діаметром понад 0,5 – 1,0 м, глибиною 0,3 – 0,4 м, окремі западини діаметр 20 – 25 м. Утворення западин викликано проникненням кислих промислових стоків в тріщинувату зону мергельно-крейдианої товщі. Щорічно до накопичувача надходили близько 2,5 млн. м³ стічних вод з рН = 3. До складу цих стоків входила сірчана кислота, яка розчинила мергельно-крейдиані породи. Коефіцієнт фільтрації шару екранування накопичувача складає 0,5 – 1,0 м. На ділянках, де западини примикають до дамби, виявлено її просідання. Такі явища спостерігаються безпосередню на промисловій площадці ТОВ «Краситель».

В районі промислових площадок і накопичувачів «Краситель», «Зоря», «Азот» продовжує спостерігатися вуглекислотна агресія в підземних водах верхньої крейди. У зв'язку з вище вказаним явищем в накопичувачі ТОВ «Краситель» підтримується лужне середовище стоків.

Виходячи з вищезазначеного, техногенний крейдианний карст на описуваній території представляє значну небезпеку для інженерних споруд.

Висновки. В результаті проведених досліджень зроблено наступні висновки:

1. Оцінено ступінь техногенного впливу підприємств Лисичансько-Рубіжанського промвузла на стан компонентів НПС. Проаналізовано інфор-

мацію по різних за інтенсивністю виробництва періодах – 2005 та 2019 роках.

2. Проведений аналіз довів різний ступінь природно-техногенного впливу на території дослідження. Це обґрунтовується різницею у геолого-тектонічній будові: лівий берег р. Сіверський Донець – це терасована рівнина, правий берег є зоною розвитку тектонічних порушень. На лівобережжі основними забруднювачами є нафтопродукти, нітрати, жорсткість, феноли, хлориди, сульфати, амоній та ін.; на правому березі – це Be, As, F, Pb та інші важкі метали.

3. Доведено різний генезис забруднення на досліджуваній території. На лівому березі – це інфільтрація з поверхні, на правому забруднення має глибинне походження.

Проведена комплексна оцінка впливу Лисичансько-Рубіжанського промвузла на компоненти НПС дозволяє говорити про різний ступінь техногенного впливу і різні фактори впливу, що в свою чергу дозволяє зробити довгострокові прогнози.

Вважаємо, що ситуація буде поліпшуватися у повільному темпі, якщо кількість працюючих промислових підприємств та їх вплив залишаться на сучасному рівні. В іншому випадку, якщо промвузол буде підвищувати свій промисловий потенціал, екологічна ситуація буде погіршуватися: весь подальший «вплив» промисловості буде накладатися на вже забруднені території.

Зрозуміло, що важливим етапом поліпшення ситуації є проведення рекультивації територій покинутих проммайданчиків, відстійників, звалищ відходів тощо. Але це потребує значних коштів, тому що таких територій досить багато.

Тому вважаємо, що проведення постійного моніторингу екологічного стану НПС для Лисичансько-Рубіжанського промвузла є обов'язковим. При цьому особливу увагу варто приділяти об'єктам підвищеної небезпеки (відстійники, хвостосховища, терикони тощо). Тільки завдяки моніторингу буде можливо визначити більш конкретні прогнози на майбутнє.

Список використаної літератури

1. Гольдберг, В. М. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды [Текст] / В. М. Гольдберг // Л. : Гидрометеиздат, 1987. – 248 с.
2. Сергеев, Е. М. Влияние человека на литосферу в процессе инженерно-хозяйственной деятельности [Текст] / Е. М. Сергеев, В. Т. Трофимов // Теоретические основы инженерной геологии. Социально-экономические аспекты. – М. : Недра, 1985. – С. 14–27.
3. Котлов, Ф. В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека [Текст] / Ф. В. Котлов // М. : Недра, 1978. – 263 с.
4. Ермаков, В. Н. Развитие процессов подтопления земной поверхности под влиянием закрывающихся шахт [Текст] / В. Н. Ермаков, В. А. Семенов, О. А. Улицкий, Е. П. Котелевец, А. В. Тарахкало // Уголь Украины. – 2001. – № 6. – С. 12–15.
5. Бабаев, М. В. Изменение техногенной нагрузки на отдельные компоненты окружающей среды после закрытия шахт Луганской области [Текст] / М. В. Бабаев, Е. С. Бондарева, Я. С. Маркина, Н. К. Маркина, В. Н. Мойсеенко // Проблемы охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки : зб. наук. праць. – Х. : УкрНДІП, 2004. – С. 244–259.
6. Бабаев, М. В. Изменение «мокрой» консервации шахт на гидrolитосферу в горнодобывающих регионах Луганской области [Текст] / М. В. Бабаев, О. С. Сидельник // Проблемы охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки : зб. наук. праць. – Х. : Райдер, 2007. – С. 332–337.
7. Улицкий, О. А. Оцінка негативного впливу побічних продуктів вугледобувної промисловості на стан довкілля [Текст] / О. А. Улицкий // Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища. – К. : ІГНС, 2012. – Вип. 21. – С. 103–111.
8. Шнюков, Е. Ф. Экологическая геология Украины: справ. пособие [Текст] / Е. Ф. Шнюков, В. М. Шестопалов, Е. А. Яковлев и др. – К. : Наукова думка, 1993. – 407 с.
9. Яковлев, С. О. Критичні зміни екологічного стану надр Донбасу [Текст] / С. О. Яковлев // Мінеральні ресурси України. – 2017. – № 3. – С. 34–39. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mru_2017_3_9.
10. Яковлев, С. О. Асиміляційний потенціал геологічного середовища гірничо-добувних регіонів України як провідний показник екологічних проблем надрокористування [Текст] / С. О. Яковлев // Мінеральні ресурси України. – № 4. – 2015. – С. 37–43.
11. Кодрик, А. І. Методичні підходи до геоінформаційного аналізу еколого-техногенних загроз для вуглепромислових районів Донбасу (на прикладі ПАО «Лисичанськвугілля» та ДП «Первомайськвугілля») [Текст] / А. І. Кодрик, С. О. Яковлев, С. М. Чумаченко, А. С. Парталян // Математичне моделювання в економіці. – 2018. – № 4(13). – С. 5–20.
12. Предварительная оценка экологической опасности резервных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения населения Донбасса (Донецкая и Луганская области) в условиях АТО [Текст] – Киев, 2017. – 123 с.
13. Мохонько, В. И. Техногенная трансформация геологической среды в зоне влияния накопителей промышленных отходов (на примере ОАО «Лиссода») [Текст] / В. И. Мохонько // Антропогенная трансформация природной среды: матер. междунар. конф. – П. : Перм. гос. ун-т, 2010. – Т. 1, част. 2. – С. 59–65.

14. Мохонько, В. И. Гидродинамические аспекты активизации карстового процесса в мело-мергельных отложениях Северскодонецкой равнины [Текст] / В. И. Мохонько // Вісник Кременчуцького національного університету – 2015. – С. 176–180.
15. Мохонько, В. И. Вплив шламонакопичувачів содового виробництва на стан навколишнього середовища [Текст] / В. И. Мохонько, Є. І. Зубцов, М. А. Ожередова, О. В. Суворін // Сучасні технології в науці та освіті: матеріали Третьої Міжнародної науково-практичної конференції. – Северодонецьк, 2020. – Т. 2. – С. 121–124. [https://doi.org/10.33216/ConferenceMaterialsSNU\(978-617-11-0162-3\)-2-2020-212](https://doi.org/10.33216/ConferenceMaterialsSNU(978-617-11-0162-3)-2-2020-212).
16. Удалов, И. В. Гидрохимическая характеристика поверхностных и грунтовых вод Лисичанского и Алмазно-Марьевского геолого-промышленных районов северо-восточного Донбасса [Текст] / И. В. Удалов // Вісник Дніпропетровського університету. Серія «Геологія. Географія». – 2014. – Т. 22. – № 3/2. – С. 181–188.
17. Удалов, И. В. Трансформация геологической среды под влиянием техногенных процессов в условиях Северо-Восточного Донбасса : монографія [Текст] / И. В. Удалов. – Х. : ХНУ имени В. Н. Каразина, 2016. – 176 с.
18. Удалов, И. В. Особенности процессов миграции естественных радионуклидов в подземных водах при ликвидации угольных шахт Северо-Восточного Донбасса [Текст] / И. В. Удалов, А. В. Кононенко // Вісник Дніпропетровського університету. Серія «Геологія. Географія», 2016. – Т. 24. – № 2. – С. 121–129. <https://doi.org/10.15421/111640>.
19. Удалов, И. В. Особенности радиационного риска на территории Северо-Восточного Донбасса [Текст] / И. В. Удалов, А. В. Кононенко, А. И. Лурье // Вопросы атомной науки и техники, 2018. – № 5 (117). – С. 149–153.
20. Удалов, И. В. Вплив техногенних факторів на еколого-гідрогеологічні характеристики крейдових водозаборів північно-східного Донбасу [Текст] / И. В. Удалов, А. В. Кононенко // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія : Геологія. Географія. Екологія. – 2016. – Вип. 45. – С. 177–183. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2016-45-24>.
21. Кононенко, А. В. Чинники еколого-гідрогеологічної еволюції хімічного складу підземних вод мергельно-крейдового водоносного горизонту Дніпровсько-Донецької западини : дис. кандидата геол. наук: 21.06.01. [Текст] / А. В. Кононенко. – Київ, 2019. – 188 с.
22. Давиденко, В. А. Екологічні проблеми Луганської області [Текст] / В. А. Давиденко, О. О. Ноженко // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. – 2011. – № 1. – С. 29–36.
23. Бондар, О. І. Звіт про результати вивчення екологічної ситуації на території Донецької та Луганської області [Текст] / О. І. Бондар, О. А. Улицький, В. М. Єрмаков // Міністерство з питань тимчасово окупованих територій та внутрішньо переміщених осіб України. – Київ, 2018. – 70 с.
24. Морокіна, Д. Дослідження стану техногенних ландшафтів міста Рубіжне [Текст] / Д. Морокіна, О. С. Назаренко // Актуальні проблеми науково-промислового комплексу регіонів. – Рубіжне: вид. О. Зень, 2018. – С. 121–123.
25. Виставна, Ю. Ю. Дослідження нітратного забруднення гідросфери у трансграничному районі басейну Сіверського Донця [Текст] / Ю. Ю. Виставна, В. В. Яковлев, Д. В. Дядін, Ю. І. Вергелес, А. В. Чистикова, І. О. Жидких // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 6(10). – С. 20–27. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.315558>.
26. Yang, S. Investigation of soil and groundwater environment in urban area during post-industrial era: A case study of brownfield in Zhenjiang, Jiangsu Province, China / Shuai Yang, Wei-ya Shuai Yang, Wei-ya Ge, Hong-han Chen, Wen-li Xu // China Geology, 2, (2019). – Pp. 501–511. <https://doi.org/10.31035/cg2018128>.
27. Van Wezel, A. Impact of industrial waste water treatment plants on Dutch surface waters and drinking water sources / A.P. van Wezel, F. van den Hurk, R.M.A. Sjerps, E.M. Meijers, E.W.M. Roex, T.L. ter Laak // Sci. Total Environ., 640–641 (2018). – Pp. 1489–1499, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.325>.
28. Ojekunle, O. Effects of industrialization on groundwater quality in Shagamu and Ota industrial areas of Ogun state, Nigeria / O. Z. Ojekunle, B. A. Mujeeb, A. A. Adeyemi, A. A. Kayode, O. A. Abdulraheem, M. T. Adewale, A. G. Saheed // Heliyon, 6 (2020). – P. e04353 <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04353>.
29. Khan, M. Groundwater contamination and health risk posed by industrial effluent in NCR region / Mansoor ul Haq Khan, M. Shakeel, N. Ahsan et al. // Materials Today: Proceedings, available online 2 March 2021, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.192>.
30. Звіт про стан навколишнього природного середовища Луганської області у 2005 році [Текст] / Державне управління екології та природних ресурсів в Луганській області. – Луганськ, 2006. – 328 с. – Режим доступу: <https://www.eco-lugansk.gov.ua/2013-12-12-00-50-06-3/dopovid-pro-stan-navkolishnogo-prirodnogo-seredovishcha>.
31. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Луганській області у 2019 році [Текст] / Луганська обласна державна адміністрація. – Северодонецьк, 2020. – 256 с. – Режим доступу: <https://www.eco-lugansk.gov.ua/2013-12-12-00-50-06-3/dopovid-pro-stan-navkolishnogo-prirodnogo-seredovishcha>.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Analysis of the influence of technogenic facilities of the Lysychansk-Rubizhne industrial hub on the ecological state of the natural environment

*Nina Mikhalkova*¹,

PhD student, Department of Hydrogeology,

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

*Alina Kononenko*¹,

PhD (Geology), Associate Professor, Department of Hydrogeology;

*Igor Udalov*¹,

DSc (Geology), Professor, Head of the Department of Hydrogeology

ABSTRACT

Formulation of the problem. The paper is devoted to the study of the ecological state of the natural environment components in connection with the impact of technogenic facilities of the Lysychansk-Rubizhne industrial hub.

The purpose of the paper is to analyze the technogenic impact of the Lysychansk-Rubizhne industrial hub on the natural environment components.

Materials and methods. The natural environment components data including atmospheric air, soil, surface water, groundwater from the Regional Report on the natural environment state in Luhansk region were used and analyzed.

The total pollution index was calculated to determine the level of soil contamination in the areas of biggest technogenic impact. The places furthest from the cities with powerful sources of the natural environment pollution are allocated. Mathematical processing of geochemical information was performed on separate samples. The containing of specific chemical elements in the soils of Lysychansk-Rubizhne industrial hub is calculated. The obtained data were used to calculate the concentration coefficient.

The level of chemical contamination of soils as an indicator of adverse effect on public health is determined by following indicators:

1) the chemical substance concentration coefficient (K_c), which is determined by the ratio of its actual containing in the soil (C) to the background containing (C_b);

2) the total pollution index (Z_c), which is equal to the sum of the concentration coefficients of chemical elements.

Results. As a result of the study, it was found that the territory of the Lysychansk-Rubizhne industrial hub is still under a huge technogenic impact, despite the closure of many enterprises. Abandoned settling tanks, sludge collectors, spoil tips, landfills of various industrial wastes and other are one of the main sources of the natural environment pollution today.

The ecological state of the natural environment components (atmosphere, surface water, soil and groundwater) is described in the paper. Quite positive changes are observed only in the situation with atmospheric air. The tendency to reduce emissions of pollutants into the atmosphere is associated with the liquidation of industrial enterprises over the past 20 years. The state of other natural environment components remains unsatisfactory: surface water, soil and groundwater are contaminated with heavy metals, petroleum products, nitrates, nitrites, etc. (the nature of the pollutants depends on the nearby technogenic facilities). It is noted that these technogenic facilities lose their waterproofing over the years, so they are currently sources of pollutant migration to the natural environment.

Scientific novelty and practical significance. An integral assessment of the Lysychansk-Rubizhne industrial hub impact on the natural environment components, which allowed us to talk about the different degree of technogenic impact and different influence factors, is the scientific novelty of the study. The different genesis of pollution in the given area is proved. It is established that there is an infiltration from the surface on the left bank and pollution of deep origin on the right bank.

The long-term forecasts of changes in the ecological state of the Lysychansk-Rubizhne industrial hub territory are given as practical use of the obtained results. It is proposed to carry out continuous monitoring of the natural environment for a more detailed study of the environmental situation.

Keywords: *ecological state, industrial hub, technogenic impact, pollutants, soil, groundwater, surface water, natural environment, geological environment.*

References

1. Goldberg, V. M. (1987). *Vzaimosvyaz' zagryazneniya podzemnykh vod i prirodnoy sredy [The interrelation between groundwater pollution and the natural environment]*. L., Gidrometeoizdat, 248. [in Russian].
2. Sergeev, E. M., Trofimov, V. T. (1985). *Vliyanie cheloveka na litosferu v processe inzhenerno-khozyajstvennoy deyatel'nosti [Human influence on the lithosphere in the process of engineering and economic activities]. Theoretical fundamentals of engineering geology. Socio-economic aspects. M., Nedra, 14–27. [in Russian]*.
3. Kotlov, F. V. (1978). *Izmenenie geologicheskoy sredy pod vliyaniem deyatel'nosti cheloveka [Changes in the geological environment under the influence of human activities]*. M., Nedra, 263. [in Russian].
4. Ermakov, V. N, Semenov, V. A., Ulitskiy, O. A., Kotelevets, E. P., Tarakhkalo, A. V. (2001). *Razvitie processov podtopleniya zemnoj poverkhnosti pod vliyaniem zakryvayushchikhsya shakht [Development of the earth's surface flooding processes under the influence of closing mines]*. *Coal of Ukraine*. 6, 12–15. [in Russian].

5. Babayev, M. V., Bondareva, E. S., Markina, Y. S., Markina, N. K., Moiseenko, V. N. (2004). *Izmenenie tekhnogennoj nagruzki na otдел'nye komponenty okružhayushchej sredy posle zakrytiya shakht Luganskoj oblasti [Changes in the technogenic loading on certain environmental components after the closure of mines in the Luhansk region]. Problems of protecting the natural environment and ecological safety: proceedings. Kh., UkrNDIEP, 244–259. [in Russian].*
6. Babaev, M. V., Sidelnik, O. S. (2007). *Vliyanie «mokroj» konservacii shakht na gidrolitosferu v gornodobyvayushchikh regionakh Luganskoj oblasti [Influence of «wet» conservation of mines on the hydrolithosphere in the mining regions of the Luhansk oblast]. Problems of protecting the natural environment and ecological safety: proceedings. Kh., Rider, 332–337. [in Russian].*
7. Ulitsky, O. A. (2012). *Otsinka nehatyvnoho vplyvu pobichnykh produktiv vuhlevydobuvnoi promyslovosti na stan dovkillia [Assessment of the negative impact of coal industry by-products on the environment]. Collection of scientific works of the Institute of Environmental Geochemistry. K., IGNS, 21, 103–111. [in Ukrainian].*
8. Shnyukov, E. F., Shestopalov, V. M., Yakovlev E. A. et al. (1993). *Ekologicheskaya geologiya Ukrainy: sprav. posobie [Ecological geology of Ukraine: handbook]. K., Naukova Dumka, 407. [in Russian].*
9. Yakovlev, Ye. O. (2017). *Krytychni zminy ekolohichnoho stanu nadr Donbasu [Critical changes in the ecological state of the Donbass subsoil]. Mineral Resources of Ukraine, 3, 34–39. [in Ukrainian].*
10. Yakovlev, Ye. O. (2015). *Asymiliatsiyni potentsial heolohichnoho seredovyshcha hirnycho-dobuvnykh rehioniv Ukrainy yak providnyi pokaznyk ekolohichnykh problem nadrokorystuvannya [Assimilation potential of the geological environment of mining regions of Ukraine as a leading indicator of environmental problems of subsoil use]. Mineral Resources of Ukraine, 4, 37–43. [in Ukrainian].*
11. Kodrik, A. I., Yakovlev, Ye. O., Chumachenko, S. M., Partalyan, A. C. (2018). *Metodychni pidkhody do heoinformatsiynoho analizu ekoloho-tekhnohennykh zahroz dlia vuhlepromyslovykh raioniv Donbasu (na prykladi PAO «Lysychanskvuhillia» ta DP «Pervomaiskvuhillia») [Methodical approaches to geoinformation analysis of ecological and technogenic threats for coal-mining areas of Donbass (on the example of PJSC «Lysychansk Coal» and SE «Pervomaisk Coal»)]. Mathematical modeling in the economy. 4(13), 5–20. [in Ukrainian].*
12. *Predvaritel'naya ocenka ehkologicheskoy opasnosti rezervnykh istochnikov khozyajstvenno-pit'evogo vodosnabzheniya naseleniya Donbassa (Doneckaya i Luganskaya oblasti) v usloviyakh ATO. (2017) [Preliminary assessment of the environmental hazard of reserve sources of drinking water supply to the population of Donbass (Donetsk and Lugansk regions) in the conditions of ATO]. Kiev, 123. [in Russian].*
13. Mokhonko, V. I. (2010). *Tekhnogennaya transformaciya geologicheskoy sredy v zone vliyaniya nakopitelej promyshlennykh otkhodov (na primere OAO «Lissoda») [Technogenic transformation of the geological environment in the zone of industrial waste collector influence (on the example of JSC «Lissoda»)]. Anthropogenic transformation of the natural environment: proceedings. P., Perm State Univ, T. 1, part. 2, 59–65. [in Russian].*
14. Mokhonko, V. I. (2015). *Gidrodinamicheskie aspekty aktivizacii karstovogo processa v melo-mergel'nykh otlozheniyakh Severskodoneckoj ravniny. [Hydrodynamic aspects of the activation of the karst process in the chalk-marl sediments of the Severskodonetsk plain]. Bulletin of the Kremenichuk National University, 176–180. [in Russian].*
15. Mokhonko, V. I., Zubtsov, Ye. I., Ozheredova, M. A., Suvorin, O. B. (2020). *Vplyv shlamonakopychuvachiv sodovoho vyrobnytstva na stan navkolyshnoho seredovyshcha [The impact of soda production sludge collectors on the environment]. Modern technologies in science and education: materials of the Third International scientific-practical conference, 2, 121–124. DOI: [https://doi.org/10.33216/ConferenceMaterialsSNU\(978-617-11-0162-3\)-2-2020-212](https://doi.org/10.33216/ConferenceMaterialsSNU(978-617-11-0162-3)-2-2020-212). [in Ukrainian].*
16. Udalov, I. V. (2014). *Gidrohimicheskaya kharakteristika poverkhnostnykh i gruntovykh vod Lisichanskogo i Almazno-Mar'evskogo geologo-promyshlennykh rajonov severo-vostochnogo Donbassa [Hydrochemical characteristics of surface and ground waters of the Lisichansk and Almazno-Maryevskiy geological and industrial regions of the north-eastern Donbass]. Bulletin of Dnipropetrovsk University. Series «Geology. Geography», 22, 3/2, 181–188. [in Russian].*
17. Udalov, I. V. (2016). *Transformaciya geologicheskoy sredy pod vliyaniem tekhnogennykh processov v usloviyakh Severo-Vostochnogo Donbassa [Transformation of the geological environment under the influence of technogenic processes in the conditions of the North-Eastern Donbass]: monograph. Kh., V. N. Karazin Kharkiv National University, 176. [in Russian].*
18. Udalov, I. V., Kononenko, A. V. (2016). *Osobennosti processov migracii estestvennykh radionuklidov v podzemnykh vodakh pri likvidacii ugol'nykh shakht Severo-Vostochnogo Donbassa [Features of the migration processes of natural radionuclides in groundwater during the liquidation of coal mines in the North-Eastern Donbass]. Bulletin of Dnipropetrovsk University. Series «Geology. Geography», 24, 2, 121–129. DOI: <https://doi.org/10.15421/111640> [in Russian].*
19. Udalov, I. V., Kononenko, A. V., Lurie, A. I. (2018). *Osobennosti radiacionnogo riska na territorii Severo-Vostochnogo Donbassa [Features of radiation risk in the North-Eastern Donbass]. Atomic Science and Technology Issues, 5 (117), 149–153. [in Russian].*
20. Udalov, I. V., Kononenko, A. V. (2016). *Vplyv tekhnohennykh faktoriv na ekoloho-hidroheolohichni kharakterystyky kreidovykh vodozaboriv pivnichno-skhidnoho Donbasu [Influence of technogenic factors on ecological and hydrogeological characteristics of Cretaceous water intakes of north-eastern Donbass]. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology», 45, 177–183. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2016-45-24>. [in Ukrainian].*

21. Kononenko, A. V. (2019). *Chynnyky ekoloho-hidroheolohichnoi evoliutsii khimichnogo skladu pidzemnykh vod merhelno-kreidianooho vodonosnoho horyzontu Dniprovsko-Donetskoi zapadyny* [Factors of ecological and hydrogeological evolution of the groundwater chemical containing of the marl-Cretaceous aquifer of the Dnieper-Donetsk depression]: PhD thesis 21.06.01, Kiev, 188. [in Ukrainian].
22. Davidenko, V. A., Nozhenko, O. O. (2011). *Ekolohichni problemy Luhanskoï oblasti* [Environmental problems of Luhansk region]. *Environmental security and balanced resource use*, 1, 29–36. [in Ukrainian].
23. Bondar, O. I., Ulitsky, O. A., Yermakov, V. M. (2018). *Zvit pro rezultaty vyvchennia ekolohichnoi sytuatsii na terytorii Donetskoi ta Luhanskoï oblasti* [Report on the results of studying the ecological situation in the Donetsk and Luhansk regions]. *Ministry of the Temporarily Occupied Territories and Internally Displaced Persons of Ukraine* Kiev, 70. [in Ukrainian].
24. Morokina, D., Nazarenko, O. S. (2018). *Doslidzhennia stanu tekhnohennykh landshaftiv mista Rubizhne* [Research of the state of technogenic landscapes of the city of Rubizhne]. *Actual problems of a scientific and industrial complex of regions, Rubizhne: ed. O. Zen* 121–123. [in Ukrainian].
25. Vistavna, Yu. Yu., Yakovlev, V. V., Dyadin, D. V., Vergeles, Yu. I., Chistikova, A. V., Zhidkikh I. O. (2014). *Doslidzhennia nitratnoho zabrudnennia hidrosfery u transhranychnomu raioni baseinu Siverskoho Dontsia* [Investigation of nitrate pollution of the hydrosphere in the transboundary area of the Seversky Donets basin]. *Eastern European Journal of Advanced Technology*, 6(10), 20–27. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2014_6\(10\)_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2014_6(10)_5). DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.31558> [in Ukrainian].
26. Shuai Yang, Wei-ya Shuai Yang, Wei-ya Ge, Hong-han Chen, Wen-li Xu (2019). *Investigation of soil and groundwater environment in urban area during post-industrial era: A case study of brownfield in Zhenjiang, Jiangsu Province, China*. *China Geology*, 2, 501–511. DOI: <https://doi.org/10.31035/cg2018128>.
27. Van Wezel, A. F. van den Hurk, Sjerps R.M.A., Meijers E.M., Roex E.W.M., T.L. ter Laak (2018). *Impact of industrial waste water treatment plants on Dutch surface waters and drinking water sources*. *Sci. Total Environ.*, 640–641, 1489–1499. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.325>.
28. Ojekunle, O. Z., Mujeeb B. A., Adeyemi A. A., Kayode A. A., Abdulraheem O. A., Adewale M. T., Saheed A. G. (2020). *Effects of industrialization on groundwater quality in Shagamu and Ota industrial areas of Ogun state, Nigeria*. *Heliyon*, 6, e04353. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04353>.
29. Khan, M., Shakeel M., Ahsan N. et al. (2021). *Groundwater contamination and health risk posed by industrial effluent in NCR region*. *Materials Today: Proceedings*, available online 2 March 2021, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.192>.
30. *Zvit pro stan navkolishnoho pryrodnoho seredovyshcha Luhanskoï oblasti u 2005 rotsi*. (2006) [Report on the natural environment state of Luhansk region in 2005]. *State Department of Ecology and Natural Resources in Luhansk Oblast, Lugansk*, 328. Available at: <https://www.eco-lugansk.gov.ua/2013-12-12-00-50-06-3/dopovid-pro-stan-navkolishnogo-prirodnogo-seredovishcha>. [in Ukrainian].
31. *Rehionalna dopovid pro stan navkolishnoho pryrodnoho seredovyshcha v Luhanskii oblasti u 2019 rotsi*. (2020) [Regional report on the natural environment state in Luhansk region in 2019]. *Luhansk Regional State Administration, Sievierodonetsk*, 256. Available at: <https://www.eco-lugansk.gov.ua/2013-12-12-00-50-06-3/dopovid-pro-stan-navkolishnogo-prirodnogo-seredovishcha>. [in Ukrainian].

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 8 September 2021

Accepted 20 October 2021

Risk assessment for public health from air pollution in the industrial regions of Ukraine

*Olha V. Rybalova*¹,

PhD (Technics), Associate Professor, Department of Labor Protection and Technogenic and Ecological Safety,

¹National University of Civil Defense of Ukraine, 94 Chernyshevskaya St., Kharkiv, 61023, Ukraine,

e-mail: olgarybalova@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0002-8798-4780>;

*Hanna V. Korobkova*²,

PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Gardening and Ecology,

²Luhansk Taras Shevchenko National University, 3 Koval St., Poltava, 36003, Ukraine,

e-mail: korobkova.ann@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0246-8585>;

*Anatoliy V. Hudzevich*³,

DSc (Geography), Professor, Department of Geography,

³Vinnitsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University, 32 Ostrozky St., Vinnitsa, 21001, Ukraine;

e-mail: amarek@ua.fm, <https://orcid.org/0000-0001-8884-9436>;

*Sergey R. Artemiev*¹,

PhD (Technics), Associate Professor, Department of Labor Protection and Technogenic and Ecological Safety,

e-mail: artemev.1967@nuczu.edu.ua, <http://orcid.org/0000-0002-9086-2856>;

*Oleksandr B. Bondar*⁴,

PhD (Agriculture), Senior Lecturer, Department of Biology, Ecology and their Teaching Methods,

⁴Taras Shevchenko Regional Humanitarian-Pedagogical Academy of Kremenets,

1 Litseina St., Kremenets, 47003, Ukraine,

e-mail: olexandr.bondar@i.ua, <https://orcid.org/0000-0002-3448-8943>

ABSTRACT

The main purpose of the research is to improve the efficiency of management decisions in the field of environmental protection through using the methods for assessing the public health risk at the current level of air pollution.

Methodology. The article presents a hierarchical methodological approach for determination of the level of air pollution hazard at the state, regional and local levels.

The state of atmospheric air is greatly affected by emergencies associated with accidents at chemically hazardous facilities, which result in burst releases of hazardous chemicals into the environment. When determining the environmental risk of deterioration in the state of atmospheric air, the chemical hazard indicator was taken into account.

Results. On the territory of the East of Ukraine there is the largest number of potentially dangerous enterprises. A new methodology of determination of the hazard level of air pollution is presented at the existing trends of anthropogenic load and the possible occurrence of technogenic emergencies. Assessment of public health risk due to air pollution in the Mariupol city showed an extremely high level of danger.

The determination of the risk as a macroecological indicator according to the new method shows a high level of hazard of air pollution in the industrial developed regions of Ukraine. The shortcomings of the methodical approach of the United States Environmental Protection Agency (EPA US), widely used in many countries of the world, are shown. An analysis of methodological approaches to assessing the public health risk has shown the promise of using the methodology for assessing potential risk in determining the level of environmental hazard of industrial enterprises. The assessment of the public health risk in the current quality state of air is given by two different methods for the regions of Ukraine with a high level of ecological and chemical hazard.

The improvement of the methodology for assessing the risk to public health due to air pollution is proposed, which is presented as a **scientific novelty**. Currently when Ukraine has been affected by hostilities and the economic crisis, the issue of priority funding for environmental protection is very important. The implementation of the proposed methodological approach will make it possible to scientifically determine regions with an increased level of hazard to public health and minimize financial resources for improving the air quality, which has actual **practical significance**.

Keywords: *air, emergencies, chemical hazard, risk, public health, pollutant emissions, industrial regions of Ukraine.*

In cites: Rybalova O. V., Korobkova H. V., Hudzevich A. V., Artemiev S. R., Bondar O. B. (2022). Risk assessment for public health from air pollution in the industrial regions of Ukraine. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (56), 240-254. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-18>

1. Introduction

Atmospheric air pollution is one of the world's major environmental problems. Polluted air affects human health, flora and fauna, soil acidification, nutrient availability and water chemistry, the

composition and function of ecosystems, and corrosion of materials (Ashmore M. et al., 2012). The harmful effects of air pollution also include climate change, degradation of ecosystems due to acid rain, ozone depletion, global warming (Manisalidis I. et

al., 2020). The impact on health is more intense in cities with significant sources of emissions, unfavorable climatic characteristics and high population density. Many health problems, such as eye irritation, respiratory diseases, allergies, etc., can be directly related to exposure to polluted air (Gupta U., et al., 2012).

At the present stage, the socio-economic development of society is in direct correlation with the quality of the environment. The unfavorable ecological situation was the cause of many chronic diseases. The decline in fertility and an increase in mortality in recent years has led to a sharp deterioration of the demographic situation in Ukraine.

Ensuring stable social development necessitates the development of tools for assessing the level of environmental safety in order to determine the allowable anthropogenic load and reduce morbidity, so the study of this work is relevant.

According to the World Health Organization, 92% of the world's population lives in places where air quality exceeds the recommended limits. Ukraine has recently seen the highest number of deaths per 100,000 people (from 120 countries) due to air pollution (Popov O., Iatsyshyn A. et al., 2020).

For financial resources management and implementation of environmental measures and prevention of emergencies, this is a very relevant task. A comparison of methodological approaches to assess the risk for public health from air pollution has a scientific focus.

2. Analysis of Reference Data and Problem Statement

In many countries of the world, the use of risk assessment approaches for public health for the purposes of socio-hygienic monitoring, environmental and hygienic examinations, ecological audits, determination of environmental disaster zones and environmental emergency situations, state ecological control, substantiation of environmental and health action plans of the population is enshrined in law. The results of risk assessment allow us to determine the appropriateness, priority and effectiveness of environmental and sanitation measures aimed at reducing the adverse impact of the environment on public health.

Polluted air has the greatest impact on diseases of the respiratory system. The authors of (Singh R. B., Grover A. 2018). made a spatio-temporal analysis for three urban regions, rural area and for the city of Delhi on the incidence of air pollution. The results of the analysis showed that diseases tend to worsen as the level of air pollution increases. This study is important for Delhi residents and shows the need to monitor air quality and reduce pollutant emissions, but this method cannot be proposed to determine the risk to public health, because the risk is the probabil-

ity of an event that is not discussed in this article.

The authors of article (Pospelov B., Kovrehin V. et al., 2020). developed a method for detecting dangerous conditions of polluted air in urban areas in real time for any amount of pollutants. The method is based on the restoration of the latent dynamics of the total risk of instantaneous action on the basis of current measurements of the concentration of pollutants at the control point. The use of the developed method in several control points would allow to determine the spatio-temporal distribution of the levels of the total risk of instantaneous effects of air pollution on the population within the territory (Pospelov B., Kovrehin V. et al., 2020).

Article discusses the important role of risk assessment in emergency and disaster management. The risks that are most important for emergency management include: (1) the probability of the existence or occurrence of a health hazard; (2) the probability that the hazard will occur; (3) the probability that the event will cause harm to health; (4) the probability that harm to health will increase the incidence of the population. Authors of (Arnold J. L., 2012). believe that the overall risk of deteriorating public health is the result of these four probabilities. Atmospheric air pollution, of course, is one of the causes of human disease, so in this case, it is enough to determine the probability of deterioration (or increase) in morbidity.

Risk assessments are tools that help systems at risk (medical organizations, communities, regions, states and countries) to develop rational risk reduction strategies (Arnold J. L., 2012).

The authors of the article (Popov O., Iatsyshyn A. et al., 2020). based on official statistics and data from state monitoring identified and analyzed the risks to the health of the population of Kyiv associated with air pollution. The following methods were used: systematic, functional and comparative analysis, risk theory, mathematical modeling, probability theory and mathematical statistics, as well as geographic information technology technologies for digital map design and targeted methodology for software design systems.

The paper (Pospelov B., Andronov V. et al., 2020) presents a mathematical model of joint determination of risk to human health and detection of dangerous conditions of polluted urban atmosphere to measure the current concentrations of pollutants. A feature of the model is the use only the measurement of current concentrations of pollutants in the atmosphere at the control point without taking into account meteorological information.

The monograph (Васенко О.Г. та ін., 2015). presents a method of a comprehensive assessment of the ecological status of surface waters, air, soils and land resources of the region and a method of determining the ecological risk of disturbance of natural

ecosystems while maintaining existing trends in anthropogenic pressure for further use in environmental management. The advantage of this method is the use of official monitoring data on the state of the components of the environment and their sources of pollution.

But, the method of determining the ecological risk of disruption of natural ecosystems does not take into account the source of emergencies, which is a very important factor in the deterioration of the environment and the deterioration of public health and even death.

Emergencies can occur due to significant air pollution due to technological disruptions or adverse weather conditions, or unauthorized emissions. The article (Popov O., Taraduda D. et al., 2020) presents the structure of new information and technical methods of emergency prevention. This paper describes the most likely occurrence and development of emergencies related to the entry of toxic substances into the atmosphere at potentially dangerous objects (Popov O., Taraduda D. et al., 2020).

It should be noted that during January-June 2020 in Ukraine as a result of emergencies 1241 people died (including 15 children) and 43873 people were injured (including 3299 children). The largest number of emergencies occurred in Donetsk, Dnipropetrovsk and Luhansk regions, due to the wear and obsolescence of technological equipment of industrial enterprises, especially at environmentally and chemically dangerous sites. In Donetsk and Luhansk regions, the situation is exacerbated by hostilities.

Fighting leads to pollution of environmental components and emergencies. A feature of Donetsk and Luhansk regions is the presence of a large number of objects of high man-made danger, which due to the anti-terrorist operation (ATO) are at risk of explosions, damage and other emergencies, which leads to chemical contamination of soil, air, surface and groundwater.

During the anti-terrorist operation (ATO) from 2014 to 2017, more than 500 emergencies were recorded at the enterprises of the region, which had an impact on the environment and the population (Environmental Assessment and Recovery Priorities for Eastern Ukraine, 2017).

Therefore, we believe that it is necessary to improve the method of determining the level of danger of air pollution under the modern influence of point and mobile sources of pollution, taking into account the risk of chemical and man-made emergencies.

An analysis of state regulatory documents in the field of technogenic and ecological safety of the impact of industrial enterprises on the environment and public health showed their imperfection and the need to adapt to the requirements of European ecological legislation.

In Ukraine, there are guidelines MR 2.2.12-142-

2007 "Assessment of the risk to public health from air pollution", which are based on the American methodological approach to determining the risk to public health (Integrated Risk Information System). The disadvantages of this methodological approach are discussed in detail in this article and its improvement is proposed.

Thus, in Ukraine, it is extremely urgent to develop new approaches to assess the degree of danger at the regional and local levels in order to make scientifically-based management decisions on the priority of implementing environmental protection measures and preventive measures for civil protection of the population.

The aim of the presented research is to improve methods for determining the risk of air pollution on public health. To achieve this goal, the following tasks are set:

- identification of regions of Ukraine with a high level of risk of air pollution and the risk of technogenic emergencies;
- health risk assessment in industrial regions of Ukraine;
- identification of potential risk to public health due to air pollution in industrial regions of Ukraine;
- determination of the effect of pollutants emissions of blast furnace plant of "Azovstal" metallurgical combinat on public health.

The new method presented in this work to determine the level of danger of air pollution allows us to spot the regions of Ukraine that are in the worst condition in terms of air pollution, emergencies, human pressure, and the likelihood of an increase in the incidence of the population. When making scientifically-based management decisions in the field of technological environmental safety, it will allow industrial enterprises to fulfill the requirements of the Law of Ukraine "On Environmental Impact Assessment".

3. Methods and Methodology. Determination of the level of air pollution danger while maintaining existing trends in anthropogenic load and the possibility of industrial emergencies

3.1 Identification of Ukrainian regions with a high risk of air pollution and the risk of industrial emergencies

The need to determine ecological risk as a macroecological indicator for the regions of Ukraine is specified by the state environmental policy according to the regional principle. In particular, the authors introduced the definition of a macro-environmental indicator as a component of life quality assessment (Рибалова О.В. та ін., 2021).

Ecological risk (P^c_i) as probability of ecosystem resilience depends on the current state of ecosystem components (K^c_i) and the impact of present or potential anthropogenic load (H^c_i) and can be expressed by

function (Васенко О.Г. та ін., 2015):

$$P_i^C = f(K_i^C, H_i^C) \quad (1)$$

where

K_i^C – current state of i-component of the environment;

H_i^C – current level of anthropogenic pressure on i-component of the environment.

It is proposed to determine the ecological risk of deterioration of air quality by the formula (Васенко О.Г. та ін., 2015):

$$P_A = f(A_b \langle b = \overline{1, N_A} \rangle, H_{Ak} \langle k = \overline{1, N_{HA}} \rangle), \quad (2)$$

where

A_b – complex assessment of the present state of

the air quality by N_A numbers and b- indicators;

H_{Ak} – an integral assessment of the current level of anthropogenic load from the effects of negative factors on air for N_{HA} numbers and k - indicators.

The characteristics of air pollution in the regions of Ukraine are estimated by the integral indicator of air pollution index value IPV, because it is the most widespread and using in the state monitoring system.

In order to determine the integral indicator of air condition, it is necessary to interpolate the indicators of air quality (A_b) and the value of the integral status indicator and the air pollution index value (IPV) according to the table 1.

To calculate the anthropogenic load on the state of the air quality, official data on the total amount of pollutants emitted from stationary and mobile sources of pollution were analyzed. The following rank scale was used to determine the level of danger of anthropogenic pressure on natural ecosystems (table 2).

Table 1

Classification of the quality state of air by the values of the state integral indicator of the quality state of air (A_b) and air pollution index value (IPV) (Васенко О.Г. та ін., 2015)

Air quality class	1 - good	2 - fair	3 - moderate	4 - poor	5 - heavy
Value of the state integral indicator of the quality state of air (A_b)	0 - 0,19	0,2 - 0,39	0,4 - 0,59	0,6 - 0,79	0,8 - 1,0
Air pollution index value (IPV)	0 - 5	5,1 - 8	8,1-13	13,1 - 18	18,1 -30

Table 2

Characteristics of anthropogenic pressure on natural ecosystems (Васенко О.Г. та ін., 2015)

Value of the anthropogenic pressure indicator	Danger level of anthropogenic pressure on natural ecosystems
0,01 - 0,40	Minor pressure
0,41 – 0,80	Increased pressure
0,81 – 1,00	Intense pressure
1,01 – 1,80	High pressure
> 1,80	Dangerous pressure

Special danger with possible grave consequences and the number of victims are accidents with the release of hazardous chemicals into the environment. Most enterprises in all industries work on technically outdated equipment, consuming large quantities of natural resources, including mineral resources. Production is accompanied by the formation of a large amount of waste and by-products, are not disposed of, stored in dumps. On average, only about 40% of the recyclable chemical raw material is converted into finished products. The most common hazardous chemicals at the chemical industry are

ammonia, chlorine, nitrogen dioxide, acrylonitrile, sulfuric anhydride, concentrated nitric and sulfuric acids, methanol, benzene, sodium hydroxide, formalin, etc.

It should be noted that the state of the air quality is greatly influenced by emergencies associated with accidents at chemically hazardous facilities, which result in sudden emissions of hazardous chemical substances (HCS) into the environment. Therefore, it is necessary to consider the chemical hazard indicator (X_{An}) in determination of the ecological risk of deterioration of state air quality:

$$P_A = f(A_b \langle b = \overline{1, N_A} \rangle, H_{Ak} \langle k = \overline{1, N_{HA}} \rangle, X_{An} \langle n = \overline{1, N_{XA}} \rangle), \quad (3)$$

where

X_{An} – an integral indicator of the influence of chemical hazard factors on state of air quality for N_{XA} numbers of n indicators.

Ecological risk characterization by value is given in table 3.

The determination of the state of air quality and the anthropogenic load indicator in the regions

of Ukraine is based on official monitoring data and information, are given in the environmental passports of the regions of Ukraine, regional reports on the state of the environment, National reports on the state of the environment, information and analytical reviews “State of the environment in Ukraine”. For determination of the generalized indicator of the influence of chemical hazard factors

on the state of air, the information of the National Report on the State of Technogenic and Natural Safety in Ukraine were used.

Based on these data, the ecological risk of deterioration of the state of air quality of Ukraine is determined taking into account the degree of chemical hazard (fig. 1).

According to calculations of the ecological risk

Table 3

Characteristics of ecological risk (Басенко О.Г. та ін., 2015)

<i>Value of the ecological risk indicator</i>	<i>Qualitative assessment of the degree of ecological risk</i>
0,01–0,19	Low risk
0,20–0,39	Increased risk
0,40–0,59	Significant risk
0,60–0,79	High risk
0,80–1,00	Dangerous risk

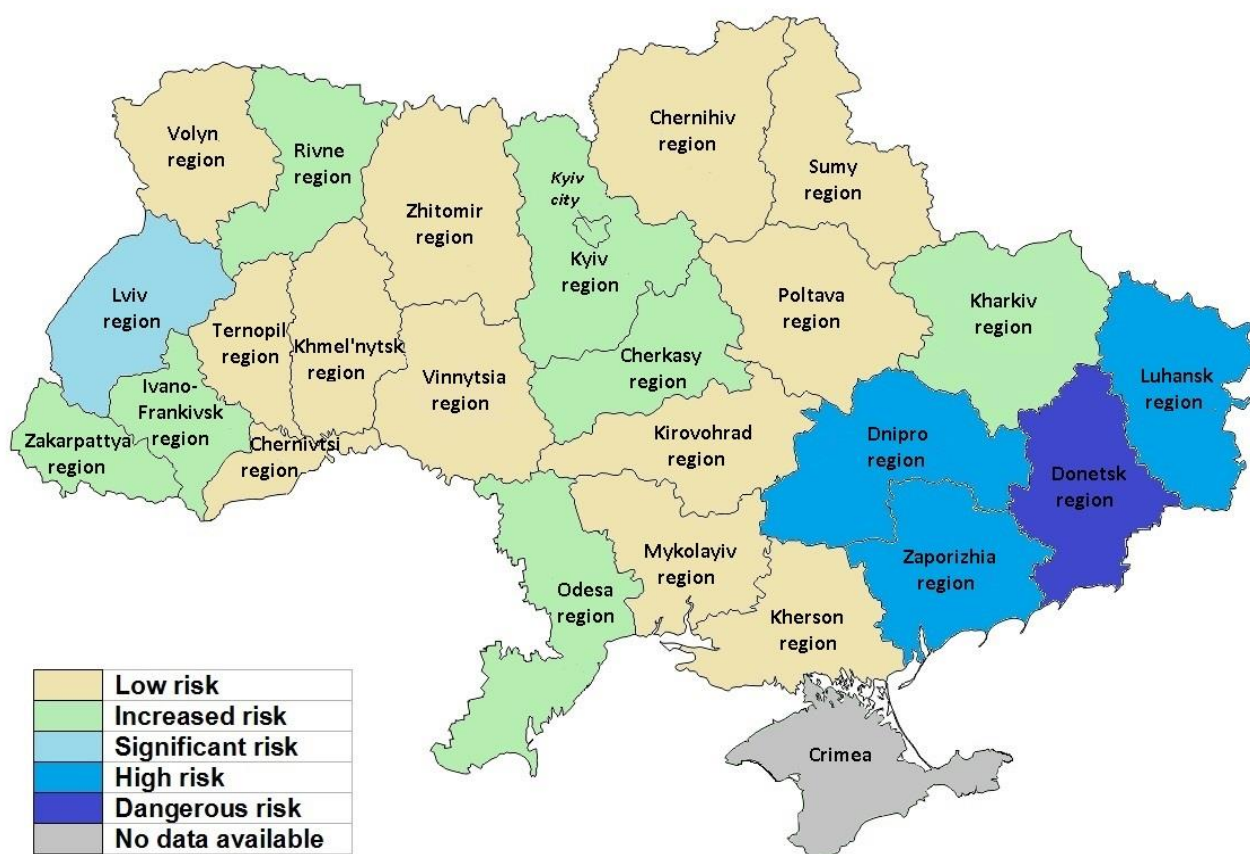


Fig. 1. Ecological risk of deterioration of air in the regions of Ukraine, taking into account the degree of chemical hazard

of deterioration of atmospheric air in Ukraine, taking into account the chemical hazard indicator (fig. 1), the most dangerous state of atmospheric air is observed in Donetsk (5 class), Dnepropetrovsk, Lugansk region and Zaporizhzhya region (4 class).

More than 11.0 million people (about 26% of the country's population) live in the zones of possible chemical contamination. The largest number of chemically hazardous facilities is concentrated in the industrial regions of Ukraine, namely in the Donetsk

region - 159, Dnipropetrovsk region - 112, Lugansk region – 86. Most of these facilities constitute an ecological hazard to the environment and public health, pose a threat of emergencies, and individual facilities are potentially dangerous even to neighboring states and constitute a transnational threat.

3.2 Method of estimating the risk to public health depending on air quality

In the most countries of the world it is considered that the risk to the public health is the main

indicator of danger. Ukraine has guidelines for assessing the risk to public health from air pollution (Методичні рекомендації, 2007). In the article (Rybalova O. et al., 2022). the methodology for a complex assessment of the risk to public health at environmental pollution was improved.

Health risk assessment is carried out separately for carcinogenic and non-carcinogenic pollutants. For the assessment of the carcinogenic risk, risk indicators are calculated for each pollutant (Методичні рекомендації, 2007):

$$CR = SF \times LADI, \quad (4)$$

where

CR – the probability of getting cancer, immeasurable value (usually expressed in units 1:1000000);

SF – probability of getting cancer if a single dose was taken LADI, 1/mg/ (kg· twenty-four hours).

LADI – average lifetime daily dose, mg/(kg· twenty-four hours), which is calculated by the formula (Методичні рекомендації, 2007):

$$LADDI = \frac{Ca \times Tout \times Vout \times EF \times ED}{BW \times AT \times 365}, \quad (5)$$

where

LADDI – average daily dose of the substance, mg/kg- twenty-four hours;

Ca – concentration of substances in the air, mg/m³;

Tout – time spent outdoors, hour/ twenty-four hours;

Vout – rate of breathing outside the room, m³/year;

EF – frequency of exposure, days/year;

ED – duration of exposure, years;

BW – body weight, kg;

AT – exposure averaging period, years.

365 – number of days per year.

Individual and population carcinogenic risks characterize the upper limit of a possible carcinogenic risk during the period corresponding to the average human life expectancy (70 years). Value of carcinogenic risks mainly reflects the long-term tendency for a change in the oncological background that has formed in the corresponding territory. Low level of carcinogenic risk is considered at its values 10⁻⁴ – 10⁻⁶.

The risk of developing non-carcinogenic effects for individual substances is based on the calculation of the hazard coefficient by the following formula (Методичні рекомендації, 2007):

$$HQ = \frac{AD}{RfD} \quad \text{or} \quad HQ = \frac{AC}{RfC}, \quad (6)$$

where

HQ – coefficient of hazard, immeasurable value;

AD – average dose, mg/kg;

AC – average concentration, mg/m³;

RfD – reference (safe) dose, mg/kg;

RfC – reference (safe) concentration, mg/m³.

The risk characterization of the development of non-carcinogenic effects with combined and complex exposure to chemical compounds is based on the calculation of the hazard index (HI).

The hazard index for conditions of simultaneous using several substances in the same way (for example, inhalation or oral) is calculated by the formula (Методичні рекомендації, 2007):

$$HI = \sum HQ_i, \quad (7)$$

where HQ_i – hazard factor for i- individual pollutants.

In works (Васенко О.Г. та ін., 2015), the following gradation of the boundaries of the development of non-carcinogenic effects by the magnitude of the hazard coefficient is presented: extremely high (> 10), high (5-10), medium (1-5), low (0.1-1.0), minimal (less than 0.1).

3.3 Method of estimating the potential risk to public health depending on air quality

When identifying areas of environmental danger, methods are used to assess the potential risk to public health, the advantage of which is that they are based on the domestic hygienic approach (compliance with the maximum allowable concentration (MPC) ensures no adverse health effects, and its excess can cause probability (risk) of increasing the incidence of the population), which allows to divide the levels of pollution into several stages - from acceptable (or acceptable) to extremely dangerous (Васенко О.Г. та ін., 2015, Киселев А.В., Фридман К.Б., 1997).

The method of assessing the potential risk to public health allows you to adequately integrate pollutants, because it is a probabilistic characteristic of the occurrence of reflex reactions of the body and other harmful effects (Васенко О.Г. та ін., 2015).

The potential risk to public health from chronic exposure to air pollution is determined by the formula (Киселев А.В., Фридман К.Б., 1997):

$$R = 1 - \exp(\ln(0.84) \times (C / MPC)^b / Kz), \quad (8)$$

where

C – concentration of the pollutant, mg/m³;

MPC – maximum permissible concentration of the pollutant, mg/m³;

Kz – coefficient, which is determined by table 4;

b – coefficient that allows to evaluate the isoeffective effects of impurities of different hazard classes in accordance with table 4.

When interpreting the obtained values of the potential risk to public health use the following ranking scale (table 5).

Assessing the potential risk to public health also allows you to rank the risks of individual pollutants

Table 4

The values of the coefficients K_z and b for substances of different hazard classes
(Киселев А.В., Фридман К.Б., 1997)

Hazard class of pollutants	Coefficient K_z	Coefficient b
1	7,5	2,35
2	6,0	1,28
3	4,5	1,0
4	3,0	0,87

Table 5

Dependence of the weight of the effects on the magnitude of the potential risk to public health
(Rybalova O. et al., 2018)

Risk	Grade	Risk characteristics
<0,1	1	insignificant impact on public health
0,1 – 0,19	2	weak impact on public health
0,2 – 0,59	3	significant impact on public health
0,6 – 0,89	4	great impact on public health
0,9 – 1,0	5	very large impact on public health

in order to determine the cause of pollution based on the identification of the most dangerous sources of anthropogenic impact on the environment.

4. Results

4.1 Results of risk assessment for public health due to air pollution in industrialized regions of Ukraine

Calculations of carcinogenic risks to public health in the current state of air pollution in all regions of Ukraine correspond to the low level, as their values fluctuate from 10^{-5} till 10^{-6} .

The calculation of the hazard index of an increase in the incidence of the population showed a high level of danger in industrial regions (fig. 2).

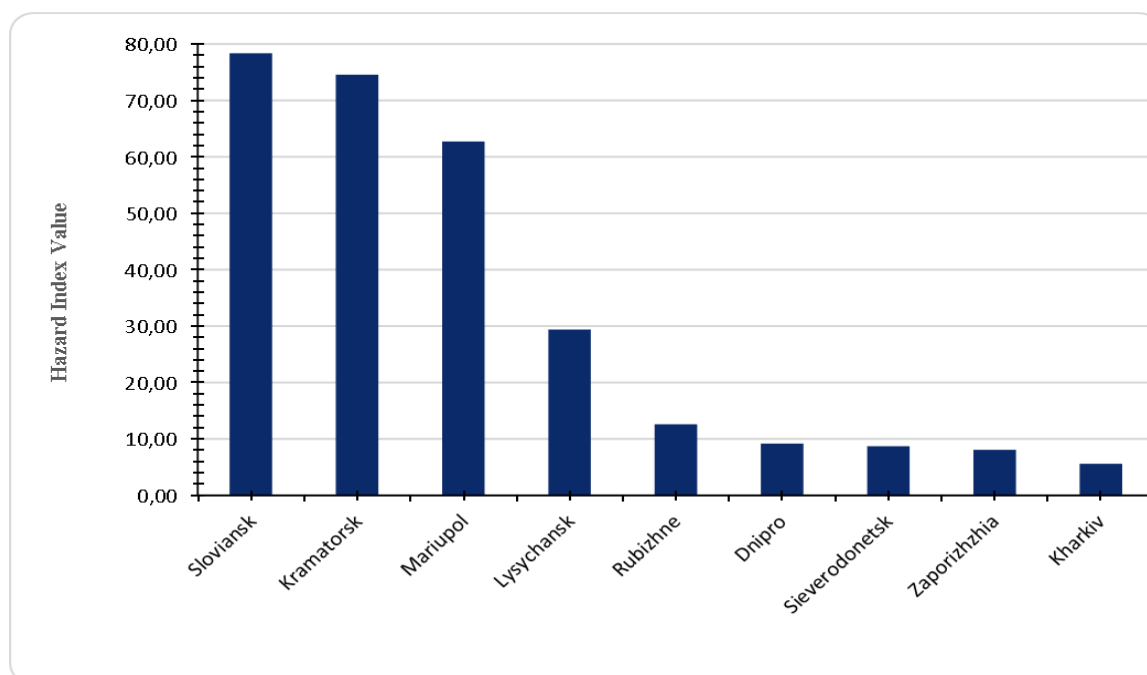


Fig. 2. Ranking of industrial regions of Ukraine according to the hazard index of increasing incidence of the population in the current state of air pollution

Based on the monitoring data on the state of air in the settlements of Ukraine, the carcinogenic risk and the hazard index for non-cancer diseases for adults and children are calculated. The population in the Donetsk region is in the most dangerous condition: the hazard index value corresponds to hazard class 5 (extremely high hazard level). The level of air

pollution in Lugansk, Dnipropetrovsk and Kharkiv regions corresponds to 4 class (high hazard level).

The assessment of the potential risk to public health from air pollution in Luhansk region showed that the value of the risk corresponds to hazard classes 2 and 3 (table 6).

Potential risk to public health from air pollution in Luhansk region

Name of the city	The value of potential risk	Grade	Risk characteristics
Lysychansk	0,36	3	significant impact on public health
Severodonetsk	0,19	2	weak impact on public health
Rubizhne	0,39	3	significant impact on public health

Calculations have shown that the greatest potential risk to public health from air pollution in Rubizhne.

An assessment of the potential risk to public health from air pollution in the Donetsk region has shown that the level of air pollution is extremely dangerous (Grade 5).

The ranking of the cities of Donetsk region by the value of the potential risk to public health from air pollution showed the most dangerous level of pollution in the city of Slavyansk.

The level of air pollution in the city of Zaporizhzhya and the city of Dnipro according to the assessment of the potential risk to public health corresponds to the 3rd grade of danger (significant impact on public health). The assessment of the potential risk to public health from air pollution in the city of Kharkiv showed compliance with hazard grade 2 (weak impact on public health).

4.2 Determination of the effect of pollutant emissions from the blast furnace shop of the PJSC "Azovstal Iron and Steel Works" on public health

The main air pollutants in Ukraine are energy and metallurgy enterprises (55% and 22% of all pollution from stationary sources). The powerful

environmental pollutant is also chemical industry, which emits sulfuric anhydride, hydrocarbons, nitrogen oxides and other harmful substances into the air. The largest number of chemically hazardous facilities is located in the eastern regions of the country, namely in Donetsk, Dnipropetrovsk, Lugansk and Kharkiv regions.

The industrial center of Ukraine is concentrated in the Donetsk region, which carries a large load on the environment by such industries as coal, metallurgy, energy, coke-chemical engineering and others. Therefore, pollution of the atmosphere in the Donetsk region and in the city of Mariupol with harmful substances has a significant impact on the health of the population and natural ecosystems.

Results of the calculations of the carcinogenic risk assessment on the health of the population of Mariupol at the current level of air pollution are showed that there is a high risk - it is not acceptable for the working environment and the population as for children, as for adults. It is necessary to implement and take measures to eliminate or reduce the risk. For adults and children, the highest risk is high levels of air pollution by benzopyrene. (fig. 3).

The assessment of non-carcinogenic risks to the

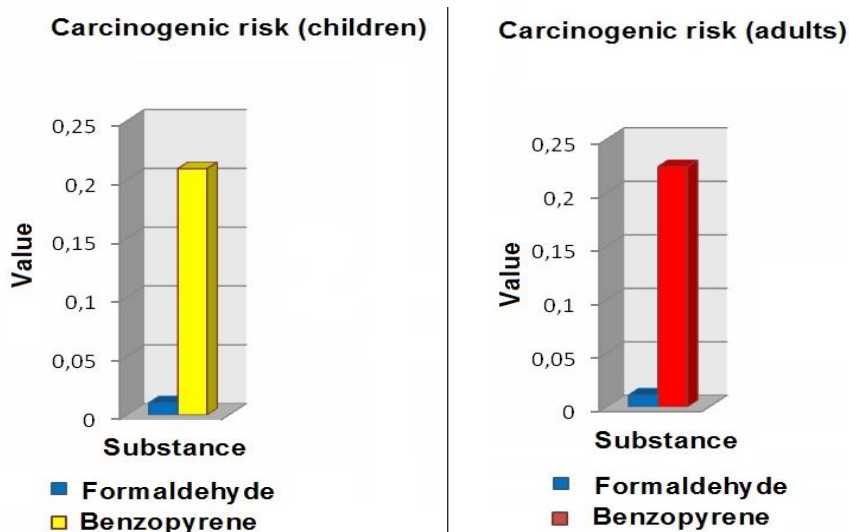


Fig. 3. Carcinogenic risk for children and adults in the city of Mariupol (Donetsk region)

public health at the current level of air pollution is showed that the risk is extremely high - massive complaints and the occurrence of chronic diseases.

Hazard index calculations show that the hazard level is extremely high, which creates the probability of increasing the morbidity of the population.

Main contribution to the general air pollution of the city of Mariupol is made by the enterprises of ferrous metallurgy – PJSC "Azovstal Iron and Steel Works" and PJSC "Ilyich Iron and Steel Works". Their emissions, according to Ministry of ecology and natural resources, constitute about 98% of the

citywide.

PJSC "Azovstal Iron and Steel Works" is a part of metallurgical division (Metinvest group) and one of the largest world - known metallurgical companies in Ukraine (city of Mariupol). Production facilities of the enterprise allow producing 5.7 million tons of iron per year, 6.2 million tons of steel and 4.7 million tons of finished rolled products per year. Currently, enterprise is the only Ukrainian manufacturer of high-quality rolled products with the thickness of 6-200 mm and width of 1500-3200 mm for shipbuilding, power engineering and special machine building, bridge construction, large diameter pipe manufacturing for arctic main gas and oil pipelines, offshore structures. PJSC "Azovstal Iron and Steel Works" uses five main workshops for production, namely: sinter factory, blast-furnace shop, converter shop, thick-sheet shop.

The most ecologically hazardous is the blast furnace shop of metallurgical production. Therefore, the ef-

fect of pollutant emissions into the air of a blast furnace shop of PJSC "Azovstal Iron and Steel Works" on the health of population were considered in more detail at the article.

The blast furnace shop of PJSC "Azovstal Iron and Steel Works" produces three types of pig iron:

- 30% phosphorous (phosphorus content up to 1.5%) for the open-hearth shop;

- 69,5 % low carbon (manganese content up to 0.17%) for the converter shop;

- 0,5 % synthetic cast iron for foundry.

The main sources of atmospheric emissions in the steel industry are sinter production, iron and steel production. A large amount of pollutants is emitted into the atmospheric air: carbon oxides, sulfur, nitrogen, oil vapors, polydispersity dust, benzene, phenol, formaldehyde, methanol, heavy metals, and ammonia. The main air pollutants are given in table 7.

Emissions of pollutants lead not only to a critical state of air and nature in the city, but also to the large

Table 7

The main air pollutants of PJSC "Azovstal Iron and Steel Works"			
Title of the pollutant	Emissions		
	Total emissions, t/year	Before the total emissions of the facility, %	Before the total emissions (settlement), %
Solids	11191.265	7.73	2.93
CO	121249.068	83.73	31.71
NO _x	6408.391	4.43	1.68
SO ₂	4877.254	3.37	1.28

number of diseases among the population of the region of the cardiovascular, respiratory and reproductive systems and the death of living organisms.

The main sources of air pollution from emissions from a metallurgical enterprise include blast furnace production of pig iron. Therefore, calculating the effect of pollutant emissions into the air from the blast furnace is necessary.

Calculations of the hazard index for the population of the city of Mariupol from on the emissions of the blast furnace into the air showed a high level of danger (table 8.)

Assessment of non-carcinogenic risks to public health at the current level of air pollution shows that the risk is extremely high - massive complaints and the occurrence of chronic diseases. In accordance with the methodology for assessing the risk to public health, the probability of increasing the incidence rate for individual organs and systems of the human body is determined in accordance with the value of the hazard coefficient of an individual pollutant (fig. 4).

Calculations are shows that there is a high level of danger of an increase in the incidence of the

respiratory, blood and immune system for the population of the city of Mariupol.

The blast furnace production is one of the main branches in the steel industry, which pollutes the environment. The production of pig iron is formed big amount of gas emissions and waste. In order to protect the environment, the implementation of measures aimed at: 1) eliminate or reduce emissions to maximum permissible standards; 2) neutralization of harmful factors of pollution. Among the highest priorities, it is necessary to name the full or partial conversion of production, accelerated restoration of production potential, the implementation of advanced technologies, and the development of environmentally friendly industries. Complete and efficient disposal of waste from all industries is possible and necessary based on the implementation of activation tools with a significant increasing in their technological properties.

One of the main levers for solving the problems of air protection, in terms of approaching international air quality standards and eliminating the contradictions between economic growths and increasing

Assessment of the hazard index for the population in the city of Mariupol depending on the emissions of pollutants from the blast furnace shop into the air

Pollutants	Concentration, mg/m ³	Reference concentration, RfC, mg/m ³	Hazard factor, HQ
Dust	0.7	0.1	7
Sulfuric anhydride	0.33	0.05	6.6
Nitrogen oxides	0.1	0.06	1.67
Carbon monoxide	9	3	3
Hydrogen sulfide	0.01	0.1	0.1
Total hazard index, HI			18.37

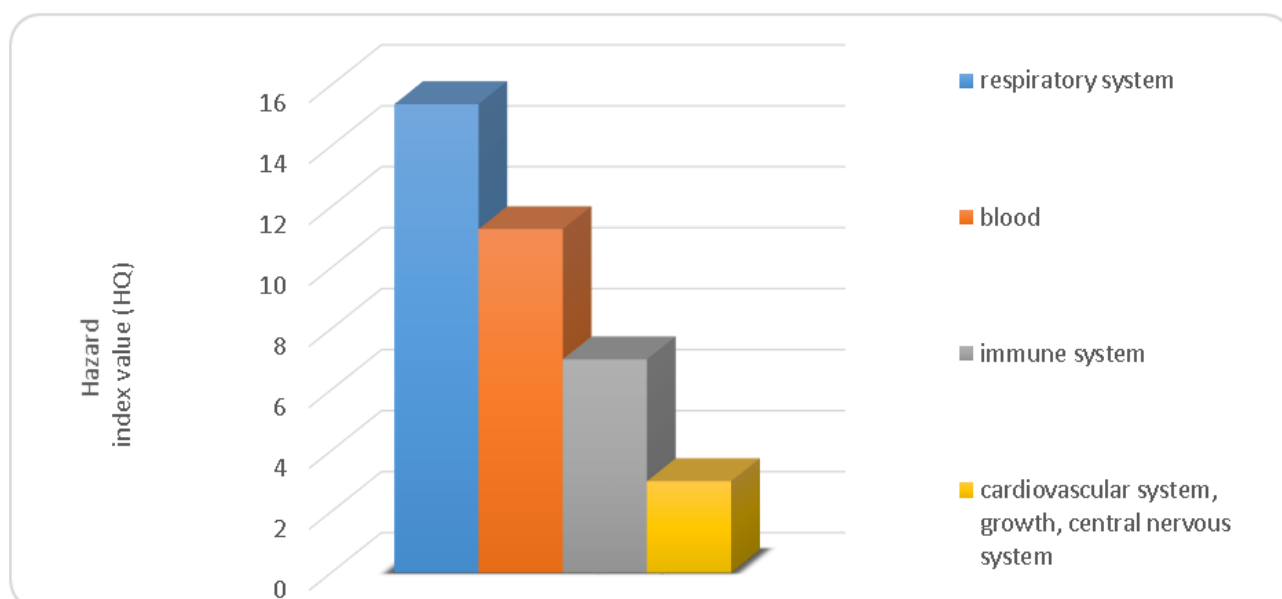


Fig. 4. Probability of an increase in the morbidity of the population of Mariupol from modern air pollution from emissions from the blast furnace of PJSC "Azovstal Iron and Steel Works"

anthropogenic load, is the implementation of a new industrial emissions control system. Thus, the ecological situation in the area of pig iron production can be improved by replacing the treatment facilities with new, more productive and modernized ones; reducing the formation of scrap and slag and the development of measures for their disposal and recovery.

5. Discussion

Analysis of the dynamics and state of natural and technological safety in Ukraine showed that in general the number of emergencies has a tendency to decrease over the past decade. The big number of technogenic emergencies arose in the Donetsk, Dnepropetrovsk and Lugansk regions. This is due to the deterioration and obsolescence of technological equipment of industrial enterprises, especially in ecologically and chemically hazardous facilities. In the Donetsk and Lugansk regions, the situation is complicated by military operations. The peculiarity of the Donetsk and Lugansk regions is the presence of a

large number of objects of increased technogenic danger, which because of hostilities are at risk of explosions, damage and other emergencies, which leads to chemical pollution of soil, air, surface and groundwater.

The application of a new method of determining the risk of deterioration of atmospheric air depending on the current state of the atmosphere, anthropogenic load, taking into account the degree of man-made chemical danger at the state level has shown its effectiveness for fair distribution of financial resources for the introduction of advanced technologies and environmental measures.

The main air pollutants in Ukraine are energy and metallurgical enterprises (55% and 22% of all pollutants from stationary sources). A powerful pollutant of the environment is also the chemical industry, whose facilities emit sulfur dioxide, hydrocarbons, nitrogen oxides and other harmful substances. The largest number of chemically dangerous objects

is located in the eastern regions of the country, namely in Donetsk, Dnipropetrovsk, Luhansk and Kharkiv regions.

Modern methodological approaches to risk assessment for public health were analyzed and the authors came to conclusion that due to the heterogeneity of approaches there is currently no consensus on methods of solving problems related to risk assessment (Mathes T. et al, 2017). A possible explanation for this may be that the methods are insufficiently developed, and the advantages and disadvantages of a particular method in relation to the research question are still insufficiently evaluated (Mathes T. et al, 2017).

A comparison of methodological approaches to assessing the risk to public health revealed several shortcomings of the EPA methodology:

1) pollution indicators of the Ukrainian and American monitoring systems do not match;

2) calculation of the hazard index is based on a simple summation of the multiplicity of exceeding the reference doses without taking into account the hazard class;

3) the concept of non-threshold risk (ie any substance in any concentration affects human health) leads to overestimation of risk values;

4) for each pollutant indicate specific diseases that may be increased compared to the background disease, but sometimes these are very dubious conclusions about the disease;

5) the method of assessing the potential risk to public health is based on the fact that if the pollutants exceed the relevant maximum concentration limits, then there is a likelihood of adverse effects or increased morbidity and do not indicate specific diseases;

6) assessment of the potential risk to public health is based on the domestic system of maximum permissible concentrations (MPC) and takes into account the hazard class of the substance

We propose to use a combined approach to determine the risk to public health due to air pollution:

1) carcinogenic risk is determined according to the methodological approach of the EPA, which is contained in the methodological recommendations 2.2.12-142-2007 "Assessment of the risk to public health from air pollution".

2) for non-carcinogenic pollutants to determine the potential risk to public health according to the method presented in section 3.3 of this work.

The next step in determining the risk to public health is risk management (Keim M. 2018). where it was noted that risk assessment is a key component of health interventions aimed at preventing or reducing adverse health effects. Health risk assessments are widely used to guide health programs, as well as cross-sectoral environmental impact studies and

development decisions. Analytical risk assessment is a well-validated tool that is regularly used among certain subgroups of public health, including those that assess chemical, radiological and microbiological risks.

One of the main levers for solving the problems of air protection, in terms of approaching international air quality standards and eliminating contradictions between economic growth and increasing man-made load, is the introduction of a new system for regulating industrial emissions. Thus, it is possible to improve the ecological situation, protect human health and ensure the comfort of living by introducing advanced technologies into industrial production, replacing treatment plants with new, more productive and modernized ones; reducing waste generation and developing measures for their utilization and recovery.

6. Conclusions

The new method of determining the level of danger of air pollution allows to identify the regions of Ukraine that are in the worst condition in terms of air pollution, emergencies, anthropogenic pressure, the likelihood of increasing morbidity to direct financial resources to implement environmental measures and prevention. Emergencies, which is a very important task in making scientifically sound management decisions in the field of man-made environmental safety.

Calculations of the ecological risk of deterioration of the atmospheric air of Ukraine taking into account the indicator of chemical danger showed the most dangerous state of the atmospheric air observed in Donetsk, Dnipropetrovsk, Luhansk regions (5th grade) and in Zaporizhzhya region (4th grade).

The industrial center of Ukraine is concentrated in the Donetsk region, which carries a large load on the environment by such industries as coal, metallurgy, energy, coke-chemical engineering and others. Air pollution in the Donetsk region and in the city of Mariupol with harmful substances has a significant impact on public health and natural ecosystems. Therefore, it is very important to assess the risk for the population of the city due to air pollution. Results of calculations of carcinogenic risk assessment for the population of Mariupol at the present level of air pollution showed that the risk is very high.

A comparison of methodological approaches to assessing the risk to public health from air pollution has shown the need to use a combined approach to determine carcinogenic and non-carcinogenic risk. Applying the proposed combined approach to assessing the risk to public health will determine the likelihood of increasing morbidity at the regional and local levels, the possibility of industrial enterprises or the introduction of advanced technological processes to improve air quality and protect the public from pollutant emissions.

The assessment of non-carcinogenic risks for public health at the current level of air pollution showed that there is a very high risk of chronic diseases, especially respiratory and cardiovascular systems, the central nervous system. The main sources of pollution in the city of Mariupol are metallurgical plants: PJSC "Azovstal Iron and Steel Works" and PJSC "Ilyich Iron and Steel Works" and vehicles, which are growing rapidly year-by-year.

The enterprises of the metallurgical industry, which are the largest air pollutants, should immediately implement air protection measures in order to reduce the risk to public health.

The results of the air quality assessment in Donetsk region and the city of Mariupol and its impact on public health are showed that the region's environmental strategy financial resources should be allocated to the implementation of environmental

protection measures and for the technological modernization of industrial enterprises in order to reduce the anthropogenic load on the environment.

Nowadays, Ukraine has experienced an economic crisis, the issue of the priority of financing environmental protection is very important. The presented approach for determination the level of environmental hazard using methods for assessing the risk to public health makes it possible to determine the feasibility and priority of implementing environmental and sanitary-hygienic measures. The hierarchical methodological approach proposed in the work for determination the environmental hazard of air pollution should be used in the development of environmental policies for the implementation of environmental measures in order to improve the state of the environment.

Bibliography

1. Arnold, J. L. *Risk and Risk Assessment in Health Emergency Management* / J. L. Arnold. *Prehospital and Disaster Medicine*. 2012. – Vol. 20:3. – P. 143–154. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1049023X00002363>
2. Ashmore, M. *World Atlas of Atmospheric Pollution Anthem Press [Text]* / M. Ashmore, J.-P. Hettelingh, Hicks K., G. J.Reinds, F. Tonneijck, L. Bree, H. Dobben. – 2012. – P. 77-94. DOI: <https://doi.org/10.7135/UPO9780857288448.009>
3. *Environmental Assessment and Recovery Priorities for Eastern Ukraine. (Official text)* / Kyiv: VAITE, 2017. – 88 p. ISBN 978-966-2310-87-0
4. Gupta, U. *Estimating Welfare Losses from Urban Air Pollution using Panel Data from Household Health Diaries [Text]* / U. Gupta, A. K. Enamul Haque, M. N. Murty, P. Shyamsundar // Cambridge University Press. – 2012. – P. 256-275. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511843938.012>
5. *Integrated Risk Information System (IRIS) (official text)* // U. S. Environmental Protection Agency (EPA). Access mode: <http://www.epa.gov/iris> – 31.01.2020.
6. Keim, M. *Assessing Disaster-Related Health Risk: Appraisal for Prevention [Text]* / M. Keim // Cambridge University Press. – 2018. – Vol. 33(3). – P. 317–325. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1049023X18000407>
7. Киселев, А.В. *Оценка риска здоровью. [Текст]* / А.В. Киселев, К.Б. Фридман – С-Пб: Межд. институт оценки риска здоровью, 1997. – 102 с.
8. Manisalidis I. *Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review [Text]* / I. Manisalidis, E. Stavropoulou, A. Stavropoulos, E. Bezirtzoglou // *Frontiers in Public Health*. – 2020. – Vol. 8. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>
9. Mathes, T. *Health technology assessment of public health interventions: a synthesis of methodological guidance [Text]* / T. Mathes, S.-L. Antoine, P. Prengel, S.Bühn, St. Polus, D. Piepe // *International Journal of Technology Assessment in Health Care*. – 2017. – Vol. 33 (2). – P. 135–146. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0266462317000228>
10. *Методичні рекомендації МР 2.2.12-142-2007. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря (офіційний текст)*. – Київ. – 2007. – 40 с.
11. *Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2020 році [Електронний ресурс]* / Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. (офіційний текст). – Режим доступу: <https://mepr.gov.ua/news/38840.html> – 11.02.2021.
12. Popov, O. *Risk assessment for the population of Kyiv, Ukraine as a result of atmospheric air pollution [Text]* / O. Popov, A. Iatsyshyn, V. Kovach, V. Artemchuk, I. Kameneva, D. Taraduda, V. Sobyina, D. Sokolov, M. Dement, T. Yatsyshyn. // *Journal of Health and Pollution*. – 2020. – Vol. 10, No. 25. – P. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.5696/2156-9614-10.25.200303>
13. Pospelov, B. *Development of a method for detecting dangerous states of polluted atmospheric air based on the current recurrence of the combined risk [Text]* / B. Pospelov, V. Kovrehin, E. Rybka, K. Orainiukov, O. Petukhova, T. Butenko, P. Borodych, I. Morozov, O. Horbov, I. Hrachova // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2020. – Vol. 5, No. 9–107. – P. 49–56. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.213892>
14. Pospelov, B. *Mathematical model of determining a risk to the human health along with the detection of hazardous states of urban atmosphere pollution based on measuring the current concentrations of pollutants [Text]* / B. Pospelov, V. Andronov, E. Rybka, Krainiukov O., Maksymenko N., Meleshchenko R., Bezuhla Y., Hrachova I., Nesterenko R., Shumilova A. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2020. – Vol. 4. No. 10. – P. 37–44. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.210059>
15. Popov, O. *Emergencies at Potentially Dangerous Objects Causing Atmosphere Pollution: Peculiarities of Chemically Hazardous Substances Migration [Text]* / O. Popov, D. Taraduda, V. Sobyina, D. Sokolov, M. Dement, A. Pomaza-

- Ponomarenko // *Studies in Systems, Decision and Control*. – 2020. – Vol. 298. – P. 151–163. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-48583-2_10
16. Rybalova, O. Development of methods for estimating the environmental risk of degradation of the surface water state. [Text] / O. Rybalova, S. Artemiev, M. Sarapina, B. Tsymbal, A. Bakhareva, O. Shestopalov, O. Filenko // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. – Vol. 2 (10 (92)). – P. 4–17. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127829>
 17. Rybalova, O. Method of Assessing the Potential Risk to The Health of the Population During Recreational Water Withdrawal [Text] / O. Rybalova, M. Malovanyy, O. Bondarenko, O. Proskurnin, K. Belokon, H. Korobkova // *Journal of Ecological Engineering*. 23 (5). – 2022. – P. 81–91. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/146998>
 18. Рибалова, О. В. Метод визначення екологічної складової якості життя [Текст] / О. В. Рибалова, О. В. Бригада, О. В. Львівський. Комунальне господарство міст. Х.: Харків. нац. ун-т міськ. господар. ім. О. М. Бекетова. 2021, – Т. 4, № 164. – С. 22–33. DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-4-164-220-233>
 19. Singh, R. B. Air Pollution and Human Health Risk Reduction: The Case Study of Delhi Megacity, India. Part V - Future Earth and Urban Environments. [Text] / R. B. Singh, A. Grover // Cambridge University Press. – 2018. – P. 223–236. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781316761489.023>
 20. Інтегральні та комплексні оцінки стану навколишнього природного середовища [Текст] / О.Г. Васенко, О.В. Рибалова, С.Р. Артем'єв та ін. – Х.: НУГЗУ, 2015. – 419 с.
 21. Про оцінку впливу на довкілля [Електронний ресурс]: Закон України від 23.05.2017 року № 2059-VIII // Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 29, ст.315. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text> (дата звернення: 12.05.2020). – Назва з екрана.
 22. Звіт про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2020 році. [Електронний ресурс] / Державна служба України з надзвичайних ситуацій. – Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/17-civik-2018/zvit2020/zvit-2020-dsns.pdf> – 09.12.2020.

Author Contributions: All authors have contributed equally to this work

References

1. Arnold J. L. (2012). Risk and Risk Assessment in Health Emergency Management. *Prehospital and Disaster Medicine*, 20:3, 143-154. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1049023X00002363>
2. Ashmore M., Hettelingh J.-P., Hicks K., Reinds G. J., Tonneijck F., Bree L. & Dobben H. (2012). *World Atlas of Atmospheric Pollution Anthem Press*, 77-94. DOI: <https://doi.org/10.7135/UPO9780857288448.009>
3. *Environmental Assessment and Recovery Priorities for Eastern Ukraine*. Kyiv, VAITE, 2017. ISBN 978-966-2310-87-0.
4. Gupta U., Enamul Haque A. K., Murty M. N. & Shyamsundar P. (2012). Estimating Welfare Losses from Urban Air Pollution using Panel Data from Household Health Diaries. Cambridge University Press, 256-275. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511843938.012>
5. Integrated Risk Information System (IRIS). U. S. Environmental Protection Agency (EPA). Available at: <http://www.epa.gov/iris> [in Ukrainian]. (2020, November, 30).
6. Keim M. (2018). Assessing Disaster-Related Health Risk: Appraisal for Prevention. Published online by Cambridge University Press. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1049023X18000407>
7. Kiselev A.V. & Fridman K.B. Ocenka riska zdorov'yu (1997). [Health risk assessment]. SPb.: Int. health risk assessment institute [in Russian].
8. Mathes, T., Antoine, S.-L., Prengel, P., Bühn, S. Polus, St. & Piepe, D. (2017). Health technology assessment of public health interventions: a synthesis of methodological guidance. *International Journal of Technology Assessment in Health Care*, 33(2), 135-146. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0266462317000228>
9. Manisalidis I., Stavropoulou E., Stavropoulos A., Bezirtzoglou E. (2020). Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. *Frontiers in Public Health*, 8. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>
10. Metodichni rekomendatsii MR 2.2.12-142-2007 (2007). Otsinka ryzyku dlia zdorovia naseleння vid zabrudnennia atmosfernoho povitria. [Methodological recommendations MR 2.2.12-142-2007. Assessment of the risk to public health from atmospheric air pollution. Ministry of Health of Ukraine]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/y0184282-07#Text> [in Russian].
11. Natsionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha v Ukrainy u 2020 rotsi [National report on the state of the natural environment in Ukraine in 2020]. Available at: <https://mepr.gov.ua/news/38840.html>. [in Ukrainian].
12. Popov O., Iatsyshyn A., Kovach, V., Artemchuk V., Kameneva I., Taraduda D., Sobyna V., Sokolov D., Dement M. & Yatsyshyn T. (2020). Risk assessment for the population of Kyiv, Ukraine as a result of atmospheric air pollution. *Journal of Health and Pollution*, 10, 25, 1–11. DOI: <https://doi.org/10.5696/2156-9614-10.25.200303>
13. Popov O., Taraduda D., Sobyna V., Sokolov D., Dement M. & Potyaza-Ponomarenko A. (2020). Emergencies at Potentially Dangerous Objects Causing Atmosphere Pollution: Peculiarities of Chemically Hazardous Substances Migration. *Studies in Systems, Decision and Control*, 298, 151–163. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-48583-2_10

14. Pospelov B., Kovrehin V., Rybka E., Krainiukov O., Petukhova O., Butenko T., Borodych P., Morozov I., Horbov O. & Hrachova I. (2020). Development of a method for detecting dangerous states of polluted atmospheric air based on the current recurrence of the combined risk. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5, 9–107, 49–56. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.213892>
15. Pospelov B., Andronov V., Rybka E., Krainiukov O., Maksymenko N., Meleshchenko R., Bezuhla Y., Hrachova I., Nesterenko R. & Shumilova A. (2020). Mathematical model of determining a risk to the human health along with the detection of hazardous states of urban atmosphere pollution based on measuring the current concentrations of pollutants. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4, 10, 37-44. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.210059>
16. Rybalova, O., Malovanyy, M., Bondarenko, O., Proskurnin, O., Belokon, K. & Korobkova, H. (2022). Method of assessing the potential risk to the health of the population during recreational water withdrawal. *Journal of Ecological Engineering*, 23 (5), 81-91. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/146998>.
17. Rybalova O. V., Bryhada O. V. & Ilinskiy O. V. (2021). Metod vyznachennia ekolohichnoi skladovoi yakosti zhyttia. [The method of determining the ecological component of the quality of life.] *Komunalne hospodarstvo mist [Communal management of cities]*, 4(164), 220-233. DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-4-164-220-233> [in Ukrainian].
18. Rybalova, O., Artemiev, S., Sarapina, M., Tsybmal, B., Bakhareva A., Shestopalov, O., & Filenko, O. (2018). Development of methods for estimating the environmental risk of degradation of the surface water state. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(10(92)), 4–17. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127829>
19. Singh R. B., Grover A. (2018). *Air Pollution and Human Health Risk Reduction: The Case Study of Delhi Megacity, India. Part V – Future Earth and Urban Environments*. Cambridge University Press. 223-236. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781316761489.023>
20. Vasenko, O.H., Rybalova, O.V., Artemiev, S.R., Horban, N.S., Korobkova, H.V., Polozentsieva, V.O. ... Savichiev, A.A. (2015). *Intehralni ta kompleksni otsinky stanu navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha*. [Integral and comprehensive assessments of the future of the natural environment] monograph, Kharkiv, NUGZU. [in Ukrainian].
21. *Zakon Ukrainy Pro otsinku vplyvu na dokillia 2017 (Verkhovna Rada Ukrainy)*. [Law 1995 (Verkhovna Rada of Ukraine)]. *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy [Statements of Verkhovna Rada of Ukraine]*, 29, 315. [in Ukrainian].
22. *Zvit pro osnovni rezultaty diialnosti Derzhavnoi sluzhby Ukrainy z nadzvychnykh sytuatsii u 2020 rotsi*. [Report on the main results of the State Emergency Service of Ukraine in 2020]. Available at: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/17-civik-2018/zvit2020/zvit-2020-dsns.pdf> [in Ukrainian]

Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення повітря в промислових регіонах України

Ольга Володимирівна Рибалова¹,

к. т. н., доцент, кафедра охорони праці та техногенно-екологічної безпеки,
¹Національний університет цивільного захисту України,
вул. Чернишевська, 94, м. Харків, 61023, Україна;

Ганна Володимирівна Коробкова²,

к. геогр. н., доцент, кафедра садівництва та екології,
²Луганський національний університет імені Тараса Шевченка,
вул. Ковалюка, 3, м. Полтава, 36003, Україна;

Анатолій Васильович Гудзевич³,

д. геогр. н., професор, кафедра географії,
³Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського,
вул. Острозького, 32, м. Вінниця, 21001, Україна;

Сергій Робленович Артем'єв¹,

к. т. н., доцент, кафедра охорони праці та техногенно-екологічної безпеки;

Олександр Богданович Бондар⁴,

к. с.-г. н., старший викладач, кафедра біології, екології та методики їх навчання,
⁴Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка,
вул. Лицейна, 1, м. Кременець, 47003, Україна

Основною метою проведення досліджень є підвищення ефективності прийняття управлінських рішень в галузі охорони навколишнього природного середовища за рахунок застосування методів оцінки ризику для здоров'я населення при сучасному рівні забруднення атмосферного повітря. В роботі представлено ієрархічний методичний підхід до визначення рівня небезпеки забруднення атмосферного повітря на державному, регіональному і місцевому рівнях. В статті представлена нова методика визначення рівня небезпеки забруднення атмосферного повітря при збереженні існуючих тенденцій антропогенного навантаження та можливості виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру. На стан атмосферного повітря великий вплив мають надзвичайні ситуації, що пов'язані з аваріями на хімічно небезпечних об'єктах, у результаті яких відбувається залпові викиди небезпечних хімічних речовин в навколишнє природне середовище. При визначенні екологічного ризику погіршення стану атмосферного повітря враховано показник хімічної небезпеки. На території Сходу України налічується найбільша кількість потенційно небезпечних підприємств. Визначення ризику як макроекологічного показника за новою методикою показала високий рівень небезпеки забруднення атмосферного повітря в індустріально розвинутих регіонах України. Оцінка ризику для здоров'я населення внаслідок забруднення атмосферного повітря м. Маріуполь показала надзвичайно високий рівень небезпеки. Для регіонів України з високим рівнем екологічної та хімічної небезпеки дана оцінка ризику для здоров'я населення при сучасному якісному стані атмосферного повітря двома різними методами. Показано недоліки методичного підходу Агентства з охорони навколишнього середовища США (EPA US), що широко використовується у багатьох країнах світу. Аналіз методичних підходів до оцінювання ризику для здоров'я населення показав перспективність застосування методики оцінки потенційного ризику при визначенні рівня екологічної небезпеки промислових підприємств. Запропоновано удосконалення методики оцінки ризику для здоров'я населення внаслідок забруднення атмосферного повітря, що представляє наукову новизну роботи. В теперішній час, коли Україна зазнала впливу військових дій та економічної кризи, дуже важливим є питання щодо пріоритетності фінансування природоохоронних заходів. Застосування запропонованого методичного підходу дасть змогу науково обґрунтовано визначити регіони з підвищеним рівнем небезпеки для здоров'я населення і мінімізувати фінансові ресурси на покращення стану атмосферного повітря, що є актуальним і має практичну значимість.

Ключові слова: атмосферне повітря, надзвичайні ситуації, хімічна небезпека, ризик, здоров'я населення, викиди забруднюючих речовин, промислові регіони України.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 26 липня 2021 р.

Прийнята 9 січня 2022 р.

Оцінка екосистемних послуг північно-західної частини Чорного моря: стан, проблеми та перспективи

Тамерлан Абісалович Сафранов¹,

д. геол.-мін. н., професор, зав. кафедри екології та охорони довкілля,

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

e-mail: safranov@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0003-0928-5121>;

Микола Анатолійович Берлінський¹,

д. геогр. н., професор, зав. кафедри океанології та морського природокористування,

e-mail: nberlinsky@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0002-4576-4958>;

Юссеф Ель Хадрі¹,

PhD, ст. викл. кафедри океанології та морського природокористування,

e-mail: magribinets@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0003-3690-0927>;

Марія Олегівна Сліже¹,

к. геогр. н., ст. наук. співр.,

e-mail: magribinetsm@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-6398-4188>

Під екосистемними послугами звичайно розуміють всі корисні ресурси та вигоди, які сучасне людство може отримати від природи, тобто матеріальні вигоди, що отримує людство від абіогенних і біогенних складових різноманітних природних екосистем. До цього часу не проводилися масштабні дослідження щодо оцінки екосистемних послуг української акваторії Чорного моря. Метою роботи є огляд сучасного стану екосистемних послуг та методів їх оцінки у північно-західній частині Чорного моря, а також перспектив їх використання. Існують такі групи екосистемних послуг: ресурсна (деревина, продовольство, прісна вода і т. ін., тобто те, що має ринкову оцінку та ціну); регулююча (наприклад, лісові масиви, що регулюють вологу і запобігають повеням); культурна-соціальна – вигоди, які здобувають, милуючись природою, отримуючи при цьому, якісь освітні, наукові функції тощо; підтримуюча (найскладніші природні цикли, до яких відносяться глибинні, біогеохімічні цикли, ґрунтоутворення тощо). Триваюче нераціональне використання природних ресурсів, і навіть втручання у перебіг процесів, обумовлює практично незворотні процеси зміни морських і прибережних екосистем, на відновлення яких треба застосувати нові підходи, орієнтовані не на тимчасову економічну вигоду, але на отримання сталих екосистемних послуг й у майбутньому. Основним підходом для оцінки стану екосистем у країнах ЄС є методика, що ґрунтується на відборі індикаторів навантаження на екосистеми та їх картуванні. Суть цієї методики полягає у тому, що сучасний стан екосистем пов'язаний з добробутом через екосистемні послуги, а тому природні екосистеми повинні перебувати в сприятливих умовах для надання основних послуг, які, у свою чергу, приносять користь та підвищують цей самий добробут. Виходячи з відсутності інформації про стан екосистемних послуг у масштабі північно-західної частини Чорного моря, першорядним завданням є визначення потреб місцевих спільнот щодо використання такого роду послуг, збиранню та узагальненню інформації про їх стан, узгодженню методів їх оцінки для даного регіону та проведення самої оцінки.

Ключові слова: екосистеми, екосистемні послуги, північно-західна частина Чорного моря.

Як цитувати: Сафранов Т. А. Оцінка екосистемних послуг північно-західної частини Чорного моря: стан, проблеми та перспективи / Т. А. Сафранов, М. А. Берлінський, Ю. Ель Хадрі, М. О. Сліже // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 56. – С. 255-263. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-19>

In cites: Safranov T. A., Berlinsky M. A., El Hadri Y., Slizhe M. O. (2022). Assessment of ecosystem services of the north-western part of the Black sea: state, problems and prospects. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (56), 255-263. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-19> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. Морські і прибережні екосистеми зазнають негативного впливу, зумовленого зростанням кількості населення у прибережних районах, надмірною експлуатацією морських ресурсів, індустріалізацією, зміною клімату, процесами інтродукції, забруднення, евтрофікації, закислення та іншими факторами, що негативно впливають на їх стан і якість. Це створює ризики для усталеної діяльності та добробуту людства, оскільки від стану екосистем залежить постачання необхідних природних ресурсів, якість природних складових довкілля, кліматичні зміни, умови для рекреаційної діяльності тощо. Антропогенна діяльність торкається різноманіт-

них екосистем, включаючи морські, континентальні, природні, напівприродні та штучні їх типи.

Під екосистемними послугами (*ecosystem services*) звичайно розуміють всі корисні ресурси та вигоди, які сучасне людство може отримати від природи, тобто матеріальні вигоди, що гарантують абіогенні і біогенні складові різноманітних природних екосистем. Саме від екосистемних послуг залежить задоволення потреб людства в середовищі існування й продуктах харчування, а також рівень та якість його життя. У Документі ООН «*Millenium Ecosystem Assessment*» [1] екосистемні послуги називають «прямим та непрямим внеском у добробут людей». Усі екосистемні пос-

луги безкоштовні, оскільки люди не оплачують їх використання або споживання, але частину таких послуг можна оцінити у грошовому еквіваленті, щоб оцінити масштаби втрат внаслідок збитків корисних властивостей складових природних екосистем. Оцінка екосистемних послуг необхідна для урозуміння того, наскільки важливим для нормального життя людства є збереження біологічного різноманіття й підтримання природних процесів у довкіллі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Основним підходом для оцінки стану екосистем у країнах ЄС [2] є методика, описана в аналітичній доповіді «*Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services (MAES)*» [3], що ґрунтується на відборі індикаторів навантаження на екосистеми та їх картуванні. Суть цієї методики полягає у тому, що сучасний стан екосистем пов'язаний з добробутом через екосистемні послуги, а тому природні екосистеми повинні перебувати в сприятливих умовах для надання основних послуг, які, у свою чергу, приносять користь та підвищують цей самий добробут. При цьому рушійні сили змін можуть мати позитивний (наприклад, підтримка гомеостазу) або негативний (антропогенне навантаження) вплив на стан екосистеми. З моменту проведення першої оцінки екосистемних послуг набір індикаторів тричі піддавався перегляду, були додані індикатори, на які (у першій редакції) не було зосереджено уваги. Потім було обрано пріоритетність індикаторів. В результаті складений їх остаточний варіант списку для кожного типу екосистеми, що і покладено в основу методики оцінки. При цьому, екосистеми були поділені на 12 типів, так званих екосистем *MAES*, які включають: 7 наземних типів, 1 прісноводний та 4 морських типи. З метою спрощення оцінювання були з'єднані пасовища та ріллі (агроекосистеми), а також перехідні води з прибережними, і, навіть, екосистеми шельфу і пелагіалі. Для кожного типу екосистем задля оцінки та картування за двома критеріями обирається свій набір ключових індикаторів: відповідність до політики; доступність даних. Індикатор відповідності до політики повинен відповідати, як мінімум, двом державним політичним програмам, стратегіям або директивам (наприклад, для України це можуть бути «Стратегія екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року», «Морська природоохоронна стратегія України» тощо). Другим критерієм, що використовується для визначення ключових показників, є доступність даних, що передбачає наявність вихідної інформації за 2010 рік і можливість оцінювати значення показника щодо вихідного рівня хоча б для певного моменту часу, а також мати великий масив даних, аби встановити тенденцію для індикатора. Після цього усі

відібрані індикатори заносяться до таблиці, яка потім використовується для оцінки навантаження та стану окремих типів екосистем. Велика увага приділяється визначенню набору показників стану екосистеми, важливих для політики, оскільки це є частиною системи управління екосистемними послугами.

Серед основних індикаторів розглядають:

1) показники навантаження на наземні і прісноводні екосистеми (зміна лісових площ, забруднення повітряного басейну, баланс біогенних елементів та ін.);

2) показники стану наземних і прісноводних екосистем (відсоток населення, схильного до впливу шумового забруднення; вміст NO_2 , частинок діаметром 10 мкм (PM_{10}), 2,5 мкм ($PM_{2,5}$) і менше, O_3 та інших поллютантів у атмосферному повітрі; частка забудованих площ; індекс використання водних ресурсів; індикатор птахів на сільськогосподарських угіддях та ін.);

3) показники стану морських екосистем (рівень забруднення, придатність для купання, вилов риби, біомаса нерестового запасу, віковий та розмірний склад промислових видів, кількість щорічних інтродукцій інвазійних видів та ін.).

Близько половини показників, що використовуються для оцінки екосистеми в країнах ЄС [2, 3], засновані на просторових даних і таким чином можуть бути нанесені на карти, які об'єднують індикатори навантаження та стану, щоб відображати зміни в екосистемах. Будуються три карти, які показують для кожної просторової одиниці: кількість індикаторів, що показують результат покращення (1), кількість індикаторів, що показують результат погіршення (2), або кількість індикаторів, які не показують жодних змін (3). Рішення про результати оцінки навантаження на просторову одиницю ґрунтується на процедурі, аналогічній до процедури оцінки тренду в масштабах ЄС (поєднання правила 5 % за десятиліття або на основі статистичного тестування).

Отже, слід зауважити, що значною мірою результати оцінки екосистем та екосистемних послуг залежать від набору індикаторів їх стану, вибір яких зумовлений відповідністю конкретним політичним цілям та інтересам конкретних отримувачів.

Багаторівневий підхід ТЕЕВ [4] включає *три кроки*: 1) виявити і оцінити послуги (індикатори, межі, кількісна оцінка); 2) розрахувати і продемонструвати цінність (оцінка у фізичних одиницях, оцінка у грошовому еквіваленті); 3) зафіксувати вартість та знайти рішення (інструменти – субсидії, податки, платежі за екосистемні послуги, регулювання доступу, інституційні заходи).

У рамках *першого кроку* для кожного рішення щодо використання природних ресурсів

необхідно виявити і оцінити повний набір екосистемних послуг і наслідків для різних груп суспільства. *Другий крок* передбачає розрахунок та наочну демонстрацію цінності екосистемних послуг. *Третій крок* передбачає фіксацію вартості екосистемних послуг та пошук рішень, що дозволить подолати їх недооцінку або відсутність оцінки за допомогою інструментів економічного інформування.

Сучасне суспільство зосереджено на причинах втрати екосистемних послуг та біологічного різноманіття, а також відповідальності за них. Фінансовий сектор розглядається в якості ключового важеля впливу на ці втрати, а також як механізм для покращення системи оцінки та управління екосистемними послугами. Деякі галузі економіки особливо схильні до ризику, пов'язаного з їх скороченням, а це насамперед галузі, які безпосередньо залежать від наявності натуральних продуктів (наприклад, рибальство та лісове господарство), стійко функціонуючих екосистем (наприклад, отримання аграрної продукції, біопалива, продуктів харчування та напоїв), або послуг, отриманих від них (наприклад, водопостачання, рекреація тощо) [5].

Оцінка вартості екосистемних послуг може бути інструментом монетарної оцінки біологічного різноманіття або конкретної цінності, яку воно забезпечує для підтримки населення та його способу життя [6]. Найбільш бажаним підходом [7] оптимізації природокористування є управління з урахуванням того, що лише біологічна різноманітність може забезпечити деякі екосистемні послуги. В даний час відсутні дослідження, що використовують кількісні значення біологічного різноманіття як інструмента для прогнозування наслідків альтернативних управлінських рішень [8], якщо не брати до уваги рідкісних винятків [9, 10].

Дослідження екосистемних послуг вкрай важливе для ухвалення рішень, що можуть вплинути на природні екосистеми, оскільки від збереження рівноваги екосистем залежить підтримання соціально-економічних можливостей існування людства. На жаль, поки екосистемні послуги відсутні в українському законодавстві і врахування їх у ході ухвалення рішень не є поширеним явищем [11], а тому оцінка екосистемних послуг різноманітних природно-ландшафтних комплексів України, зокрема морських і прибережних комплексів є *актуальною* екологічною і соціально-економічною проблемою.

Пандемія COVID-19 завдала удару по економіці всіх країн. Її наслідком стало скорочення робочих місць та годин роботи, скасування заходів підтримки економіки та стрімке зростання цін, особливо на продукти харчування, що в цілому

привело до скорочення рівня життя населення. Так, за даними [12] на кінець 2021 року в результаті пандемії COVID-19 у Європі та Центральній Азії близько 4,3 млн осіб можуть опинитися за межею бідності, що становить 5,50 долара на день. За таких умов основним завданням є якнайшвидше відновлення економіки та створення умов для нарощування темпів її зростання.

У цей непростий час спільнота країн Чорноморського регіону має на меті якомога можна ефективніше реалізувати потенціал екосистемних послуг та секторів «Блакитної економіки» Чорного моря, а також підтримати стратегії їх оптимізації. Для цього слід провести оцінку повного потенціалу ресурсів та екосистемних послуг у басейні Чорного моря, починаючи від гирл річок, узбережжя та шельфу до глибоководних морських ресурсів. Для підтримки «блакитного зростання» (*Blue Growth*), морських інновацій та нових морських технологій у Чорноморському басейні спеціально розроблений набір заходів – «прискорювач блакитного зростання» (*Blue Growth Accelerator*), який є новаторським підходом, що дозволяє ефективно використовувати та обмінюватися результатами досліджень, генерувати ідеї та стартапи, а також розвивати економіку замкненого циклу у Чорному морі.

Поки що не проводилося масштабних досліджень по оцінці екосистемних послуг української акваторії Чорного моря [13].

Існують такі групи екосистемних послуг: 1) ресурсна (деревина, продовольство, прісна вода і т. ін., тобто те, що має ринкову оцінку та ціну); 2) регулююча (наприклад, лісові масиви, що регулюють вологу і запобігають повеням); 3) культурно-соціологічна – вигоди, які здобувають, милуючись природою, отримуючи, при цьому, якісь освітні, наукові функції тощо; 4) підтримуюча (найскладніші природні цикли, глибинні, біогеохімічні цикли, ґрунтоутворення тощо) [14]. Нижче наводиться їх стисла характеристика на прикладі морських екосистем.

Як основою для ідентифікації морських екосистемних послуг, що надаються морськими та прибережними екосистемами, зручно скористатися вже розглянутою класифікацією, представленою в [15].

Ресурсні (забезпечуючі) послуги. Основною послугою морів є забезпечення продовольством у вигляді риби, інших морепродуктів та продуктів аквакультури (штучне розведення риби та інших водних тварин і рослин). За останні роки, незважаючи на стійке зростання попиту на ці продукти, рибальська промисловість не в змозі його задовольнити через скорочення світових запасів риби і морепродуктів. Різні види мікробів, рослин та тварин використовуються у фармацевтиці, косме-

тиці, садівництві, як індикатори у спостереженнях за станом навколишнього середовища тощо. Деякі водорості після відповідної переробки можна використовувати як біопаливо.

Регулюючі послуги. Біологічне регулювання передбачає регулювання взаємодії різних трофічних рівнів, що допомагає підтримувати збалансовану харчову піраміду. Атмосферне та кліматичне регулювання забезпечується морськими організмами, що здійснюють збереження та підтримку балансу хімічного складу атмосфери та морських басейнів. Морські екосистеми беруть участь у переробці відходів, сутність якої полягає в поглинанні, знезараженні, переробці та зберіганні відходів. Значна частина відходів виробництва та споживання потрапляє у морські басейни, де у різних морських екосистемах їх переробка проходить за різних умов. Морські екосистеми виконують функцію захисту від природних потрясінь (повінів та штормів). Наприклад, прибережна рослинність може пом'якшити потенційно руйнівні ефекти приливних хвиль, штормів та повеней шляхом утримуючої здатності та поверхневого опору, а достатньо широкі піскові пляжі здатні мінімізувати процеси абразії.

Культурно-соціальні послуги складаються із нематеріальних складових впливу на людину оточуючого її середовища. Умови навколишнього середовища визначають традиції та вірування суспільств, вони знаходять відображення у результатах творчої діяльності. Роль моря особливо важлива у окремих суспільствах, де розвинений промисел риби та морських ссавців. Морські екосистеми відіграють важливу роль у наданні послуг, які включають такі елементи комфорту, як чиста вода для купання, морський мікроклімат (ефект морського бризу). Естетичні цінності: багато людей отримують задоволення від споглядання на мальовничі види морських ландшафтів та узбережжя. Морські і прибережні екосистеми надають освітні послуги, оскільки апріорі є природними науковими лабораторіями, де можна здійснювати освітню та дослідницьку діяльність у польових умовах.

Підтримуючі послуги. Морські та прибережні екосистеми є довкіллям і джерелом харчування численних організмів, серед яких рослини, риби, птахи, молюски тощо. Особливо важливу роль відіграють деякі прибережні екосистеми як середовища існування для молодняку риб та інших організмів. Морські екосистеми також відіграють важливу роль у виробництві первинної продукції та фотосинтезі. Кругообіг поживних речовин здійснюється за допомогою багатьох учасників. Найбільш інтенсивно цей процес відбувається у гирлах річок, які є найбільш багаті біогенними (поживними) речовинами, що надходять із

неорганічних джерел або переробляються з останків мертвих організмів. Водночас багато ресурсів на сьогоднішній день виснажені, на що існує ціла низка причин. Основною є антропогенна дія, що включає надмірний вилов риби, руйнівних рибальських методах, згубній дії аквакультури, забрудненні та евтрофікації водної товщі, змінах клімату тощо.

Формулювання мети статті. Метою роботи є огляд сучасного стану екосистемних послуг та методів їх оцінки у північно-західній частині Чорного моря, а також перспектив їх використання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Морські та прибережні екосистеми відіграють найважливішу роль у наданні таких ключових послуг, як забезпечення продуктами харчування, зв'язування антропогенного вуглецю, переробка відходів, біологічне регулювання та забезпечення середовищем існування гідробіонтів. Однак, поряд з іншими екосистемами, вони сьогодні перебувають під серйозним антропогенним тиском. Це наочно простежується на прикладі північно-західної частини Чорного моря (ПЗЧМ).

Оцінка екосистемних послуг є важливим кроком в напрямку визначення їх внеску в різні галузі економіки, а також дозволяє судити про потенціальні можливості задля надання цих послуг у конкретному контексті і для конкретних отримувачів матеріальних вимог; при цьому визначається наскільки рівень надання екосистемних послуг є сталим, а також можливості ідентифікувати пороги та переломні моменти [11]. Наприклад, на північно-західному шельфі Чорного моря у районі дельти Дунаю, а також у його північній частині між Дністром та Дніпром, вплив екстремальних погодних явищ, посилення штормових нагонів та подальше затоплення прибережних районів відповідно впливає на екосистемні послуги (рекреаційно-туристичну діяльність і т. д.), що доцільно враховувати при створенні системи управління цими районами.

1. **Ресурсні послуги.** Морська вода є середовищем, що забезпечує судноплавство, функціонування морегосподарських комплексів, місце існування водних організмів, промислове рибальство, марикультуру, технічне водопостачання, таласотерапію тощо. Донні відклади є джерелом будівельних матеріалів, розсипних корисних копалин, газогідратів, лікувальних грязей, а також середовищем мешкання бентосних організмів (у т. ч. марикультури). Фізико-хімічні особливості водної товщі та донних відкладів обумовлюють просторово-часовий розподіл середовищ мешкання гідробіонтів, а також їх видове та генетичне розмаїття. Гідробіонти Чорного моря представлені 5600 видами, у тому числі: фітопланктон – 2800, мікро-

водорості – 453, ракоподібні – 390, риби – 200, морські гриби – 175; налічується чотири види морських ссавців: тюлень-монах звичайний (*Monachus*), афаліна звичайна (*Tursiops truncatus*), фоцена звичайна (*Phocoena phocoena L.*) та дельфін білобокий (*Delphinus delphis*); всі вони занесені до Червоної книги України, однак їх популяції продовжують скорочуватися внаслідок заплутування у рибальських сітках.

Північно-західна частина Чорного моря є важливим районом рибальства, яке забезпечує місцеve населення продуктами харчування та є прибутковою статтею економіки. Масовими та цінними промисловими видами є хамса, шпрот, тюлька, оселедці, хоча раніше їхтїофауна була також представлена осетровими (*Acipenser sp.*), кефаллю (*Mugil sp.*), скумбрією (*Scomber sp.*) та іншими цінними видами риб. За даними Державного агентства рибного господарства України у 2020 році в Чорному морі було видобуто 9800 т біологічних ресурсів, у тому числі в причорноморських лиманах – 64 т, у пригирлових зонах Дунаю – 349 т, у Дніпровсько-Бузькій естуарній зоні – 2787 т. тюльки, хамси, шпроту, а також рапану. У 2021 році вилов риби Україною в Чорному морі становив 7669 т, у причорноморських лиманах – 107 т, у пригирлових зонах Дунаю – 504 т, у Дніпровсько-Бузькій зоні – 1157 т. Крім того, істотним джерелом надходження тваринного білка є розвиток аквакультури; у 2020 році було отримано 18 570 т продукції аквакультури, значна частина якої припадає на прибережні екосистеми. Процеси евтрофікації зумовили розвиток гіпоксії і навіть аноксії, що, у свою чергу, спричинило загибель риб, мідій та інших «фільтраторів» води. Тільки у 1973-1990 роки у межах північно-західної частини Чорного моря втрати становили 60 млн т (зокрема 5 млн т риби). У 1990-х роках екологічна ситуація дещо покращилася, а замори риб та двостулкових стали відбуватися рідше і на менших площах [16].

Для північно-західної частини морського басейну характерними є унікальні ресурси «філофорного поля Зернова» – зосередження водоростей-макрофітів, домінуючими видами серед яких є червоні водорості сімейства *Phyllophoraceae*. Оскільки більше півстоліття здійснювався інтенсивний промисловий видобуток пласт-утворюючої форми виду *Phyllophora crispa* для промислового отримання агар-агару, а також внаслідок антропогенного впливу на морське середовище ПЗЧМ зафіксовано зменшення генетичної різноманітності гідробіонтів філофорного поля. Крім того, зниження прозорості води призвело до зниження активності процесів фотосинтезу та загибелі значної частини бентосних водоростей на глибинах 20-60 м; площа філофорного поля з 11 тис. км² у

1950-х роках зменшилася до 0,5 тис. км² у 1980-х роках, а біомаса зменшилася з 10 млн т до 0,2 млн т відповідно. Природно-антропогенні зміни призвели до деградації специфічних видів безхребетних та риб з червоним забарвленням, тобто частини «філофорного біоценозу». Останніми роками відзначається слабо виражена тенденція відновлення філофорного поля – ботанічного заповідника загальнодержавного значення.

2. *Регулюючі послуги.* Як зазначено вище, біологічне регулювання має на увазі регулювання взаємодії різних трофічних рівнів, що допомагає підтримувати збалансовану екологічну піраміду. Підтвердженням цього є різке зменшення специфічних видів риб та безхребетних внаслідок різкого скорочення біомаси *Phyllophora crispa*, що призвело до деградації «філофорного біоценозу».

Атмосферний вплив (регулювання) виявляється у тому, що з повітряними масами до морського басейну заносяться біогенні елементи та забруднюючі речовини, що сприяє розвитку процесів евтрофікації, а також негативно впливає на стан і якість морських вод та донних відкладів. Вплив теплого морського басейну поширюється углиб суші на 140-280 км, тобто регулює кліматичні умови всього південного узбережжя України, охоплюючи всю прибережну зону Північно-Західного Причорномор'я. Певну роль у формуванні мезокліматичних умов і забрудненні повітряного басейну в прибережній смузі грає бризові циркуляції повітряних мас.

Водно-болотні угіддя, які мають широкий розвиток у прибережній зоні Північно-Західного Причорномор'я, виступають у ролі регулятора таких процесів, як акумулювання та зберігання прісної води, фільтрація води, поглинання з атмосфери та накопичення вуглецю, повернення в атмосферу кисню, регулювання поверхневого стоку, стабілізація рівня ґрунтових вод, участь у формуванні кліматичних умов (опадів, вологості та температури повітря), запобігання та стримування ерозійних процесів, підтримання та збереження біологічної різноманітності, формування місць проживання різних видів рослин та тварин, у тому числі рідкісних та червонокнижних, а також підтримання максимальної біологічної продуктивності аквальної екосистем.

Днопоглиблювальні роботи та дампінг ґрунтів в акваторіях морських портів сприяють розвитку судноплавства, проте призводять до забруднення водної товщі і донних відкладів та негативного впливу на біологічні ресурси в окремих ділянках. На бентос та інші гідробіонти негативно впливають роботи з розробки будівельних матеріалів, покладів вуглеводневої сировини та інших корисних копалин. Скидання стічних та інших зворотних вод від сільськогосподарських угідь,

промислово-міських агломерацій, морегосподарських комплексів та від інших джерел забруднення провокують процеси евтрофікації та забруднення морського середовища, що негативно відображається на стані абіогенних та біогенних компонентів морської екосистеми. Дренажний стік є джерелом надходження біогенних речовин; при цьому слід зазначити, що всі місця скидання дренажних вод приурочені до пляжної зони та знаходяться у незадовільному технічному стані; крім того, через дренажну систему періодично здійснюється скидання стічних вод від невстановлених джерел [17].

Деякі види антропогенної діяльності вкрай негативно вплинули на відтворення цінних осетрових риб. Берегоукріплювальні споруди перешкоджають руйнуванню берегів, але вони сприяють створенню застійних гідродинамічних зон між ними та береговою лінією, а також їх забрудненню при скиданні зворотних, зокрема дренажних вод.

Неефективна система управління та поводження з твердими побутовими відходами, неконтрольована рекреаційна діяльність у прибережній смузі призвела до утворення стихійних звалищ, які є джерелом формування морського сміття, яке у морському середовищі трансформується та негативно впливає на біоту. Наприклад, відходи пластикових матеріалів (макропластик), що потрапили в морське середовище, поступово руйнуються, породжуючи величезну кількість мікрочастинок, які несуть небезпеку для стану морського середовища і біоті [18]. Мікрочастинки пластику мають широкий спектр розмірних груп та низьку щільність, внаслідок чого багато морських організмів сприймають їх як джерело їжі; оскільки частинки мікропластику не розкладається їх ферментативною системою, вони представляє їм загрозу і навіть можуть бути причиною їх загибелі. Крім того, частинки мікропластику здатні адсорбувати на своїй поверхні багато поллютантів, стаючи тим самим їх вторинним джерелом, а переміщаючись по трофічному ланцюгу поллютанти можуть концентруватися як у консументах високого порядку, так і в організмі людини. На біологічне різноманіття негативно впливають навмисна і випадкова біологічна інвазія. Прикладом тому є інвазія гребневіка-мнеміопсису (*Mnemiopsis leidyi*), який активно розмножився і його біомаса складала у 1989 році 1 млрд. т (90 % від загальної біомаси Чорного моря), що зумовило знищення зоопланктону, ікри і мальків риб, тобто скорочення кормової бази риб в 30 разів протягом двох років.

3. *Культурно-соціальні послуги.* Морські та прибережні екосистеми Північно-Західного Причорномор'я відіграють важливу роль у наданні рекреаційних послуг. Комфортні біокліматичні

умови, значна протяжність пляжної зони та інші природно-рекреаційні ресурси дозволяють говорити про перспективність прибережної зони Північно-Західного Причорномор'я для різних форм рекреації, включаючи таласотерапію (лікування морським кліматом та купаннями у поєднанні із сонячними ваннами) [19, 20]. Однак, відносно низька солоність, евтрофованість і підвищена забрудненість морської води, особливо в пригирлових зонах, обмежують можливості таласотерапії, але наявність ропи, лікувальних грязей і комфортні біокліматичні умови в зонах поширення окремих лиманів обумовлюють їх високий рекреаційний вплив. У прибережній смузі північно-західної частини Чорного моря є родовища лікувальних грязей (мулових сульфідних пелоїдів): Тузловські лимани (запаси 35185 тис. м³), Будацький лиман (4190 тис. м³), Хаджибейський лиман (11048 тис. м³), Куяльницький лиман (15327 тис. м³); Тилігульський лиман (11276 тис. м³), Березанський лиман (10 910 тис. м³) та ін. Лише Куяльницький та деякі лимани Одеської області поки що використовуються для грязелікування та отримання медичних препаратів, хоча потенційні можливості інших лиманів Північно-Західного Причорномор'я дуже великі.

Оскільки на значній частині узбережжя розташовані численні техногенні об'єкти, які нерідко є береговими джерелами забруднення, вони занижують рекреаційні можливості морського середовища.

Естетичною цінністю є привабливі морські та прибережні ландшафти Північно-Західного Причорномор'я з унікальним візуальним середовищем. Дунайський та Чорноморський біосферні заповідники, «Тузловські лимани», «Куяльницький» та «Джарилгацький» національні природні парки, регіональні ландшафтні парки, заказники та інші об'єкти та території природно-заповідного фонду можуть надавати освітні послуги, оскільки є природними науковими лабораторіями де можна здійснювати дослідницьку діяльність у польових умовах.

4. *Підтримуючі послуги.* Морські та прибережні екосистеми Північно-Західного Причорномор'я є середовищем мешкання і джерелом харчування численних організмів. Особливо важлива роль водно-болотних угідь, що охороняються Рамсарською конвенцією (Кілійське гирло, Сасик, Шагани-Алібей-Бурнас, південна частина Дністровського лиману, Тилігульський лиман, Ягорлицька затока та ін.), що мають величезне значення як місце проживання навколводних і водоплавних птахів та характеризується біологічною різноманітністю. Як регулюючі послуги, водно-болотні угіддя відіграють важливу роль у виробництві первинної продукції та фотосинтезі, а

також є джерелом продовольства, сировини, генетичних ресурсів для ліків; вони пом'якшують поєди, захищають берегові лінії та підвищують опір до стихійних лих, а також відіграють важливу роль у розвитку транспортної системи та рекреаційно-туристичної діяльності, у культурно-духовному благополуччі людей.

Найбільш інтенсивний кругообіг біогенних (поживних) речовин відбувається в гирлах річок, що впадають у ПЗЧМ. Ці речовини надходять із неорганічних джерел або переробляються з мертвих організмів. Водночас багато ресурсів і на сьогоднішній день виснажені, і на це існує ціла низка причин: надмірний вилов риби, руйнівні рибальські методи, негативний вплив аквакультури, забруднення та евтрофікація, зміна клімату тощо.

Морське середовище поглинає, знезаражує та переробляє різноманітні відходи виробництва та споживання. Прибережні екосистеми виконують функцію захисту від природних потрясінь; прибережна рослинність може пом'якшити потенційно руйнівні ефекти приливних хвиль.

Триваюче нераціональне використання природних ресурсів, і навіть втручання у перебіг процесів, обумовлює практично незворотні процеси зміни морських і прибережних екосистем, на відновлення яких треба застосувати нові підходи, орієнтовані не на тимчасову економічну вигоду, але на отримання сталих екосистемних послуг й у майбутньому.

Висновки. Таким чином, виходячи з відсут-

ності інформації про стан екосистемних послуг у масштабі Чорного моря в цілому, зокрема в його північно-західній частині, першорядне завдання становить визначення потреб місцевих спільнот щодо використання екосистемних послуг, збирання та узагальнення інформації про їх стан, узгодження методів оцінки послуг для даного регіону та проведення цієї оцінки. Необхідно розглянути шляхи переходу надалі на моделі управління природними ресурсами північно-західної частини Чорного моря з урахуванням оцінки екосистемних послуг, що зводять до мінімуму їх втрати та навантаження на морські та прибережні екосистеми. Надати допомогу в такому управлінні морськими ресурсами новаторський підхід (*Blue Growth Accelerator*), при якому господарська діяльність здійснюється з урахуванням конкретних потреб місцевих / національних спільнот, надає низку можливостей, що ґрунтуються на управлінні екосистемними послугами і який нині не застосовується у Чорноморському басейні. Для цього необхідно підвищити суспільну обізнаність та поглибити розуміння суспільством цінності екосистемних послуг у цієї частині Чорного моря.

Подяки

Це дослідження підтримано проектом «Developing Optimal and Open Research Support for the Black Sea (DOORS)». Автори висловлюють подяку Європейському дослідницькому виконавчому агентству за фінансову підтримку цього дослідження в рамках гранту 101000518.

Список використаної літератури

1. Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. – Washington, DC: Island Press, 2005. – 154 p.
2. Maes J. *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services: An EU ecosystem assessment*, EUR 30161 EN / J. Maes, A. Teller, M. Erhard et al. – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020. – 452 p. <https://doi.org/10.2760/757183>.
3. Maes J. *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services: An analytical framework for ecosystem condition* / J. Maes, A. Teller, M. Erhard et al. – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. – 78 p.
4. Sukhdev P. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature. A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB/* P. Sukhdev, H. Wittmer, C. Schröter-Schlaack et al. – Bonn: TEEB, 2010. – 36 p.
5. *Bloom or Bust? A Document of the UNEP FI Biodiversity & Ecosystem Services Work Stream (BESW)*. – Geneva: UNEP FI, 2008. – 39 p.
6. Costanza R. *The value of the world's ecosystem services and natural capital* / R. Costanza, R. d'Arge, R. De Groot, S. et al. // *Nature*. – 1997. – Vol. 387. – P. 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
7. Mace G.M. *Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship* / G.M. Mace, K. Norris, A.H. Fitter // *Trends in Ecology & Evolution*. – 2012. – Vol. 27(1). – P. 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.08.006>
8. Усольцев В.А. *Биоразнообразие в экосистемах: краткий обзор проблемы* / В.А. Усольцев // *Эко-потенциал*. – 2019. – № 1(25). – С. 9–47.
9. Nicholson E. *Making robust policy decisions using global biodiversity indicators* / E. Nicholson, B. Collen, A. Barausse et al. // *PLoS ONE*. – 2012. – Vol. 7(7): e41128. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0041128>
10. Ressorreição A. *Different cultures, different values: the role of cultural variation in public's WTP for marine species conservation* / A. Ressorreição, J. Gibbons, M. Kaiser et al. // *Biological Conservation*. – 2012. – Vol. 145(1). – P. 148–159. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.10.026>
11. Василюк О. *Екосистемні послуги: огляд* / О. Василюк, Л. Ільмінська. – Чернівці: Друк-Арт, 2020. – 84 с.
12. *Конкуренция и восстановление предприятий после пандемии COVID-19. Доклад об экономике региона Европы и Центральной Азии, 2021*. – Вашингтон: Всемирный банк, 2021. – 116 с. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1802-8>

13. *Ecosystems and their services [Electronic resource] / The Biodiversity information system for Europe, 2021. – Available at: <https://biodiversity.europa.eu/ecosystems> (accessed 31.01.2022).*
14. Бобылев С.Н. Экосистемные услуги и экономика / С.Н. Бобылев, В.М. Захаров. – М.: ООО «Типография ЛЕВКО», Институт устойчивого развития/Центр экологической политики России, 2009. – 72 с.
15. Оценка экосистем на пороге тысячелетия. Экосистемы и благосостояние людей: рамки оценки. – Вашингтон: Island Press, 2005. – 268 с.
16. Руденко Л.Г. Оцінка стану виконання підсумкових документів Всесвітнього саміту зі сталого розвитку (Йоганнесбург, 2002) в Україні / Л.Г. Руденко, Г.О. Білявський, І.О. Горленко та ін. – К.: Академперіодика, 2004. – 208 с.
17. Тучковенко Ю.С. Характеристика сбросов антропогенных источников загрязнения морских вод у побережья Одессы в современный период / Ю.С. Тучковенко, О.Ю. Сапко // Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2017. – Вип. 22. – С. 5–13.
18. Сафранов Т.А. Пластик твердих побутових відходів прибережної зони Північно-Західного Причорномор'я як складова морського сміття / Т.А. Сафранов, М.А. Берлінський, Д.М. Змієнко // Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна. Серія «Екологія». – 2020. – Вип. 23. – С. 57–66. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-06>
19. Стан і якість природного середовища прибережної зони Північно-Західного Причорномор'я: монографія / за ред. Т.А. Сафранова, А.В. Чугай / Т.А. Сафранов, А.В. Чугай, М.А. Берлінський та ін. – Харків: ФОП Панов А.М., 2017. – 298 с.
20. Полетаєва Л.М. Оцінка рекреаційного потенціалу пляжних зон Одеської області / Л.М. Полетаєва, О.Ю. Сапко, Т.О. Сафранов // Український гідрометеорологічний журнал. – 2019. – №23. – С. 135–149. <https://doi.org/10.31481/uhmj.23.2019.12>

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Assessment of ecosystem services of the north-western part of the Black sea: state, problems and prospects

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;

Nikolai Berlinsky¹,

DSc (Geography), Professor, Head of Oceanology and Marine Management Department;

Youssef El Hadri¹,

PhD (Natural Sciences), Senior Lecturer of Oceanology and Marine Management Department;

Mariia Slizhe¹,

PhD (Geography), Senior Researcher

ABSTRACT

Formulation of the problem. Ecosystem services are resources and benefits that modern humanity can receive from the nature. It is the material benefit from abiogenic and biogenic components of various natural ecosystems. There were not large-scale studies according of evaluation ecosystem services in the Ukrainian water area of the Black Sea before, it is the actual environmental and socio-economic problem.

Review of previous publications. The main approach to evaluating the state of ecosystems in the EU countries based on the choice of load indicators on the ecosystems and their mapping. Multi-level approach implies the next steps: detection and evaluation of services (indicators, borders, quantitative assessment); calculations and a demonstration of value (assessment in physical units and money equivalent); court fixation and solutions (tools - subsidies, taxes, payments for ecosystem services, etc.).

Purpose. The man goal of the paper is analysis and estimation of modern state of ecosystem services, methods and perspectives of their using.

Methods. The methodological basis of the study is the critical analysis of existing approaches to the assessment of ecosystem services of marine and coastal ecosystems. During the preparing of the paper published data had been used, as well as the materials of personal research on various aspects of the evaluation of ecosystem services of the Northwestern part of the Black Sea.

Results. Marine and coastal ecosystems play a critical role in providing key services such as food supply, sequestration of anthropogenic carbon, waste management, biological regulation and the provision of habitat for hydrobionts. However, along with other ecosystems, today they are under serious anthropogenic pressure. Some types of anthropogenic activities have a very negative effect to the condition of natural ecosystems and to receive of their services. The ecosystems of the Northwestern part of the Black Sea are the living place of numerous organisms. These ecosystems consist on supporting services. Important regulatory services provide wetlands protected by the Ramsar Convention. The most intense cycle of nutrient substances occurs in the river's mouth areas. The marine environment absorbs, disinfects and processes all sorts of waste production and consumption.

Conclusions. Take into account of the limited information of the of ecosystem services under the Northwestern part of the Black Sea, the first task is to determine the needs of local populations for these services, collection and generalization of information about their condition, coordination of their assessment methods for the region and the evaluation itself.

Keywords: *ecosystems, ecosystem services, Northwestern part of the Black Sea.*

References

1. Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis* (2005). Washington, DC: Island Press, 154.
2. Maes J. et al. (2020). *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services: An EU ecosystem assessment*, EUR 30161 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 452. <https://doi.org/10.2760/757183>
3. Maes J. et al. (2018). *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services: An analytical framework for ecosystem condition*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 78.
4. Sukhdev P. et al. (2010). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature. A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB*. Bonn: TEEB, 36.
5. *Bloom or Bust? A Document of the UNEP FI Biodiversity & Ecosystem Services Work Stream (BESW)* (2008). Geneva: UNEP FI, 39.
6. Costanza R. et al. (1997). *The value of the world's ecosystem services and natural capital*. *Nature*, 387, 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
7. Mace G.M. et al. (2012). *Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship*. *Trends in Ecology & Evolution*, 27(1), 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.08.006>
8. Usol'cev V.A. (2019). *Biodiversity in ecosystems: a brief overview of the problem*. *Èko-potencial*, 1(25), 9-47 [in Russian]
9. Nicholson E. et al. (2012). *Making robust policy decisions using global biodiversity indicators*. *PLoS ONE*, 7(7):e41128. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0041128>
10. Ressurreição A. et al. (2012). *Different cultures, different values: the role of cultural variation in public's WTP for marine species conservation*. *Biological Conservation*, 145(1), 148–159. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.10.026>
11. Vasyliuk O. & Ilminska L. (2020). *Ecosystem services: an overview*. *Chernivtsi: Print-Art*, 84 [in Ukrainian]
12. *Competition and business recovery after the COVID-19 pandemic. Europe and Central Asia Economic Report, 2021*. (2021). Washington: World Bank, 116. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1802-8> [in Russian]
13. *Ecosystems and their services* [Electronic resource]. The Biodiversity information system for Europe, 2021. Available at: <https://biodiversity.europa.eu/ecosystems> (accessed 31.01.2022).
14. Bobylev S.N. & Zaharov V.M. (2009). *Ecosystem services and economics*. Moscow: LEVKO Printing House LLC, Institute for Sustainable Development/Center for Environmental Policy of Russia, 72 [in Russian]
15. Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and human well-being: an assessment framework*. (2005). Washington: Island Press, 268 [in Russian]
16. Rudenko L. et al. (2004). *Assessment of the state of implementation of the final documents of the World Summit on Sustainable Development (Johannesburg, 2002) in Ukraine*. Kyiv: Academic periodicals, 208 [in Ukrainian]
17. Tuchkovenko Y. & Sapko O. (2017). *Characteristics of discharges of anthropogenic sources of pollution of sea waters off the coast of Odessa in the modern period*. *Bulletin of Odessa State Ecological University*, 22, 5–13 [in Russian]
18. Safranov T. et al. (2020). *Plastic solid waste from the coastal zone of the North-Western Black Sea coast as a component of marine litter*. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series «Ecology»*, 23, 57–66. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-06> [in Ukrainian]
19. Safranov T. et al. (Eds.). (2017). *State and quality of the natural environment of the coastal zone of the North-Western Black Sea coast: monograph*. Kharkiv: Private individual Panov A.M., 298 [in Ukrainian]
20. Poletaieva L. et al. (2019). *Assessment of recreational potential of beach areas of Odessa region*. *Ukrainian Hydro-meteorological Journal*, 23, 135–149. <https://doi.org/10.31481/uhmj.23.2019.12> [in Ukrainian]

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 6 February 2022
Accepted 17 February 2022

Assessment of ecological-geomorphological strength and risk of geosystems of the north-eastern slope of the Great Caucasus (within Azerbaijan)

Stara Tarikhazer,

DSc (Geography), Associate Professor, Leading Researcher,
Institute of Geography named after academician Hasan Aliyev ANAS,
115, Avenue H. Javid., Baku, AZ1143, Azerbaijan,
e-mail: kerimov17@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5870-1721>

ABSTRACT

Problem statement. The increased human pressure on natural geo-complexes is causing the revival of undesirable processes that create an extensive risk for the inhabitants of these regions. Alpine-type orogenic zones, which belong to the northeastern slope of the Greater Caucasus, are distinguished from many geomorphological systems by excessive activity of endo- and exogenous processes. Therefore, at this time, the task of diagnosing and assessing the ecological and geomorphological risk that the population faces in the development of new territories of the region seems to be important.

Analysis of recent research and publications. After analyzing a number of techniques used to assess the landslide and mudflow hazards, the conclusion was made that most of them had their flaws.

Research method. There are a large number of methods for assessing the risk of environmental management and predicting hazardous exodynamic processes. However, in modern conditions, these techniques are not sufficiently reliable. This, in turn, determines the relevance and the need to develop new or modernised methods of strategies for the prevention, protection, and elimination of the consequences of catastrophes and natural disasters.

The purpose of this work is to reveal the geomorphological features and dynamics of the development of the most dangerous and often repeating landslide and mudflow processes based on field geomorphological studies, as well as fund literature, indicate the reasons for their formation and propose measures to combat them.

Research results. The article discusses the results of ecological and geomorphological surveys on the northeastern slope of the Greater Caucasus, dedicated to the assessment of landslide and mudflow risk for the period from 1990 to 2020. To assess them in order to obtain morphometric characteristics (including the down gradient of slopes, the length and shape of slopes, areas of mudflow centers), large-scale (M 1:100000) topographic maps were used, as well as interpretation materials for different-scale and multi-temporal ASP. Based on the interpretation of the ASP within the studied region, in order to clarify the general picture of the dissection of the modern relief of the studied region, a map of morphometric tension was compiled, which includes the degree of vertical dissection of the territory, the down gradient of slopes, etc., and also maps of the risk of landslides and mudflows were compiled according to the degree of danger of landslide and mudflow processes, and the area of their distribution was calculated. Landslide and mudflow risk analysis mainly used high-resolution aerospace imagery (ASI) from CNES / Airbus, Maxar Technologies (GeoEye-1), and medium resolution Sentinel-2A and 2B. Thus visual and semi-automatic interpretation (classification with training) was performed in the ArcGIS environment. As a result, taking into account the morphometric tension, as well as the mudflow and landslide hazards, a map of the morphodynamic tension of the northeastern slope of the Greater Caucasus was compiled, which makes it possible to reveal the modern nature of the manifestation of exodynamic processes, to predict and assess the risk coming from them.

Conclusion. The results of the research will make it possible to use the obtained data for the development of the Program for the safe and sustainable functioning and development for the purpose of recreational and tourist development of the difficult of access mountain geosystems of Azerbaijan.

Keywords: *ecological and geomorphological tension, risk, landslide, mudflow, anthropogenic impact, GIS technologies, interpretation, environmental safety.*

In cites: Tarikhazer S. (2022). Assessment of ecological-geomorphological strength and risk of geosystems of the north-eastern slope of the Great Caucasus (within Azerbaijan). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (56), 264-276. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-20>

Problem statement. The development and implementation of a regional policy in the field of guaranteeing environmental reliability are considered a significant component in implementing a stable socio-economic formation of the country and its regions. The immediacy of the task of guaranteeing environmental reliability in Azerbaijan is due not only to the natural specificity of high-mountain ecosystems, which predetermines their increased vulnerability under anthropogenic impact but also to a drastic violation of the ecological situation in most regions of the country. The study of natural geosystems and

the specifics of their modifications under the pressure of natural and anthropogenic causes is biased by the need for a scientifically reasoned attitude to resolving regional environmental issues. The mountain geosystems of the Greater Caucasus are characterised by high-altitude zoning of landscapes, a variety of spatial structures, and developmental activity. Mountain ecosystems are extremely prone to climate fluctuations and reckless anthropogenic activities. As a result, high-quality habitats are decreasing, and the ecological situation is deteriorating. The lack of modern technologies for the rational use of natural

resources in the mountains, the legislative base that does not work on the ground, the still prevailing opinion about the inexhaustibility of natural resources, and the extremely low ecological culture of human relations with nature have significantly affected the natural complexes of the region. In the past years, the growth of the anthropogenic factor on the natural geo-complexes of the northeastern slope of the Greater Caucasus leads to the activation of exodynamic processes, which pose a huge risk for the inhabitants of these regions. Therefore, by now, the vital task is to analyse and assess the ecological and geomorphological risk, which people encounter when settling these territories.

It is well known that the problem of engineering and environmental geomorphology is the analysis and assessment of the manifesting processes of relief formation and the forms created by them to solve acceptable versions of the location of settlements, agricultural arable lands, infrastructure and economic facilities, other engineering and construction structures, guaranteeing their effective and rational operation, and protection from destructive exodynamic processes (Kononova & Malneva, 2007; Kuzmin, 2014; Corominas et al., 2014; Schlögel et al., 2015).

Analysis of recent research and publications.

After analyzing a number of techniques used to assess the landslide hazards (Kononova & Malneva, 2007; Kuzmin, 2014; Corominas et al., 2014; Schlögel et al., 2015), the conclusion was made that most of them had their flaws. Techniques based on probability and statistics methods (geodynamic potential method, regression analysis method) (Lee et al., 2006; Duong et al., 2013), the idea behind which is the determination of the probability of landslide occurrence based on the probability of an impact of landslide-formation factors, are very labor-intensive and require complicated mathematical treatment. The landslide rhythm analysis technique (Seversky et al., 2010), which is based on the detection of the periodicity of landslide occurrence and its relation to precipitation intensity and other meteorological parameters, is complicated by a lack of representative observations and the complexity of treatment of raw data.

It is expedient to indicate the main factors that cause the activation of said processes: geological structure, slope, thickness of potentially landslide-dangerous sediments, landscape, etc. The main criterion that allows regarding this or that factor as a landslide hazard is the shape of distribution of discovered landslides by the information classes of the factor under consideration.

Mudflow phenomena have been investigated from different perspectives: the regional peculiarities of their occurrence or general territorial regularities of their spread; mudflow-forming processes as a result of the impact of water flows with friable debris;

specific mudflow-forming factors or certain types of mudflows, etc. (Seversky et al., 2010; Zerkal, 2014). Several studies (Budagov, 1993; Akizade, Tarikhazer, 2010; 2015) determined the mapping criteria, optimal scale and legend of maps, depending on the hierarchic level of the investigation of the region and the landscape conditions of the manifestation of the processes.

Research method. There are a large number of methods for assessing the risk of environmental management and predicting hazardous exodynamic processes (Petrascheck, et al. 2003; Seversky, et al., 2010; Zerkal, 2014; Makarov et al., 2014; Anakhaev, 2016; Marchenko, 2017, etc.). However, in modern conditions, these techniques are not sufficiently reliable. This, in turn, determines the relevance and the need to develop new or modernised methods of strategies for the prevention, protection, and elimination of the consequences of catastrophes and natural disasters.

The purpose of this work is to reveal the geomorphological features and dynamics of the development of the most dangerous and often repeating landslide and mudflow processes based on field geomorphological studies, as well as fund literature, indicate the reasons for their formation and propose measures to combat them.

Morphometric analysis was carried out using a digital elevation model (DEM) using the ArcGIS package. The initial data were the results of the Shuttle radar topographic mission (SRTM), calculated to create a high-precision global DEM network. Its root-mean-square error is estimated at a height of about 16 m, and the clarity of the position of the nodes of the three-second grid is about 20 m, while these indicators become higher in the conditions of mountainous terrain. An SRTM image with a resolution of approximately 60 m is useful for implementing morphometric analysis and generating proper GIS maps (Tarikhazer, 2018; Tarikhazer, 2019). Image editing, related to the identification and elimination of minor errors, was performed using the tools of the ArcGIS package and its Spatial Analyst module. The slope map was compiled using the Special Analyst feature and its Surface analysis option. Landslide and mudflow risk analysis mainly used high-resolution aerospace imagery (ASI) from CNES/Airbus, Maxar Technologies (GeoEye-1), and medium resolution Sentinel-2A and 2B. In general, visual and semi-automatic decryption (classification with training) was performed in the ArcGIS environment.

Research results. Within Azerbaijan, an extension of orographic topographical features is inherent for the northeastern slope of the Greater Caucasus, parallel to the Main Caucasian Ridge. Among them, the most massive is the Lateral Ridge, which gives rise to a colossal variety in the distribution of the

intensity of water-erosion processes. Between the Lateral and Main Caucasian ridges, there are intramontane basins - Khynalyg, Rustov, Shakhnabad, Khaltan, Gilgilchay, and others. The next one is the massive Gaytar-Goja Ridge dissected by the right tributaries of the Gilgilchay River. The Gusar sloping plain is a foothill part, passing in the east into the Samur-Devechi lowland. Numerous rivers leaving the mountains create alluvial cones, which unite with each other, form a common plume.

A significant area of the northeastern slope of the Greater Caucasus is represented by slopes, the steepness of which exceeds 10-15°, which has set a stamp upon the nature of exodynamic processes. Steep slopes occupy significant sections of river basins (upper and middle). Within high mountains, intensely dissected by erosion and denudation-nival processes, they are characterised by the development of mainly glacial and gravitational exodynamic processes. In the study area, these slopes occupy up to 70% of the total area of the mountainous region, and then, there is a noticeable decrease in the steepness and energy of the relief from the northwest to the southeast. The energy of the relief and the inclines of the slopes are the determining conditions for the speed, nature of the movement, and mass movement of soils on the slopes. Geological-geomorphological and hydrological-climatic conditions within the studied region contribute to the development of a whole set of exodynamic processes. In addition, these conditions are complicated by the fact that in recent decades, the relief of this region has been intensively exposed to anthropogenic impact in order to develop the tourism industry.

The northeastern slope of the Greater Caucasus consists of sedimentary rocks of the Jurassic, Cretaceous, Tertiary, and Quaternary periods (Alizade and Tarihazer, 2010). In the area of the Bazarduzu (4466 m) and Tufandagh (4191 m) mountains, the basins of the Gudyalchay, Gusarchay, and other rivers are represented by limestones, dolomites, clays, clay shales, sandstones, marls, and conglomerates. Tertiary rocks are found in mid-mountain and partly low-mountain belts and are represented by clays, sandstones, pebbles, and loams. In the upper reaches of the Gudyalchay, Gusarchay, Aghchay, Garachay, and Valvalachay rivers, there are found Upper Quaternary excretory material (Alizade, Tarihazer, 2015). The relief of the northeastern slope of the Greater Caucasus is distinguished by significant dissection and is experiencing impressive denudation (Budagov, 1993). Exodynamic processes play a significant role in the formation of the relief. For example, the processes of denudation and erosion are increasing manifold due to the latest tectonic uplifts. The forms of river valleys, terraces, etc. testify to the active newest tectonic uplifts.

Glaciation, physical weathering, erosion, landslides, placers, talus, landslides, mudflows, etc. are among the modern exodynamic relief-forming processes. However, among the dominant exodynamic processes are landslide and mudflow processes, which are one of the main parameters of the negative ecological and geomorphological state of the region under study.

The role of relief energy and slopes in the development of exodynamic processes. Composed mainly of shales, sandstones, marls, and limestones, the slopes of the mountains and ridges of the studied region are distinguished by the development of flat and linear erosion, different drift rates, and accumulation rates. Under other conditions (physical and mechanical properties of soils and their consistency), debris on the slopes of the Main and Side Ridges is in a state of constant movement due to the steepness of the slopes. In the upper reaches of the Gudyalchay, Valvalachay, Gusarchay, and other rivers, the surfaces of watersheds are subject to intense destruction due to significant differences in daily temperatures, an almost absolute absence of vegetation cover, rock fractures, steep slopes of river valleys of more than 45°, etc. The movement of debris here occurs at a high speed, where the removal of weathered material prevails over the rate of accumulation of debris. For this reason, an impressive volume of coarse detrital material is deposited on the slopes of river valleys in the form of placers, talus, and landslides. With intense snowmelt and heavy rainfall, this material is washed off into river valleys, which causes the formation of destructive mudflows. In the presence of large slopes within the highlands, the slopes are mainly covered with a thick cover of colluvium, lithologically represented by shales and sandstones. Frosty weathering on such slopes is so intense that denudation does not always manage to remove all the prepared loose material. The most powerful cover is formed on the watershed, where the slopes are insignificant (up to 5-10°). As it goes down the slope, the thickness of the friable fragmental material increases, which leads to an increase in adhesion between debris and bedrocks and a slowdown in the speed of movement of soil masses along the slope, regardless of the increase in slopes.

The period of active weathering in the highlands is 160-180 days a year, i.e. when the surface of the slopes is bare and exposed to atmospheric processes (Budagov, 1993). Even before the appearance and after the snow cover has disappeared from the slopes, their surface (40-60 days a year) remains in a frozen state for some time, and the soils are inactive. With the onset of the warm period, the frozen soil thaws and begins to move intensively down the slope. In general, the period of active weathering and the period of intensive rolling of the clastic mass down the

slope within the high mountains with large slopes take no more than 120-140 days a year. This leads to a positive balance of clastic mass on the slopes of the mountains, regardless of the high relief energy and the prevalence of significant slopes.

The movement of soil masses proceeds on the slopes of the Lateral Ridge in slightly different conditions, which is composed mainly of chalk limestones on a synclinal structure and abruptly drops to the north and south. The steepest, almost sheer slopes are characteristic of the river basins of Gusarchay, Gudyalchay, Babachay, and Valvalachay, cutting across the strike of the Lateral Ridge. Weathering processes on steep slopes of these valleys spread along the entire length of the slope, reaching 1000-1200 m and more, and ensure the predominance of removal over input, thereby creating a negative balance of clastic material. An impressive volume of debris is carried off the slopes, falling directly into the

channel and being carried out by rivers. Sediment runoff can serve as evidence of an increase in drift from the slopes of these rivers, which varies along the length of the river. For example, in the Khinalig point, located before the cutting down of the Gudyalchay River in the Lateral Ridge, the total sediment runoff, carried from the slopes of the Dividing Mountain Range is 68 thousand tons, and in the area of the Kupchal village, located after the river leaves the Lateral Range, - 1023 thousand tons (Eyyubova, 1982). In this case, large drifts of slopes play a significant role in the formation of slopes and landforms - mainly accumulative (fan cones, placers, and talus).

It should be noted that total land runoff and sinking are the results of a complex of factors, contributing to weathering and denudation. Of this complex, the degree of vertical dissection and the slopes should be especially distinguished (Fig. 1, 2).

In the highlands, where the relief energy exceeds

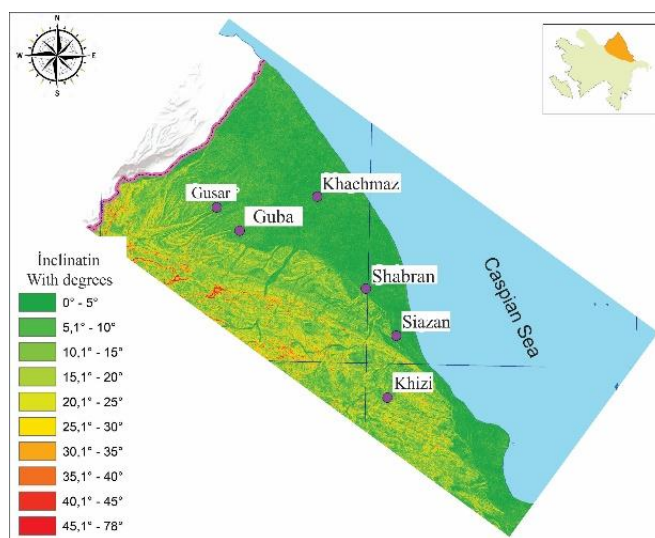


Fig. 1. The map of tilt angles

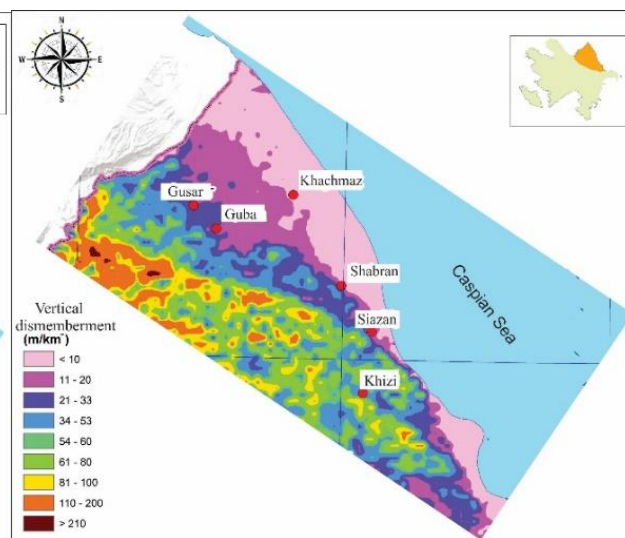


Fig. 2. The map of vertical partition

1000 m, and the slopes are more than 30-40°, the limit of the washout intensity is more than 1 mm/year, while it decreases to 0.10-0.5 mm/year in the low mountains. The presence of a dense river network within an intensely dissected and largely barren territory is the most effective factor in the process of general washout and especially the removal of friable material. It should also be noted that the greatest erosion from the surface is observed in the middle mountain zone, apparently associated with the denudation features of bedrocks and the influence of climatic factors on their destruction.

With the rise in the Quaternary time (0.5 million years) of the mountainous part by 400 m and a denudation meter, covering a period of 1000 years, the rate of uplift is on average 0.8 mm/year. In the high-mountain and partly mid-mountain parts of this territory, the denudation rate is 1 mm/year, and for the entire mountainous part - 0.5 mm/year (Budagov, 1993). The difference between uplift (0.8 mm/year)

and washout (0.5 mm/year) is 0.3 mm/year, i.e. the washout layer is less than the amplitude of the intense uplift of the entire mountainous part of the Greater Caucasus and its predominance over the washout in the Pliocene-Quaternary. This feature plays a significant role in the intensity of the general dissection of the relief, and the latter is due to the significant steepness of the slopes and the energy of the relief. Therefore, a map of morphometric intensity was compiled to diagnose a single background of the dissection of the modern topography of the region under study (Fig. 3), which includes the degree of vertical fragmentation of the territory, the steepness of slopes, etc.

Thus, the analysis of various quantitative indicators of the relief of the studied region and the compiled map of morphometric tension makes it possible to reveal the dependence of the type, intensity, and direction of development of modern exodynamic processes also by the magnitudes and nature of the relief dissection, the high indicator of which is morpho-

metric measurements (Tarikhazer, 2020). The obtained factual data of morphometric intensity also make it possible to quantitatively characterise the exodynamic processes within the studied mountainous region.

Landslide processes. Landslides were formed in almost all vertical belts of the studied region but they are most often observed in the middle mountain belt (Table 1).

They are mainly located on the slopes of lateral

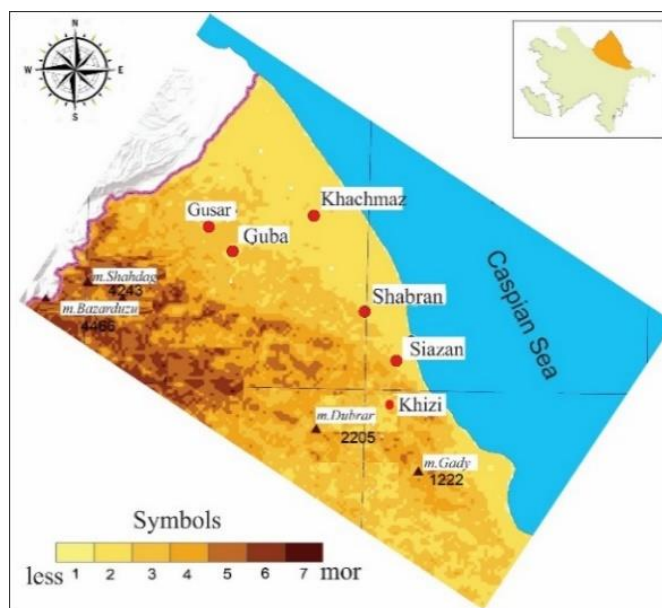


Fig. 3. The map of morphometric tension

spurs, characterised by steepness and clay deposits, where, in the context of excessive moisture, the following genetic type of landslides are formed - landslides-flows, landslides-landfalls, and block tectonic-gravity landslides. In the formation of landslides, their systematic confinement to the slopes of the erosion-structural mountains of the Main Caucasian ridge and the northern exposures of the Lateral ridge is noted. This is determined by the layering of rocks composing these slopes, mainly of limestone and clay facies. Landslides are predominantly specific for the river basins of Garachay, Aghchay, Valvalachay, Gilgilchay, Atachay, and Jimichay. In the modern relief, the most characteristic and most pronounced landslides are the Erfin, Atuch (in the basin of the Valvalachay River), Bakhishli, Khalaj (in the basin of the Atachay River), Gunchal (in the basin of the Gilgilchay River), and others. Landslides are widespread on the Gizilgayin Plateau, which occupies a part of the Lateral Ridge, located between the valleys of the Gudyalchay and Gusarchay Rivers. The plateau on the surface is formed by massive dolomitised limestones, collected by Lower Cretaceous carbonate and terrigenous deposits. On the western slope of the Gizilgayin Plateau, the density of limestone strata reaches 600–700 m, on the southern slope – 500-550 m, and the northern slope – 600-650 m.

The slopes of this plateau in the east and west form the canyon boards of the river valley zones of Gudyalchay and Gusarchay. The steepness of slopes developed in limestones exceeds 40-45°. On all slopes of the Gizilgayin Plateau, landslides and

avalanches are numerous. On the eastern and western and eastern slopes, due to their steepness (50-60° and more), their deposits collapse into the river channels of Gudyalchay and Gusarchay, thereby to a large extent narrow them down. The material of landslides and landfalls is perfectly preserved on the southeastern, southern, and, slightly, northern sides of the plateau.

In the course of the work, a comparative analysis of landslide processes was carried out according to the works of B.A. Budagov (1993), with the results of our data based on the interpretation of colour ASI of 1996, 2000-2020 scale 1: 60,000 and field research. In the work of B.A. Budagov (1993), the area of landslides on the territory of the northeastern slope of the Greater Caucasus is 1972 km²; however, now it reaches 8299 km². It was found that today the area of landslides in the Guba region is over 200 hectares, in the Gusar region - over 100 hectares, etc. Considering that these exodynamic processes caused a huge threat to the development of mountainous areas of the studied region, zoning was carried out according to a 4-point system of this region in terms of the degree of landslide risk. At the same time, the data on landslide formation were detailed, coming laden with the morphometric specifics of the relief (horizontal and vertical dissection, steepness of slopes, exposure of slopes, and hypsometry), landscape-high-altitude zones, seismic activity of the region, the lithological composition of the constituent rocks, amount of atmospheric precipitation, and hydrological conditions (Fig. 4).

Dates of beginnings of the most threatening landslide processes on the northeastern slope of the Greater Caucasus for 2000-2020

#	Date of beginnings	Place of beginnings	Causes beginnings of landslide	Landslide consequences
1	2	3	4	5
1.	April 2000	Guba region	shower	Subsidence phenomena on 6, 7, 8 km of the Guba-Gachresh road
2.	April 2001	Altiagaj village, Khizi region	//-//	A landslide developed in the eastern part of the of Altiagaj village at an altitude of 1130-1500 m
3.	April 2002	Adjakhur village, Gusar region	//-//	Several residential buildings are under threat
4.	May 1, 2002	Najafkend village, Gusar region	//-//	Cracks were found on 24 houses. Part of the Gilakh highway was destroyed
5.	May 10, 2003	Gelenkhur village, Gusar region	Laying a drinking and irrigation channel	School destroyed
6.	May 2003	Boyuk Murug village, Gusar region	shower	The landslide is developed in the northern part of the Boyuk Murug village. Rural school is under threat
7.	April-May 2003	Zeyva village, Shavran region	//-//	Rural road destroyed
8.	April-May 2004	Khizi village, Khizi region	Water from melted snow	Khizi-Bakhyshli highway destroyed in 5 places
9.	April-May 2004	Khizi village, Khizi region	Rains	Landslide activation in the southwestern part of the Khizi village
10.	October 2005	Firik village, Guba region	//-//	The landslide developed here for the first time in 1991. In October 2005, it became active again. 3 residential buildings are under threat of destruction
11.	May 2008	Sedan village, Siyazan region	shower	Landslide activation near water pipeline
12.	July 10, 2008	Ganarchay village, Gusar region	//-//	4 houses were completely destroyed, cracks were revealed in 22 houses. Residents of 15 houses were evacuated
13.	March 15, 2009	Urva village, Gusar region	shower and earthquake 4 points	7 houses were damaged
14.	June 8, 2009	Dellekli village, Guba region (on the bank of the Gudialchay river)	shower	A ravine 500 m long and 30 m high was formed. Part of the rural cemetery and coastal agricultural plots were destroyed
15.	October 12, 2009	Gudurgan and Sudur villages, Gusar region	//-//	The bridge across the Sudur-Gusar road was damaged. Interrupted traffic
16.	February 24, 2010	On the 29th km of the Guba-Khinalig road	Thaw	The road is blocked
17.	March 2, 2010	Urva village, Gusar region	shower	Cracks appeared in 2 residential buildings
18.	April 3, 2010	Urva village, Gusar region	//-//	The soil shifted on 2,7 m. Cracks appeared in 15 houses
19.	April 5, 2010	Gilyazi village, Guba region	//-//	1 house was completely destroyed, 5 houses are in disrepair. Residents evacuated
20.	April 28-29, 2010	Chichi village, Guba region	//-//	Damaged 10 houses and a school building
21.	April 29, 2010	Gilyazi village, Guba region	//-//	A 150-meter highway was destroyed. 29 houses were damaged. Residents evacuated
22.	May 2, 2010	On 32 km of the Guba-Gonagkend road	//-//	Road communication with 34 high-mountainous villages blocked
23.	May 3, 2010	Kyusnat village, Guba region	//-//	Landslide activation. 1 residential building is under threat
24.	May 7, 2010	Achakhur-Boyukmurug automobile road of Gusar region	//-//	Communication with 7 villages interrupted

Table 1 continuation

1	2	3	4	5
25.	May 10, 2010	Sekhyub village, Guba region	//-//	Damaged 2 houses
26.	May 10, 2010	Uchgun village, Guba region	//-//	Damaged 6 houses
27.	May 18, 2010	Guba region	//-//	10 houses and a school building were damaged. Revealed cracks that caused the exit of groundwater
28.	May 25, 2010	Elik village, Guba region	//-//	Cracks were found in 30 houses, 1 house in disrepair
29.	September 20, 2010	Urva village, Gusar region	//-//	Cracks were found in 15 houses. Several rooms of 2 families separated from the house and collapsed into a 15 m ravine. The auxiliary buildings of 4 household plots sagged. There are cracks in the rural school
30.	April 26, 2011	Elik village, Guba region	//-//	5 houses were destroyed. More than 10 houses are in disrepair. The building of the branch of the Elik Rural Library has fallen into disrepair
31.	May 30, 2011	Gilyazi village, Guba region	//-//	20 houses were damaged. 29 houses are in disrepair. Hollows and meter cracks formed. Rural road destroyed
32.	May 30, 2011	Afurdja village, Guba region	//-//	20 houses were destroyed. 5 houses are in disrepair
33.	June 6, 2011	Haput village, Guba region	//-//	7 houses in disrepair. Cracks appeared in 13 houses. Residents evacuated
34.	June 6, 2011	Budug village, Guba region	//-//	Part of the rural cemetery destroyed
35.	April 4, 2016	Amirkhanly village, Shabran region	Heavy rain	The road between the Amirkhanly and Gazbabaly villages was destroyed. In Amirkhanly village 1 residential building destroyed
36.	April 18, 2016	Chaman village, Siyazan region	Rains	Numerous cracks appeared in 2 houses
37.	May 21, 2016	Kuzun village, Gusar region	//-//	Road traffic blocked
38.	June 7, 2016	Gryzdagna village, Guba region	//-//	The landslide spread to the bed of Gudialchay river. As a result of the landslide, about 60 trees fell
39.	October 26, 2016	Urva village, Gusar region	//-//	Residents of 15 houses were evacuated
40.	November 30, 2016	On the 11th km of the Altyagadzh highway of the Khizi region	//-//	traffic locked
41.	April 6, 2017	Gazbabaly village, Shabran region	//-//	5 residential buildings completely destroyed
42.	April 11, 2019	At 36 km of the Guba-Khinalig highway	//-//	Interrupted communication with 6 settlements
43.	June 24, 2020	Guba-Khinalig highway	//-//	As a result of a landslide, a six-meter section of the recently repaired road was destroyed, and cracks formed in some parts of the road

Regions with a high degree of landslide risk include territories with an area of 545.80 km² (6.6%), where the likelihood of a landslide scale reaches 65-70% of the total area. Such dangerous areas are mid-mountain and low-mountain zones of the northeastern slope of the Greater Caucasus, river basins of Atachay, Gilgilchay, Valvalachay, etc. Regions with a moderate degree of landslide risk include territories with an area of 3295.72 km² (39.8%), where the probability of landslide scale reaches 50-65% of the total area.

Over the past few years, landslide processes have increased extremely in the high-mountainous zone within the subalpine and alpine geo-complexes. The reason was a sharp increase in anthropogenic

pressure (overgrazing). Active deforestation in the mid-mountain zone also led to the revival of landslides. Therefore, these areas were assigned to zones with the intense manifestation of landslide processes, the scale of which can reach 50-65%. In the regions with a low degree of landslide risk, the area of which makes 3699.62 km² (44.56%), the probability of the scale of landslides is 30-50% of the territory. Territories, where landslide processes do not occur, have an area of 758.03 km² (9.13%).

Mudflow processes. Mudflow processes are developed on the northeastern slope of the Greater Caucasus in all landscape-geomorphological zones - from the low mountains to the high-mountain zone (Table 2).

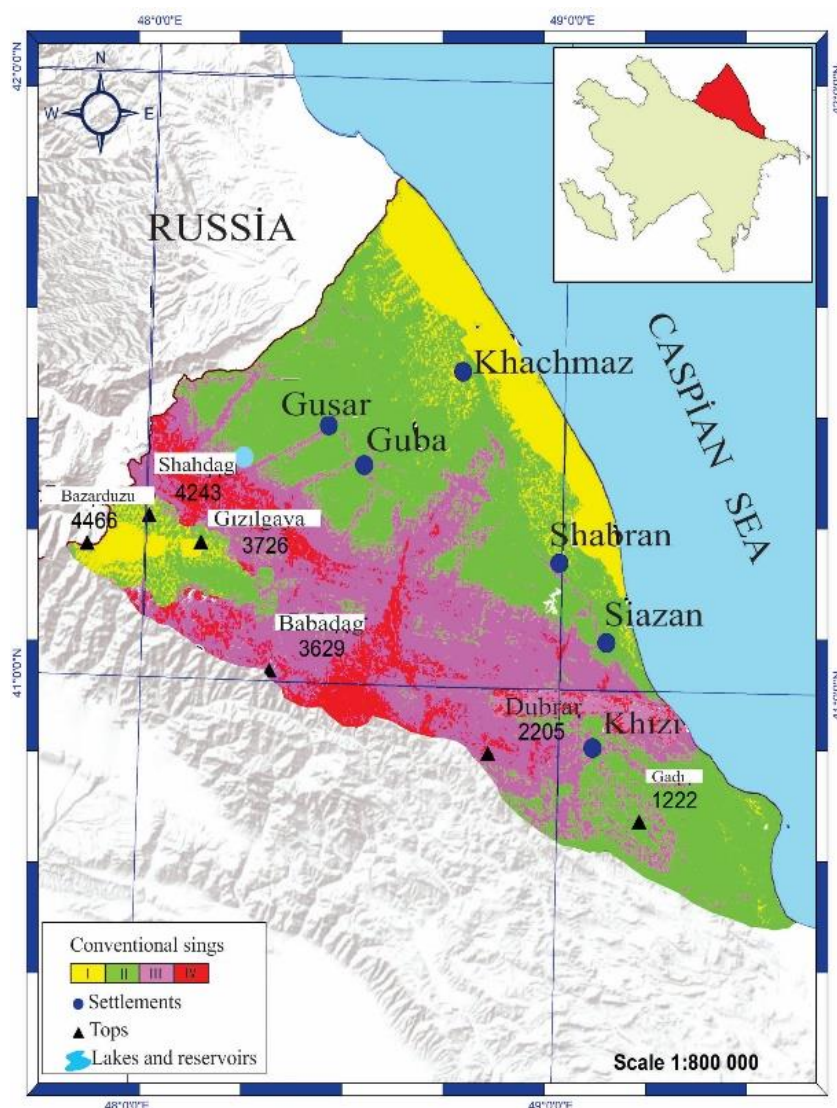


Fig. 4. The map of landslide hazard.

1. Areas where landslide processes do not occur - I point;
2. Areas with a low degree of landslide risk (probability of landslide expansion by 30-50% of the territory) - II point;
3. Areas with a moderate degree of landslide risk (the probability of landslide expansion by 50-65% of the territory) - III point;
4. Areas with a high degree of landslide risk (probability of landslide expansion by 65-70% of the territory) - IV point

Dates of the passage of the most dangerous mudflows on the northeastern slope of the Greater Caucasus for 2000-2020

#	River	Date of passage of the mudflow	Mudflow consequences
1	2	3	4
1.	Devechichay	July 14, 2000	The bridge across the Devechi-Guba road was destroyed
2.	Gilgilchay	May 23, 2003	3 people perished
3.	Gudialchay	July 07-08, 2008	Material damage was inflicted on houses and social facilities in the city of Khachmaz
4.	Gudialchay	March 04, 2008	24 houses were damaged. 1 person perished
5.	Devechichay	April 17, 2009	5 bridges were damaged, perished livestock in Chichi and Zeyva villages
6.	Gilgilchay	July 09, 2009	1 person perished
7.	Gudialchay	July 19, 2009	Damaged 4 social facilities and houses in Tyulyakaran, Guba region
8.	Gusarehay	September 17, 2009	More than 100 houses in Neredzhan village of Khachmaz region were damaged
9.	Gilgilchay	July 17, 2012	The road connecting the Chukhurazami village with Shabran city were damaged
10.	Gudialchay	April 23, 2013	Mudflows blocked a section of road of the Baku-state border with Russia near the Vladimirovka village. The movement of vehicles on the highway is limited
11.	Gudialchay	August 29, 2013	About 10 houses in Alekseevka village of Guba district was destroyed. Damage was caused to more than 100 houses located on the Vagif str. in Krasnaya Sloboda village
12.	Gudialchay	September 12, 2013	A bridge was destroyed in the Guba region, several houses were damaged in the Tuler village, livestock perished
13.	Gudialchay	October 31, 2014	36 km and 38 km of the Guba-Khinalig highway of the Guba region are washed out
14.	Gusarehay	September 16, 2015	The mudflow was destroyed 3 houses in the Gusar city and 1 house in the Chilegir village. Flooded 60 houses. In the Tuler village destroyed the bridge
15.	Gudialchay	April 17, 2016	A bridge in the Guba region was destroyed
16.	Gusarehay	May 19-20, 2016	The road in the Kuzun village of Gusar district was destroyed
17.	Gudialchay	May 20, 2016	The bridge in the Tuler village of Guba region was destroyed
18.	Gusarehay	June 25, 2016	Damage was caused to more than 20 houses and sown areas in the Kuzun village. Livestock perished. Bridge destroyed
19.	Lazachay	September 01, 2016	53 people from Laza village evacuated. The Guba-Khinalig road partially and the bridge on this road on 29 km were destroyed. Traffic on the road was interrupted. Mudflows also caused damage to residential buildings in the Utug village of the same region, the electricity supply to this settlement is cut off
20.	Gudialchay	September 01-02, 2016	Damage was caused to about 10 villages of the Guba region. The mudflow washed away the pylons of power lines in the Krasnaya Sloboda village. A section of the Guba-Khinalig road was destroyed. The mudflow destroyed almost 30 telecommunication poles, as a result communication with 20 settlements of the region was interrupted. The greatest damage was inflicted to automatic telephone exchange operating in villages in the direction of Gonagkent-Sokhub, Kupchal-Gechresh, Zargova-Chichi and Khinalig
21.	Lazachay	June 04, 2019	Mudflow caused damage to agricultural land of Laza village of Gusar district
22.	Garachay	June 30, 2019	Basements and courtyards of residential buildings in Guba region flooded
23.	Jagadukchay	May 07, 2020	Mudflows destroyed the bridge over the Jagadzhukchay river in the Khanagakh village of Guba region
24.	Velvelichay	May 11, 2020	2 cars of "Niva" and "UAZ" brands were carried away by the mudflow. The drivers are saved
25.	Shabbranchay	May 12, 2020	The bridge over the Shabbranchay river in the Chaigishlig village was destroyed.
26.	Gudialchay	June 13, 2020	A mudflow destroyed a 56 km section of the Guba-Khinalig highway. Serious damage was inflicted on residential buildings, private households and road infrastructure in Bostankesh and Gala Khudat villages
27.	Garachay	July 16, 2020	Mudflow damaged road infrastructure and farms in Birinji Nyugedi, Khanegah, Erfi, Gayadaly, Budug, Sokhyub and Galahudat villages. The bridge on the Garachay river destroyed. The mudflow damaged the roads, flooded the gardens and orchards of local residents
28.	Garachay	August 04, 2020	Mudflow damaged several private houses and a recreation center in the Gurbanfendi village. 40 sheep were perished, the mudflow washed away poultry

Mudflows are mainly of rain origin, and the amount and mode of precipitation play a special role in the formation and occurrence of catastrophic mudflow processes (Makhmudov, 2008). On the north-eastern slope of the Greater Caucasus, mudflows are often repeated in the river basins of Gilgilchay, Atachay, Shabbranchay, Davachichay, etc. Traces of mudstone mudflows in the form of mudflows and mud masses are well preserved in the wide flood-plains of the rivers of Gilgilchay and Atachay. The confinement of mudstone mudflows to the indicated river basins is undoubtedly associated with the widespread development of landslides and landslide-mudflows in the catchments of these rivers. In the arid-low-mountain zone, the formation and passage of mudflows and the flat vague forms of solidified mudflow created by them are mainly observed. There are frequent cases of solidification of mud and mudflow mass at the bottom of ravines and gullies, due to their "enrichment" with muddy-clay intrusions with short showers, the waters of which are one of the main driving factors. The centres of formation of mudflows are mainly confined to vast erosional catchments and landslide-mudflows. Mudflow centres of the erosion funnel type are specific for the high-mountainous parts of the river basins of Gudyalchay,

Jimichay, Babachay, and Gusarchay. Mudflow centres of such basins as Gilgilchay, Atachay, Tughchay, Shabbranchay, and Takhtakorpuchay are confined to landslide and landslide-mudflows. In this respect, the river basin of Atachay is especially characteristic. Here, the centres of the occurrence of mudflows, in general, are the Bakhishli landslide massif, into the body of which a channel is cut at a distance of 6-8 km, from the village of Bakhishli to the village of Khalanj. Sections of the Valvalachay River valley between the village of Gonagkend and the village of Afurja can be referred to similar foci.

A zoning map was compiled according to the degree of mudflow risk on a 5-point scale (Fig. 5), based on the interpretation of the ASI within the northeastern slope of the Greater Caucasus according to the degree of hazard of mudflow processes (the amount of material carried out, the erosional effect of the flow on the valley, taking into account mudflows of tributaries and the basin as a whole, as well as by the prevailing types and classes of mudflows, and geomorphological conditions of formation, occurrence, and passage of mudflows, and statistical data on past mudflows) and based on the actual and possible damage to the population from mudflows.

The area of the territory, where mudflows are not

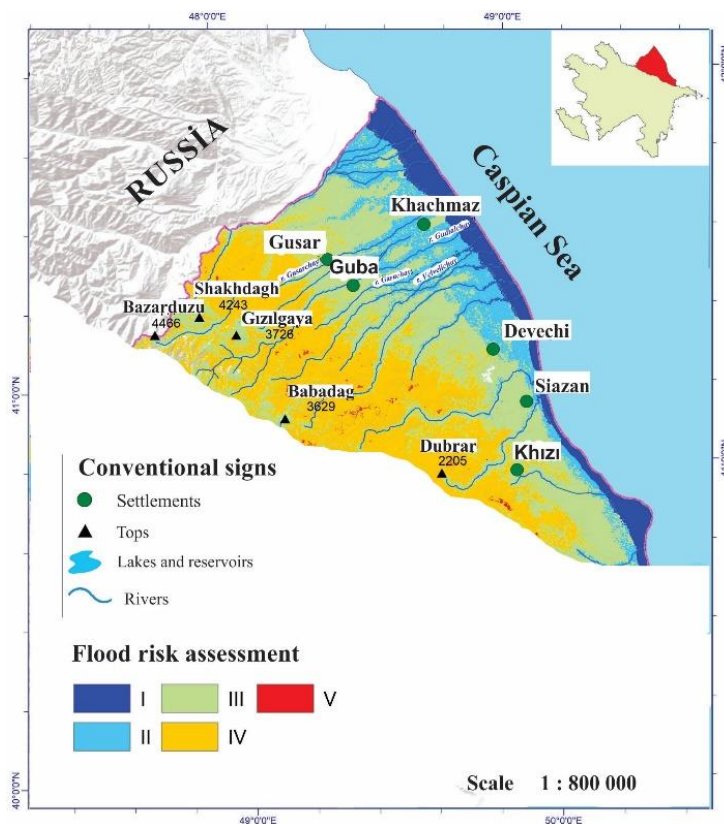


Fig. 5. The map of mudflow hazard.

1. Territories, where there are no mudflow processes - I point.
2. Territories with potential mudflow hazard - II points.
3. Territories with a weak mudflow hazard (once in 5-10 years is possible 1 strong mudflow) - III points.
4. Territories with an average mudflow hazard (once in 3-5 years is possible 1 strong mudflow) - IV points.
5. Territories with high mudflow hazard (once in 2-3 years is possible 1 strong mudflow) - V points

observed, is 683.914 km² (8.27%), while the area of the territory with potential mudflow risk is 1457.117 km² (17.56%). The area of the territory with low mudflow risk is 3097.842 km² (37, 33%), an area with an average mudflow risk - 3037.503 km² (36.63%), and an area with a high mudflow risk - 15.506 km² (0.21%).

Thus, a map of the morphodynamic tension of the northeastern slope of the Greater Caucasus (Fig. 6) was compiled, as a result of a detailed analysis of

numerous data and available material that was identified during expeditionary conditions and on the basis of decoding the ASI, as well as taking into account the morphometric tension, mudflow and landslide hazard. This will reveal the current orientation of the manifestation of exodynamic processes, predict and weigh the risk coming from them, which take on all the significant acuteness and relevance in the region under study from year to year (Tarikhazer, 2019; Tarikhazer, 2020).

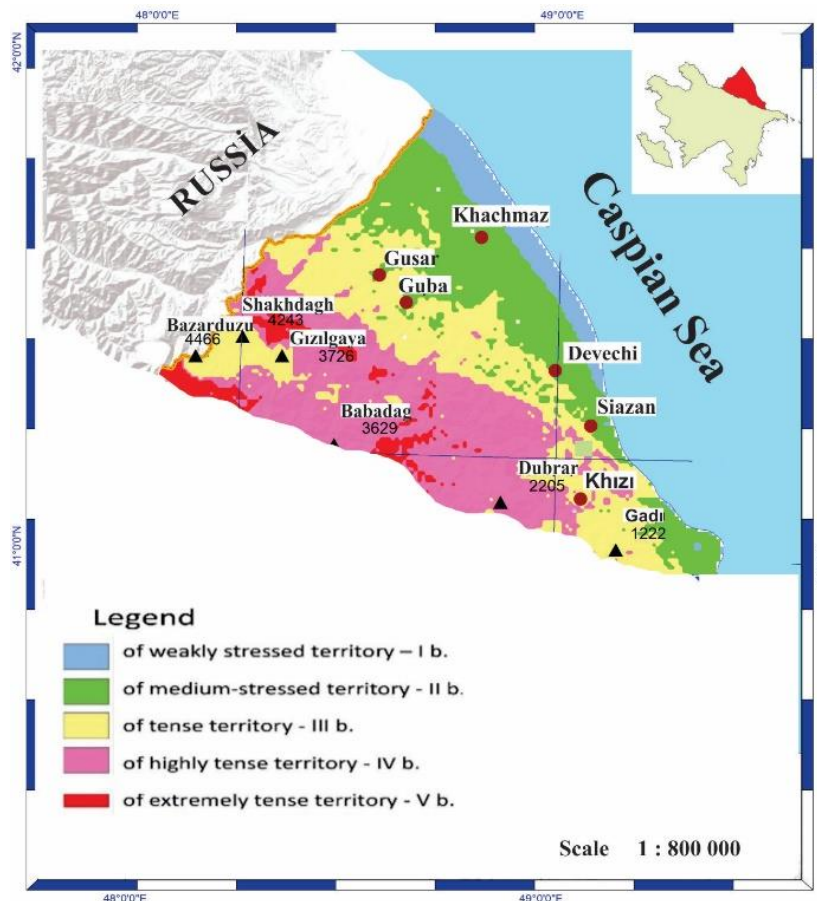


Fig. 6. The map of morphodynamic tension

Analysis of the map helps to detect areas with significant tension of the modern relief, which cause the development of such dangerous morphodynamic phenomena as mudflows, landslides, etc. The strengthening of morphodynamic processes demonstrates a real impact on the stability of mountain geosystems and complicates their anthropogenic settlement. In this context, special attention is paid to the high-altitude and mid-mountain zones of the Gusarchay-Valvalachay and Shahdag junctions of morphostructures. The experience of conducting a comprehensive study, in order to determine the specific geomorphological features of the mechanism of functioning of geosystems, made it possible to identify the general ecological and geomorphological situation and to establish the degree of anthropogenic loads on the internal structure of unstable geo-complexes in mountainous regions.

The area of a weakly stressed territory (I b.) is 344 km², the area of a moderately stressed territory (II b.) - 1566 km², the area of a stressed territory (III b.) - 2652 km², while the area of a highly stressed territory (IV b.) makes 3095 km². The area of an extremely tense territory (V b.) is 642 km².

Conclusion. On the basis of complex data and using a scoring system, an assessment of the ecological and geomorphological tension and natural risk of geosystems within the northeastern slope of the Greater Caucasus was carried out, which contributes to clearly and thoroughly developing the landscape-reclamation and engineering-geomorphological methods to increase efficiency or maintain the ecological geomorphological environment of the region. In addition, one of the most important problems of ensuring sustainable and safe development of the territory of the studied region is risk management from

exodynamic processes. The transition of the region to the assessment and control of risks, as a unified system that guarantees the reliability of the functioning of mountain geosystems, the population, and the economy should ensure a decrease in the growth in the number of consequences from exodynamic processes. Risk management of exodynamic processes is a series of consistently solved tasks, each of which pursues its own goals and end results. The control system of exodynamic processes is considered to include the following: assessing their potential risk; control of anthropogenic factors capable of activating exodynamic processes; emergency response and elimination of consequences in case of their activation; carrying out individual protective measures at facilities in the zone of their development; monitoring the state of protective structures; assessment of damage from them, etc. According to the study, this problem could be solved by using GIS technologies and creating a system of cartographic models.

clude the following: assessing their potential risk; control of anthropogenic factors capable of activating exodynamic processes; emergency response and elimination of consequences in case of their activation; carrying out individual protective measures at facilities in the zone of their development; monitoring the state of protective structures; assessment of damage from them, etc. According to the study, this problem could be solved by using GIS technologies and creating a system of cartographic models.

References

1. Alizade E.K., Tarikhazer, S.A. (2010). *Exo-morphodynamic of mountains and its assessment*. Baku: Viktoriya, 236.
2. Alizade E.K., Tarikhazer, S.A. (2015). *Ecogeomorphological danger and hazards at Major Caucasus (in limits of Azerbaijan)*. Moscow: MaksPRESS, 207.
3. Anakhaev K.N., Makitov U.I., Anakhaev K.A., Dyshekov A.K. (2016). *Formation conditions of rainfall-generated mudflows in mountain regions*. *Russian Meteorology and Hydrology*, 41(6), 418–424. DOI: <https://doi.org/10.3103/s1068373916060066>
4. Budagov B.A. (1993). *A general characteristic of terrain in Azerbaijan*. Baku: Elm, 20-28.
5. Budagov B.A. (1993). *Newest tectonics // In the collection "Relief of Azerbaijan"*. Baku: Elm, 75-93.
6. Zerkal O.V. (2014). *Methodology for mapping mudflow hazard and regional quantitative assessment of geo-risk (on the example of the middle part of the Yakhsu river valley (Tajikistan): collection of proceedings of the conference "Mudflows: disasters, risk, forecast, protection"*. Yuzhno-Sakhalinsk, September 22-26, 2014, 109-112.
7. Makarov S.A., Cherkashina A.A., Atutova Zh.V., Bardash A.V., Voropai N.N., Kichigina N.V., Mutin B.F., Osipova O.P., Ukhova N.N. (2014). *Catastrophic debris flow, occurred in the village of Arshan, Tunkinsky district, Republic of Buryatia in June, 28*. Irkutsk: V.B. Sochava Institute of Geography Publisher, 111.
8. Marchenko P.E., Gedyuyeva M.M., Dzhabpuev D.R., Khutuev A.M. (2017). *Susceptibility to torrential processes of upper courses of Uruk river (Republic Northern Osetia-Alanya)*. *News of Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences* 5(79), 30–40.
9. Makhmudov R.N. (2008). *Catalog of mudflow processes*. Baku, 104.
10. Tarikhazer S.A. (2018). *Complex morphometric analysis of the Greater Caucasian territory based on GIS*. *Geography and natural resources*, 2(8), 18-29.
11. Eyubova F.A. (1982). *Formation and assessment of suspended sediment runoff in rivers on the northeastern slope of the Greater Caucasus (within the Azerbaijan SSR): dis. ... a candidate of geogr. sciences*. Baku, 137.
12. Kononova N.K., Malneva I.V. (2007). *The estimation of mud flow and landslide hazard on the Island Sakhalin in the next decade. Proceedings of the International Geotechnical Symposium «Geotechnical Engineering for disaster prevention and reduction», July 24–26, YuzhnoSakhalinsk, Russia Seoul: Korean Publishing Company, 180-183.*
13. Kuzmin S.B. (2014). *On the methods of assessment of potential geomorphological danger in extensive geo-ecological studies in active fault area*. Saint Petersburg: Nauka, 187.
14. Corominas, J., van Westen, C.J., Frattini, P. [et al.] (2014). *Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk*. *B. Eng. Geol. Environ. Apr.* 73, 209-263. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10064-013-0538-8>
15. Petrascheck, A., Kienholz, H. (2003). *Hazard assessment and mapping of mountain risks in Switzerland. Debris-Row Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment*, Rotterdam, Millpress, 17.
16. Seversky I.V., Blagoveshchensky V.P., Vinokhodov V.V., Kiren T.L. (2010). *Mudflows and landslides in Kazakhstan*. *Al-Farabi Kazakh National University Journal*, 31(2), 45–52
17. Tarikhazer S.A. (2019). *Growth of ecogeological stresses in mountainous geosystems in the conditions of activation modern dan academy of sciences of the republic of Kazakhstan*, 6, 34-44. DOI: <https://doi.org/10.32014/2019.2518-1467.143>
18. Tarikhazer S.A. (2020). *Morphometric analysis of the north-eastern slope of the Great Caucasus for the purpose of tourism potential (using GIS technologies)*. *News of the academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*, 2, 440, 170-177. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.45>
19. Tarikhazer S.A. (2020). *The geographical prerequisites for the identification and prevention of dangerous geomorphological processes in the mountain geosystems of the Alpine-Himalayan belt (on the example of the Major Caucasus of Azerbaijan)*. *Journal of Geology, Geography and Geoecology. Ukraine, Dnepropetrovsk*, 1, 176–187. DOI: <https://doi.org/10.15421/112016>
20. Schlögel, R., Doubre, C., Malet, J.-P. [et al.] (2015). *Landslide deformation monitoring with ALOS/PALSAR imagery: a DInSAR geomorphological interpretation method*. *Geomorphology*, 231, 314-330. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.11.031>

Оцінка еколого-геоморфологічної напруженості і ризику геосистем північно-східного схилу Великого Кавказу (у межах Азербайджану)

Стара Абульфаз гизи Таріхазер,

д. геогр. н., доцент, провідний наук. співроб.,
Інститут географії імені академіка Г.А. Алієва НАН Азербайджану;
просп. Г. Джавіда, 115; Баку, AZ 1143, Азербайджан

Посилення людського пресингу на природні геоконплекси спричиняє поживлення небажаних процесів, що створюють великий ризик для мешканців цих регіонів. З багатьох геоморфологічних систем надмірною активністю ендо- та екзогенних процесів виділяються альпінотипні орогенні зони, до яких належить північно-східний схил Великого Кавказу. Тому на даний час важливим є завдання діагностики та оцінки еколого-геоморфологічного ризику, з яким стикається населення при освоєнні нових територій регіону.

У статті розглянуто результати виконання еколого-геоморфологічних досліджень на північно-східному схилі Великого Кавказу, присвячених оцінці зсувного та селевого ризику за період з 1990 по 2020 роки. Для їх оцінки з метою отримання морфометричних характеристик (у тому числі про ухили схилів, довжини та форми схилів, площ селевих вогнищ), використані великомасштабні (М 1:100000) топографічні карти, а також матеріали інтерпретації різномасштабних та різночасних АКС.

На основі дешифрування АКС у межах досліджуваного регіону для з'ясування загальної картини розчленованості сучасного рельєфу досліджуваного регіону складено карту морфометричної напруженості, куди укладено ступінь вертикальної розчленованості території, ухил схилів та ін., а також за ступенем небезпеки зсувних та селевих процесів склад, та проведено підрахунки площ їх розповсюдження. При проведенні аналізу зсувного та селевого ризику в основному використовувалися аерокосмічні знімки (АКС) високої роздільної здатності CNES/Airbus, Махаг Technologies (GeoEye-1), та середньої роздільної здатності Sentinel-2A і 2B. Т.ч. було проведено візуальне та напівавтоматичне дешифрування (класифікація з навчанням) у середовищі ArcGIS. Через війну, з урахуванням морфометричної напруженості, і навіть селе- і зсувонебезпеки складено карта морфодинамічної напруженості північно-східного схилу Великого Кавказу, що дозволяє розкрити сучасний характер прояви екзодинамічних процесів, передбачити і оцінити ризик, що від них. Результати досліджень дозволять використовувати отримані дані для розробки Програми безпечного та сталого функціонування та освоєння з метою рекреаційно-туристичного розвитку важкодоступних гірських геосистем Азербайджану.

Ключові слова: еколого-геоморфологічна напруженість, ризик, зсув, сіль, антропогенний вплив, ГІС-технології, дешифрування, екологічна безпека

Надійшла 22 лютого 2022 р.
Прийнята 23 лютого 2022 р.

Удосконалення положень еколого-економічного управління земельними ресурсами за зональним аспектом

Альона Сергіївна Юхно¹,

к. екон. н., асистент кафедри управління земельними ресурсами та кадастру

¹Державного біотехнологічного університету, вул. Алчевських, 44, м. Харків, 61002, Україна,

е-mail: alena_iukhno@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-1906-8286>;

Володимир Миколайович Опара²,

к. техн. н., професор кафедри фізичної географії та картографії

²Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна,

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

е-mail: volodimiropara2019@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0128-8400>;

Ірина Миколаївна Бузіна¹,

к. с.-г. н., доцент кафедри екології та біотехнології,

е-mail: nezabudka120187@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-0885-0558>

Еколого-економічне управління земельними ресурсами як державна система заходів направлена на забезпечення населення продовольством та інших галузей національної економіки сировиною за оптимального рівня капіталовкладень у ресурси й їх максимальної віддачі за умов дотримання екологічних цілей і програм щодо забезпечення норм і вимог раціонального використання земель сільгосп підприємств з метою одержання екологічно чистої рослинницької та тваринницької продукції при одночасному збереженні природних ресурсів. Запропоновано удосконалення положень управління земельними ресурсами на основі показників аграрного зонування, яке надає інформацію стосовно районування культур і видів сівозмін, які найбільш придатні для вирощування на території конкретного сільськогосподарського підприємства, здійснення технологічних заходів щодо використання та охорони земель, рівня впливу зазначених заходів на продуктивність та ефективність використання земель сільськогосподарським підприємством. З огляду на класифікаційні ознаки елементів екологічного зонування, що входять до складу аграрного, надаються обмеження на вирощування певних культур на території сільгосп підприємства з урахуванням його локальних особливостей. Такі економічні показники при організації господарства як спеціалізація, концентрація та інтеграція виробництва при вмілому застосуванні сприятимуть підвищенню ефективності використання земель аграрних товаровиробників. Соціально-економічні класифікаційні ознаки аграрного зонування дозволять визначити рівень трудовіддачі та здійснити інтеграцію праці. Визначено оптимальне співвідношення земельних угідь в межах аграрних зон Сумської та Харківської областей. Запропоновано порядок трансформації еродованих земель, господарське використання яких за призначенням у складі сільськогосподарських підприємств є економічно неефективним, що знизить капіталовкладення у земельні ресурси сільськогосподарськими підприємствами, забезпечить підвищення родючості земель, отримання значно більшого обсягу екологічно чистої сільськогосподарської продукції з одиниці площі та підвищить її конкурентоспроможність на світовому ринку.

Ключові слова: еколого-економічне управління земельними ресурсами, зонування земель, аграрні зони, сільськогосподарське підприємство, екологічне зонування, оптимальне співвідношення земельних угідь.

Як цитувати: Юхно А. С., Опара В. М., Бузіна І. М. // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 56. – С. 277-295. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-21>

In cites: Iukhno A. S., Opara V. M., Buzina I. M. (2022). Improving of ecological and economic management of land resources by with zonal aspect. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (56), 277-295. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-21> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. Розвиток земельних відносин в Україні обумовив зміни в управлінні земельними ресурсами. Перерозподіл земель, як основного національного багатства нашої держави згідно з Конституцією України [1], між суб'єктами господарювання, впровадження рівноправних форм власності на землю призвели до загострення економічних та екологічних проблем сільськогосподарських землекористувачів. Одержання Україною статусу країни з ринковою економікою, вступ до Світової організації торгівлі, асоціація з Європейським Союзом зобов'язують українських аграрних товаровиробників забезпечити дієву конкуренцію, виробництво екологічно

чистої продукції, орієнтацію на світовий ринок та обумовлюють необхідність удосконалення еколого-економічного управління земельними ресурсами, проведення державних заходів щодо раціонального й ефективного використання земель у структурі сільськогосподарських підприємств. Адже земля є засобом виробництва у сільському господарстві відповідно до Земельного кодексу України [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Наприкінці XIX – початку XX ст. зароджується наука управління, заснована на працях Тейлора Ф. [3], Гілбрета Ф., Гілбрет Л. і Гантта Г. При цьому концепція наукового управління стає пере-

ломною віхою, завдяки чому управління почало визнаватись як окрема галузь досліджень.

Нестабільність ринкової капіталістичної економіки і необхідність державного втручання при управлінні вперше довів Кейнс Дж. [4].

Велика заслуга в розвитку наукових напрямків та ідей гуманізації управління виробництвом належить Оуену Р. [5], який практикував запровадження невідомих на той час соціально-психологічних методів управління.

Значну увагу питанням управління в умовах індустріалізації – розподілу вартості товарів між різними класами суспільства, координації та організації виробничого контролю на підприємстві, – приділяв Рікардо Д. [6]. Він розробив закінчену теорію про форми земельної ренти. Був прихильником концепції економічного лібералізму, що не допускає ніякого державного втручання в економіку і передбачає вільну діяльність.

Сміт А. [7] запропонував свій погляд на роль держави в управлінні, проаналізувавши обов'язки держави та індивідуума. Він вважав що держава повинна забезпечувати безпеку життя людини та її власності, вирішувати спори, гарантувати дотримання правил, виконувати інші функції, які індивідуум не в змозі виконати самостійно або робить це неефективно.

Певний вплив на об'єкт та суб'єкт управління здійснюється за допомогою функцій управління, що лежать в основі даної науки. Уперше сформулював функції управління Файоль А. [8]. Вони представлені у такому вигляді: планування – прогнозування – наукове передбачення розвитку національної економіки, результатів цього розвитку, соціальних та інших наслідків; організація – вдосконалення організаційної структури управління і розробка науково обґрунтованих методів її роботи і функцій, спрямованих на досягнення основних цілей розвитку суспільного виробництва; розпорядження – цілеспрямований вплив на персонал підприємства, організації чи установи; погодження – це знаходження «золотої середини» між усіма учасниками виробничих відносин; контроль – спостереження за виконанням розпоряджень та інших правил, регламентованих вимогами виробництва [8].

Значну увагу управлінню земельними ресурсами в Україні приділяли сучасні вітчизняні вчені.

Дослідженням питання організації території та управління земельними ресурсами сільськогосподарських підприємств із застосуванням землепорядних методів з метою здійснення Продовольчої програми та розвитку сільського господарства займалися такі науковці як Вервейко А.П. [9] та Горохов Г.І. [10].

Класифікацію методів управління за ознаками змісту та механізмом (способом) впливу на

земельні ресурси запропонували Горлачук В.В. [11], В'юн В.Г. [11, 12], Песчанська І.М. [12] та Сохнич А.Я. [11, 12]. До першої групи методів відносяться адміністративні, до другої – економічні та соціально-психологічні.

Економічні методи управління представляють способи досягнення економічних цілей на основі реалізації вимог економічних законів. Вони здійснюються шляхом створення економічних умов, що ініціюють трудовий колектив для досягнення кращих результатів у своїй діяльності, з одного боку, а з іншого – економічного регулювання раціонального використання та охорони земель без заходів адміністративного впливу зазначають Третяк А.М. [13] та Дорош О.С. [13].

Мартин А.Г. [14] в своїх дослідженнях доводив, що економічні методи управління виробництвом гнучкіші і швидше реагують на зміни суспільних потреб.

Добряк Д.С. [15] звертав увагу на екологобезпечне використання земель сільськогосподарського призначення при здійсненні управління земельними ресурсами.

Питання зонування земель, виділення одиниць природно-сільськогосподарського районування, встановлення їх меж, класифікаційних ознак, розроблення схем природно-сільськогосподарського районування території України досліджувалося такими науковцями як О.П. Канаши [16, 17], Г.К. Лоїк [18], Б.С. Носко [19], С.О. Осипчук [17, 18], Б.М. Чепков [19] та ін.

Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми. Науковцями окремо досліджувалися питання управління земельними ресурсами з деталізацією за економічною, екологічною, технічною, технологічною, правовою та іншими складовими. Інші науковці окремо вивчали питання здійснення на території України природно-сільськогосподарського та інших видів зонуваль.

Авторами вперше запропоновано розглядати в комплексі питання еколого-економічного управління земельними ресурсами спираючись на дані та показники зонування земель з метою підвищення ефективності використання земель сільськогосподарського призначення сільськогосподарськими підприємствами.

Формулювання мети статті. Метою дослідження є теоретико-методологічне обґрунтування еколого-економічного управління земельними ресурсами у структурі зональних підходів до формування та розвитку сільськогосподарських підприємств і розробка практичних рекомендацій щодо підвищення ефективності використання земель аграрними товаровиробниками.

Для досягнення мети дослідження виконані такі завдання:

- уточнити зміст категорії «еколого-економічне управління земельними ресурсами» сільськогосподарських підприємств;

- здійснити теоретико-методологічне обґрунтування галузевого аграрного зонування земель з метою вдосконалення управління земельними ресурсами при формуванні та розвитку сільськогосподарських підприємств;

- сформулювати дефініцію категорії «сільськогосподарське підприємство» у контексті еколого-економічного управління земельними ресурсами;

- обґрунтувати оптимальне співвідношення земельних угідь (рілля : природні кормові угіддя : ліси й інші лісовкриті площі) для адміністративних одиниць та України у цілому; розробити порядок і визначити шляхи трансформації зазначених угідь у складі сільськогосподарських підприємств;

- визначити зональний напрям використання земельних ресурсів сільськогосподарських підприємств.

Методи дослідження. При дослідженні використовувалися науково-методичні основи природно-сільськогосподарського районування території України, виділення таксономічних одиниць районування та їх основних характеристик.

Методологічною основою дослідження є діалектичний метод пізнання та системний підхід до аналізу проблем становлення еколого-економічного управління земельними ресурсами сільськогосподарських підприємств в умовах зональності. Теоретичну основу дослідження склали наукові праці вітчизняних і зарубіжних учених з питань управління земельними ресурсами, формування та розвитку сільськогосподарських підприємств в умовах зональності.

У процесі дослідження було використано такі методи: історико-еволюційний (теорія зонування у розвитку та як окрема наукова галузь), абстрактно-логічний (теоретичні узагальнення та формулювання висновків), розрахунково-конструктивний (визначення оптимального співвідношення земельних угідь для адміністративних областей), порівняльний й інші загальноприйняті методи та сучасні економіко-статистичні прийоми.

Виклад основного матеріалу дослідження. Управління як окрема галузь досліджує систему, в якій реалізуються функції управління. У системі управління виділяють управляючу і керовану системи, об'єкт та суб'єкт управління.

Управляюча система (суб'єкт) здійснює функції управління (рис. 1), а керована є його об'єктом. Між управляючою та керованою системами мають бути канали зв'язку. Каналом зв'язку до управляючої системи від керованої передаєть-

ся інформація про стан останньої, а у зворотному напрямі – управляюча інформація [13].

Екологічні методи управління представляють способи досягнення екологічних цілей, основною метою яких є раціональне використання земель сільськогосподарськими підприємствами, зменшення антропогенного впливу на земельні ресурси, сприяння покращенню екологічних показників земельних ресурсів.

Економічне обґрунтування управління земельними ресурсами направлене на ефективне використання ресурсного потенціалу, економічне стимулювання раціонального використання й охорони земель, та здійснюється за двома напрямками: управління земельними ресурсами, що реалізується та контролюється органами виконавчої влади та місцевого самоврядування відповідно до закону; умови ринку, які визначаються попитом та пропозицією.

Землевпорядні методи управління є комбінацією екологічних, правових, соціальних, економічних та інших методів, шляхом яких встановлюються обмеження у використанні земель, землеохоронні регламенти [13].

Шляхом здійснення землеустрою державою здійснюються управлінські рішення щодо організації заходів з поліпшення та охорони земель, облаштування і оформлення правового режиму землекористування, економічного стимулювання раціонального землекористування [13].

Раціональне використання землі повинно бути в першу чергу екологічнобезпечним (табл. 1), відповідати її цільовому призначенню, забезпечувати високу ефективність землекористування та охорону, спрямовуватися на запобігання необґрунтованого вилучення земель сільськогосподарського призначення, захист від антропогенного впливу, відтворення і підвищення продуктивності земель.

Зонування земель здійснюється в контексті еколого-економічного управління земельними ресурсами сільськогосподарських підприємств на території об'єкту, за яким ідентифікується чи проявляється ознака зонування у межах адміністративно-територіальної одиниці, під впливом системи управління земельними ресурсами при забезпеченні використання земель згідно з їх цільовим призначенням. Зонування земель повинно встановлювати наявність або відсутність рівня обмежень у використанні конкретно визначеної земельної ділянки з урахуванням її розташування у межах певної зони; обмеження прав власників землі та землекористувачів. Ці обмеження мають стосуватися просторових характеристик, формування виду сільськогосподарського підприємства, системи обробітку ґрунту, обмежень у розміщенні та вирощуванні певних сільськогосподарських



Рис. 1. Логічна схема структури управління* / Fig. 1. Logical scheme of the management structure*

*Джерело: розроблено авторами на основі власних досліджень та джерел [13, 15]

культур, типів сівозмін тощо.

Зонування земель – це встановлення, виділення та об'єднання однорідних територій та земельних масивів відповідно до визначених властивостей, які встановлюються згідно з поставленим завданням, категорією земель, наявними обмеженнями щодо використання земельних ресурсів та типом землекористування.

У США, ФРН, Франції зонування земель введено у правове поле. Інформація щодо зонування земель має відкритий характер і підприємець чи інвестор можуть одержати весь її обсяг про наявні обмеження та ризику у певних зонах. Досвід Російської Федерації, яка вже запровадила окремі види зонування земель, свідчить про перспективність і ефективність цього заходу. Очевидно, що цей напрямок прийнятний і для умов України [22,

С. 19].

З метою удосконалення планування використання земель, формування режиму землекористування та підвищення ефективності регулювання земельних відносин відповідно до проекту Закону України «Про зонування земель» [23] виділяють типи землекористування, одним з яких є сільськогосподарський.

Відповідно, виникає необхідність виділення окремого галузевого зонування для сільськогосподарського типу землекористування – аграрного зонування, яке має місце застосування для сільськогосподарських підприємств.

Зонування земель як напрям Державного земельного кадастру зафіксовано положеннями Земельного кодексу України (ст. 180, 197) [2] та Законом України «Про Державний земельний када-

Основні напрями раціонального використання земельних ресурсів
сільськогосподарськими підприємствами та підвищення їх ефективності*

№ з/п	Групи основних заходів	Коротка характеристика	Шляхи підвищення ефективності
1	2	3	4
1	Екологічні заходи: ✓ екологічний напрям; ✓ технологічний напрям	Включає широкий спектр аграрних та технічних заходів направлених на підвищення ефективності та раціональності використання земель агроформуваннями	<p>Екологічний напрям:</p> <ul style="list-style-type: none"> - зменшення антропогенного навантаження на земельні ресурси; - збільшення виробництва екологічно-чистої продукції; - зменшення впливу негативних природних явищ (регулювання річкових потоків, берегоукріплення, ліквідація зсувів ґрунту, обвалів). <p>Технологічний напрям:</p> <ul style="list-style-type: none"> - захист земель від негативних наслідків виробничої діяльності; - підвищення родючості ґрунту; - удосконалення структури посівних площ на основі показників зонування земель; - розширення повторних та пожнивних посівів; - запобігання ерозії, осушення, зрошення, гіпсування земель; - залучення сучасної інформації про якісний стан природно-ресурсної бази агропідприємства; - розробка проектів землеустрою з контурно-меліоративною організацією територій; - підбір відповідних добрив до кожної культури у різних сівозмінах; - збалансований обробіток полів пестицидами; - рекультивація порушених земель
2	Соціально-економічні заходи: ✓ соціальний напрям; ✓ економічний напрям	Включають широкий спектр методів соціального формування та регулювання, морального стимулювання, свідомого використання всієї системи економічних законів і категорій ринкової економіки задля досягнення економічних та соціальних цілей управління	<p>Економічний напрям:</p> <ul style="list-style-type: none"> - підвищення ефективності використання земельних ресурсів; - збільшення зацікавленості землевласників та землекористувачів у збереженні і відтворенні родючості ґрунтів; - інвестиції; - поглиблення спеціалізації та концентрації виробництва на основі міжгосподарської кооперації й агропромислової інтеграції; - раціональне використання виробничих фондів та трудових ресурсів. <p>Соціальний напрям:</p> <ul style="list-style-type: none"> - забезпечення кожного господарства необхідною кількістю кваліфікованих спеціалістів; - поліпшення умов праці та побуту людей; - широке використання прогресивних форм організації виробництва і оплати праці.

1	2	3	4
3	<p>Організаційно-господарські заходи:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ організаційний напрям; ✓ господарський напрям. 	<p>Базуються на державному управлінні, вимогливості керівництва підприємств, дисципліні та відповідальності працівників з метою координації виробничого процесу для виконання поставлених перед ними завдань.</p>	<p>Організаційний напрям:</p> <ul style="list-style-type: none"> - раціональне співвідношення робітників і матеріально-технічних ресурсів; - встановлення правил, які мають обов'язковий характер, та регулюють землекористування; - вироблення стандартних процедур адміністративного впливу на організацію підприємств. <p>Господарський напрям:</p> <ul style="list-style-type: none"> - удосконалення системи управління виробництвом; - запровадження прогресивних технологій; - розробка і запровадження рекомендацій з організації та вдосконалення виробничих процесів.

*Джерело: табличні дані сформовані автором на основі джерел [13, 20, 21]

стр» (ст. 17) [24]. Спроби застосування зонування земель зроблено відповідно до Закону України «Про Генеральну схему планування території України» [25] з метою створення повноцінного життєвого середовища та сприятливих умов розвитку економіки, відповідно до положень якого виділені зони сільського господарства.

Межі зон уточнюються у процесі планування територій на регіональному і місцевому рівнях та визначаються в порядку, встановленому законодавчо.

Зонування земель здійснюється на території ради, де відбувається узгодження інтересів територіальних громад та органів виконавчої влади.

Виділяють такі види зонування як екологічне, кадастрове, функціональне, оціночне, економічне, соціальне, соціально-економічне, природно-економічне, природно-сільськогосподарське та ін.

Процедура кадастрового зонування передбачає ідентифікацію земельних ділянок присвоєння їм кадастрових номерів.

Оціночне зонування застосовується при визначенні нормативної грошової оцінки земель населених пунктів.

Функціональне зонування передбачає виділення на території населених пунктів сільбищної (житлової) зони, виробничої (промислової) зони та зони відпочинку (ландшафтно-рекреаційної).

Соціальне зонування проводиться на території певної адміністративно-територіальної одиниці з метою виділення однорідних територій за соціальними характеристиками (віковою структурою, статтю, зайнятістю у сферах народного господарства, рівнем народжуваності та смертності, кількістю та щільністю населення, рівнем забез-

печення закладами побутового обслуговування, соціальної сфери тощо).

Раціональне розміщення продуктивних сил неможливе без економічного районування, результатом якого є науково обґрунтований поділ території країни на окремі великі економічні райони відповідно до їх природних і економічних умов.

На розвиток економіки в сільському господарстві значний вплив мають природні та екологічні умови. На території України склалося шість природно-економічних зон: Полісся, Лісостеп, північний і центральний Степ, південний Степ, передгірні та гірські райони Криму, передгірні та гірські райони Карпат. Кожна з них має свої особливості та різниться галузевою структурою сільського господарства [26].

У зоні Полісся розвивається м'ясо-молочне скотарство, льонарство та картоплярство. У Лісостепу – сільське господарство скотарсько-буряківничо-зернового напрямку. Північний і центральний Степ – це зона, для якої характерне виробництво зерна, соняшнику, продукції скотарства і свинарства. У південному Степу розміщене виробництво озимої пшениці, соняшнику, південних конопель, овочів і баштанних культур. У зоні передгірних і гірських районів Криму розташовано виробництво винограду, плодів і ефіроолійних культур. У зоні передгірних і гірських районів Карпат провідними галузями є м'ясо-молочне скотарство і вівчарство, успішно розвиваються виробництво льону-довгунцю, тютюну, а також садівництво і виноградарство [26].

Природно-економічне зонування земель впливає на зосередження засобів виробництва, земельних і трудових ресурсів з метою збільшення

виходу продукції у спеціалізованих підприємствах і об'єднаннях – концентрацію сільськогосподарського виробництва [20].

Екологічне зонування враховує ступінь перетворення природного середовища внаслідок антропогенного впливу, рівень цього впливу; несприятливі природно-антропогенні процеси; екологічне оцінювання території; стан еродованості ґрунтів; інтенсивність ерозійних процесів, їх динаміку; забруднення ґрунтів пестицидами, важкими металами, радіонуклідами тощо; забезпечення ґрунтів поживними речовинами, мікроелементами та ін.

З метою надання більш точних рекомендацій сільськогосподарським товаровиробникам потрібно враховувати поділ території за інтенсивністю використання на 3 еколого-технологічні групи (ЕТГ). Такий поділ допомагає диференційовано використовувати сільськогосподарські угіддя, дає змогу перейти від прямокутної організації території до контурної, надає інформацію щодо оптимального співвідношення у сівозмінах просапних культур і суцільного посіву залежно від потенційної небезпеки прояву ерозійних процесів, інтенсивного та біологічного землеробства [27].

Основою зонування земель сільськогосподарського призначення є природно-сільськогосподарське районування – поділ території України та окремих регіонів з урахуванням природних умов і агробіологічних вимог сільськогосподарських рослин [13].

Природно-сільськогосподарське районування застосовується при визначенні науково-обґрунтованого розміщення сільгоспвиробництва, розробки генеральних схем використання земельних ресурсів, систем ведення сільського господарства і землеробства, схем і проектів землеустрою тощо.

Схема природно-сільськогосподарського районування території України розроблялася послідовно від найвищих таксономічних одиниць – природно-сільськогосподарських зон та гірських областей, до найнижчих таксонів – провінцій, округів, районів. При цьому враховувалися природні умови і особливості використання земельного фонду, насамперед земель сільськогосподарського призначення.

В результаті виконання науково-дослідної роботи в декілька етапів на території України було виокремлено 5 природно-сільськогосподарських зон та 2 гірські області, 19 природно-сільськогосподарських провінцій, 33 природно-сільськогосподарських округи, у тому числі 1 підокруг, та 222 природно-сільськогосподарські райони [19, 22].

Кожний природно-сільськогосподарський таксон має розроблену еколого-господарську ха-

рактеристику за показниками приведеними в таблиці 2.

У результаті проведеного детального аналізу видів зонування земель, враховуючи пріоритетність використання земель сільськогосподарського призначення (відповідно до ст. 23 ЗК) та аграрний напрям розвитку України, доцільно сформувати такий вид зонування як аграрне (рис. 2).

На нашу думку, аграрне зонування – це галузеве зонування земель в аграрному секторі економіки, що базується на природно-кліматичних, економічних та екологічних показниках, включає однорідні земельні масиви з відповідним виробничим потенціалом, рівнем еколого-антропогенного навантаження, характеризується певним співвідношенням земельних угідь, типом сільськогосподарського виробництва та зональної спеціалізації, рівнем трудовіддачі та дозволяє визначитися органам державного управління з потенційними можливостями виробничої діяльності аграрних підприємств.

У проекті Закону України «Про зонування земель» відповідно до положень Закону України «Про Генеральну схему планування території України» пропонуємо передбачити такий вид зонування як аграрне, яке рекомендуємо підпорядкувати у частині визначення територій переважно агропромислового виробництва та сільської забудови й у подальші розробки регіональних схем використання та охорони земель включати аграрне зонування. Контроль за здійсненням положень щодо запровадження аграрного зонування земель на території окремого сільськогосподарського підприємства передбачено покласти на райдержадміністрації.

Аграрне зонування поєднує елементи природно-сільськогосподарського, природно-економічного, екологічного та соціально-економічного характеру, що справляють вплив на діяльність сільськогосподарських підприємств, надає напрями управління їх розвитком і передбачає виділення в межах території адміністративних областей аграрних зон.

Межі аграрних зон формуються з урахуванням напряму економічного використання земель в аграрному секторі. Відповідно до приналежності землекористування до аграрної зони сільгосп-підприємству надається інформація стосовно районуваних культур і видів сівозмін, які найбільш придатні для вирощування на його території, здійснення технологічних заходів щодо використання та охорони земель, рівня впливу зазначених заходів на продуктивність та ефективність використання земель господарством. З огляду на класифікаційні ознаки елементів екологічного зонування, що входять до складу аграрного, надаються

Показники еколого-господарської характеристики природно-сільськогосподарських таксонів України*

№ з/п	Назва показника	Основні елементи, що характеризують показник
1	Клімат (середньобагаторічні показники)	а) розподіл опадів по місяцях і за рік; б) мінімальні та максимальні суми річних опадів; в) середньорічна температура повітря; г) сума активних температур (понад + 10 град. С); г) гідротермічний коефіцієнт за Селяніновим (ГТК); д) тривалість вегетаційного періоду; е) запаси продуктивної вологи в ґрунті на початок вегетаційного періоду; є) кількість днів із суховіями
2	Геоморфологія, рельєф і гідрологія	а) належність території до певних геоморфологічних регіонів та їхні характерні особливості; б) основні типи рельєфу, їх співвідношення, розчленованість і дренажність поверхні; в) поверхневі води (річкова мережа); г) ґрунтові води (глибина залягання за елементами рельєфу та мінералізація)
3	Ґрунтовий покрив	а) площі й питома вага агропромислових груп ґрунтів; б) основні властивості та показники ґрунтів (гумус – вміст, глибина профілю; вміст фізичної глини і мулу; кислотність – рН тощо); в) площа й питома вага деградованих і малопродуктивних земель у складі орних угідь; г) площа й питома вага особливо цінних земель
4	Якісна характеристика сільськогосподарських угідь	а) механічний склад; б) засоленість; в) солонцеві комплекси; г) кислотність; г) перезволоженість; д) заболоченість; е) кам'янистість (скелетність); є) дефльованість; ж) еродованість
5	Придатність ґрунтів для вирощування основних сільськогосподарських культур	а) бали зокремленого бонітування орних земель під розміщення сільськогосподарських культур; б) економічна оцінка ефективності вирощування основних сільськогосподарських культур
6	Співвідношення земельних угідь	а) загальна площа земельних угідь; б) загальна площа сільськогосподарських угідь; в) лісистість (площа, питома вага); г) оптимізація структури угідь

*Джерело: табличні дані сформовані авторами на основі джерел [17, 18, 19, 22]

обмеження на вирощування певних культур на території сільгоспідприємства з урахуванням його локальних особливостей та оптимального співвідношення культур у сівозмінах. Такі економічні показники при організації господарства як спеціалізація, концентрація та інтеграція виробництва при вмілому застосуванні сприятимуть підвищенню ефективності використання земель аграрних товаровиробників. Соціально-економіч-

ні класифікаційні ознаки аграрного зонування дозволять визначити рівень трудовіддачі та здійснити інтеграцію праці шляхом підвищення кваліфікаційного рівня населення направленням на навчання за рахунок підприємств у зв'язку з необхідністю у забезпеченні кваліфікованими кадрами.

Аграрне зонування варто визначати як механізм еколого-економічного управління земельни-

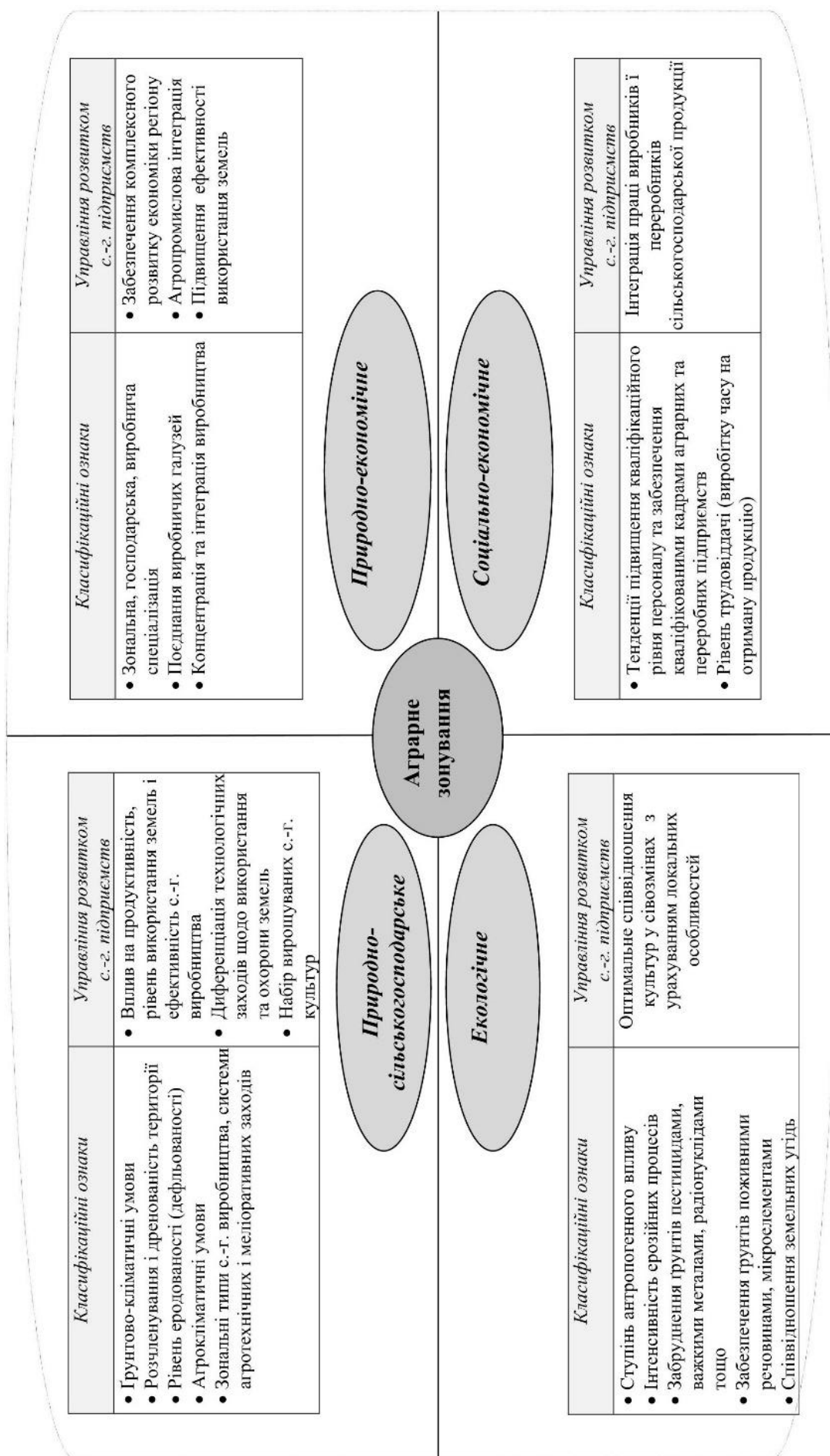


Рис. 2. Компонентна структура аграрного зонування земель і його вплив на управління розвитком сільськогосподарських підприємств*
 Fig. 2. The component structure of agrarian land zoning and its influence on the management of agricultural enterprises*

*Джерело: розроблено авторами

ми ресурсами, при здійсненні якого у межах адміністративних областей виділяють зони, які характеризуються такими класифікаційними ознаками як співвідношення земельних угідь, коефіцієнт ерозійної небезпеки, змив ґрунту, наявність територій забруднених промисловими відходами, відносна однорідність ґрунтово-кліматичних умов території, що справляють відбиток на ефективність використання наявних земельних ресурсів і розвиток зональних типів сільськогосподарського виробництва, урахування спеціалізації сільськогосподарських підприємств.

Аграрні відмінності управління земельними ресурсами лісостепової та степової зон України потребують створення єдиного підходу використання ресурсного потенціалу в межах сучасних землеволодіння і землекористувань. З цією метою передбачається дослідження структури земельних угідь та стану земельних ресурсів, на основі яких пропонуються рекомендації щодо ефективного та раціонального еколого-економічного управління земельними ресурсами у складі сільськогосподарських підприємств.

Сучасний стан земельних ресурсів (еродована рілля складає 81% від загальної площі ріллі [28]), процеси, що негативно відбиваються на рівні продуктивності земель (щороку від дії водної та вітрової ерозії втрачаємо 740 млн. т родючого ґрунту, який містить близько 24 млн. т гумусу; ерозійні процеси зменшують вміст гумусу в слабоеродованих ґрунтах на 5 – 10%, середньоеродованих – 25 – 30%, сильноеродованих 35 – 40% порівняно з їх повно-профільними аналогами [28]) призводять до зниження сільськогосподарського виробництва. Так, урожайність зернових культур в Україні в 1923 – 1934 рр. складала 66 ц/га, тоді як сьогодні з урахуванням досягнень сучасного науково-технічного прогресу – близько 50 ц/га. На нашу думку, деградаційні явища спричинені перш за все прорахунками щодо оптимального і припустимого використання земель, яке визначається знаходженням найкращого варіанту щодо визначення площ та структури земельних угідь з врахуванням показників зонування земель та приведення площ угідь адміністративно-територіальних одиниць до оптимальної структури з метою еколого-економічного управління земельними ресурсами та підтримки екологічної стабільності території.

Нині екологічно оптимізованої структури угідь для України не розроблено, хоча ще сто років тому Докучаєв В.В. [29] запропонував включати до числа найважливіших заходів щодо регулювання екологічного балансу на території степів розробку норм, які визначають відносну площу лук, ріллі, лісу та вод.

Сьогодні різні дослідники сходяться до одно-

го – визнання необхідності зменшення сільськогосподарської освоєності та розораності земельного фонду за рахунок його оптимізації, але в кількісному співвідношенні притримуються різних точок зору.

Козлов Н.В. та Палапа Н.В. [30] рекомендують привести співвідношення ліс : луки і пасовища : рілля : вода до рівня 30 : 30 : 20 : 20, враховуючи досвід передових країн Західної Європи та Північної Америки, де розораність становить, наприклад, в Англії, Франції, Німеччині – 28-32%, у США – 15,8%.

Бавровська Н.М. та Мартин А.Г. пропонують зменшення освоєності та розораності території України шляхом консервації деградованих та малопродуктивних земель [31].

Созінов О.О. пропонує оцінювати екологічний стан агроландшафту за співвідношенням рілля : природні кормові угіддя (сіножаті та пасовища) : ліси на рівні 1 : 1,6 : 3,6 [32].

Вчені Гойке Е. та Риборські І. екологічну сталість агроландшафтів визначають за допомогою коефіцієнтів: для лісів – 1,0, пасовищ – 0,58, сіножатей – 0,62, ріллі – 0,14 [33].

На нашу думку, дані дослідження не можуть бути використані при оптимізації земельних угідь України, оскільки коефіцієнт для ріллі 0,14 був виведений на основі досліджень розчленованих ландшафтів підзолистих, горнопідзолистих і сильнозмитих ґрунтів Словаччини та для орних земель України, сформованих на повнопрофільних чорноземах рівнинних плато, є неприйнятним.

В наукових дослідженнях Бяллович Ю.П. встановлює оптимальну лісистість для зони Лісостепу України на рівні 18%, для зони Степу – 9% [34].

З метою дослідження та визначення оптимального складу земельних угідь при еколого-економічному управлінні земельними ресурсами з врахуванням показників аграрного зонування земель обрані Сумська та Харківська області, які відносяться до потужних сільськогосподарських регіонів і мають вигідне місце розташування по відношенню до ринків збуту сільськогосподарської продукції.

Сумська та Харківська області складають північно-східний економічний регіон нашої держави та розташовані у межах двох природно-сільськогосподарських зон.

Межа поліської та лісостепової природно-сільськогосподарських зон проходить у північно-західній частині Сумської області (рис. 3). До зони Лісостепу відносяться Глухівський (03), Буринський (04), Недригайлівський (05), Липоводолинсько-Білопільський (06), Тростянецький (07) та Охтирський (08) природно-сільськогосподарські райони.

Полісся

- 01 - Середино-Будський природно-сільськогосподарський район
- 02 - Шосткинський природно-сільськогосподарський район

Лісостеп

- 03 - Глухівський природно-сільськогосподарський район
- 04 - Буринський природно-сільськогосподарський район
- 05 - Недригайлівський природно-сільськогосподарський район
- 06 - Липоводолінсько-Білопільський природно-сільськогосподарський район
- 07 - Тростянецький природно-сільськогосподарський район
- 08 - Охтирський природно-сільськогосподарський район

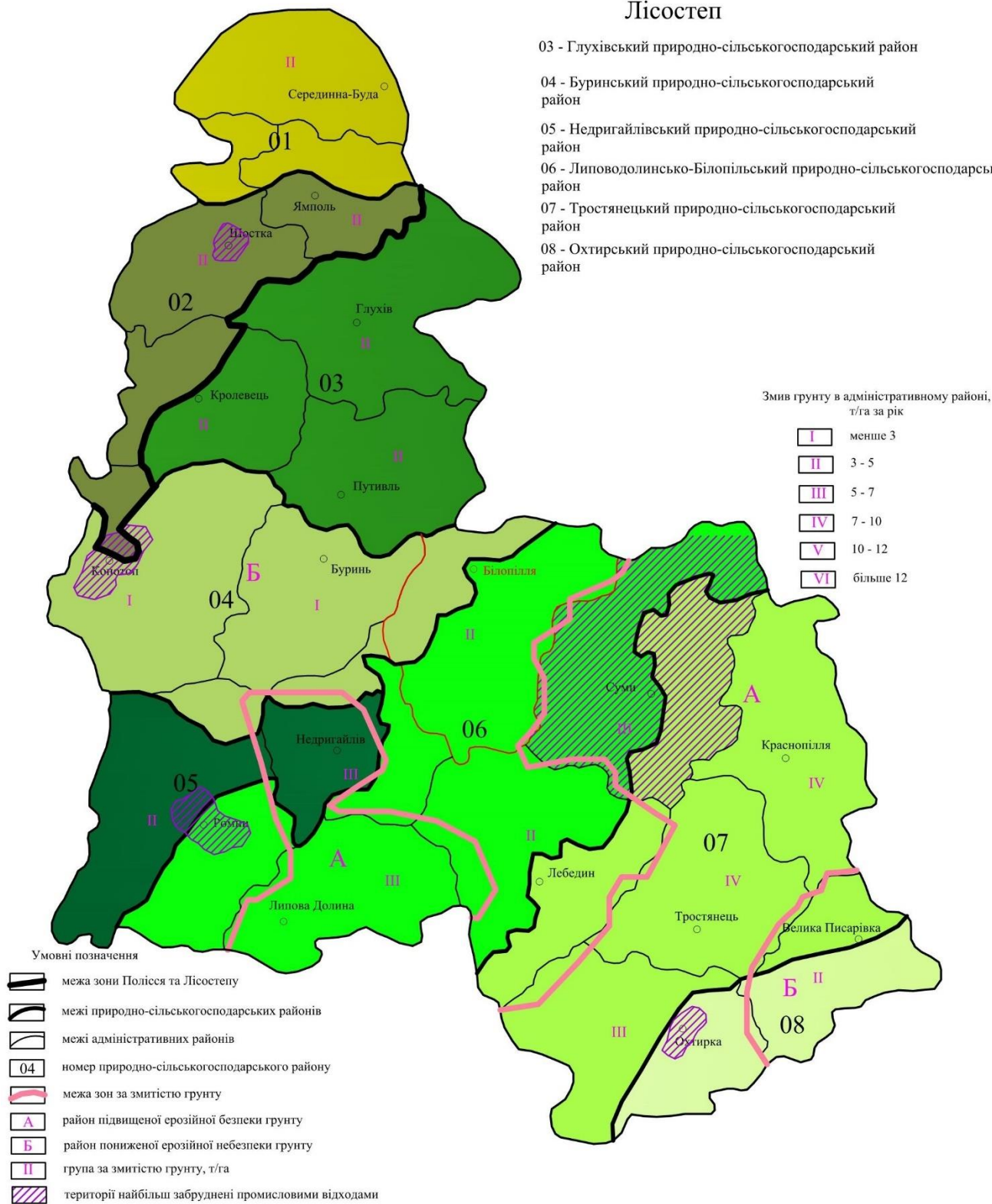


Рис. 3. Схема аграрного зонування земель та екологічного районування Сумської області*
 Fig. 3. Scheme of agrarian land zoning and ecological zoning of the Sumy region*
 *Джерело: розроблено авторами

Межа лісостепової та степової зон ділить територію Харківської області майже навпіл (рис. 4). До зони Степу належать – Зачепилівсько-Близнюківський (04), Балаклійський (05) та Куп'янський (06) природно-сільськогосподарські райони.

Окрім природно-сільськогосподарського зонування, на території Сумської та Харківської областей досліджене екологічне районування за двома напрямками: змив ґрунту на території областей у розрізі адміністративних районів, т/га за рік; забруднення території промисловими відходами.

У результаті проведеного дослідження на територіях областей виділили: райони підвищеної ерозійної небезпеки ґрунту (А), до яких віднесли Краснопільський, Тростянецький, Липоводолинський, Охтирський, Сумський, Недригайлівський райони Сумської області та Краснокутський, Коломацький, Валківський, Нововодолазький, Золочівський, Дергачівський, Зміївський, Чугуївський, Печенізький, Балаклійський, Ізюмський, Вовчанський, Великобурлуцький, Дворічанський, Куп'янський, Шевченківський та Борівський райони Харківської області; та райони пониженої ерозійної небезпеки ґрунту (Б).

Сьогодні Сумська область входить у десятку найбільш екологічно благополучних регіонів України. Умовно чисті території знаходяться на півночі Сумщини, інша територія відноситься до помірно-забрудненої. Найбільш забрудненими промисловими відходами територіями від викидів промпідприємств Сумської області є місто Суми та Сумський район, землі навколо міст Охтирка, Шостка, Конотоп, Ромни.

Харківська область належить до помірно-забрудненого регіону. На території Харківської області забруднені території розташовані навколо міст Харкова, Богодухова, Ізюм, Барвінкове, Лозової, Первомайського. Також забрудненню підпадають землі у північно-західній частині Краснокутського району, у південно-східній частині Нововодолазького району, на північний захід від міста Балаклія, на південь та північ від селища Шевченкове, у західній та східній частинах Куп'янського району, на північ від селища Близнюки та на схід від селища Зачепилівка. Забруднення мають локальний характер і пов'язані з діяльністю промислових підприємств, ГРЕС, видобутком газу.

При еколого-економічному управлінні земельними ресурсами сільськогосподарського підприємства обов'язковим є врахування впливу забруднення технічними елементами. На землях забруднених промисловими відходами вводимо у сівозміну вико-овес і горох (очищують землі та зумовлюють екологічну рівновагу).

Досліджувані області мають потужний агра-

рний потенціал (на їх території розміщені високо-розвинені науково-дослідні установи та навчальні заклади, біля 80% земельного фонду займають сільгоспугіддя).

Деградованих, малопродуктивних та забруднених земель на території Сумської області налічується 58,2 тис. га, Харківської – 57,1 тис. га, по Україні – 2339,2 тис. га.

За даними Державного агентства лісових ресурсів України [35] для Сумської області оптимальна лісистість території складає 20,00%, для Харківської – 15,00%, по Україні – 20,00%. В Сумській області пропонується збільшити лісистість до рівня 461,2 тис. га. В Харківській області встановлюється оптимальна лісистість на рівні 15,0%.

Важливими заходами з оптимізації структури угідь як на території досліджуваних областей так і України в цілому має стати вилучення з обробітку еродованих та забруднених земель, їх залуження, заліснення чи трансформація в інші угіддя. Це дасть можливість знизити рівень розораності території до екологічно оптимального, встановити оптимальне співвідношення угідь та рекомендовану лісистість території, підвищити родючість земель.

На прикладі об'єктів дослідження – територій Сумської та Харківської областей відповідно до обраних класифікаційних ознак аграрного зонування, що справляють вплив на управління розвитком сільськогосподарських підприємств, визначено межі аграрних зон, які проходять по межах сільських рад адміністративних районів досліджуваних областей в межах встановлених природно-сільськогосподарських районів.

Визначення меж аграрних зон на території областей з урахуванням таких показників як ґрунтово-кліматичні й агрокліматичні умови, зональні типи сільськогосподарського виробництва, зональна, виробнича, господарська спеціалізація, концентрація й інтеграція виробництва, інтенсивність ерозійних процесів, забруднення ґрунтів промисловими відходами, співвідношення земельних угідь, тенденції до підвищення кваліфікаційного рівня населення та забезпечення кваліфікованими кадрами аграрних та переробних підприємств, рівень трудовіддачі тощо.

Необхідною умовою екологічного управління земельними ресурсами сільгосппідприємств є застосування екологічно безпечних технологій при вирощуванні сільгосппродукції та перевірка виробленої продукції на відповідність державним та міжнародним екологічним нормам і стандартам.

Вирощуванню екологічно чистої продукції сільськогосподарськими підприємствами сприятиме приведення співвідношення земельних угідь (рілля, природні кормові угіддя, ліси та інші лісо-

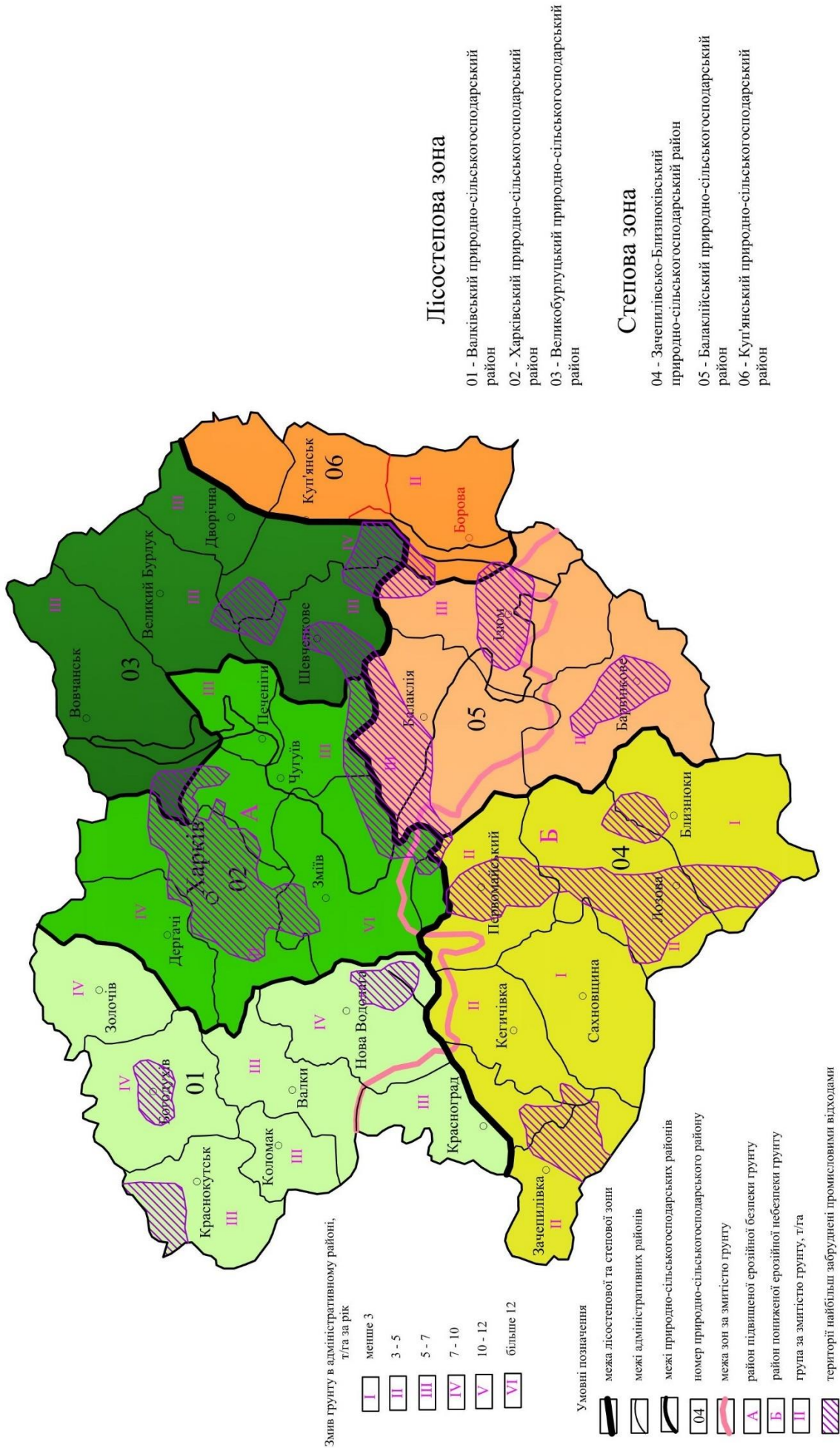


Рис. 4. Схема аграрного зонування земель та екологічного районування Харківської області*

Fig. 4. Scheme of agrarian land zoning and ecological zoning of the Kharkiv region*

*Джерело: розроблено авторами

вкриті площі) у межах аграрних зон до оптимального шляхом переведення еродованої, малопродуктивної та деградованої ріллі у сіножаті та пасовища, заліснення земель, вапнування кислих

грунтів та гіпсування солонцюватих (табл. 3).

Розраховано фактичне та оптимальне співвідношення земельних угідь у межах аграрних зон Сумської та Харківської областей (табл. 4).

Таблиця 3

Площі переведення ріллі в природні кормові угіддя та ліси, вапнування та гіпсування ґрунтів на території аграрних зон Сумської та Харківської областей, тис. га*

Аграрні зони	Залуження	Заліснення	Вапнування	Гіпсування
Сумська область				
I	1,4	2,4	127,2	-
II	24,4	3,0	185,0	43,2
III	31,8	1,1	79,1	-
IV	0,7	0,13	8,7	3,2
Харківська область				
I	1,4	22,5	18,2	-
II	0,1	1,4	51,4	-
III	1,2	21,1	12,4	-

*Джерело: розраховано авторами

Таблиця 4

Фактичне та оптимальне співвідношення земельних угідь у межах аграрних зон Сумської та Харківської областей*

Аграрні зони	Співвідношення земельних угідь (рілля: природні кормові угіддя : ліси та інші лісовкриті площі)	
	фактичне	оптимальне
Сумська область		
I	1 : 0,64 : 0,89	1 : 0,67 : 0,94
II	1 : 0,34 : 0,13	1 : 0,39 : 0,14
III	1 : 0,32 : 0,40	1 : 0,46 : 0,44
IV	1 : 0,28 : 0,14	1 : 0,29 : 0,15
Харківська область		
I	1 : 0,21 : 0,18	1 : 0,22 : 0,21
II	1 : 0,27 : 0,29	1 : 0,28 : 0,30
III	1 : 0,19 : 0,04	1 : 0,20 : 0,08

*Джерело: розраховано автором на основі звітностей за формою б-зем

На території сільськогосподарських підприємств у межах аграрних зон пропонується проводити заходи з економіко-екологічного управління земельними ресурсами: вирощування сільськогосподарської продукції, яка за міжнародними та державними стандартами якості є конкурентоспроможною на зовнішньому та внутрішньому ринках; пільгове оподаткування виробників екологічно чистої продукції; економічне стимулювання раціонального використання земельних ресурсів.

Економічне стимулювання раціонального використання земельних ресурсів полягає у наданні податкових та кредитних пільг у разі реалізації заходів відповідно до регіональних програм використання та охорони земель, виділення коштів з державного та місцевого бюджетів юридичним та фізичним особам для відновлення попереднього

стану земель, порушених не з їх вини, звільнення від плати за землю за земельні ділянки, що перебувають у стадії освоєння та відновлення їх родючості відповідно до загальнодержавних та регіональних програм використання та охорони земель, компенсацію коштів юридичним та фізичним особам за земельні ділянки, що підлягають консервації чи віднесенню до національного державного резервного фонду. Економічне стимулювання передбачає економію коштів сільськогосподарськими підприємствами в результаті зменшення витрат на екологічні заходи за рахунок виводу з інтенсивного використання еродованих площ земель, що перебувають у складі сільськогосподарського підприємства, шляхом обміну на нееродовані.

Змив ґрунту на території аграрних зон та вартість 1 тони гумусу представлено в табл. 5.

Змив ґрунту в розрахунку т/га за рік та вартість тони гумусу,
дол. США, в межах аграрних зон Сумської та Харківської областей*

Аграрні зони	Змив ґрунту, т / га на рік	Вартість тони гумусу, доларів США
Сумська область		
I	3 – 5	200
II	до 5	200
III	5 – 10	200
IV	3 – 5	200
Харківська область		
I	5 – 10	200
II	3 – 7	200
III	до 5	200

*Джерело: сформовано авторами на основі даних ДП «Сумський науково-дослідний та проектний інститут землеустрою» та ДП «Харківський науково-дослідний та проектний інститут землеустрою»

Викуп земель з метою їх трансформації в інші угіддя повинні проводити місцеві державні адміністрації за розпорядженням відділів державного контролю за використанням та охороною земель, які виявили еродовані землі. Якщо на земельну ділянку, в межах якої розташовані угіддя, що підлягають трансформації, не оформлено право власності чи користування, відділ державного контролю за використанням та охороною земель після отримання розпорядження місцевої державної адміністрації (за місцем розташування земельної ділянки) повинен протягом 30 днів почати відповідні роботи з трансформації. Якщо на земельну ділянку або її частину, в межах якої розташовані угіддя, що підлягають трансформації, оформлено право власності чи користування, то відділ державного контролю за використанням та охороною земель разом з територіальними органами Держгеокадастру України повинні запропонувати власнику чи користувачу рівноцінну земельну ділянку тій, що підлягає вилученню (здійснити обмін земельних ділянок за нормативною грошовою оцінкою відповідно до ст. 132 ЗК) із земель запасу, резервного фонду чи з невитребуваних земельних часток (паїв) за місцем розташування вилученої земельної ділянки. Якщо власник земельної ділянки не погоджується на обмін, вилучена земельна ділянка сільськогосподарського призначення повинна бути викуплена за експертною грошовою оцінкою відповідно до ст. 5 Закону України «Про відчуження земельних ділянок, інших об'єктів нерухомого майна, що на них розміщені, які перебувають у приватній власності, для суспільних потреб чи з мотивів суспільної необхідності». Збитки, заподіяні власнику та користувачу в наслідок вилучення земельної ділянки, повинні бути відшкодовані відповідно до Постанови Кабміну «Про Порядок визначення та відшкодування збитків власникам землі та

землекористувачам». Рекомендуємо Міністерству аграрної політики та продовольства України законодавчо закріпити зазначені положення та прийняти Порядок трансформації угідь, розташованих на еродованих та забруднених землях.

Вилучені земельні ділянки передаються у державну форму власності та формують відповідно до місця розташування національний державний резервний фонд в межах визначеної адміністративно-територіальної одиниці, що сприятиме захисту ринку сільськогосподарських земель від монополістів.

Висновки. Наукова новизна одержаних результатів стосується удосконалення еколого-економічного управління земельними ресурсами сільськогосподарських підприємств в умовах зональності з урахуванням потенціалу аграрних зон. Найбільш вагомими науковими результатами є наступні.

На нашу думку, економіко-екологічне управління земельними ресурсами сільськогосподарських підприємств слід розглядати як діяльність у сільськогосподарському виробництві, яка спрямована на забезпечення населення продовольством та інших галузей національної економіки сировиною за оптимального рівня капіталовкладень у ресурси й їх максимальної віддачі при дотриманні екологічних цілей і програм щодо забезпечення норм і вимог раціонального використання земель сільгосппідприємств з метою одержання екологічно чистої рослинницької та тваринницької продукції при одночасному збереженні природних ресурсів. Економічне управління земельними ресурсами буде здійснюватися через механізм державного контролю за виробництвом сільгосппідприємствами екологічно чистої продукції, збільшення виробництва валової продукції рослинництва та тваринництва. Екологічне управління – через механізм заохочення сільськогоспо-

дарських підприємств у виробництві екологічно чистої продукції.

Підтверджено, що об'єктом економіко-екологічного управління виступає земельно-ресурсний потенціал сільгосппідприємства, суб'єктом управління – органи державної влади та місцевого самоврядування, працівники апарату управління підприємств, землевласники та землекористувачі. Сільськогосподарське підприємство – це самостійний господарюючий статутний суб'єкт, сформований відповідно до зональних ознак території, який має права юридичної особи й основними видами діяльності якого є: вирощування та переробка виробленої якісної, у т.ч. екологічно чистої, сільськогосподарської продукції з високим рівнем товарності на ринку; науково-дослідна діяльність; торговельна й інші види господарської діяльності в аграрному секторі економіки.

Виділено аграрне зонування як галузеве в аграрному секторі економіки, розкрито його компонентну структуру. Доведено, що аграрне зонування – це галузеве зонування земель в аграрному секторі економіки, яке здійснюється за такими класифікаційними ознаками, як співвідношення земельних угідь, коефіцієнт ерозійної небезпеки, змив ґрунту, наявність забруднених територій, відносна однорідність ґрунтово-кліматичних умов, що справляють відбиток на ефективність використання наявних земельних ресурсів, зональні типи сільськогосподарського виробництва, спеціалізація сільгосппідприємств. Аграрна зона включає в себе однорідні земельні масиви з відповідним виробничим потенціалом і рівнем еколого-антропогенного навантаження та дозволяє органам державного управління визначитися з потенційними можливостями виробничої діяльності аграрних підприємств. У межах Сумської області було виділено чотири аграрні зони, Харківської – три. Залежно від належності землекористування до аграрної зони сільськогосподарське підприємство одержує інформацію про

районовані культури, найбільш придатні для вирощування на його території, види сівозмін, технологічні заходи з використання й охорони земель, обмеження на вирощування окремих культур. Такі економічні показники розвитку підприємства, як спеціалізація, концентрація й інтеграція виробництва, при вмілому застосуванні сприятимуть підвищенню ефективності використання земельних ресурсів. Соціально-економічні класифікаційні ознаки аграрного зонування дозволять визначати рівень трудовіддачі та здійснити інтеграцію праці.

Для економічного обґрунтування коефіцієнтів оптимального співвідношення земельних угідь з використанням зонального підходу та для врахування площ еродованих, малопродуктивних і забруднених земель, розташованих на території адміністративно-територіальних одиниць, було визначено оптимальне співвідношення угідь (рілля : природні кормові угіддя : ліси й інші лісовкриті площі): по Сумській області – 1,00:0,43:0,39; по Харківській – 1,00:0,23:0,25. Оптимальна рекомендована розораність території визначена для Сумської області – 49,0; для Харківської – 59,6. Обґрунтовано економічну доцільність і запропоновано порядок трансформації еродованих земель, господарське використання яких за призначенням є економічно не ефективним. Це має сприяти зменшенню обсягів капіталовкладень сільськогосподарських підприємств у виробництво, забезпечити збільшення обсягів екологічно чистої продукції з одиниці площі та підвищення її конкурентоздатності.

При запровадженні досліджень у виробництво, враховуємо, що екологічне зонування дає обмеження на вирощування певних культур з урахуванням локальних особливостей. Запропоновано вводити у сівозміну на забруднених землях виловес і горох, які забезпечують екологічну рівновагу та сприяють очищенню земель від шкідливих елементів.

Список використаної літератури

1. Конституція України: у ред. від 28 червня 1996 р. № 254к/96-ВР // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 1996. – № 30, ст. 141.
2. Земельний кодекс України: у ред. від 25 жовтня 2001 р. № 2768-III // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 2002. – № 3-4, ст. 27.
3. Тейлор Ф. Принципи наукового менеджмента: монографія / Ф. Тейлор. – М.: Контролінг, 1991.
4. Кейнс Дж. М. Общая теория занятости, процента и денег / Дж. М. Кейнс; пер. проф. Н.Н. Любимова. – М.: Гелиос АРВ, 2012. – 352 с.
5. Оуэн Р. Избранные сочинения: в 2-х т. / Р. Оуэн – М., Л.: Изд-во АН СССР, 1950. – 768 с.
6. Ricardo D. (1971). *On the Principles of Political Economy and Taxation*. 1-st edition, 1817. Harmondsworth: Penguin reprint [R. M. Hartwell, editor].
7. Смит А. Исследование о природе и причинах богатства народов / А. Смит. – М.: Эксмо, 2007.
8. Файоль А. Общее и промышленное управление / А. Файоль. – М., 1991. – 388 с.
9. Вервейко А.П. Проблеми формування землекористувань при різних формах власності на землю / А.П. Вервейко // Проблеми ефективного функціонування АПК в умовах нових форм власності та господарювання: кол. монографія у 2-х т. Т. 1 / [за ред. П.Т. Саблука, В.Я. Амбросова, Г.Є. Мазнева]. – К.: ІАЕ, 2001. – С. 119–122.

10. Горохов Г.И. Особенности современного землеустройства и его значение для осуществления Продовольственной программы и развития сельского хозяйства : лекция / Г.И. Горохов. – Х.: ХСХИ, 1984. – 26 с.
11. Горлачук В.В. Управління земельними ресурсами: навч. посібник / [В.В. Горлачук, В.Г. В'юн, А.Я. Сохнич] ; за ред. В.Г. В'юна. – Миколаїв: Вид-во МФ НаУКМА, 2002. – 316 с.
12. Управління земельними ресурсами: підручник / [В.В. Горлачук, В.Г. В'юн, І.М. Песчанська, А.Я. Сохнич та ін.]; за ред. проф. В.В. Горлачука. – [2-ге вид., випр. і переробл.] – Львів: «Магнолія плюс», 2006. – 443 с.
13. Третьяк А.М. Управління земельними ресурсами / А.М. Третьяк, О.С. Дорош; за заг. ред. А.М. Третьяка. – К.: ТОВ «Август Трейд», 2008. – 462 с.
14. Мартин А. Управління земельними ресурсами: пріоритетні завдання на сучасному етапі реформ / А. Мартин // Землевпоряд. вісн. – № 2. – 2008. – С. 30–36.
15. Добряк Д.С. Класифікація та екологобезпечне використання сільськогосподарських земель / Д.С. Добряк, О.П. Канаши, І.А. Розумний. – К., 2001. – 309 с.
16. Канаши О. Схема-карта природно-сільськогосподарського районування території України – презентована! Деталізують її землевпорядники низових структур / О. Канаши // Землевпоряд. вісн. – № 1. – 2007. – С. 30–31.
17. Методичні рекомендації щодо здійснення природно-сільськогосподарського районування (зонування) земель України / Д.С. Добряк, О.П. Канаши, С.О. Осипчук та ін. // Землевпоряд. вісн. – № 4. – 2004. – С. 46–56.
18. Теоретичні засади зонування земель в Україні: монографія / О.С. Дорош, Н.В. Ісаченко, А.Г. Мартин, С.О. Осипчук, Г.К. Лоїк. – К.: МВЦ «Медінформ», 2011. – 183 с.
19. Научно-методические основы природно-сельскохозяйственного районирования Украинской ССР / Б.С. Носко, Р.Г. Деревянко, Б.М. Чепков и др. // Агрехимия и почвоведение. – 1985. – Вып. 48. – С. 3–8.
20. Економіка сільського господарства: підручник / [О.І. Здоровцов, Л.І. Касьянов, В.І. Мацібора, В.Й. Шиян] ; за ред. О.І. Здоровцова, В.І. Мацібори. – К.: Вид-во УСГА, 1993. – 320 с.
21. Larsson G. Land Development by Participation. Stockholm: KTH, 2000.
22. Осипчук С. Зонування земель: теоретико-методологічні підходи з огляду європейської та вітчизняної практики / С. Осипчук // Землевпоряд. вісн. – № 11. – 2009. – С. 18–25.
23. Про зонування земель: проект Закону України [Електронний ресурс] // [Офіційний сайт Верховної Ради України]. – Режим доступу: <http://rada.gov.ua>.
24. Про Державний земельний кадастр: Закон України від 07 липня 2011 р. №3613-VI // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 2012. – № 8, ст. 61.
25. Про генеральну схему планування території України: Закон України від 07 лютого 2002 р. №3059-III // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 2002. – № 30, ст. 204.
26. Економіка сільського господарства: навч. посібник / [В.К. Збарський, В.І. Мацібора, А.А. Чалий та ін.] ; за ред. В.К. Збарського і В.І. Мацібори. – К.: Каравела, 2009. – 264 с.
27. Гудзь В.П., Примак І.Д., Будьонний Ю.В., Танчик С.П. Землеробство: підручник / за ред. В.П. Гудзя. – [2-ге вид., переробл. та доп.] – К.: Центр учб. л-ри, 2010. – 464 с.
28. Бредіхін О. Економічні проблеми охорони земель на нинішньому етапі розвитку земельних відносин / О. Бредіхін // Землевпоряд. вісн. – № 8. – 2012. – С. 13–18.
29. Докучаев В.В. Наши степи прежде и теперь / В.В. Докучаев // Собр. соч. – М., Л.: Изд-во АН СССР, 1951. – Т. 6. – С. 13–102.
30. Козлов Н.В. Современные причины деградации и агроэкологическое состояние пахотных земель Украины / Н.В. Козлов, Н.В. Палапа // Современные проблемы охраны земель. – К.: СОПС Украины НАН Украины, 1997. – Ч. 1. – С. 86–88.
31. Бавровська Н.М. Еколого-економічне обґрунтування раціонального землекористування територіальних соціально-природних комплексів регіону : монографія / Н.М. Бавровська, А.Г. Мартин. – К.: МВЦ «Медінформ», 2012. – 307 с.
32. Созінов О.О. Сучасні деградаційні процеси, еколого-агрономічний стан та оцінка придатності сільськогосподарських земель для створення екологічно чистих сировинних зон і господарств / М.В. Козлов, А.Г. Сердюк та ін. // Агроекологія і біотехнологія: зб. наук. пр. – К., 1998. – Вып. 2. – С. 54–65.
33. Риборські І. Вплив складу угідь на екологічну стабільність території / І. Риборські, Е. Гойке // Землевпорядні роботи в спеціальних умовах. – Татранська Ломніца, 1988. (на словацькій мові).
34. Бяллович Ю.П. Нормативы оптимальной лесистости равнинной части УССР / Ю.П. Бяллович // Лесоводство и агролесомелиорация. – К.: Урожай, 1972. – Вып. 28. – С. 54–65.
35. Загальна характеристика лісів України [Електронний ресурс] / Державне агентство лісових ресурсів України. – Режим доступу: <https://forest.gov.ua/napryamki-diyalnosti/lisi-ukrayini/zagalna-harakteristika-lisiv-ukrayini>

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Improving of ecological and economic management of land resources by with zonal aspect

*Alona Iukhno*¹,

PhD (Economics), Assistant, Department of Land Resources Management and Cadaster,

¹State Biotechnological University, 44 Alchevskikh St., Kharkiv, 61002, Ukraine;

*Volodymyr Opara*²,

PhD (Technics), Professor, Department of Physical Geography and Cartography,

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

*Iryna Buzina*¹,

PhD (Agriculture), Associate Professor, Department of Ecology and Biotechnology

ABSTRACT

Introduction. The development of land relations in Ukraine has led to changes in land management. The redistribution of land as the main national wealth of our state have exacerbated the economic and environmental problems of agricultural land use. Ukrainian agricultural producers must to ensure effective competition, production of environmentally friendly products, focus on the world market and determine the need to improve environmental and economic management of land resources.

The purpose of article. The purpose of the study is the theoretical and methodological justification of ecological and economic management of land resources in the structure of zonal approaches to the formation and development of agricultural enterprises and the development of practical recommendations for improving the efficiency of land use by agricultural producers.

Methods. The research used scientific and methodological foundations of natural-agricultural zoning of the territory of Ukraine, the allocation of taxonomic units of zoning and their main characteristics.

Results of work. The scientific novelty of the obtained results concerns the improvement of ecological and economic management of land resources of agricultural enterprises in the conditions of zoning, taking into account the potential of agricultural areas.

Economic and ecological management of land resources of agricultural enterprises should be considered as an activity in agricultural production aimed at providing the population with food and other sectors of the national economy with raw materials at the optimal level of investment in resources and their maximum return in compliance with environmental goals and programs.

Agricultural zoning as a branch in the agricultural sector of the economy is highlighted, its component structure is revealed. The agrarian zone includes homogeneous land massifs with the corresponding production potential and level of ecological and anthropogenic loading and allows public administration bodies to be defined with potential possibilities of production activity of the agrarian enterprises. Within the Sumy region, four agricultural zones were identified, and in the Kharkiv region, three. Depending on the affiliation of land use to the agrarian zone, the agricultural enterprise receives information on zoning crops most suitable for cultivation on its territory, types of crop rotations, technological measures for land use and protection, restrictions on growing certain crops. Economic indicators of enterprise development, such as specialization, concentration and integration of production, with skillful application will help increase the efficiency of land use. Socio-economic classification features of agricultural zoning will determine the level of labor efficiency and the integration of labor. To economically justify the coefficients of the optimal ratio of land using a zonal approach and to take into account the area of eroded, unproductive and contaminated land located in the administrative-territorial units, the optimal ratio of land was determined (arable land: natural forage lands: forests and other forests): in the Sumy region: 1.00: 0.43: 0.39; in the Kharkiv region: 1.00: 0.23: 0.25.

When introducing research into production, we take into account that ecological zoning restricts the cultivation of certain crops, taking into account local characteristics.

Keywords: *ecological and economic management of land resources, land zoning, agricultural zones, agricultural enterprise, ecological zoning, optimal ratio of land.*

References

1. Verkhovna Rada Ukrainy (1996). *Konstytutsiia Ukrainy [Constitution of Ukraine]*. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254#Text> [in Ukrainian]
2. *Land Code of Ukraine: Adopted 25.10.2001 № 2768-III. Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine (2002). 3-4, 27.* [in Ukrainian]
3. *Teilor F. (1991). Pryntsyipy nauchnoho menedzhmenta: monohrafiya [Principles of scientific management]*. Moscow, Kontrolynh [in Russian]
4. *Keins Dz. (2012). Obshchaia teoriia zaniatosty, protsenta y deneh [General theory of employment, interest and money]*. Moscow, Helyos ARV [in Russian]
5. *Ouen R. (1950) Selected works [General theory of employment, interest and money]*. Moscow, Yzd-vo AN SSSR [in Russian]
6. *Ricardo D. (1971). On the Principles of Political Economy and Taxation. 1-st edition, 1817. Harmondsworth, Penguin reprint [R. M. Hartwell, editor]*.
7. *Smyt A. (2007). Yssledovanye o pryrode y prychnakh bohatsva narodov [A study of the nature and causes of the wealth of peoples]*. Moscow, Eksmo [in Russian]
8. *Faiol A. (1991). Obshchee y promyshlennoe upravlenye [General and industrial management]*. Moscow [in Russian]

9. Verveiko A.P. (2001). *Problemy formuvannya zemlekorystuvan pry riznykh formakh vlasnosti na zemliu [Problems of land use formation with different forms of land ownership]. Problemy efektyvnoho funktsionuvannya APK v umovakh novykh form vlasnosti ta hospodariuvannya: monohrafiia [Problems of effective functioning of agro-industrial complex in the conditions of new forms of ownership and management: monograph]. Kyiv, 119–122 [in Ukrainian]*
10. Horokhov H.Y. (1984). *Osobennosti sovremennoho zemleustroistva y eho znachenye dlia osushchestvleniya Prodo-volstvennoi prohrammy y razvytiya selskoho khoziaistva [Features of modern land management and its importance for the implementation of the Food Program and agricultural development]. Kharkiv [in Russian]*
11. Horlachuk V.V., Viun V.H., Sokhnych A.Ya. (2002). *Upravlinnia zemelnymy resursamy [Land resources management]. Mykolaiv: Vyd-vo MF NaUKMA [in Ukrainian]*
12. Horlachuk V.V., V`yun V.H., Peschanska I.M., Sokhnych A.Ya. (2006). *Upravlinnia zemelnymy resursamy [Land re-sources management]. Lviv: «Mahnoliia plus» [in Ukrainian]*
13. Tretyak A.M., Dorosh O.S. (2008). *Upravlinnia zemelnymy resursamy [Land resources management]. Kyiv: TOV «Avhust Treid» [in Ukrainian]*
14. Martyn A. (2008). *Upravlinnia zemelnymy resursamy: priorytetni zavdannia na suchasnomu etapi reform [Land man-agement: priority tasks at the current stage of reforms]. Messenger of Land Organization, 9, 30-36 [in Ukrainian]*
15. Dobriak D.S., Kanash O.P., Rozumnyi I.A. (2001) *Klasyfikatsiia ta ekolohobezpechne vykorystannia silskohospo-darskykh zemel [Classification and environmentally friendly use of agricultural land]. Kyiv [in Ukrainian]*
16. Kanash O. (2007). *Skhema-karta pryrodno-silskohospodarskoho raionuvannya terytorii Ukrainy – prezentovana! Detalizuiut yii zemlevporiadnyky nyzovykh struktur [The scheme-map of natural-agricultural zoning of the territory of Ukraine is presented! It is detailed by land managers of grassroots structures]. Messenger of Land Organization, 1, 30-31 [in Ukrainian]*
17. Dobriak D.S., Kanash O.P., Osypchuk S.O. (2004). *Metodychni rekomendatsii shchodo zdiisnennia pryrodno-silsko-hospodarskoho raionuvannya (zonuvannya) zemel Ukrainy [Methodical recommendations for the implementation of natural-agricultural zoning (zoning) of lands of Ukraine] Messenger of Land Organization, 4, 46–56 [in Ukrainian]*
18. Dorosh O.S., Isachenko N.V., Martyn A.H., Osypchuk S.O., Loik H.K. (2011). *Teoretychni zasady zonuvannya zemel v Ukraini: monohrafiia [Theoretical principles of land zoning in Ukraine: monograph]. Kyiv: MVTs «Medinform» [in Ukrainian]*
19. Nosko B.S., Derevianko R.H., Chepkov B.M. (1985). *Nauchno-metodycheskye osnovy pryrodno-selskokhoziaistven-noho raionyrovanyia Ukraynskoi SSSR [Scientific and methodological bases of natural-agricultural zoning of the Ukrainian USSR]. Agrochemistry and soil science, 48, 3–8 [in Russian]*
20. O.I. Zdorovtsov, L.I. Kasianov, V.I. Matsyhora, V.Y. Shyian (1993). *Ekonomika silskoho hospodarstva [Agricultural economics] Kyiv: Vyd-vo USHA [in Ukrainian]*
21. Larsson G. (2000). *Land Development by Participation. Stockholm: KTH.*
22. Osypchuk S. (2009). *Zonuvannya zemelj: teoretyko-metodologichni pidkhody z oghljadu jevropejskoji ta vitchyzn-janoji praktyky [Zoning of Land: Theoretical and Methodological Approaches in View of European and Local Prac-tices]. Messenger of Land Organization, 11, 18-25 [in Ukrainian]*
23. Verkhovna Rada Ukrainy (2021). *Pro zonuvannya zemel [About land zoning]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua> [in Ukrainian]*
24. Verkhovna Rada Ukrainy (2011). *Pro Derzhavnyi zemelnyi kadastr [About the State Land Cadastre]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3613-17>*
25. Verkhovna Rada Ukrainy (2002). *Pro heneralnu skhemu planuvannya terytorii Ukrainy [About the general scheme of planning of the territory of Ukraine]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3059-3> [in Ukrainian]*
26. Zbarskiy V.K., Macyhora V.I., Chaliy A.A. (2009). *Ekonomika sils'koghho ghospodarstva [Agricultural economics]. Kyiv, Karavela [in Ukrainian]*
27. Hudz V.P., Prymak I.D., Budonnyi Yu.V., Tanchyk S.P. (2010) *Zemlerobstvo [Agriculture] Kyiv: Tsentr uchb. l-ry. [in Ukrainian]*
28. Bredikhin O. (2012) *Ekonomichni problemy okhorony zemel na nynishnomu etapi rozvytku zemelnykh vidnosyn [Eco-nomic problems of land protection at the current stage of development of land relations] Messenger of Land Organi-zation, 8, 13–18 [in Ukrainian]*
29. Dokuchaev V.V. (1951) *Nashy stepy prezhe y teper [Our steppes before and now]. Moscow: Yzd-vo AN SSSR [in Russian]*
30. Kozlov N.V., Palapa N.V. (1997) *Sovremennye prychyny dehradatsyy y ahroekolohycheskoe sostoianye pakhotnykh zemel Ukrainy [Modern causes of degradation and agroecological condition of arable lands of Ukraine]. Modern problems of land protection. 1, 86–88 [in Russian]*
31. Bavrovska N.M., Martyn A.H. (2012) *Ekoloho-ekonomichne obruntuvannya ratsionalnogo zemlekorystuvannya terytorialnykh sotsialno-pryrodnykh kompleksiv rehionu : monohrafiia [Ecological and economic substantiation of rational land use of terri-torial social and natural complexes of the region: monograph]. Kyiv, MVTs «Medinform» [in Ukrainian]*
32. Sozinov O.O. (1998) *Suchasni dehradatsiini protsesy, ekoloho-ahronomichni stan ta otsinka prydatnosti silskohospodarskykh zemel dlia stvorennia ekolohichno chystykh syrovynnykh zon i hospodarstv [Modern degradation processes, ecological and agronomic condition and assessment of the suitability of agricultural lands for the creation of ecologically clean raw material zones and farms]. Agroecology and biotechnology, 2, 54–65 [in Ukrainian]*
33. Ryborski I., Hoike E. (1988) *Vplyv skladu uhid na ekolohichnu stabilnist terytorii [The impact of land composition on the ecological stability of the territory]. Tatranska Lomnitsa [in Ukrainian]*
34. Biallovykh Yu.P. *Normatyvy optimalnoi lesystosti ravnynnoi chasty USSR [Standards of optimal forest cover of the plain part of the USSR]. Forestry and agroforestry, 28, 54–65 [in Ukrainian]*
35. *Zahalna kharakterystyka lisiv Ukrainy [General characteristics of forests of Ukraine]. Available at: <https://for-est.gov.ua/napryamki-diyalnosti/lisi-ukrayini/zagalna-harakteristika-lisiv-ukrayini> [in Ukrainian]*

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

До «Вісника Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна серія «Геологія. Географія. Екологія», приймаються наукові статті обсягом біля 40 тис. знаків, присвячені дослідженням у галузях геології, геохімії, гідрогеології, географії, економічної та соціальної географії, екології, а також суміжних дисциплін. Матеріали можуть бути представлені українською або англійською мовами. Перевага надається англійським статтям. Рішення про публікацію приймається редакційною колегією „Вісника”, при цьому кожна стаття рецензується двома вченими–фахівцями у даній тематиці.

Матеріали подаються в електронному вигляді та надсилаються на електронну пошту geoco-series@karazin.ua. Електронна версія оформлюється у форматі Microsoft Word, шрифт Times New Roman, розмір 14, міжрядковий інтервал 1,5, всі поля по 2 см, відступ для абзацу – 0,75 см. **Жирним** шрифтом виділяються підзаголовки у статті. Ілюстрації, включаючи графіки і схеми, мають бути розміщені безпосередньо в тексті, а також подані окремими файлами. Скрізь, де можливо, доцільніше використовувати графіки, а не таблиці. Орієнтація сторінок – книжкова. Вирівнювання слід робити по ширині сторінки. Якщо стаття українською, є необхідним дублювання підписів до рисунків та назв таблиць і діаграм англійською.

Згідно вимог ДАК України оригінальна стаття у фаховому виданні має складатися з таких розділів:

1. **Постановка проблеми** у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.
2. **Аналіз останніх досліджень і публікацій**, в яких започатковано розв'язання порушеної проблеми, на які спирається автор; виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття.
3. **Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми**, яким присвячується стаття;
4. **Формулювання мети статті** (постановка завдання).
5. **Виклад основного матеріалу дослідження** з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.
6. **Висновки** з дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі.

Для статей необхідно вказати УДК, подати назву (до 10 слів), анотацію (1800-2500 знаків) та ключові слова (8-10) українською й російською мовами.

На окремому аркуші надається інформація про авторів (прізвище, ім'я та по-батькові, повна назва організації, посада, вчений ступінь і звання, поштова адреса, телефон, e-mail, ORCID) українською, російською й англійською мовами. Перелік посилань оформлюється згідно з ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. До переліку обов'язково повинна бути включена література за останні п'ять років, у тому числі закордонна, а сам перелік повинен містити не менше ніж 20 посилань.

Також є необхідним розгорнутий реферат англійською мовою, оформлений згідно міжнародних вимог до наукових видань. Реферат повинен мати:

- обсяг 2500-3500 знаків,
- змістовність (відобразити головний зміст статті та результати досліджень),
- структурованість (наявність обов'язкових елементів: *мета, методика, результати, наукова новизна, практична значимість, ключові слова*).

Після реферату необхідно навести **References** – перекладений англійською список використаних джерел, який має бути оформлений згідно міжнародного стандарту APA (American Psychological Association). До джерел у списках використаної літератури обов'язково необхідно додавати DOI (за наявності).

Рукописи, не оформлені належним чином, не приймаються до публікації.

Редакція залишає за собою право проводити редакційну правку рукопису.

У разі переробки статті авторами датою надходження рукопису статті в редакцію приймається дата її повторного надсилання.

При підтвердженні позитивного рішення на публікацію статті, автор має оформити та надіслати згоду на публікацію та оприлюднення персональних даних.

Зразок оформлення статті :

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-04>
УДК 551.242:551.77(477)

Надійшла 20 квітня 2022 р.
Прийнята 26 травня 2022 р.

Альпійські тектонічні рухи і соляна тектоніка Східної України

Сергій Володимирович Горайнов,

к. г.-м. н., доцент, завідувач кафедри геології,
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,
майдан Свободи 4, Харків, 61022, Україна,
e-mail: gorjajnov@karazin.ua, <http://orcid.org/0000-0001-7831-6134>

У межах Східної України встановлені неотектонічні рухи, викликані як соляною тектонікою, так і аттичними (післяміоценовими – допліоценовими) насувними дислокаціями. Досліджувалися структурні результати взаємодії аттичних насувних деформацій і соляної тектоніки. Вони частково відображаються в сучасному рельєфі. Опорна поверхня, що відображає ці рухи - висхідно горизонтальна підшва кайнозою Східної України. Морфологія даної поверхні зображувалася ізолініями із кроком 20 м по вертикалі. В основу побудови карти опорної поверхні покладені державні геологічні карти території й дані по більш ніж 2100 свердловин. Відхилення від горизонтального залягання опорної поверхні вказують напрямки й амплітуду деформацій. У результаті побудов виявилися підняття опорної поверхні, не пов'язані з насувами.

Ключові слова: неотектоніка, кайнозой, соляна тектоніка, аттична складчастість, герцинська складчастість, Східна Україна.

Як цитувати: Горайнов С. В. Альпійські тектонічні рухи і соляна тектоніка Східної України / С. В. Горайнов // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 56. – С. 67-75. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-04>

In cites: Goryainov S. V. (2022). Alpine tectonic movements and salt tectonics of Eastern Ukraine. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (56), 67-75. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-04> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. Територія досліджень адміністративно розміщена у Харківській, Луганській, Донецькій та Дніпропетровській областях Східної України. Дослідження присвячено уточненню структурно-тектонічної будови району, що потрібно для розвитку газовидобувної галузі України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наявність неотектонічних рухів Східної України встановлювалася вже давно. У 1936 р. вийшла колективна монографія "Геологический очерк бассейна р. Донца" (під редакцією Д. М. Соболева). В ній, мабуть, вперше для території показано наявність неотектонічних підняттяв земної кори, що відображаються у геоморфологічних рисах її будови [18]. ...

Список використаної літератури

1. Айзенберг Д.Е. Геология и нефтегазонаосность Днепровско-Донецкой впадины. Стратиграфия / Д.Е. Айзенберг, О.И. Берченко, Н.Е. Бражникова и др. / Под ред. Д.Е. Айзенберга; АН УССР, Ин-т геол. наук. – Киев : Наук. думка, 1988. – 148 с. ...

Alpine tectonic movements and salt tectonics of Eastern Ukraine

Sergey Goryainov,

PhD (Geology and Mineralogy), Associate Professor, Head of Department of Geology,
V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

ABSTRACT

Within Eastern Ukraine, in the course of previous studies, neotectonic movements were established, caused by both salt tectonics and Attic (post-Miocene - pre-Pliocene) thrust dislocations of northeastern vergence. They are partially displayed in modern relief.

The aim of the study was to reveal the structural results of the interaction of post-Pliocene fold-thrust deformations and modern salt tectonics of Eastern Ukraine. ...

Keywords: neotectonics, Cenozoic, salt tectonics, Attic orogeny, Hercynian orogeny, Eastern Ukraine.

References

1. Aizenverg D.E., Berchenko O.I., Brazhnikova N.E. et al. (1988). *Geologiya i neftegazonosnost' Dneprovsko-Donetskoj vpadiny. Stratigrafiya [Geology and oil and gas potential of the Dnieper-Donets depression. Stratigraphy]. Kyiv, Naukova Dumka, 148. [in Russian]*

Наукове видання

ВІСНИК
ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
імені В. Н. КАРАЗІНА

серія
«ГЕОЛОГІЯ. ГЕОГРАФІЯ. ЕКОЛОГІЯ»

Випуск 56

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Українською та англійською мовами

Редактор В. Г. Суярко
Технічний редактор О. В. Чуєнко
Комп'ютерне верстання О. В. Чуєнко
Відповідальний за випуск В. Г. Суярко

Підписано до друку 31.05.2022 р. Формат 60x84/8. Папір офсетний.
Друк цифровий. Ум. друк. арк. 28,7. Обл.-вид. арк. 33,2.
Наклад 100 пр. Зам. № 1229/8–22. Ціна договірна.

Видавець та виготовлювач
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,
61022, Харків, майдан Свободи, 4.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.09.