

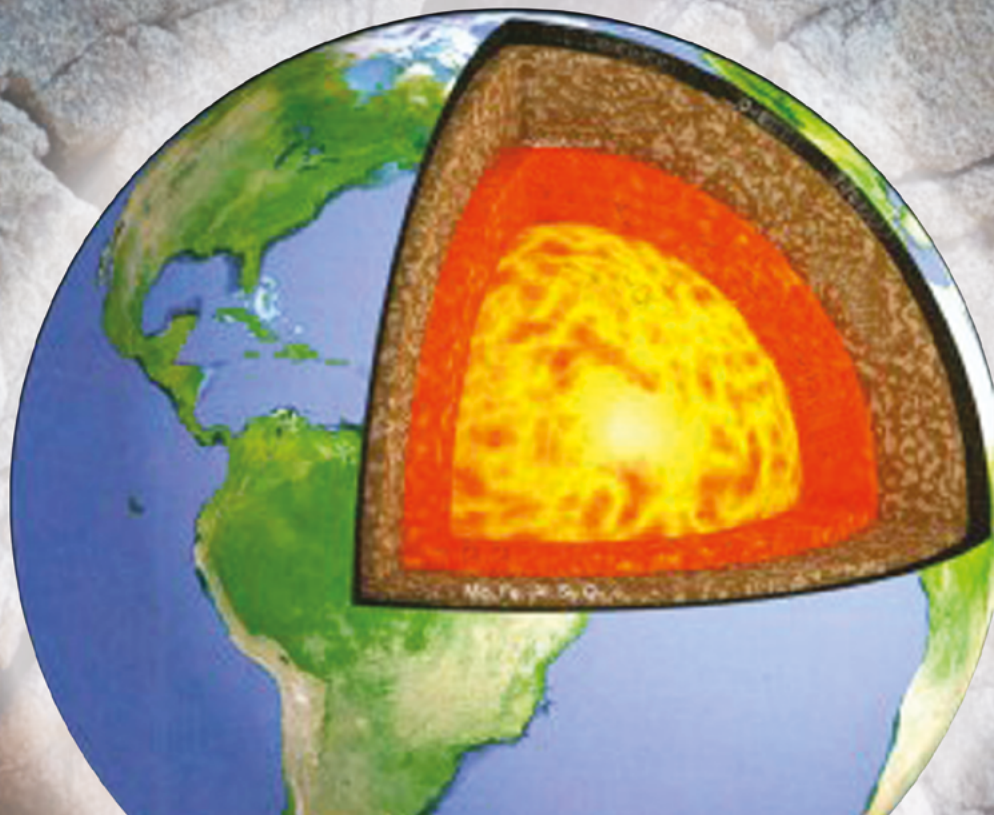
ISSN 1025-6814 (Print)
ISSN 2522-4107 (Online)

ГЕОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ



GEOLOGIČNÍJ ŽURNAL

3 (388)
2024



ЗАСНОВНИКИ:

Національна академія наук України
Інститут геологічних наук НАН України

ВИДАВЕЦЬ:

Інститут геологічних наук НАН України

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ**Головний редактор**

НЕМИРОВСЬКА Т.І. (Інститут геологічних наук
НАН України, Київ, Україна)

Заступник головного редактора

ШЕХУНОВА С.Б. (Інститут геологічних наук
НАН України, Київ, Україна)

АНИСТРАТЕНКО О.Ю. (Інститут зоології
ім. І.І. Шмальгаузена НАН України, Київ, Україна)

БАЯРИ С. (Університет Хасеттепе, Анкара, Туреччина)

БУГАЙ Д.О. (Інститут геологічних наук НАН України,
Київ, Україна)

ДИКАНЬ Н.І. (Інститут геологічних наук НАН України,
Київ, Україна)

ДУБЛЯНСЬКИЙ Ю.В. (Інститут геології і палеонтології
Університету Інсбрука, Інсбрук, Австрія)

КОМАР М.С. (Національний науково-природничий
музей НАН України, Київ, Україна)

КРИВДІК С.Г. (Інститут геохімії, мінералогії та
рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, Київ,
Україна)

МАЛИК ПИТЕР (Відділ гідрогеології та геотермальної
енергії Геологічної служби Словацької Республіки,
Братислава, Словацька Республіка)

МАРКС ЛЕШЕК (Варшавський університет, Варшава,
Польща)

ОЛЬШТИНСЬКА О.П. (Інститут геологічних наук
НАН України, Київ, Україна)

ПЕРИТ ТАДЕУШ МАРЕК (Державний геологічний
інститут, Варшава, Польща)

РІДУШ Б.Т. (Чернівецький національний університет
ім. Федьковича, Чернівці, Україна)

РЯБОКОНЬ Т.С. (Інститут геологічних наук
НАН України, Київ, Україна)

ТЕМОВСКИ М. (Дослідницький центр ізотопної
кліматології та навколишнього середовища
Інституту ядерних досліджень Угорської Академії
наук, Дебрецен, Угорщина)

ФАЙБИШЕНКО Б. (Національна лабораторія
Лоуренса Берклі, Відділ наук про Землю та
навколишнє середовище, Берклі, Каліфорнія, США)

FOUNDERS:

National Academy of Science of Ukraine
Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine

EDITOR:

Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine

EDITORIAL BOARD**Editor-in-Chief**

NEMYROVSKA T.I. (Institute of Geological Sciences
of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

Deputy Editor-in-Chief

SHEKHUNOVA S.B. (Institute of Geological Sciences
of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

ANISTRATENKO O.Yu. (I.I. Schmalhausen Institute
of Zoology of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

BAYARI S. (Hacettepe University, Ankara, Turkey)

BUGAY D.O. (Institute of Geological Sciences
of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

DYKAN N.I. (Institute of Geological Sciences of NAS
of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

DUBLYANSKY Yu.V. (Institute of Geology and
Palaeontology, Innsbruck University, Innsbruck, Austria)

KOMAR M.S. (National Museum of Natural History
of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

KRYVDIK S.G. (M.P. Semenenko Institute of
Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NAS
of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

MALIK PETER (Department of Hydrogeology &
Geothermal Energy, ŠGÚDŠ — Geological Survey
of Slovak Republic, Bratislava, Slovak Republic)

MARKS LESZEK (University of Warsaw, Warsaw, Poland)

OLSHTYNSKA O.P. (Institute of Geological Sciences
of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

PERYT TADEUSZ MAREK (State Geological Institute,
Warsaw, Poland)

RIDUSH B.T. (Fedkovich Chernivtsy National University,
Chernivtsy, Ukraine)

RYABOKON T.S. (Institute of Geological Sciences
of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

TEMOVSKI M. (Isotope Climatology and Environmental
Research Centre, Institute for Nuclear Research,
Debrecen, Hungary)

FAYBISHENKO B. (Lawrence Berkeley National
Laboratory, Earth and Environmental Sciences Area,
Berkeley, CA, USA)

Ідентифікатор друкованого медіа в Реєстрі суб'єктів у сфері медіа R30-03389, присвоєний згідно з рішенням № 751 від 14.03.2024 р. Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення

Рекомендовано до друку редакційною колегією журналу

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції серія ДК № 4631 від 14.10.2013 р.

ГЕОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ



GEOLOGIČNII
ŽURNAL

3 (388)
2024

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ
ЗАСНОВАНИЙ
У БЕРЕЗНІ 1934 РОКУ
ВИХОДИТЬ 4 РАЗИ НА РІК
КИЇВ

Зміст

Дослідницькі та оглядові статті

- Котляр О.Ю., Серобян В.* Деякі циртоспірiferо-їдні брахіоподи нижнього фамену (верхній девон) Волино-Подільської плити (захід України) **3**
- Черевко І.А., Кріль Т.В., Безродний Д.А.* Неруйнівні методи встановлення причинно-наслідкового зв'язку аварій водонесучих мереж та умов збереження архітектурної спадщини **11**
- Павлунь М.М., Генералов А.В., Генералова Л.В., Костюк О.В.* Верхньокрейдово-нижньоеоценові аргіліти Зовнішніх Карпат (петрохімічний та палеогеодинамічний аспекти) **31**
- Гнідець В.П., Григорчук К.Г., Павлюк М.І., Кошіль Л.Б., Яковенко М.Б.* Особливості літологічної будови та розвитку порід-колекторів і резервуарів вуглеводнів у середньодевонських відкладах південної частини Тузлівської депресії (Переддобрудзький прогин) **48**
- Ляшенко В.І., Дудар Т.В., Шаповалов В.А.* Дослідження та оцінка запасів корисних копалин на основі автоматизованого геоінформаційного системного забезпечення на прикладі Новокосянтинівського родовища урану **61**
- Охоліна Т.В., Внукова Н.М., Кузьманенко Г.О., Ремезова О.О.* Використання інтегрального показника для визначення пріоритетних ділянок титано-цирконієвих розсипів **79**

Із історії науки

- Іванов Д.В., Аністратенко О.Ю., Вернигорова Ю.В.* Наукова спадщина та палеонтологічна колекція члена-кореспондента НАН України Володимира Миколайовича Семененка (до 90-річчя з дня народження) **89**

Contents

Research and Review Papers

- Kotlyar O.Yu., Serobyany V.* Some lower Famennian (Upper Devonian) cyrtospiriferid brachiopods from the Volhyn-Podillian plate (western Ukraine) **3**
- Cherevko I.A., Kril T.V., Bezrodnyi D.S.* Non-destructive methods of establishing a cause-and-effect relationship between water supply network accidents and the conditions for preserving architectural heritage **11**
- Pavlun M.M., Heneralov A.V., Heneralova L.V., Kostyuk O.V.* Upper Cretaceous–Lower Eocene mudstones of the Outer Carpathians (petrochemical and paleogeodynamic aspects) **31**
- Hnidets V.P., Hryhorchuk K.H., Pavlyuk M.I., Koshil L.B., Yakovenko M.B.* Features of the lithological structure and development of reservoir rocks and hydrocarbon reservoirs in the Middle Devonian sediments of the southern part of the Tuzliv depression (Dobrudja Foredeep) **48**
- Lyashenko V.I., Dudar T.V., Shapovalov V.A.* Research and assessment of mineral reserves based on automated geo-information system support using the example of the Novokostiantyniv uranium ore deposit **61**
- Okholina T.V., Vnukova N.M., Kuzmanenko H.O., Remezova O.O.* Using the integral indicator to determine Ti-Zr priority areas of placers **79**

From the History of Science

- Ivanov D.V., Anistratenko O.Yu., Vernyhorova Yu.V.* Scientific heritage and paleontological collection of Corresponding Member of the NAS of Ukraine Volodymyr M. Semenenko (to the 90th anniversary of birthday) **89**

Адреса редакції:

01601 Київ-54, вул. О. Гончара, 55-б
Інститут геологічних наук НАН України
Тел: 486-38-76
E-mail: geojournal@igs-nas.org.ua

Відповідальний секретар Н.І. Дугіна

Редактор І.І. Смаль

Технічний редактор С.О. Шадріна

Комп'ютерна верстка Н.К. Резнік

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.3.309864>
UDC 564.8:551.734.5 (477)

E-mail: olegkotlyar1947@gmail.com,
<https://orcid.org/0009-0005-5794-3776>;
vahramserobyanyan@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0001-7536-7294>

*Corresponding author /
Автор для кореспонденції:
O.Yu. Kotlyar, olegkotlyar1947@gmail.com

Received / Надійшла до редакції:
10.07.2023

Received in revised form /
Надійшла у ревізованій формі:
12.08.2024

Accepted / Прийнята:
30.08.2024

Keywords: *Brachiopoda*; *Spiriferida*;
Upper Devonian; Famennian; Volhyn-
Podillian plate; western Ukraine.

Ключові слова: *Brachiopoda*;
Spiriferida; верхній девон; фаменський
ярус; Волино-Подільська плита; захід
України.

Some lower Famennian (Upper Devonian) cyrtospiriferid brachiopods from the Volhyn- Podillian plate (western Ukraine)

O.Yu. Kotlyar^{1*}, V. Serobyanyan²

¹ Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine; ² Institute of Geological Sciences of the NAS of the Republic of Armenia, Yerevan, Republic of Armenia

Деякі циртоспірiferоїдні брахіоподи нижнього фамену (верхній девон) Волино-Подільської плити (захід України)

О.Ю. Котляр^{1*}, В. Серобян²

¹ Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна; ² Інститут геологічних наук Національної академії наук Республіки Вірменія, Єреван, Вірменія

This study provides the first documentation of lower Famennian spiriferide brachiopods from the Volhyn-Podillian plate in western Ukraine, specifically from the Lokachi, Torchyn, Kowel', and Velyki Mosty boreholes in the Volhyn and Lviv regions. The examined assemblage comprises three species: *Cyrtospiriferinae* gen. indet., *Tornatospirifer* sp., and *Cyrtiopsis*? sp. Albeit with some uncertainty regarding the latter genus, this marks the first record of these genera in Ukraine, thereby extending the palaeobiogeographic distribution of the subfamily Cyrtiopsinae.

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2024. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2024. This is an Open Access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Citation: Kotlyar O.Yu., Serobyanyan V. 2024. Some lower Famennian (Upper Devonian) cyrtospiriferid brachiopods from the Volhyn-Podillian plate (western Ukraine). *Geologičnij žurnal*, 3 (388): 3–10. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.3.309864>

Цитування: Котляр О.Ю., Серобян В. Деякі циртоспірiferоїдні брахіоподи нижнього фамену (верхній девон) Волино-Подільської плити (захід України). *Геологічний журнал*. 2024. № 3 (388). С. 3–10. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.3.309864>

Introduction

The Devonian Period was a time of significant evolutionary advancements and ecological shifts within the marine part of the biosphere. Among the numerous marine invertebrates that flourished during this period, brachiopods were particularly abundant and diverse, thriving in shallow-water tropical and subtropical marine environments (Ma and Day, 1999; Curry and Brunton, 2007; Alroy, 2010). Consequently, brachiopods have been widely considered valuable biostratigraphic markers and are crucial for understanding the changes that occurred during the Devonian. However, during the Late Devonian interval, their diversity declined through multiple pulses of extinction, particularly around the Frasnian–Famennian (F–F) boundary (McGhee, 1996; Racki and House, 2002; Huang et al., 2018). Although it is evident that brachiopods experienced severe losses at the F–F boundary, the extent of the crisis’s impact on brachiopod diversity and the dynamics of their post-extinction recovery remain poorly understood in many study areas. This lack of understanding is particularly true for the brachiopods from the Volhyn–Podillian area in western Ukraine. The Famennian spiriferides from this area were first examined by Samsonowicz (1950), who recovered two species from the Busk borehole near Lviv and identified them as *Spirifer archiaci* Murchison, 1840 and *S. murchisonianus* Verneuil, 1845. Regrettably, the illustrations were not accompanied by detailed serial sections or morphological descriptions, which preclude a definitive assignment of these species. Pomyanovskaya (1974, 1991) conducted a more detailed study on the stratigraphic distribution of the Upper Devonian brachiopods from boreholes in the Volhyn–Podillian plate. She reported the presence of 75 species, but did not provide any illustration or description of the brachiopods. Unfortunately, the current location of the material examined in the aforementioned studies is unknown. Despite these taxonomic studies, as well as more recent work by O. Kotlyar (Kotlyar, 1980, 2011, 2021; Kotlyar et al., 2013), the taxonomy and biostratigraphy of the Upper Devonian brachiopod assemblages from Ukraine remain largely undocumented. This is especially true for the cyrtospiriferid species of the Frasnian–Famennian critical interval.

The prime objective of this contribution is to assess the taxonomy of three cyrtospiriferid species (*Cyrtospiriferinae* gen. indet., *Tornatospirifer* sp., and *Cyrtiopsis?* sp.) described herein from the lower Famennian recovery interval of the Volhyn–Podillian plate.

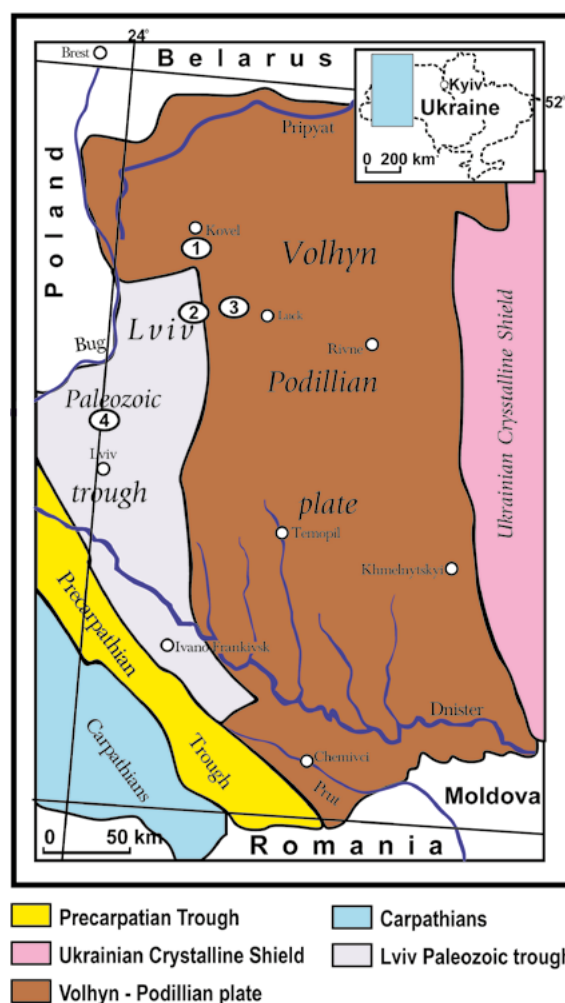


Fig. 1. Geographical location of the Volhyn–Podillian plate and its tectonic zonation. Boreholes with brachiopod species described in this paper: 1 – The Kowel’ borehole area; 2 – The Lokachi borehole area; 3 – The Torczyn borehole area; 4 – The Velyki Mosty borehole area

Stratigraphy and geological setting

The study area is located in the south-western segment of the East European Platform (Fig. 1). Here, the Famennian strata form an elongated monocline between the north-western blocks of the Ukrainian Shield (so-called Kowel’ projection of the foundation) and the Carpathian Geosyncline. The western submerged part of this monocline represents Lviv Paleozoic trough (or depression). Two distinct Famennian regional stratigraphic units, the Kowelian and Novovolhynian regional stages, were distinguished in this area by Kotlyar (2021). The lower Famennian Kowelian regional stage includes the Sadovian Horizon. The latter could be correlated with the *triangularis* to *crepida* conodont zones and possibly partly to the *rhomboidea* Zone (Drygant, 2010). The lower part of the Sadovian Horizon is characterized by a succession of marine facies represented by nodular limestones and marlstones. Based on limited materials only from ten boreholes we consider the iden-

tification of any brachiopod zones to be currently incorrect. The lower part of the Sadovian Horizon may be correlated with the Zadonskian Horizon of the East European Platform (*triangularis* to *crepida* conodont zones), whereas its upper part correlates with the Eletzian Horizon (*rhomboidea* conodont Zone). The middle and upper Famennian Novovolhynian regional stage is characterized by regressive succession of subcontinental rocks (sandstones and siltstones with rare marlstone lenses). Litovezhian, Zakhidny-Bugian and Volodymir-Volhynskian horizons were recognized within this regional stage (Kotlyar, 2021). These strata are dated only by palynological data (Ivanina, 2018). The brachiopod specimens examined in this study were recovered from the Sadovian Horizon.

Material and methods

The brachiopod specimens illustrated and investigated herein come from the Lokachi and Torchyn boreholes, located west of the city of Lutsk, and the Kowel' borehole area, situated close to the town of Kowel', as well as the Velyki Mosty borehole area, located north of the city of Lviv (see Fig. 1). Most of the specimens, recovered from boreholes, are either partially preserved, represented by single disarticulated valves, or are corroded. The internal morphology of specimens was investigated by using the standard technique of serial sections and acetate peels. The fossils were photographed with a camera Panasonic DMC-ZC1 with Leica-Lumix optics after being coated with ammonium chloride.

Repositories and abbreviations: All illustrated material is stored in the Department of Palaeontology and Stratigraphy of Palaeozoic Sediments of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv (IGS NASU).

Systematic palaeontology

The supraspecific classification of this study follows the one suggested by Carter et al. (1994) and Johnson (2006).

Order Spiriferida Waagen, 1883

Suborder Spiriferidina Waagen, 1883

Superfamily Cyrtospiriferoidea Termier & Termier, 1949

Family Cyrtospiriferidae Termier & Termier, 1949

Subfamily Cyrtospiriferinae Termier & Termier, 1949

Cyrtospiriferinae gen. indet.

Pl. 1, Fig. 1a–c

Material. Two incomplete ventral valves from the Lokachi-4 borehole, depth interval 475–480 m; one in-

complete ventral valve presumably representing this species comes from the lower part of the Sadovian Horizon in the Velyki Mosty-1 borehole, depth interval 1390–1394 m; two incomplete ventral valves come from the upper part of the lower Famennian in the Kowel'-5448 borehole, depth 117.7 m and the Kowel'-5447 borehole, depth 272 m, and one ventral valve with high interarea from the latter borehole, depth 305 m; three fragments of the ventral valves come from the same borehole, depth interval 330–334 m; two incomplete ventral valves and one dorsal valve presumably belonging to this species were found in same borehole at depth interval 377–378 m; one ventral valve comes from the Lokachi-6 borehole, depth 618 m and two fragments of ventral valves from the same borehole, depth interval 718–722 m.

Remarks. The specimens consist of poorly preserved, medium-sized (up to 40 mm in width, 33 in length and 23 mm in thickness) ventral valves, which are markedly inflated with flanks sloping steeply towards the lateral commissures and posteriorly hemipyramidal in lateral profile. The cardinal extremities are acute. The specimens are widest at the hinge line and have a prominent umbo terminating with a straight to inclined, acute beak. The ventral interarea is very high, nearly catacline, with a narrow delthyrium (height/width ratio of three to four). The sulcus is poorly preserved, becoming perceptible starting at the midlength and more prominent towards the anterior margin. Ornamentation is preserved only on the left flank of the illustrated specimen and consists of low, flattened, simple costae, which become progressively thicker anteriorly. The examined material is assigned to the subfamily Cyrtospiriferinae rather than Cyrtiopsinae, based on its wide hinge line and acute cardinal extremities. It is worth noting that the nearly catacline ventral interarea and the markedly high and narrow delthyrium are more indicative of the genus *Tenticospirifer* Tien, 1938, as revised by Ma and Day (2000), than *Cyrtospirifer* Nalivkin in Fredericks, 1924, as revised by Ma and Day (2003). However, representatives of *Tenticospirifer* generally display smaller shells and are known only from the Frasnian strata. A better comparison of this material to the aforementioned genera is hampered due to the insufficiency of our material. Therefore, from the generic viewpoint, these specimens are left in open nomenclature pending the collection of better-preserved material.

Occurrence. Sadovian Horizon, lower Famennian, *triangularis-crepida* zones, northern part of the Volhyn-Podillian plate, Ukraine.

Subfamily Cyrtiopsinae Ivanova, 1972

Genus *Tornatospirifer* Serobyanyan et al., 2022

Type species: *Cyrtiopsis senceliae armenica* Abrahamyan, 1974 (by original designation)

Tornatospirifer sp.

Pl. 1, Figs. 2–3; Fig. 2

Material. Two complete shells and four ventral valves from the Torchyn-201 borehole, depth interval 310–319 m; two ventral valves from the Kowel'-5447 borehole, depth interval 334–338 m and one ventral valve from the depth interval 310–315 m; one ventral valve from Lokachi-1 borehole, depth interval 498–500 m.

Description. Shell medium-sized (up to 29 mm in width, 24 mm in length and 16 mm in thickness), wider than long, markedly ventribiconvex, rounded

subpentagonal in outline, widest at about mid-length; cardinal extremities obtuse or slightly mucronate (although these features are not well-preserved in the specimens we examined); anterior commissure uniplicate.

Ventral valve strongly inflated, with convex flanks sloping moderately towards lateral commissures; umbo inflated, prominent; beak unobserved (due to poor preservation); interarea apsacline, triangular, moderately high, well-defined, slightly concave; delthyrium relatively wide, covered by pseudodeltidium formed by several distinct plates with a minute foramen at its top; sulcus relatively wide, moderately deep, originating from beak, widening and becoming deeper anteriorly, round-bottomed at front; tongue relatively high, wide, subtriangular to subcircular in outline.

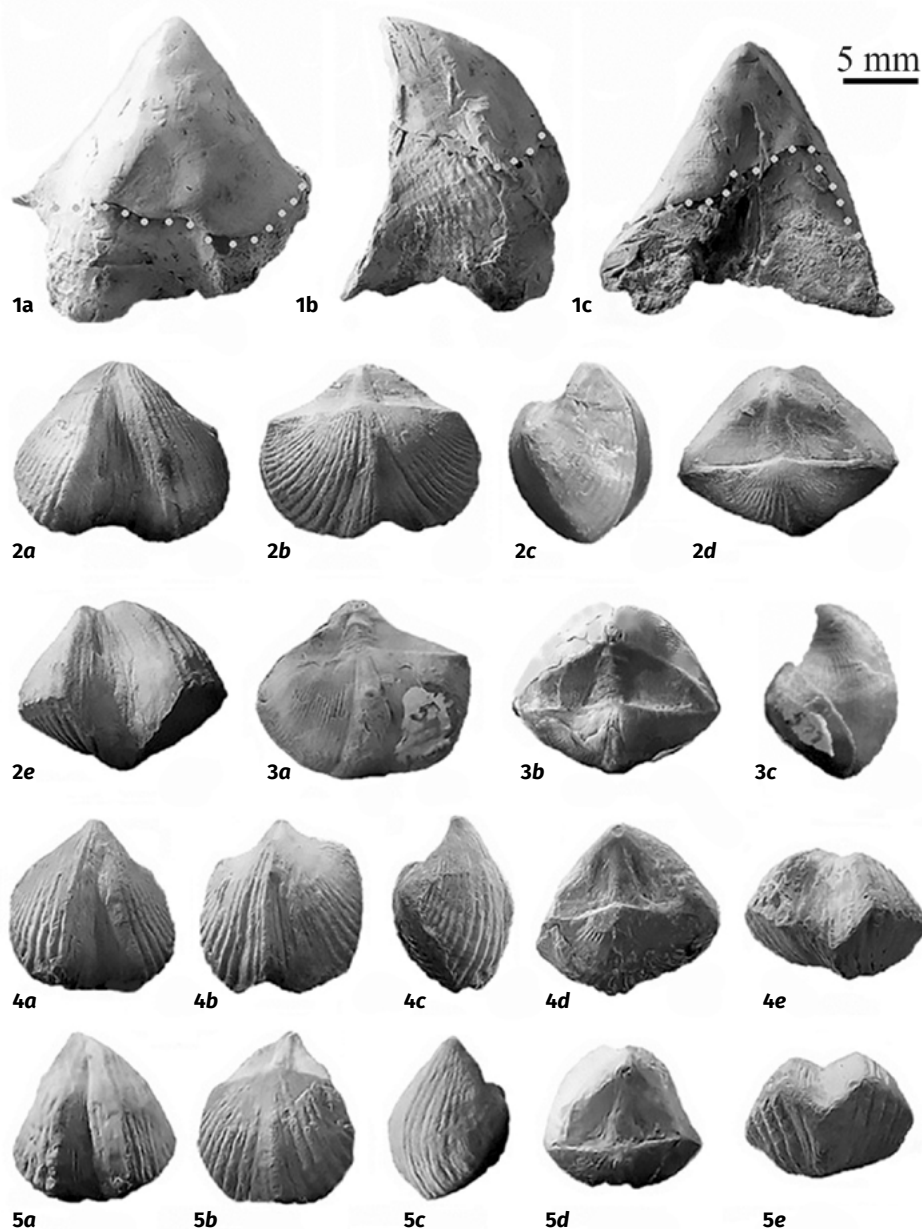


Plate 1. Lower Famennian cyrtospiriferid brachiopods from the Volhyn-Podillian plate: 1a–c – *Cyrtospiriferinae* gen. indet. from the Lokachi-4 borehole, depth 446 m. Specimen IGS NASU-573/2, incomplete ventral valve in oblique anterior, oblique lateral and posterior views. Apical part restored with plasticine (the boundary between the fossil and the reconstructed part of the shell is shown by a dashed line). 2a–3c – *Tornatospirifer* sp. IGS NASU-578/2, partly exfoliated specimen from the Kowel'-5447 borehole (depth 334 m) in oblique ventral, dorsal, oblique lateral, posterior and oblique anterior views (2a–e). IGS NASU-577/1, partly exfoliated specimen from the Torchyn-201 borehole (depth interval 310–319 m) in dorsal, posterior and lateral views (3a–c). 4a–5e – *Cyrtiopsis?* sp. from the Lokachi-3 borehole, depth 635 m. IGS NASU-566/5, almost complete specimen in oblique ventral, dorsal, oblique lateral, posterior and anterior views (4a–e). IGS NASU-566/6, partly exfoliated specimen in oblique ventral, dorsal, oblique lateral, posterior and anterior views (5a–e).

Dorsal valve moderately inflated with convex flanks sloping gently to moderately towards lateral commissures, rounded rectangular in outline; interarea linear, nearly flat, orthocone; fold relatively wide, well-defined, moderately high, originating from beak, widening and becoming relatively higher anteriorly, round-topped at front.

Ornamentation of up to 29 rounded, simple, flattened, low ribs on each flank becoming thicker anteriorly; in sulcus and on fold, up to 14 ribs, increasing by bifurcation, much narrower than those present on flanks; ribs twice as wide as interspaces on the entire shell.

Ventral valve interior (Fig. 2) with long, subparallel to slightly divergent dental plates; delthyrial plate short; central and lateral apical cavities large and poorly filled in by callus; teeth small, subrectangular.

Dorsal valve interior unobserved due to deficient preservation.

Remarks. Serobyán et al. (2022) erected the genus *Tornatospirifer*, designating *Cyrtiopsis senceliae armenica* Abrahamyan, 1974, as the type species, primarily based on specimens from the Lesser Caucasus that feature a short delthyrial plate. They noted that among all genera attributed to the subfamily Cyrtiopsinae Ivanova, 1972, a delthyrial plate is observed only in the genus *Pseudocyrtiopsis* Ma and Day (1999). This genus was created to include species that resemble *Cyrtiopsis* Grabau, 1923, but differ by having a wide hinge line and a delthyrial plate. Although Ma and Day (1999), and later Gourvenec and Carter (2007), assigned *Pseudocyrtiopsis* to the subfamily Cyrtiopsinae, Serobyán et al. (2022) explained that due to its wide hinge line, the latter genus should be re-assigned to the

subfamily Cyrtospiriferinae, according to Johnson's (2006) classification. Thus, *Tornatospirifer* Serobyán et al., 2022, rather than *Pseudocyrtiopsis* Ma and Day, 1999, appears to be the only genus in the subfamily Cyrtiopsinae that possesses a delthyrial plate.

The material examined in this study displays a brachythyrid shell and also possesses a short delthyrial plate, and is therefore assigned to the lower Famennian genus *Tornatospirifer*. Additionally, it is worth noting that the ornamentation of our specimens appears to be variable. Some specimens (e.g., IGS NASU 578/2; Pl. 1, Fig. 2) exhibit coarser and fewer ribs on the flanks compared to others (e.g., IGS NASU 577/1; Pl. 1, Fig. 3), which display more numerous and finer ribs. Currently, it is difficult to determine whether these variations are due to palaeoecological factors or if the examined material includes both a nominal species and a subspecies, given the insufficiency of material. Therefore, these differences are considered here as expressions of intraspecific variability, pending the collection of additional specimens. The Ukrainian material, particularly the specimens with finer ribs, appears to be close to *Tornatospirifer armenicus* (Abrahamyan, 1974), but differs from the latter in their smaller size, less convex shell, and deeper sulcus. Comparing the internal morphology and micro-ornamentation of these species is challenging due to the poor state of preservation of the Ukrainian specimens. Consequently, the insufficiency of our material precludes a definitive identification at the species level.

Occurrence. Sadovian Horizon, lower Famennian, *triangularis-crepida* conodont zones, northern part of the Volhyn-Podillian plate, Ukraine.

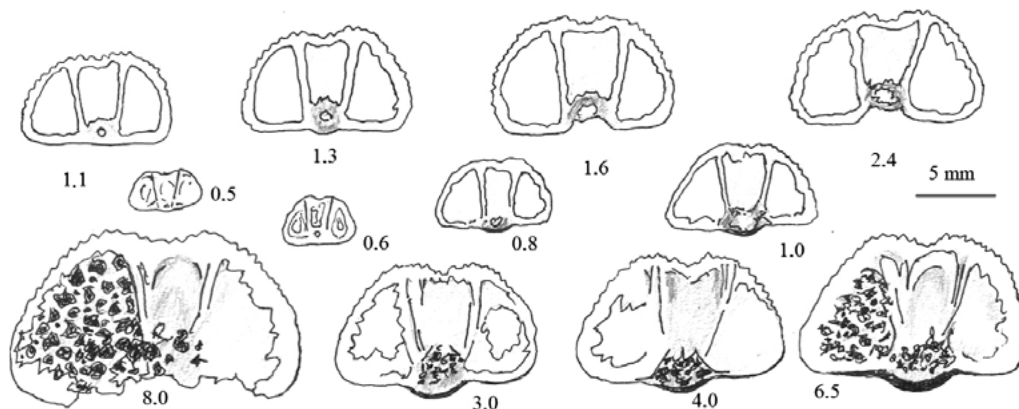


Fig. 2. Transverse serial sections of *Tornatospirifer* sp. (IGS NASU-578/5), Kowel'-5447 borehole, depth 310 m. Numbers refer to distance in mm measured from the top of the ventral umbo

Genus *Cyrtiopsis* Grabau, 1923

Type species: *Cyrtiopsis davidsoni* Grabau, 1923 (by subsequent designation by Grabau, 1931)

Cyrtiopsis? sp.

Pl. 1, Figs. 4–5; Fig. 3.

Material. Lokachi-3 borehole, depth interval 645–649 m: 28 complete to nearly complete shells and 55 fragments of shells and single valves, including 10 juvenile specimens; Lokachi-4 borehole, depth interval 498–500 m: two juvenile specimens; Velyki Mosty-13 borehole, depth 1124 m: two ventral valves.

Description. Shell medium-sized (reaching 16 mm in width, 18 mm in length and 10 mm in thickness), longer than wide to as wide as long, ventribiconvex, widest at about mid-length or slightly anteriorly; cardinal extremities obtuse or rounded (although the latter are poorly preserved in our examined material); anterior margin nearly straight to emarginate; anterior commissure uniplicate.

Ventral valve inflated with convex flanks sloping moderately towards lateral commissures; highest in the posterior third of the valve, then decreasing progressively towards anterior margin; umbo inflated; beak unobserved; interarea triangular, high, well-defined, high and apsacline; delthyrium relatively wide, closed by a pseudodeltidium (?), with a minute foramen near the apex; sulcus well-defined, moderately deep, originating from beak, widening and becoming deeper anteriorly, flat- to slightly round-bottomed at front; tongue wider than high, subtriangular in outline.

Dorsal valve slightly inflated, subquadrangular to subtrapezoidal in outline, with flanks sloping gently to moderately towards the lateral commissures; interarea linear, flat to slightly concave, orthocline; fold moderately low, originating from beak, round-topped at front.

Ornamentation of up to 16 coarse ribs on each flank (4–5 ribs per 5 mm at anterior margin near sul-

cus and fold), becoming coarser anteriorly; in sulcus and on fold, up to 8 ribs, increasing by bifurcation, narrower than those present on flanks; ribs twice as wide as interspaces on the entire shell; micro-ornament not preserved.

Ventral valve interior (Fig. 3) with relatively thin, long, intrasinal or subsinal dental plates, slightly divergent posteriorly then becoming subparallel anteriorly; delthyrial plate absent; central and lateral apical cavities large and poorly filled in by callus. Dorsal valve interior (Fig. 3) with ctenophoridium; spiral cones not preserved in the sectioned specimens.

Remarks. The external and internal features observed in the studied specimens, such as the medium-sized brachythyrid shell, obtuse or rounded cardinal extremities, ventribiconvex profile, nearly subparallel to slightly divergent dental plates, absence of a delthyrial plate, and presence of a ctenophoridium, indicate affinities to the genus *Cyrtiopsis* Grabau, 1923, as revised by Ma and Day (1999). However, it is doubtfully assigned to this genus, since representatives of *Cyrtiopsis* generally display a very broad sulcus with rounded lateral boundaries and fine ribs, in contrast to the clearly defined sulcus and coarse ribs observed in the Ukrainian material. Moreover, most *Cyrtiopsis* species possess a supported ctenophoridium, whereas in our specimens, it is unsupported. Additionally, further comparison with other *Cyrtiopsis* species is currently hampered by the poor state of preservation of the Ukrainian specimens, which prevents determination of important taxonomic features such as micro-ornament and type of pseudodeltidium. Thus, this assignment appears to be the most satisfactory at this stage, pending the collection of additional material to enable a more confident identification.

Occurrence. Sadovian Horizon, lower Famennian, *triangularis-crepida* conodont zones, northern part of the Volhyn-Podillian plate, Ukraine.

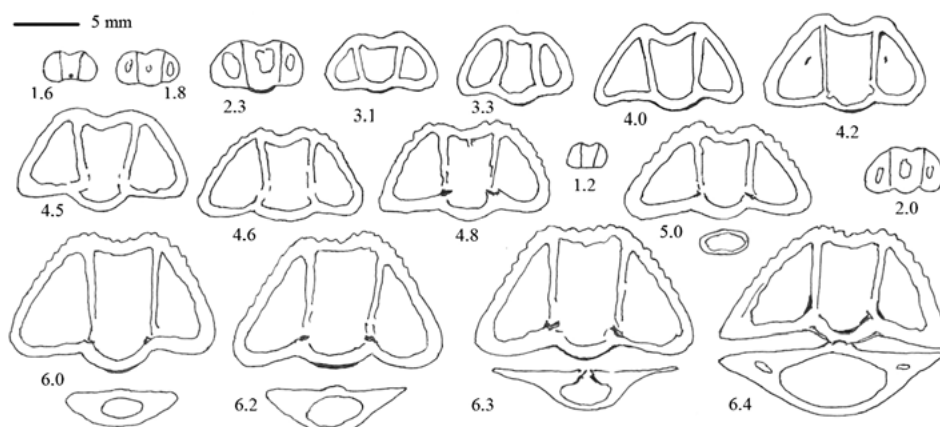


Fig. 3. Transverse serial sections of *Cyrtiopsis?* sp. (IGS NASU-566/15), Lokachi-3 borehole, depth 645 m. Numbers refer to distance in mm measured from the top of the ventral umbo

Conclusions

The taxonomic assessment of brachiopods collected from the drilling cores of the Lower Famennian strata of the Volhyn-Podillian plate has led to the identification of three cyrtospiriferide species: *Cyrtospiriferinae* gen. indet., *Tornatospirifer* sp., and *Cyrtiopsis?* sp. This study represents the first documentation of the genera *Tornatospirifer* and *Cyrtiopsis?* (albeit with some uncertainty regarding the latter) not only in the Volhyn-Podillian plate but also across the entire territory of Ukraine. These findings underscore the significance of studying the lower Famennian strata of the Volhyn-Podillian plate for understanding the diversity within the subfamily *Cyrtiopsinae* and shedding light on the recovery of brachiopods following the Frasnian-Famennian crisis. However, further investigations

of the Ukrainian material are urgently needed to refine our understanding of the taxonomy and biostratigraphy of Upper Devonian brachiopod assemblages.

Acknowledgements. O. Kotlyar's research was carried out under the budget project "Late Precambrian and Phanerozoic biota of Ukraine: biodiversity, revision of systematic composition and phylogeny of leading groups", which is being implemented at the IGS NASU (No. 0122U001609). This study was supported by the Higher Education and Science Committee of MESCS RA (Research project 22RL-016). The manuscript benefited from the reviews of Dr. Andrzej Baliński and Dr. Vitaly Dervov, to whom we are greatly indebted. The authors wish to express their gratitude to Dr. Vladyslav Poletaev for his helpful comments.

У цьому дослідженні вперше задокументовано нижньофаменські циртоспірiferоїдні брахіоподи із Волино-Подільської плити на заході України, зокрема зі свердловин Локачинської, Торчинської, Ковельської та Великомоствівської площ буріння у Волинській та Львівській областях. До складу вивченого комплексу входять три види: *Cyrtospiriferinae* gen. indet., *Tornatospirifer* sp. і *Cyrtiopsis?* sp. Незважаючи на певну невизначеність щодо останнього роду, це перший опис та зображення представників цих родів в Україні, що розширює наше уявлення про палеобіогеографічне поширення підроду *Cyrtiopsinae*.

References

- Abrahamyan M.S. 1974. Description of fauna, Devonian System, Phylum Brachiopoda, brachiopods. In: Akopian V.T. (Ed.), *Atlas of the fossil fauna of the Armenian SSR*. Yerevan: Akademiya Nauk Armyanskoy SSR, Institut Geologicheskikh Nauk, pp. 48–64 (in Russian).
- Alroy J. 2010. The shifting balance of diversity among major marine animal groups. *Science*, 329: 1191–1194.
- Carter J.L., Johnson J.G., Gourvenec R., Hou H F. 1994. A revised classification of the spiriferid brachiopods. *Annals of the Carnegie Museum*, 63: 327–374.
- Curry G.B., Brunton C.H.C. 2007. Stratigraphic distribution of brachiopods. In: Selden P.A. (Ed.), *Treatise on Invertebrate Palaeontology, Part H, Brachiopoda (Revised)*. 6, Supplement. Geological Society of America and University of Kansas, Boulder, Colorado and Lawrence, Kansas, pp. 2901–3081.
- Drygant D.M. 2010. Devonian conodonts of the SW margin of the East-European platform (Volhyn-Podilla, Ukraine). Kyiv: Akadempriodyka (in Ukrainian).
- Gourvenec R., Carter J.L. 2007. Spiriferida and Spiriferinida. In: Kaesler R.L. (Ed.), *Treatise on Invertebrate Palaeontology, Part H, Brachiopoda (Revised)*. Vol. 6. Geological Society of America and University of Kansas Press, Lawrence, Kansas and Boulder, Colorado, pp. 2772–2796.
- Grabau A.W. 1923. Stratigraphy of China. Part 1. Palaeozoic and older. Geological Survey of China, Beijing, 200 pp. (201–528 [1924]).
- Grabau A.W. 1931. Devonian Brachiopoda of China, 1: Devonian Brachiopoda from Yunnan and other districts in South China. *Palaeontologia Sinica, Series B*, 3: 1–545.
- Frederiks G.N. 1924. On the Upper Carboniferous spiriferids of the Urals. *Izvestiya Geologicheskogo Komiteta*, 38: 295–324 (in Russian).
- Huang C., Song J., Shen J., Gong Y. 2018. The influence of the Late Devonian Kellwasser events on deep-water ecosystems: evidence from palaeontological and geochemical records from South China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 504: 60–74. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2018.05.006>
- Ivanina A.V. 2018. Famennian palynostratigraphy of the Volyn-Podilla margin of the East-European platform. *Dnipro University Bulletin. Geology and Geography*, 26(1): 71–78. DOI: <https://doi.org/10.15421/111808>
- Ivanova E.A. 1972. Main features of spiriferid evolution (Brachiopoda). *Paleontological Journal*, 3: 309–320.
- Johnson J.G. 2006. Cyrtospiriferoides (part). In: Kaesler R.L. (Ed.), *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part H, Brachiopoda 5 (Revised)*. Vol. 5. Geological Society of America and University of Kansas Press, Boulder, Colorado and Lawrence, Kansas, pp. 1722–1732.
- Kotlyar O.Ye. 1980. On the characteristic of the Upper Devonian deposits from the Lvov Paleozoic trough. *Tektonika i stratigrafia*, 19: 75–80 (in Russian).
- Kotlyar O.Yu. 2011. The Devonian stratigraphic Scheme of the Volhyn-Podilla: Step to modernisation. *Tektonika i stratigrafia*, 38: 51–66 (in Ukrainian).
- Kotlyar O.Yu. 2021. Biostratigraphy and correlation of Devonian deposits in the south-west segment of the East-European platform by Brachiopods. *Geologichnij žurnal*, 3 (376): 74–85. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2021.3.228312> (in Ukrainian).
- Kotlyar O.Yu., Konstantinenko L.I., Berchenko O.I. 2013. Devonian. Volhyn-Podilla and Dnipro-Donets Depression. In: Gozhik P.F. (Ed.), *Stratigraphy of the Upper Proterozoic and Phanerozoic in Ukraine*. Kyiv: Logos, pp. 200–246 (in Ukrainian).
- Ma X.P., Day J. 1999. The late Devonian brachiopod *Cyrtiopsis davidsoni* Grabau 1923, and related forms from central Hunan of South China. *Journal of Paleontology*, 73: 608–624.
- Ma X.P., Day J. 2000. Revision of Tenticospirifer Tien, 1938, and morphologically similar spiriferid brachiopod genera from the Late Devonian (Frasnian) of Eurasia, North America, and Australia. *Journal of Paleontology*, 74: 444–463.
- Ma X.P., Day J. 2003. Revision of North American and selected Eurasian Late Devonian (Frasnian) species of *Cyrtospirifer* and *Regelia* (Brachiopoda). *Journal of Paleontology*, 77: 267–292.

- McGhee G.R. 1996. The Late Devonian mass extinction. The Frasnian/Famennian Crisis. Columbia University Press, New York.
- Oleneva N.V. 2016. Devonian brachiopods of the orders Spiriferida and Spiriferinida of the European Russia and Transcaucasia: systematics, shell microstructure. *Paleontological Journal*, 50: 1207–1296.
- Pomyanovskaya G.M. 1974. The Volyn-Podolian Outskirt of the East-European Platform. In: *Stratigraphy of the USSR*. Vol. 4. Part 2. Devonian. Kyiv: Naukova Dumka, pp. 36–99 (in Ukrainian).
- Pomyanovskaya G.M. 1991. Devonian of the SW part of the Russian Platform. In: *Stratigraphy and paleontology of the Devonian, Carboniferous and Permian at the Russian Platform*. Leningrad: Izdatelstvo VSEGEI, pp. 54–63 (in Russian).
- Racki G., House M.R. 2002. Late Devonian biotic crisis: ecological, depositional and geochemical records. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 181: 1–374.
- Serobyanyan V., Danelian T., Crônier C., Grigoryan A., Mottequin B. 2022. New and revised cyrtospiriferid (Spiriferida) brachiopods from the lower Famennian (Upper Devonian) of Armenia. *Journal of Paleontology*, 96: 839–858. <https://doi.org/10.1017/jpa.2022.9>
- Termier H., Termier G. 1949. Essai sur l'évolution des Spiriféridés. *Notes et Mémoires, Service géologique, Division des Mines et de la Géologie (Maroc)*, 74: 85–112.
- Tien C.C. 1938. Devonian Brachiopoda of Hunan. *Palaeontologia Sinica. New Series B*, 4: 1–192.
- Waagen W.H. 1883. Salt Range Fossils, I. Productus-Limestone Fossils. Brachiopoda. *Palaeontologia Indica, Memoirs, Series 13*, 4: 391–546.

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.3.307769>
УДК 624.131.1:550.34

E-mail: ira071165@yahoo.com,
<https://orcid.org/0000-0001-7083-6119>;
kotkotmag@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-4324-9231>;
manifc2@ukr.net,
<https://orcid.org/0000-0001-7463-7133>

*Corresponding author /
Автор для кореспонденції:
T.V. Kril, kotkotmag@gmail.com

Received / Надійшла до редакції:
07.04.2024

Received in revised form /
Надійшла у ревізованій формі:
04.07.2024

Accepted / Прийнята:
30.08.2024

Keywords: Kyiv-Pechersk Lavra; emergency leaks; electrotomography, natural electric field, architectural monuments, hydrogeological monitoring.

Ключові слова: Києво-Печерська лавра; аварійні витіки; електротомографія; природне електричне поле; архітектурні пам'ятки; гідрогеологічний моніторинг.

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2024. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2024. This is an Open Access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Неруйнівні методи встановлення причинно-наслідкового зв'язку аварій водонесучих мереж та умов збереження архітектурної спадщини

I.A. Черевко¹, Т.В. Кріль^{2*}, Д.А. Безродний³

¹ Національний заповідник «Києво-Печерська лавра», Київ, Україна; ² Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна; ³ Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, Київ, Україна

Non-destructive methods of establishing a cause-and-effect relationship between water supply network accidents and the conditions for preserving architectural heritage

I.A. Cherevko¹, T.V. Kril^{2*}, D.S. Bezrodnyi³

¹ National Reserve "Kyiv-Pechersk Lavra", Kyiv, Ukraine; ² Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine; ³ Taras Shevchenko Kyiv National University, Kyiv, Ukraine

Accidents on water supply networks have the most significant negative consequences on the state of the historical and architectural heritage, which was formed over many centuries. The paper analyzes the cause-and-effect relationship between accidents of water-carrying networks and the conditions of architectural heritage preservation using the example of the Kyiv-Pechersk Lavra. The results of determining waterlogging zones and their factors by non-destructive monitoring methods on the territory of the Metropolitan Garden of the Upper Lavra are given. This area combines complex engineering and geological conditions and technogenic mastering, creating conditions for developing dangerous engineering and geological processes and emergency situations. In terms of danger, the garden's territory belongs to unstable areas for preserving historical monuments of the UNESCO world heritage. The last accident on the water supply networks occurred in October 2022. It caused sinkholes on the surface, rising groundwater levels, significant destruction of an underground structure of historical importance – the Metropolitan Cellar. The research was carried out using the methods of electrotomography and natural electric field. The results of electrotomography were interpreted using two- and three-dimensional models. The existence of an anomalous dome (soils of low resistance), which is observed in the central part of the site, is probably the focus of waterlogging of the soil mass as a result of an accident on the heating network. The analysis of the adapted 3D model based on the results of non-destructive methods of monitoring the geological environment made it possible to indirectly establish the places of unsatisfactory technical condition of engineering networks (cold water supply), where a wetted section with low values of apparent resistance was recorded. Research has confirmed the presence of an inflow of man-made waters (leaks) from main water supply networks in the western part of all profiles as a constant source and factor of waterlogging of the array of soil bases of architectural monuments – Monastyrski walls, Kushnyka tower, etc. Based on the research results, the need to develop compensatory measures to strengthen part of the fortress walls was proposed, and a safe distance for moving networks from historical objects was substantiated to preserve them.

Цитування: Черевко І.А., Кріль Т.В., Безродний Д.А. Неруйнівні методи встановлення причинно-наслідкового зв'язку аварій водонесучих мереж та умов збереження архітектурної спадщини. *Геологічний журнал*. 2024. № 3 (388). С. 11–30. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.3.307769>

Citation: Cherevko I.A., Kril T.V., Bezrodnyi D.A. 2024. Non-destructive methods of establishing a cause-and-effect relationship between water supply network accidents and the conditions for preserving architectural heritage. *Geologichnyi žurnal*, 3 (388): 11–30. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.3.307769>

Вступ

Об'єкти архітектури вагомого історичного значення, що знаходяться під захистом ЮНЕСКО, такі як Національний заповідник «Києво-Печерська лавра» (Kyiv..., 2024), мають досліджуватися спеціальними неруйнівними методами. До них відносяться такі геофізичні методи досліджень, як методи електротомографії (ЕТ), природного електричного поля (ПЕП). Вони дозволяють проводити діагностику підземних комунікацій, локальних неоднорідностей у ґрунтах, встановлювати витоки з мереж водогону, рівні ґрунтових вод (РГВ) тощо (Johnson, 1962; Burkart et al., 2007; Tsourlos, Tsokas, 2011; Nemedá, 2013; Balasco et al., 2022). Проте застосування цих методів потребує даних спостережних гідрогеологічних та розвідувальних свердловин для підвищення точності інтерпретації. Вплив техногенезу урбанізованих територій на історичні ареали та умови збереження пам'яток особливо відображаються на гідрогеологічній ситуації та інженерно-геологічних умовах (Шестопапов, 1991; Hayashi et al., 2009; Зуєвська, 2013; Hassan, Abbas, 2015; La Vigna, 2015, 2022).

Нами проводиться системний моніторинг споруд історико-архітектурного значення та інших об'єктів на території Києво-Печерської лаври (Demchyshyn, Kril, 2019; Kril, Shekhunova, 2019; Hudak et al., 2020; Комплексне..., 2023; Мацола та ін., 2023, 2023; Kril, Cherevko, 2023; Kril et al., 2023). У заповіднику з 90-х років ХХ ст. діє гідрогеологічний моніторинг, що включає 48 спостережних свердловин за змінами РГВ та три гідрофізичних пости по п'ять мінісвердловин кожний за ступенем зволоження ґрунтів, окремі історичні пам'ятки облаштовані геодезичними марками та реперами для контролю деформацій та розкриття тріщин, на нестабільних за розвитком інженерно-геологічних процесів та явищ ділянках періодично виконуються дослідження неруйнівними методами ЕТ та ПЕП.

Однією з нестабільних ділянок за природними та техногенними факторами для збереження об'єктів історичної спадщини є територія Митрополичого саду (Чередніченко, 2006; Архипенко, Гаврусєва, 2008; Kril, Cherevko, 2023; Kril et al., 2023). Такі фактори, як літологічний склад ґрунтів основ, високий рівень залягання ґрунтових вод, насиченість території інженерними спорудами та комунікаціями

у незадовільному технічному стані, створюють загрози розвитку небезпечних інженерно-геологічних процесів, пошкодження об'єктів історико-культурної спадщини.

Митрополичий сад знаходиться на території Верхньої лаври в межах лесового плато. Абсолютні відмітки – 182–189 м, площа ділянки становить 2,6 га. Сад оточують історичні будівлі: корпуси № 92 – Монастирські мури, № 88 – башта Кущника, № 5, 6, 31, в центральній частині розташована підземна споруда № 9 – Митрополичий льох із трьома відгалуженнями. На глибині 1,5–2 м прокладено мережі холодного та гарячого водогону (рис. 1). Корпуси № 5, 88, 92 мають III та IV категорію технічного стану – непридатні до нормальної експлуатації, аварійні відповідно до (Настасова..., 2017).

Відомо кілька аварійних випадків на мережах водогону в межах цієї території. Остання аварійна ситуація утворилась внаслідок прориву магістральної тепломережі 27.10.2022 р. (Комплексне..., 2023). Потік пульпи об'ємом близько 300 м³, сформований витоками гарячої води і перезволоженого ґрунту лесової товщі, було винесено в інтер'єри підземної споруди № 9 (рис. 2). Внаслідок цього на денній поверхні утворились провали розмірами 10 × 7 × 2 (h) м, (9–10) × 6 × 2 (h) м, 4 × 4 × 2 (h) м (див. рис. 1), а підземну споруду було фактично знищено. Один із провалів вимив ґрунти основ та розкрив фундаменти Монастирських мурів (ділянка № 1, корпус № 92). РГВ у гідрогеологічних спостережних свердловинах (ГСС) 3 та 102, розташованих на відстані близько 40–50 м від місця прориву, піднялись на 1–1,5 м (за даними моніторингових замірів від 31.10.2022 р.).

Метою даного дослідження було детальне визначення зон перезволоження та їх чинників неруйнівними методами моніторингу (ЕТ та ПЕП) на території Митрополичого саду, а також визначення площі та глибини перезволоження ґрунтового масиву і наявності / відсутності пустот та замулення існуючих підземних порожнин.

Для досягнення мети виконано такі завдання: збір та аналіз інженерно-геологічних досліджень території Митрополичого саду; проведення польових робіт геофізичними методами ЕТ та ПЕП за визначеними профілями; якісна та кількісна інтерпретація даних

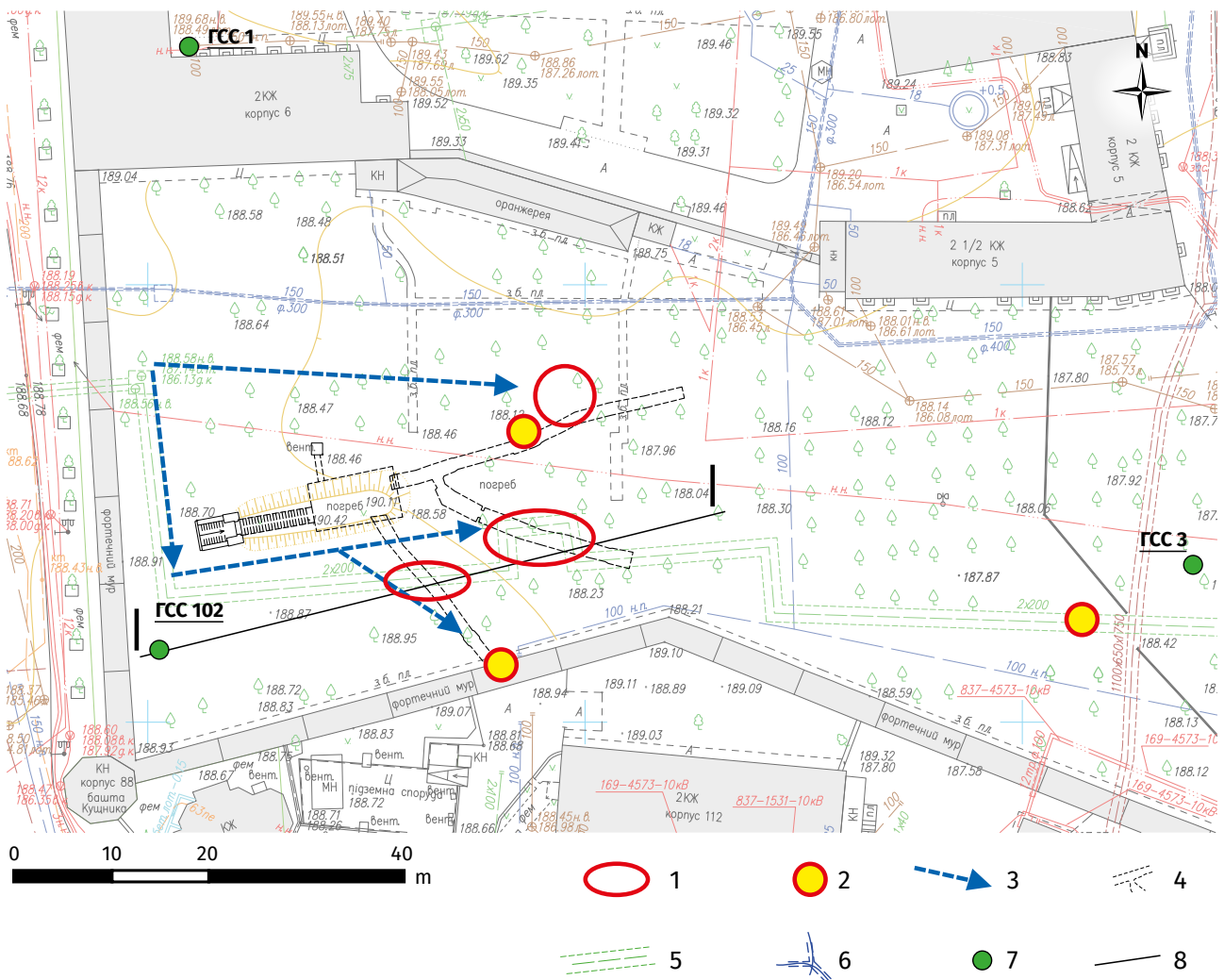


Рис. 1. Територія Метрополічного саду: 1 – провали після аварії 27.10.2022 р.; 2 – провали, проявлені через два місяці після аварії через ущільнення перезволоженого ґрунту; 3 – напрямок руху аварійних витоків; 4 – контури підземної споруди; 5 – мережа гарячого водогону (понад 60 °С); 6 – мережа холодного водогону; 7 – гідрогеологічні спостережні свердловини; 8 – лінія інженерно-геологічного розрізу

Fig. 1. The territory of the Metropolitan's Garden: 1 – sinkholes after the accident on October 27, 2022; 2 – sinkholes that appeared two months after the accident due to consolidation of waterlogged soils; 3 – direction of emergency leaks flow; 4 – contours of the underground structure; 5 – heat supply lines (hot water – 60°C); 6 – cold water supply lines; 7 – hydrogeological observation wells; 8 – line of engineering and geological section

методу ЕТ, побудова вертикальних розрізів позірних опорів – ізоом; кількісна інтерпретація аномалій природного поля, побудова карти потенціалів природного поля ΔU ; адаптація результатів натурних методів ЕТ та ПЕП спостережень до техногенних умов території досліджень із використанням ГІС-технологій; встановлення зон та напрямків фільтраційних процесів через аварійні витоків; інтерпретація даних та встановлення причинно-наслідкового зв'язку аварії та умов збереження пам'яток.

Об'єктом дослідження були компоненти геологічного середовища території Метрополічного саду разом із інженерними мере-

жами водогону, підземними спорудами та іншими штучними утвореннями. **Предметом** дослідження були геофізичні поля та зміни електромагнітних властивостей компонентів техногенного та геологічного середовища – позірного електричного опору, потенціалів природного поля. Морфологічні особливості геофізичних полів закономірно залежать від розподілу фізичних властивостей речовини у ґрунтовій товщі. Геофізичні аномалії в межах території досліджень розглядаються як пошукові ознаки при інтерпретації матеріалів та встановленні причинно-наслідкових зв'язків аварій та стану компонентів геологічного середовища, наявності пустот у ньому.



Рис. 2. Наслідки аварії у Митрополичому саду: а – утворення провалів; б – винос ґрунту у підземну споруду № 9 внаслідок суфозійних процесів, контури пульпи показано червоним пунктиром; в – суфозійний винос ґрунту під фундаментами Монастирських мурів, фото І.А. Черевко, 7 листопада 2022 р.

Fig. 2. Consequences of the accident in the Metropolitan Garden: а – the formation of sinkholes; б – removal of soil into the underground structure No. 9 as a result of suffusion processes, the contours of the pulp are shown in red dashed lines; в – soil suffusion under the foundations of the Monastery's walls, photo by I.A. Cherevko, November 7, 2022

Матеріали та методи

Геофізичні дослідження виконано у жовтні 2023 р., майже через рік після аварії (Мацола та ін., 2023). Методика польових робіт являє собою комплекс, що включає польові спостереження з технологією безпосередньої первинної обробки та інтерпретації польових даних (Moon, Spencer, 1988; Mauriello et al., 1998; Blome et al., 2009; Coscia et al., 2011; Бондар, 2021).

Розбивку профілів проведено за допомогою рулетки із заходу на схід ділянки досліджень. Винесені на місцевість пікети в межах профілів прив'язані GPS-координатами до універсальної поперечної системи координат Меркатора (UTM) (datum WGS 84, zone 36 N) за допомогою навігатора Garmin GPS Map 62s. Спостереження методом ЕТ виконано за трьома профілями: профілі I та II мережею 5 × 5 м, профіль III – мережею 5 × 10 м (рис. 3). Використано сучасне електророзвідувальне обладнання АВЕМ Terrameter LS 2 (Швеція).

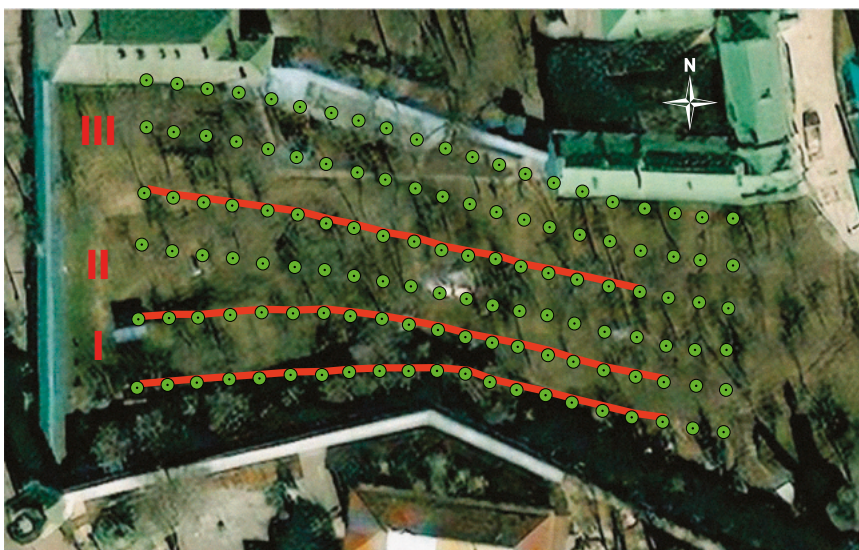


Рис. 3. Положення ЕТ профілів (червоні лінії) та фізичні точки спостережень для ПЕП профілів (зелені точки)

Fig. 3. Place of ET profiles (red lines) and physical observation points for NEF profiles (green points)

Загальний обсяг фізичних спостережних точок методом ЕТ склав 621 од. Обсяг контрольних та повторних спостережень сягнув 5 % від загальної кількості точок. Абсолютна похибка інверсії електрометричних даних становила для профілю I – 3,4 % (п'ята ітерація), профілю II – 6,6 %, профілю III – 2,9 % (четверта ітерація).

Метод ЕТ передбачає багаторазове використання в якості живильних та вимірювальних електродів одних і тих же положень, фіксованих на профілі спостережень. Це дозволяє зменшувати або збільшувати загальну кількість числа робочих положень електродів при істотній зміні щільності вимірювань у порівнянні зі звичайними вертикальними електричними зондуваннями (ВЕЗ). Рівновіддаленість електродів дає змогу отримувати значення позірною електричного опору по вертикалі як у логарифмічному масштабі (класичний варіант методом ВЕЗ), так і в лінійному (Вижва та ін., 2014).

Польові дані поетапно опрацьовано в програмному застосунку Terrameter LS Toolbox – для зчитування даних і отримання первинного псевдорозрізу з приладу Terrameter LS 2 (ABEM..., 2023).

У процесі інтерпретації при вирішенні задачі інверсії електрометричних даних (обернена задача) використано Res2dinv (двовимірна інверсія) та Res3dinv (тривимірна інверсія) – програмні комплекси обробки та інтерпретації результатів досліджень (Rapid..., 2023). «Псевдоелектричні» розрізи за профілями будували в автоматичному режимі. РГВ та границі літологічних шарів відбудовували з урахуванням даних ГСС 3 та 102.

Якісна інтерпретація даних за методом ЕТ була спрямована на визначення загальних закономірностей геологічної будови ділянки досліджень та оцінки ймовірних зон розущільнення та перезволоження. На цьому етапі були встановлені зв'язки між особливостями будови геоелектричного розрізу та параметрами кривих електричних зондувань. Виконана побудова карти типів кривих зондувань і карт ізом по виділених горизонтах, отримані вертикальні розрізи позірних опорів.

Кількісна інтерпретація кривих полягала у визначенні потужностей і питомих опорів геоелектричних горизонтів, автоматизованому підборі теоретичної кривої електричного зондування, яка найкраще збігається з експериментальною (натурним розрізом) (Огильви, 1990; Mauriello

et al., 1998; Loke et al., 1999; Coscia et al., 2011; Williams et al., 2018; Бондар, 2021). Значення позірною опору (Ом·м) обчислювали за формулою:

$$\rho_n = K \frac{\Delta U}{I},$$

де K – коефіцієнт установки, м; ΔU – різниця потенціалу на приймальних електродах, В; I – сила струму на живильних електродах, А.

За результатами робіт та проведеної якісної та кількісної інтерпретації побудовані три геоелектричні розрізи на глибину до 24 м.

Спостереження методом ПЕП виконано способом потенціалів відповідними профілями (див. рис. 3). Враховуючи високу стабільність сучасних неполяризованих електродів, спостереження проведено від єдиної базової точки з одночасною ув'язкою початкових точок профілів.

Загальний обсяг фізичних точок методом ПЕП склав 1594 од. Обсяг контрольних та повторних спостережень сягнув 15 % від загальної кількості точок. Під час виконання досліджень було здійснено згущення мережі спостережень з метою локалізації виявлених аномалій поля, згідно з поставленими завданнями використано мережу 5×5 м, після згущення в окремих місцях були проведені дослідження за мережею 1×5 м.

На етапі якісної інтерпретації проведених детальних спостережень на карті потенціалів природного поля ΔU спершу були виділені аномальні зони з інтенсивністю, яка перевищувала похибку спостережень і коливання поля нормального фону. У межах цих аномальних зон виділено та простежено від профілю до профілю окремі аномалії. Встановлені їх положення та протяжність, зроблені висновки про їх природу, враховуючи геологічну будову (ГСС 102). При цьому бралось до уваги те, що на ділянках розвитку фільтраційних процесів (підйом РГВ) від'ємними значеннями аномалій природного поля фіксуються області припливу (притоку) води, а додатними – області її розвантаження. Проведено амплітудно-морфологічний аналіз аномалій природного поля з метою картування різних за літологією ґрунтових утворень ділянки робіт відповідно до алгоритмів, представлених у роботі (Вижва та ін., 2014).

При встановленні положення і протяжності аномалій були враховані як геоморфологічні, гідрогеологічні та технічні умови ділянки (проведення ремонтних робіт після аварії), котрі суттєво вплинули на інтенсивність аномалій і стали причиною перериву аномальних зон, так

і результати спостережень іншими методами, перш за все методами електропрофілювання.

За видом кривих в аномальних областях здійснена спроба з'ясування характеру об'єкта (окреме тіло чи комплекс) та були визначені орієнтовні глибини поверхні ґрунтових вод.

За результатами кількісної інтерпретації аномалій природного поля визначено напрямок розвантаження підземних вод, а також місця фільтрації техногенних витоків, оцінено їх орієнтовне місцезнаходження з урахуванням результатів ЕТ.

Адаптація результатів та побудова 3D моделі проведені шляхом накладання у ГІС-середовищі карти ПЕП та трьох геоелектричних розрізів на топооснову з основними інженерними мережами та комунікаціями, архітектурними пам'ятками. Інтерпретація даних, встановлення причинно-наслідкового зв'язку аварії та умов збереження пам'яток виконано із залученням даних багаторічного гідрогеологічного моніторингу. Детальний аналіз отриманої моделі дозволив встановити просторове положення наявних ділянок перезволоження з урахуванням присутніх у межах ділянки комунікацій та інших штучних споруд.

У даних дослідженнях було використано: Схему інженерного захисту території, масштаб 1:1000 (Інженерний..., 2012); План сучасного стану території Заповідника, масштаб 1:500 (План..., 2012); дані інженерно-геологічних досліджень (Власенко, 1962; Николишин, 1983, 1987; Геологическая..., 1984; Демчишин, Рибін, 1998; Архипенко, Коняшин, 2018); геодезичний план (масштаб 1:500); дані інженерно-геологічних вишукувань, моніторингових гідрогеологічних спостережень; результати історичних та археологічних досліджень, технічна документація (Чередніченко, 2006; Звіряка та ін., 2012).

Результати

Гідрогеологічні умови території досліджень

На території Києво-Печерської лаври поширені три ґрунтових водоносних горизонти: у четвертинних еолово-делювіальних і озерно-льодовикових відкладах на плато (Верхня лавра, верхня частина схилів), у четвертинних делювіальних ґрунтах на схилах і повсюдно в олігоценових (харківських) пісках (Рибін та ін., 2001). Okремо слід виділити тимчасовий водоносний горизонт типу верховодки, який утворюється

на поверхні водотривких шарів (моренні суглинки, бурі та строкаті глини), що залягають на незначній глибині на території Нижньої лаври (Господарче подвір'я, Ближньопечерний пагорб, Дальньопечерний пагорб). Вода міститься у насипних та делювіальних ґрунтах (супіски, суглинки), потужність горизонту змінюється від 1,0 до 2,5 м, глибина залягання – від 0,4 до 3,0 м. Водоносний горизонт формується головним чином унаслідок інфільтрації атмосферних опадів та витоків з водонесучих мереж. При незначній потужності існування горизонту в часі досягає до 5–7 місяців.

Багаторічні режимні спостереження показали, що основні порушення природного гідрогеологічного режиму зумовлені як природними, так і техногенними факторами, а саме акумуляцією поверхневого стоку, витокami з водонесучих комунікацій, значним припливом з боку мереж загальноміського значення (рис. 4). Витоків з комунікацій неодноразово призводили до локального формування верховодки, різких підйомів РГВ, затоплення підвалів, перезволоження і деформацій конструкцій будівель, витоків у вигляді джерел у саду Ближніх печер. Коливання РГВ зазвичай мають циклічний характер, річна амплітуда становить 0,4–1,5 м, але в разі витоків із комунікацій спостерігаються різкі підйоми до 2,0–4,6 м.

РГВ у межах Верхньої лаври знаходяться на відмітках 169,0–181,0 м, за весь період спостережень (1990–2023 рр.) найвищі рівні фіксувались у 1994–1996, 2008–2009 та 2018–2019 рр. В останні роки довготривалі підйоми рівнів спостерігались у свердловинах, розташованих найближче до вул. Лаврська, де проходять міські магістралі водонесучих мереж. Багаторічна амплітуда коливань у режимних свердловинах ГСС 1 (розташована біля корпусу № 6) та ГСС 102 (біля башти Кушника, корпус № 88) сягнула близько 1,7 м.

На території Гостинного двору Нижньої лаври, де кількість свердловин обмежена, коливання РГВ зазвичай мають циклічний характер – найвищі рівні спостерігаються навесні щорічно, а найнижчі – восени. Річна амплітуда змінюється в діапазоні 0,4–1,5 м.

На схилах Лаврського яру ґрунтові води залягають на глибині від 0,9 до 3,2 м від денної поверхні (зафіксовані ГСС у саду Ближніх печер) з абсолютними позначками 147,8–161,2 м. Потужність водоносного горизонту – 1,0–5,0 м.

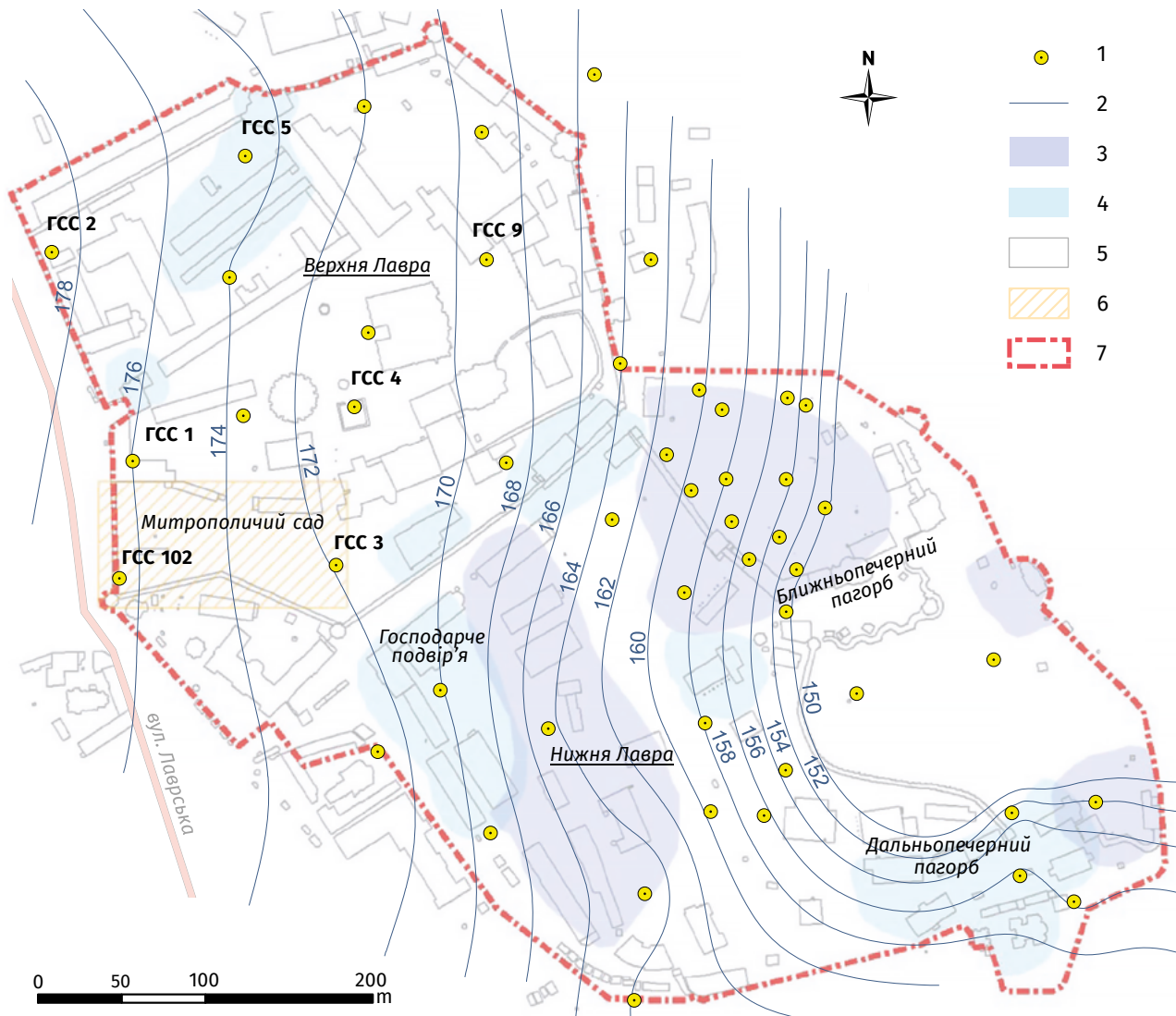


Рис. 4. Гідрогеологічні умови та система гідрогеологічного моніторингу Заповідника: 1 – гідрогеологічні спостережні свердловини; 2 – гідроізопіс (березень 2023 р.) перших від поверхні водонесних горизонтів; 3 – зони поширення процесів прихованого підтоплення (перезволоження внаслідок акумуляції й інфільтрації поверхневого стоку); 4 – зони тимчасового водонесного горизонту; 5 – будівлі та споруди, в тому числі історичного значення; 6 – територія досліджень; 7 – межі Заповідника

Fig. 4. Hydrogeological conditions and hydrogeological monitoring system of the Reserve: 1 – hydrogeological observation wells; 2 – hydroisohypses (March 2023) of the first aquifers from the surface; 3 – zones of distribution of hidden flooding processes (waterlogging due to the accumulation and infiltration of surface runoff); 4 – zones of temporary aquifer; 5 – buildings and structures, incl. historical significance; 6 – research area; 7 – boundaries of the Reserve

Амплітуда коливань становить 1,2–3,4 м. У верхній частині території водонесний горизонт має постійний характер, у нижній – тимчасовий, формується на поверхні глини під час сніготанення та довготривалого періоду опадів і тримається впродовж 6–8 місяців.

Нами проаналізовано режим ґрунтових вод з 1999 по 2024 р. У всіх свердловинах, розташованих на Верхній лаврі (рис. 5), спостерігаються слабо виражені циклічні річні коливання (підйом рівнів навесні та восени, спад влітку та взимку), зумовлені природними чинниками – сніготаненням та довготривалими дощами, та підйом РГВ через аварійні витoki на водонесучих мережах.

Чітко простежуються підвищені рівні у ГСС 1, 2, 102 через техногенне живлення внаслідок витоків з магістральних мереж, які відбуваються по 4–6 разів на рік, вздовж вул. Лаврська. РГВ у свердловинах, розташованих вздовж меж Верхньої лаври, є підвищеними у порівнянні з іншими, що відповідає техногенному типу режиму, на відміну від режиму РГВ у ГСС 4, 9, який має незначну амплітуду коливань, характерну для інфільтраційного типу. Слід відмітити, що витoki можуть бути незначні і постійні, через що не помітними на графіках, а всі піки у них пов'язані з витокami різної інтенсивності.

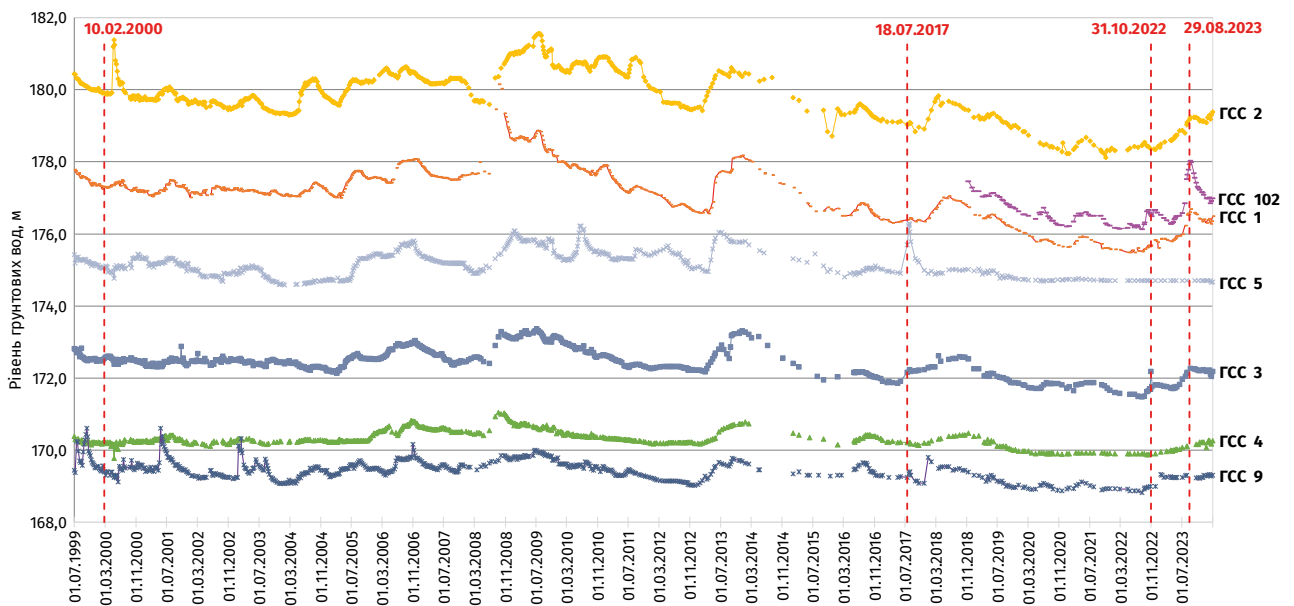


Рис. 5. Режим ґрунтових вод четвертинного водоносного горизонту за даними гідрогеологічних спостережних свердловин Верхньої лаври у період 1999–2024 рр., червоні пунктирні лінії – дати деяких масштабних аварій

Fig. 5. Groundwater regime of the Quaternary aquifer according to the data of the Verkhniy Lavra hydrogeological observation wells in the period 1999–2024, red dashed lines – dates of accidents

Різкі підйоми РГВ спричинені аваріями на водонесучих мережах. Так, наприкінці липня 2017 р. на підставі аналізу отриманих замірів за побудованими графіками виявлено значне підвищення РГВ у ГСС 5, 6, 9 та 13 (див. рис. 1, 3). Загалом, водонесучі мережі у безпосередній близькості до території Національного заповідника «Києво-Печерська лавра» перебувають у критичному технічному стані. Особливо загрозливою є ситуація, що склалася на розі вулиць Цитадельна та Лаврська. Декілька аварій, що сталися впродовж червня–серпня 2023 р. як на водогоні (несвоєчасно виявлені), так і на тепломережах (у зв'язку із сезонними випробуваннями), призвели до суттєвого підйому РГВ (зростання більш ніж на 0,7–1,7 м у ГСС 1, 2, 102) на ділянках території Заповідника, прилеглих до вул. Лаврська, вздовж якої прокладені міські магістральні водонесучі мережі.

Метод ЕТ

Територія саду характеризується моноклінальним заляганням шарів ґрунту (рис. 6). Перепад абсолютних відміток поверхні становить 1,4 м на відстані 123,5 м між ГСС 3 та 102. Для побудови геоелектричних розрізів використано дані інверсії методу ЕТ, електричного профілювання та інженерно-геологічні розрізи свердловин ГСС 3 та 102 на ділянці (Архипенко, Коняшин, 2018). Вони відображають всі зазначені вище структурні

та специфічні особливості, які встановлені за результатами електророзвідувальних робіт та представлені на рис. 7. За позірним електричним опором породи, що складають ґрунтовий масив території Митрополичого саду, поділяються на такі елементи (зверху вниз):

- насипний ґрунт, представлений супіском лесоподібним з незначними включеннями будівельного сміття – 50–150 Ом·м;
- супісок пилуватий лесоподібний, твердий до пластичного – 25–85 Ом·м;
- суглинок пилуватий з прожилками карбонатів, озалізнений – 13–28 Ом·м;
- суглинки пилуваті м'якопластичі, суглинки з прошарками супіску та піску – 10–19 Ом·м;
- глини легкі з включеннями карбонатів – 8–14 Ом·м.

На рис. 8 представлено 3D модель геоелектричних опорів масиву ґрунту Митрополичого саду за даними трьох геоелектричних розрізів. Встановлено існування купола порід низького опору (синій колір – обсяг перезволожений ґрунтів первісного розтікання у формі купола – далі «купол розтікання»), який спостерігається в південній та центральній частинах ділянки. Найбільш чітко купол простежується на профілі I в районі пікетів (ПК) 35–65, на профілі II – ПК 30–80 та на профілі III, менш контрастно, в межах ПК 35–75. На профілях II і III він виділяється широкою смугою ізоом понижених

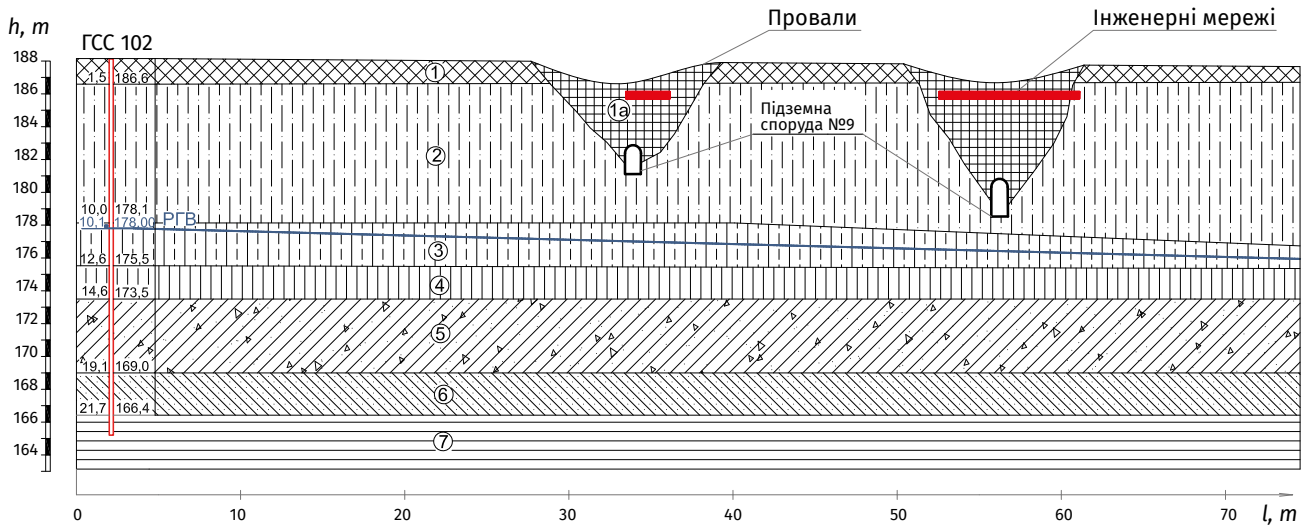


Рис. 6. Схематичний інженерно-геологічний розріз території Митрополичого саду за лінією I-I (див. рис. 1): 1 – техногенні відклади (tH) – суглинок легкий / важкий пілуватий, піщанистий темно-сірий, темно-бурий, коричнево-бурий, місцями гумусований, з включеннями до 10–50 % будівельного сміття, напівтвердий, м'якопластичний; 1a – ґрунти, що просіли через перезволоження витоками з інженерних мереж; 2 – елювіальні, еолово-делювіальні відклади (e, dvP_{III}-H) – супісок пілуватий, лесовий, палево-сірий, сіро-жовтий, твердий до пластичного; 3 – елювіальні, еолово-делювіальні відклади (e, dvP_{III}-H) – суглинок пілуватий, жовтувато-сірий, з нитевидними прожилками карбонатів, озалізнений, м'якопластичний; 4 – елювіальні, еолово-делювіальні відклади (e, dvP_{III}-H) – суглинок пілуватий, бурувато-сірий, м'якопластичний; 5 – моренні відклади (gP_{II}, dn) – суглинок червоно-бурий, з тонкими прошарками супіску та піску буро-сірого, тугопластичний; 6 – моренні відклади (gP_{II}, dn) – суглинок світлий бурувато-сірий, з прошарками супіску та піску, м'якопластичний, тугопластичний; 7 – пліоцен-нижньочетвертинні бурі глини (N₂čb) – глина легка бурувато-сіра, тугопластична, напівтверда, з включеннями карбонатів; число праворуч від свердловини (лінії червоного кольору) – глибина залягання підшови шару, м; число ліворуч – абсолютні позначки залягання підшови шару, м; PГВ станом на 22.09.2023 р.

Fig. 6. Schematic engineering-geological section of the territory of the Metropolitan Garden along line I-I (see Fig. 1): 1 – technogenic deposits (tH) – light / heavy silty loam, sandy dark gray, dark brown, brownish brown, in places humified, with inclusions of up to 10–50% construction waste, semi-solid, soft-plastic; 1a – soils subsided due to over-moistening by leaks from utility networks; 2 – eluvial, eolian-deluvial deposits (e, dvP_{III}-H) – silty sandy loam, loess, pale gray, gray-yellow, hard to plastic; 3 – eluvial, eolian-deluvial deposits (e, dvP_{III}-H) – silty loam, yellowish-gray, with filiform veinlets of carbonates, ferruginous, soft-plastic; 4 – eluvial, eolian-deluvial deposits (e, dvP_{III}-H) – silty loam, brownish-gray, soft-plastic; 5 – moraine deposits (gP_{II}, dn) – reddish-brown loam, with thin interlayers of sandy loam and brownish-gray sand, refractory; 6 – moraine deposits (gP_{II}, dn) – light brownish-gray loam, with interlayers of sandy loam and sand, soft-plastic, refractory; 7 – Pliocene-lower quaternary brown clays (N₂čb) – light brownish-gray clay, refractory, semi-hard, with carbonate inclusions; number to the right of the borehole (red lines) – depth of the layer base, m; number to the left – absolute marks of the layer base, m; GWL as of September 22, 2023

значень позірного опору ρ (8–12 Ом·м), відносна вертикальна амплітуда зменшується в північному напрямку від 4–5 м на профілі I до 2 м на профілі III.

PГВ у межах профілю I за результатами інтерпретації даних методу ET (див. рис. 8) коливається від 12–12,5 м на заході до 11–12 м в його східній частині. Найімовірніше, ґрунтові води розтікаються по обидві сторони від купола. У верхній частині розрізу профілю II виділяються ділянки аномально підвищеного опору, приурочені до ПК 20–25 та ПК 82,5, максимуми яких перевищують 900 Ом·м, що, вірогідно, пояснюється утвореннями зон розущільнень, спричинених антропогенними факторами (археологічні розкопки, ремонтні роботи).

На ПК 90–95 профілю II зафіксовано істотний мінімум позірного опору (8–10 Ом·м), що вказує

на вірогідну наявність зони суттєвого перезволоження ґрунтової товщі (див. рис. 8). Ця аномалія в плані збігається з наявністю в цьому місці мережі водогону. PГВ уздовж профілю за результатами інтерпретації даних ET змінюється від 12 до 12,5 м на заході та від 11,0–11,5 до 12,0–12,5 м на сході.

На ПК 78–85 профілю II, як і в попередньому випадку, є округла зона із діапазоном значень позірного опору 177–377 Ом·м, що відповідає тепломережі (понад 60 °C), де висока температура сприяє зниженню вологості ґрунтів навколо мережі.

Найбільш стабільним у плані розподілу електричних властивостей є профіль III, який розміщений на півночі ділянки Митрополичого саду. Розріз його є низькоомним, в основі якого залягають глини з позірним опором 9–12 Ом·м. Перший шар, який представлений

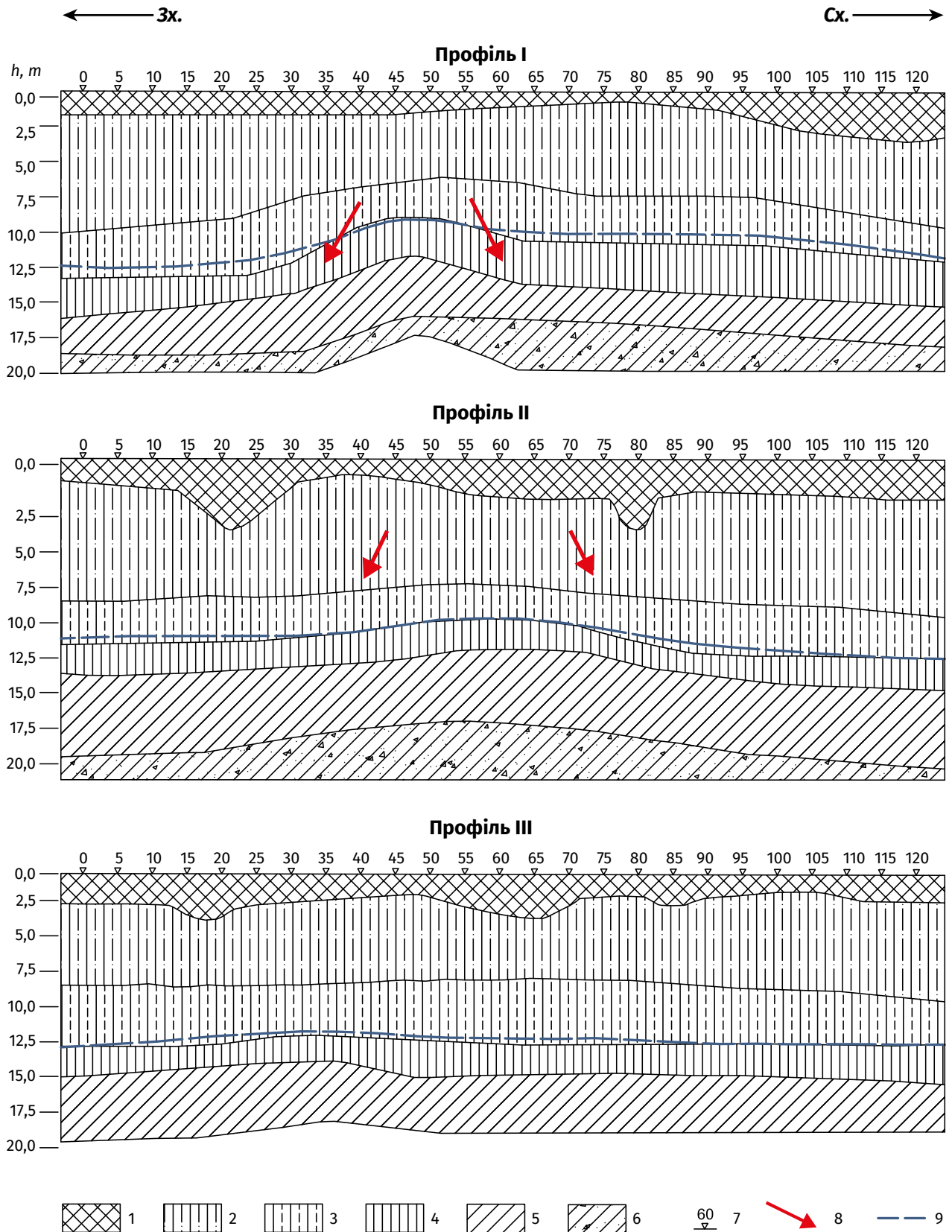


Рис. 7. Геоелектричні розрізи за трьома профілями (див. рис. 2), вертикальний масштаб 1:250, горизонтальний – 1:500: 1 – насипний ґрунт, 50–150 Ом·м; 2 – супісок лесовий твердий, напівтвердий, пластичний, 25–85 Ом·м; 3 – суглинок лесовий, м'якопластичний, 13–28 Ом·м; 4 – суглинок пілуватий, м'якопластичний, 13–28 Ом·м; 5 – суглинок, піскуватий, з тонкими прошарками супіску та піску, тугопластичний, 10–19 Ом·м; 6 – суглинок з вмістом окатишів кристалічних порід до 10 %, гніздами піриту, тугопластичний, 10–19 Ом·м; 7 – пікет (точка) фізичного спостереження; 8 – умовні межі «купола розтікання»; 9 – РГВ

Fig. 7. Geoelectric sections along three profiles (see Fig. 2), vertical scale 1:250, horizontal – 1:500: 1 – bulk soils, 50–150 Om·m; 2 – loess sand, hard, semi-hard, plastic, 25–85 Om·m; 3 – loess loam, soft-plastic, 13–28 Om·m; 4 – silty loam, soft plastic, 13–28 Om·m; 5 – loam, sandy, with thin layers of sandy loam and sand, hard-plastic, 10–19 Om·m; 6 – loam with a content of crystalline rock pellets up to 10%, nests of pyrite, highly plastic, 10–19 Om·m; 7 – picket (point) of physical observation; 8 – conditional limits of the spreading dome; 9 – groundwater level

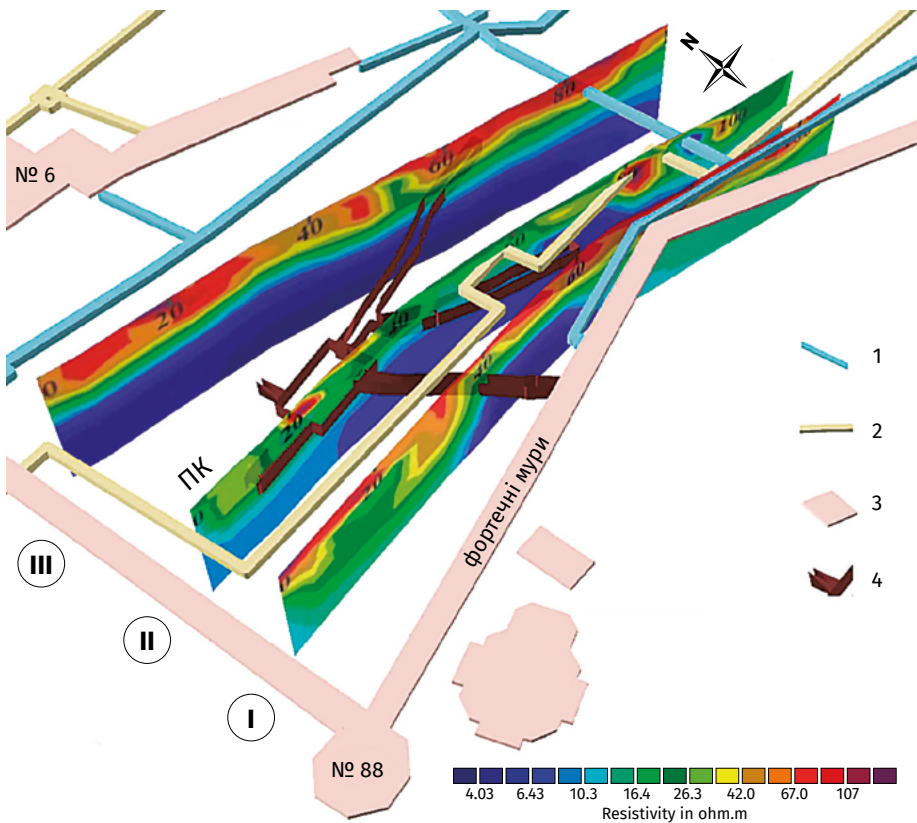


Рис. 8. 3D модель геоелектричних опорів (Ом·м) масиву ґрунту Митрополичого саду: 1 – мережі водогону холодної води; 2 – мережі водогону гарячої води; 3 – будівлі та споруди; 4 – підземна споруда

Fig. 8. 3D model of geoelectric resistance (Ohm·m) of the soil mass of the Metropolitan's Garden: 1 – cold water supply network; 2 – hot water supply networks; 3 – buildings and structures; 4 – underground structure

супісками лесоподібними з незначними вклученнями будівельного сміття, має потужність до 3,5 м, що, вірогідно, пов'язане з активним господарським освоєнням території. Інші шари витримані за потужністю та позірним електричним опором. У межах ПК 50–55 зафіксовано аномалію високоомних опорів неправильної форми, розташовану на глибинах 3–8 м, що, ймовірно, є одним з відгалужень Митрополичого льоху. За результатами інтерпретації даних ЕТ поверхня РГВ змінюється вздовж профілю від 12 до 12,5 м.

Дослідженнями підтверджено наявність припливу техногенних вод (витоків) з магістральних інженерних мереж у західних частинах профілів I та II, а саме: понижені значення позірного опору від 6,43 до 10,3 Ом·м на ПК 0 видно, до глибин 2,5 м (профіль II) та 12,0 м (профіль I).

Обсяг перезволожених ґрунтів витримує форму купола впродовж року, що пов'язано із водно-фізичними та фільтраційними властивостями лесоподібних супісків (висока вологоємність, коефіцієнт фільтрації – 0,05–0,5 м/добу) та можливим продовженням існування його техногенного джерела живлення. Їх причинами можуть бути недосконалість проведених ремонтних робіт – як недостатнє ущільнення

ґрунту зворотної засипки, через що дощові або талі води швидко інфільтруються в масив, так і якість матеріалу труб, де могли з'явитись тріщини та відбувався наступний витік.

Метод ПЕП

За результатами польових спостережень методом ПЕП на ділянці Митрополичого саду побудована карта його потенціалів (рис. 9). Була проведена якісна та спрощена кількісна інтерпретація даних досліджень.

На підставі візуального аналізу та якісної інтерпретації встановлено:

- Ділянка Митрополичого саду є зоною розвитку досить помітних фільтраційних процесів, з від'ємними значеннями потенціалів ΔU майже по всій площі. Джерелами таких фільтраційних осередків є надмірний полив дерев (-25...-30 мВ), каналізаційна мережа на глибині 2 м неподалік корпусу № К-5 (менше -50 мВ), де швидкість руху ґрунтових вод буде вищою, або водогін поряд, «купол розтікання» аварійного витоку з магістральних інженерних мереж (-5...-15 мВ). Амплітуда зміни поля досягає 112 мВ, причому мінімальне значення поля становить -100 мВ, а максимальне сягає +12 мВ. Майже 90 % ділянки є зонами припливу води, що підтверджено гідрогеологічними спостереженнями за РГВ (див. рис. 5).

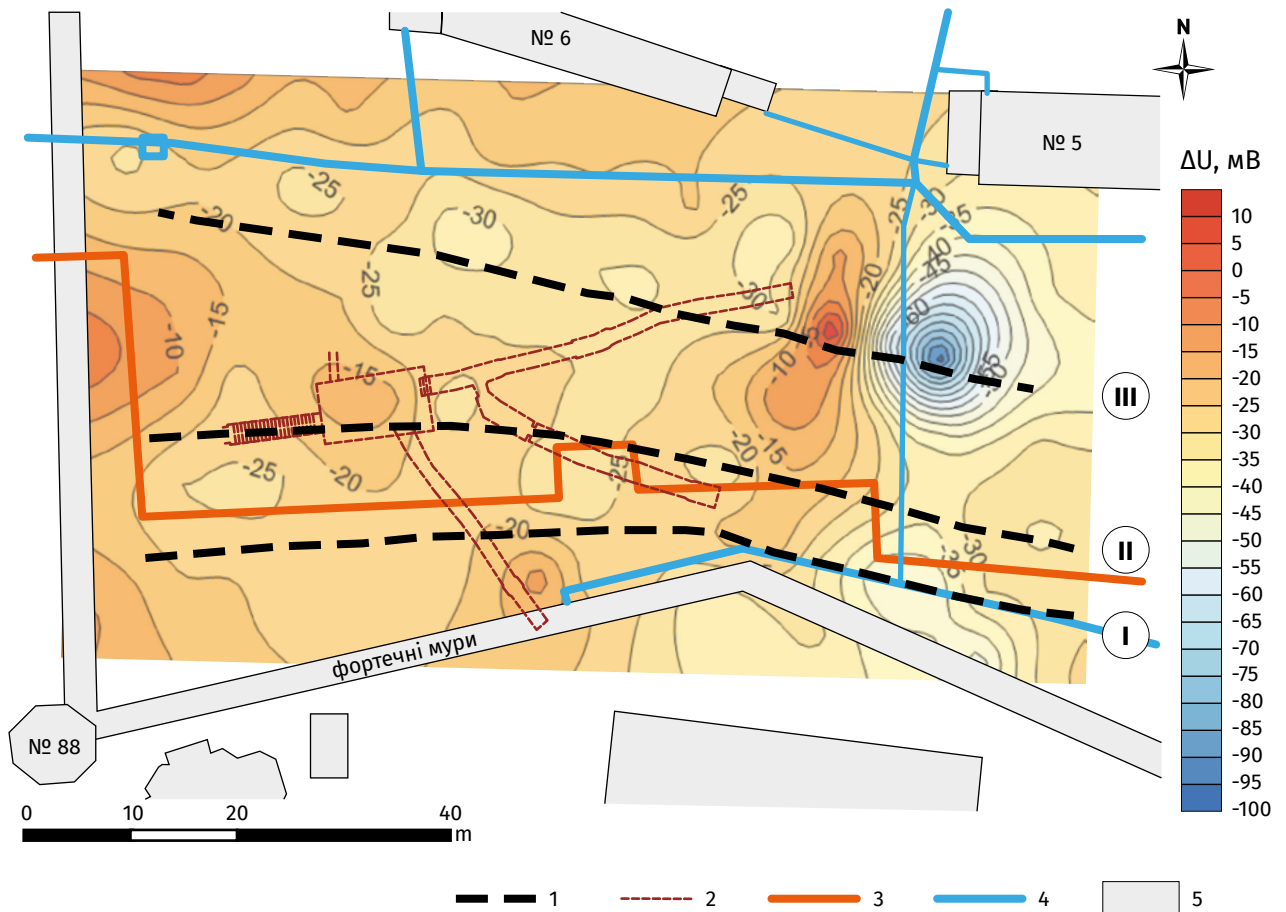


Рис. 9. Карта потенціалів для території Митрополичого саду: 1 – геоелектричні профілі (див. рис. 3, 5); 2 – контури підземної споруди; 3 – водогін гарячої води; 4 – водогін холодної води; 5 – будівлі

Fig. 9. Map of electrical potentials for the territory of the Metropolitan Garden: 1 – geoelectric profiles (see Fig. 3, 5); 2 – contours of the underground structure; 3 – hot water supply; 4 – cold water supply; 5 – buildings

- Зони помірної фільтрації (припливу води), що займають близько половини площі обстеженої ділянки, характеризуються потенціалами ΔU природного поля від -25 до -40 мВ. Аномальні зони мають різний напрямок (західний, південний, східний), серед яких найбільшими градієнтами поля представлені південний і східний. Це збігається із загальним напрямком ухилу денної поверхні та загальним напрямком ухилу дзеркала ґрунтових вод за даними багаторічних гідрогеологічних спостережень.
- Характер розвитку аномалій природного поля (зокрема, площа форми кола з величинами ΔU -60...-100 мВ) дає можливість стверджувати, що вони пов'язані з техногенними чинниками – витокami з мереж. Додатковими чинниками могли бути наслідки археологічних розкопок (зворотна засипка шурфів без доущільнення), земляні роботи з ліквідації аварії, полив саду тощо.
- Кількісна інтерпретація, яка здійснювалася за параметром q (відстань між напівмаксимумами аномалій) показала, що зміна глибини залягання РГВ у межах ділянки Митрополичого саду змінюється від 8,5 до 11 м, що дещо не узгоджується з даними багаторічних гідрогеологічних режимних спостережень, де максимальні рівні фіксуються на глибині 10,5 м. Вірогідно, значення, отримані методом ПЕП, відображають не дійсний рівень залягання дзеркала ґрунтових вод, а можливу межу зони капілярного підйому. Для лесових ґрунтів величина капілярного підняття може сягати 3,5–4,0 м (Ковалевский, 1975; Тугаєнко та ін., 2014; Li Ping et al., 2014).

Обґрунтування інженерного захисту споруд у межах Монастирського саду

Ґрунтовою основою пам'яток Верхньої лаври є лесоподібні супіски та суглинки, для яких характерний значний вміст пилуватих частинок (42–83%), значна пористість (0,3–0,48), наявність цементуючих включень карбонатів кальцію.

Лесоподібні супіски відносяться до 1-го типу за просіданням. У сухому стані вони мають високі значення кута внутрішнього тертя ($20\text{--}29^\circ$), зчеплення ($0,002\text{--}0,039$ МПа) та модуля деформації ($5\text{--}20$ МПа). Після водонасичення вони значно знижуються: $12\text{--}15^\circ$, $0,0024\text{--}0,0029$ МПа, $3\text{--}17$ МПа, відповідно (Рибін та ін., 2001; Архипенко О., Архипенко А., 2017).

Значно ускладнює гідрогеологічні та інженерно-геологічні умови території Верхньої лаври наявність підземних порожнин різного віку і призначення. Підземні ходи, порожнини, галереї, що знаходяться недалеко від будівель та безпосередньо під фундаментами на глибини $3\text{--}3,5$ м, створюють розущільнення ґрунтової товщі, не характерне для однорідного ґрунтового масиву. Це призводить до суфозійного виносу тонкодисперсних частинок та зумовлює виникнення ослаблених зон, деформацію споруд, розміщених над печерами. Крім того, основна частина насипних ґрунтів, які заповнюють підземні пустоти, характеризується вищою водопровідністю, ніж лесова товща, що у випадках тимчасових втрат із водогонів сприяє перезволоженню лесових ґрунтів на значній площі.

Рівні першого від поверхні ґрунтового водоносного горизонту залягають переважно на $0,5\text{--}4,0$ м нижче підшви лесових просідних (1-й тип) відкладів. За геотехнічними розрахунками (Рибін та ін., 2001), в разі підйому ґрунтових вод і подальшого обводнення хоча б одно-двохметрового шару лесоподібних супісків відбудеться їх просідання і нерівномірне осідання будівель, що призведе до деформацій у конструкціях (Демчишин и др., 1991; Пасько та ін., 2020). Такі ж, а можливо ще більші, деформації стануться у разі суфозії обводнених лесоподібних супісків до розміщених по всій Верхній лаврі штольневих дренажів та підземних споруд.

При витоках з мереж водогону, зокрема гарячих вод (понад 60°C), відбуваються зміни фізичного стану пористих осадових порід, що проявляються у структурних змінах характеристик породоутворюючих мінералів унаслідок теплового розширення мінералів (Зуєвська, 2012, 2013; Самедов, 2013).

Процес просідання лесоподібних ґрунтів під власною вагою починається з моменту, коли вологість буде дорівнювати вологості просідання – $W_{пр}$ або максимальній вологоємності даного ґрунту. Але при замочуванні лесоподібних ґрунтів гарячою водою процес просідання

починається значно раніше і більш інтенсивніше, ніж холодною водою. Причина цього явища полягає в тому, що при замочуванні водою з підвищеною температурою значно швидше відбувається процес розчинення солей та породоутворюючих мінералів у скелеті лесових ґрунтів, пластичні деформації починаються раніше, ніж вологість буде дорівнювати максимальній молекулярній вологоємності ґрунту (Зуєвська, 2012, 2013).

Дослідженнями підтверджено наявність впливу техногенних вод (витоків) з мереж магистрального водогону, в тому числі гарячих, у західній частині всіх профілів як постійного джерела та чинника перезволоження масиву ґрунтових основ таких архітектурних пам'яток, як Монастирські мури (корпус № 92), башта Кущника (корпус № 88) та ін. Додаткове перезволоження (техногенне замочування) може призвести до пролонгованого ущільнення лесоподібних супісків та за гіршим сценарієм – масштабності аварії або несвоєчасного припинення витоків формування мульди просідання з креном оточуючих споруд, зокрема фортечних мурів у бік саду.

На рис. 10 наведені умови формування просідань над мережею водогону гарячого водопостачання (як найгірший сценарій) та розташованими поряд пам'ятками архітектури. Коричневим кольором показано мульду просідання (1-й тип), причинами якої можуть стати недостатнє ущільнення ґрунтів зворотної засипки при закладанні водогону або після ремонтних робіт. Синій колір – контури очікуваної мульди просідання (2-й тип) при витоках з мереж. Її формування пов'язано із зміною вологості та структурними змінами через замочування та подальше перезволоження водою з температурою понад 60°C товщі лесоподібних супісків, наступним ущільненням товщі під захисним кожухом водогону та просіданням залягаючої вище товщі на величину S_w . Критичний радіус (R_k) впливу мульди просідання 1-го типу визначається за формулою (Будівлі..., 2017):

$$R_k = L + B = L + H \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right),$$

де L – половина ширини коробу з трубами, м; H – глибина закладання водогону від поверхні, м; φ – кут внутрішнього тертя ґрунту, град.

Розрахунок критичного радіуса (R_{kw}) мульди просідання 2-го типу виконується за тією ж формулою зі змінами у зв'язку із замочуванням товщі ґрунту нижче коробу з трубами, а саме:

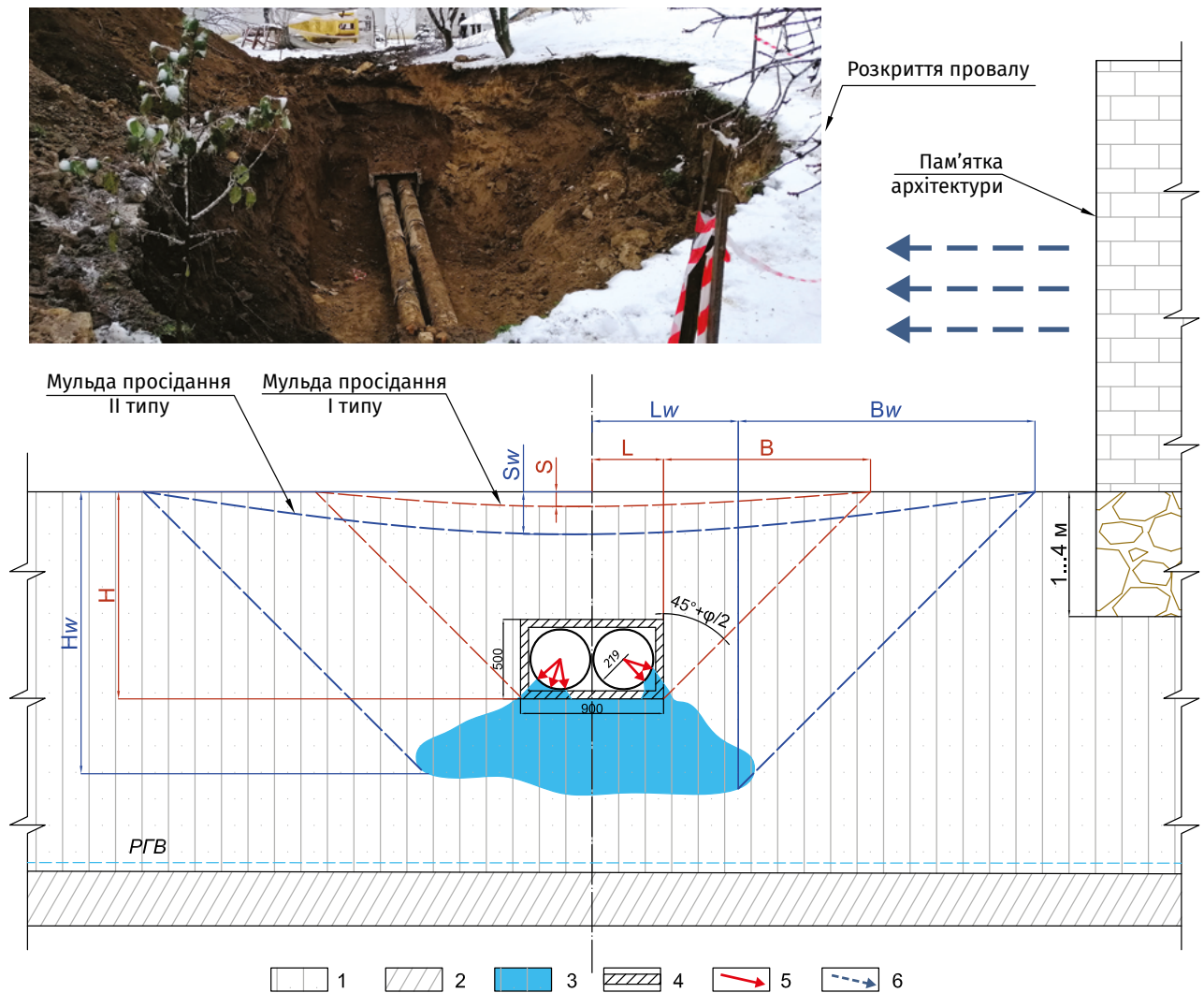


Рис. 10. Умови формування просідань над мережею водогону гарячого водопостачання: 1 – супіски лесоподібні 1-го типу просідання; 2 – суглинки; 3 – зони зволоження («купол розтікання»); 4 – захисний кожух водогону (короб); 5 – аварійні витоків; 6 – напрямок вірогідного крену будівлі; H – глибина закладання мереж водогону, м; H_w – глибина інфільтрації аварійних витоків, м; S – величина просідання, м; S_w – величина просідання через аварійні витоків, м; L – половина ширини коробу з трубами, м; L_w – ширина зони зволоження, м; B – ширина мульди, м; B_w – ширина мульди, утвореної при аварійних витоків, м; φ – кут внутрішнього тертя ґрунту, град; фото – розкриття провалу над мережею водогону, фото І.А. Черевко, 12 грудня 2022 р.

Fig. 10. Conditions for the formation of subsidence above the hot water supply network: 1 – sandy loess-like loess I subsidence type; 2 – loam; 3 – waterlogging zones (cupola); 4 – protective cover of the water heater (box); 5 – emergency leaks; 6 – direction of probable tilt of the building; H – the depth of laying water supply networks, m; H_w – infiltration depth of emergency leaks, m; S – subsidence, m; S_w – subsidence due to emergency leaks, m; L – half the width of the box with pipes, m; L_w – the width of the waterlogging zone, m; B – the width of the trough, m; B_w – the width of the trough formed during emergency leaks, m; φ – angle of internal friction of soil, degree; photo – opening of the failure above the water supply network, photo by I.A. Cherevko, December 12, 2022

ширина зони зволоження (L_w , м), глибина інфільтрації аварійних витоків (H_w , м), кут внутрішнього тертя зволоженого ґрунту, град.

При цьому ширину зони зволоження L_w доцільно визначати неруйнівними геофізичними методами.

За даними ЕТ та ПЕП для випадку даної аварії орієнтовні розміри купола такі: ширина – 20 м, глибина – 7,5 м. Розміри короба наведено на рис. 9. Таким чином, розраховані небезпечні радіуси впливу мульд просідання становлять $R_k = 2,4$ м та $R_{kw} = 15,7$ м у залежності від типу муль-

ди, що корелюється з результатами досліджень (Рибін та ін., 2001).

Збільшення величин L та B до L_w та B_w впливає на умови експлуатації архітектурних пам'яток і залежить від об'єму витоків, температури води, потужності зволоженого ґрунту та величини просідання. Для попередження вірогідного крену архітектурних пам'яток та їх попадання у радіус впливу мульди просідання до критичного радіуса необхідно додати величину, що запобігає його появі (Будівлі..., 2017; Основи..., 2009; Інженерний..., 2010; Планування..., 2019).

Ділянка № 1 Монастирських мурів вже знаходиться в межах розрахованої мульди просідання на відстані 8 м від осі мережі. Крім того, її фундаменти розкриті суфозійними процесами (див. рис. 2, в), що спричинило крен споруди в бік тепломережі (за візуальними обстеженнями). В таких випадках слід розглядати необхідність розроблення компенсуючих заходів щодо укріплення частини стіни контрфорсними елементами, розширення її фундаментів або заведення додаткових мікропаль (Дегтярев и др., 1985; Молодченко, 1993; Винников та ін., 2002; Guide..., 2010; Mohd et al., 2015; Настанова..., 2016; Bira, Koosha, 2020).

Досвід тривалого моніторингу розвитку небезпечних процесів на території Заповідника та результати представлених досліджень вказують на необхідність перенести мережі водогону на відстань, що унеможливує вплив аварій на стан пам'яток, їх ушкодження та руйнування. Відповідно до будівельних норм (Планування..., 2019) для збереження фізичного стану нерухомих об'єктів культурної спадщини від них до мереж водопроводу, каналізації, газопостачання, теплопостачання відстань має бути не менше 15 м. Для окремих об'єктів Лаври такі вимоги не витримуються.

Обговорення

Геофізичні дослідження виконані через рік після аварії. Тому вважаємо, що первісна зона інфільтрації та розтікання, вірогідно, мала дещо менші розміри, оскільки у лесових ґрунтах фільтрація мала майже вертикальний напрямок. Дане припущення доцільно встановлювати математичним моделюванням процесів фільтрації. Оскільки польові роботи методами ЕТ та ПЕП проводилися після спекотного літа 2023 р. та сухого вересня, можливо, інтенсивність виявлених аномалій могла би бути більшою.

Методи ЕТ та ПЕП показали узгодженість між «куполом розтікання» та аварійним витоком 27.10.2022 р. Так, на рис. 7 профіль I в західній його частині перетинає відгалуження Митрополичого льоху, на рис. 8 відповідає круглим ділянкам з потенціалом -20...-10 мВ, де також із західної сторони є відгалуження. Ці значення не такі низькі у порівнянні з аномалією в східній частині ($\Delta U < -50$ мВ), що може говорити про те, що через рік після аварійного перезволоження значення потенціалів цієї частини ґрунтів вирізняються. Зниження від'ємного значення потенціалів поля

навколо «купола розтікання» свідчить про наявність прямок – розтікання по боках купола.

Дослідженнями підтверджено наявність впливу техногенних вод (витоків) з магістральних інженерних мереж, у тому числі гарячих, у західній частині всіх профілів (ПК 0–10) за режимними гідрогеологічними спостереженнями (див. рис. 5). Дані, отримані методом ЕТ у західних частинах профілів I та II на ПК 0, свідчать про понижені значення позірною опору – 6,43–10,3 Ом·м (див. рис. 7). Результати за методом ПЕП у західній частині саду вказують, що значення у -5...-10 мВ переходять в ізогіпси у -20...-25 мВ між профілями I та II (див. рис. 8). Виявлено ознаки «купола розтікання» аварійного витоків з магістральних інженерних мереж за методами ЕТ та ПЕП: на рис. 7 він фіксується на заході профілів, а на рис. 8 проявляється як півколо з ΔU від -5 до -15 мВ. Причому на момент геофізичної зйомки аварійний витік або щойно відбувся, або він тривав.

Дані методи ПЕП та результати робіт електричного профілювання досить добре корелюються з результатами робіт електричного профілювання та даними про техногенні впливи на цій ділянці, зокрема такі, як полив дерев, місця витоків з інженерних мереж, що дає підстави для проведення сезонних моніторингових вимірювань зазначеними методами в Митрополичому саду та на прилеглий території на її сході у напрямку р. Дніпро. При цьому доцільно виділяти ділянки з достатньою кількістю спостережних свердловин для підвищення точності інтерпретації даних. Припущення щодо інтерпретації за параметром q як рівнів капілярного підйому потребують додаткових комплексних досліджень.

Результати геофізичних вишукувань, обґрунтування та розрахунки безпечних відстаней від мереж водогону мають бути підтверджені гідрогеологічним моделюванням та геотехнічними розрахунками, що є завданням подальших досліджень. Рекомендовано використовувати дані з інженерно-геологічних вишукувань, термін дії яких відповідає вимогам норм (Інженерні..., 2008).

Висновки

Митрополичий сад знаходиться у складних інженерно-геологічних та гідрогеологічних умовах, обумовлених наявністю просідних лесоподібних супісків, техногенних витоків з мереж водогону. Детальний аналіз отриманих шляхом адаптації

результатів досліджень методами ЕТ і ПЕП, 3D моделі геоелектричного опору масиву ґрунту Митрополичого саду дозволив встановити просторове положення наявних ділянок перезволоження з урахуванням присутніх у межах ділянки комунікацій та інших штучних споруд.

На підставі аналізу існуючої ситуації, натурних обстежень території встановлено вірогідні шляхи розповсюдження потоку гарячої води у ґрунтовому масиві після аварії 27.10.2022 р., а саме: заповнення водою ізолюючого коробу тепломережі до корпусу № 31 (близько 200 м); накопичення її перед теплокамерою; переповнення коробу та його руйнування у двох місцях; перезволоження та перехід у текучий стан лесової товщі; порушення цілісності конструкцій підземної споруди через тиск розрідженого ґрунту; затоплення споруди пульпою; подальше перезволоження ґрунтового масиву та інфільтрація води на дзеркало ґрунтових вод (див. рис. 1).

Натурні обстеження неруйнівними методами не зафіксували пустот чи порожнин у відомих контурах Митрополичого льоху, що свідчить про повну руйнацію двох відгалужень підземної споруди № 9.

Методом ЕТ встановлено існування аномального купола (порід низького опору), що спостерігається в західній та центральній частинах ділянки, який, вірогідно, є «куполлом розтікання» (перезволоження ґрунтового масиву) в результаті аварії тепломережі.

Розміри зони перезволоження за результатами інтерпретації досліджень становлять: довжина – 25–70 м, ширина – 25–45 м, потужність – 1,5–13 м. Вони залежать від конфігурації підземної споруди (Митрополичий льох), по затоплених, заглиблених до 5–8 м відгалуженнях якої відбувалась подальша інфільтрація води в глиб ґрунтового масиву.

Аналіз адаптованої 3D моделі за результатами неруйнівних методів моніторингу стану геологічного середовища дозволив опосередковано встановити місця незадовільного технічного стану інженерних мереж (постачання холодної води), де зафіксовано перезволожену ділянку з орієнтовними розрізами 5 × 5 м (див. рис. 5, профіль II, ПК 90–95). На профілі II, ПК 75–85 проявляються зони розущільнення з високим позірним опором навколо компенсатора мережі тепlopостачання, що є результатом зворотної засипки котловану піском, розробленого з метою ліквідації аварії на тепломережі.

Встановлено, що основними техногенними чинниками зміни вологісного режиму є витoki з мереж, археологічні розкопки, земляні роботи з ліквідації аварій, полив саду.

Покращення умов експлуатації історичних пам'яток можна досягти поліпшенням гідрогеологічної ситуації шляхом мінімізації витоків із мереж водогону і каналізації. Це потребує оновлення зношених мереж за участю відповідних міських служб. Крім того, доцільно удосконалити систему існуючого гідрогеологічного моніторингу додатковими ГСС у місцях високої щільності інженерних мереж.

За результатами досліджень обґрунтовано потребу компенсуючих заходів щодо укріплення частини фортечних мурів та безпечну відстань для перенесення мереж від історичних об'єктів з метою їх збереження.

Фінансування. Представлені дослідження виконані за підтримки Національного фонду досліджень України при фінансуванні з державного бюджету за проектом 2022.01/0209 «Комплексне дослідження геоекологічного стану збереження об'єктів історико-культурної спадщини Національного заповідника «Києво-Печерська лавра» в умовах воєнних дій» (Конкурс НФДУ «Наука для відбудови України в воєнний та повоєнний періоди»).

Подяки. Автори вдячні Національному заповіднику «Києво-Печерська лавра» за надані матеріали та дирекції Інституту геологічних наук НАН України – за всебічну підтримку. Анонімним рецензентам – за слушні та змістовні зауваження і поради, що допомогли ширше розкрити зміст статті та наповнити її необхідними деталями.

Внесок авторів. І.А. Черевко – концептуалізація мети та завдань дослідження, збір інженерно-геологічних даних та матеріалів. Д.А. Безродний – проведення польових досліджень, математична обробка даних натурних спостережень. І.А. Черевко і Т.В. Кріль – постановка завдань та інтерпретація результатів, вироблення висновків. Т.В. Кріль – інтерпретація та візуалізація даних, графічні побудови, оформлення рукопису. Т.В. Кріль, І.А. Черевко – опрацювання зауважень рецензентів, редагування та доповнення рукопису.

Аварії на мережах водогону завдають найбільших негативних наслідків на стан історико-архітектурної спадщини, що формувалась впродовж багатьох віків. У роботі виконано аналіз причинно-наслідкового зв'язку аварій водонесучих мереж та умов збереження архітектурної спадщини на прикладі Києво-Печерської лаври. Наведено результати визначення зон перезволоження та їх чинників неруйнівними методами моніторингу на території Митрополичого саду Верхньої лаври. Дана ділянка є поєднанням складних інженерно-геологічних умов та техногенного освоєння, що створює умови для розвитку небезпечних інженерно-геологічних процесів та аварійних ситуацій. За небезпекою територія саду відноситься до нестабільних ділянок для збереження історичних пам'яток всесвітньої спадщини ЮНЕСКО. Останній аварійний випадок на мережах водогону відбувся у жовтні 2022 р. Він спричинив провали на поверхні, підняття рівнів ґрунтових вод, значне руйнування підземної споруди історичного значення – Митрополичого льоху. Дослідження виконано із використанням методів електротомографії, природного електричного поля. Інтерпретацію результатів електротомографії проведено за дво- та тривимірними моделями. Встановлено існування аномального купола (поряд низького опору), який спостерігається в центральній частині ділянки і є, вірогідно, осередком перезволоження ґрунтового масиву в результаті аварії на тепломережі. Аналіз адаптованої 3D моделі за результатами неруйнівних методів моніторингу геологічного середовища дозволив опосередковано встановити місця незадовільного технічного стану інженерних мереж (постачання холодної води), де зафіксовано перезволожену ділянку з низькими значеннями позірної опору. Дослідженнями підтверджено наявність припливу техногенних вод (витоків) з мереж магістрального водогону в західній частині всіх профілів як постійного джерела та чинника перезволоження масиву ґрунтових основ архітектурних пам'яток – Монастирські мури, башта Кушника тощо. За результатами досліджень обґрунтовано потребу компенсуючих заходів щодо укріплення частини фортечних мурів, безпечну відстань для перенесення мереж від історичних об'єктів з метою їх збереження.

Список літератури

- Архипенко О.А., Архипенко А.О. Пам'ятка архітектури національного значення «Церква Спаса на Берестові». Т. 2. Комплексні наукові дослідження. Кн. 2.7. Технічний звіт про проведення інженерно-геологічних вишукувань на майданчику реставрації. Київ, 2017. 76 с.
- Архипенко О.А., Коняшин В.В. Роботи по облаштуванню спостережної мережі гідрогеологічних свердловин на території Національного Києво-Печерського історико-культурного заповідника. Технічний звіт (ТЗ) за договором № 154/2-ІГ-ТЗ від 03.09.2018 р. Київ: ТОВ «КБ ПРАЙД», 2018. 71 с.
- Бондар К.М. Геофізичні методи в археології: теорія, методологія, практика: автореф. дис. ... д-ра геол. наук : 04.00.22 / Бондар Ксенія Михайлівна ; Київ: нац. ун-т ім. Тараса Шевченка. Київ, 2021. 46 с.
- Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах. Загальні положення: ДБН В.1.1-45:2017. [Чинний від 2017-10-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2017. 35 с. (Державні будівельні норми України).
- Вижва С.А., Рева М.В., Онищук І.І., Онищук В.І. Електрометрія: посібник із навч. геофіз. практики. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2014. 303 с.
- Винников Ю.Л., Муха В.А., Яковлев А.В., Андрієвська О.В., Біда С.В. Фундаменти будівель та споруд. Довідн. посібник. Київ: Урожай, 2002, 432 с.
- Власенко А.И. Отчет об инженерно-геологических исследованиях площадки главной колокольни музея Киево-Печерской Лавры: Отчет о НИР. Гос. ин-т Киевпроект; инв. № 2881. Киев, 1962. 23 с.
- Демчишин М.Г., Краев В.Ф., Саенко Т.С., Сергеева Л.Г. Лесовый покров территории Украины в сфере техногенеза. Киев, 1991. 55 с. (Препр. / АН Украины. Ин-т геол. наук; 91 - 9).
- Демчишин М.Г., Рибін В.Ф. Інженерно-геологічні дослідження на території Києво-Печерського державного заповідника для проекту відтворення Успенського собору та інженерного захисту території Верхньої Лаври: Звіт про НДР / Ін-т геол. наук НАН України. Київ, 1998. 89 с.
- Дегтярев Б.М., Дзекцер Е.С., Муфтахов А.Ж. Защита оснований зданий и сооружений от воздействия подземных вод. М.: Стройиздат, 1985. 264 с.
- Геологическая карта Украинской ССР масштаба 1:50 000. Киевский промышленный район. Объяснительная записка в 2 ч. Колот Э.И., Кузишина Л.П., Кутовой В.И., Лаврик В.Ф., Мароховская И.И., Селин Ю.И., Соловицкий В.Н., Шестопалова Е.В. Киев, 1984. 142 с.
- Звіряка А.М., Бобровський Т.А., Балакін С.А., Головатенко Ю.Г. Льох винний у саду Митрополита (Підземна споруда № 9). Паспорт об'єкта культурної спадщини. НДІ пам'яткоохоронних досліджень. Київ, 2012. 46 с. та додатки (історичні плани та зображення, карти, розрізи, фотофіксація).
- Зуєвська Н.В. Аварійні явища на міських об'єктах в умовах лесових просадних ґрунтів в присутності температурного чинника. *Вісн. Дон. гірн. ін-ту*. 2013. № 1 (32). С. 11–115.
- Зуєвська Н.В. Інтенсифікація процесу просідання лесових ґрунтів з урахуванням гідротермального фактора. *Вісн. Дон. гірн. ін-ту*. 2012. № 1 (30)–2 (31). С. 469–474.
- Інженерні вишукування для будівництва: ДБН А.2.1-1-2008. [Чинний від 2008-07-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2008. 74 с. (Державні будівельні норми України).
- Інженерний захист території Заповідника. Сучасний стан. М 1:1000. План організації території Національного Києво-Печерського історико-культурного заповідника. Розроб. Соковніна Н.Х., Вдовиченко С.В., Пашолок С.П. 1 аркуш, інв. ном. 2012-49-ГП. Київ: Державне підприємство «НДП містобудування», 2012.
- Інженерний захист територій та споруд від підтоплення та затоплення : ДБН В.1.1-25-2009. [Чинний від 2011-01-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 52 с. (Державні будівельні норми України).
- Ковалевский А.Л. Особенности формирования рудных биогеохимических ореолов. Новосибирск: Наука, 1975. 115 с.
- Комплексне дослідження геоекологічного стану збережених об'єктів історико-культурної спадщини Національного заповідника «Києво-Печерська лавра» в умовах воєнних дій. Бугай Д.О. Науковий звіт. Київ, 2023. 125 с.
- Мацола О.І., Корбутяк О.М., Лопата О.В. Звіт про надання послуг з геологічного, геофізичного та інших видів наукової розвідки «Спеціальні інженерно-геофізичні вишукування на території національного заповідника «Києво-Печерська лавра» в межах зон обводнення, підземних пустот та розвитку провальних процесів методом вертикального електричного зондування та природного електричного поля, площа – 0,6 га». Київ, 2023. 33 с.
- Молодченко Г.А., Гринь В.И. Реконструкция и усиление здания и сооружений. Киев: ИСИО, 1993, 173 с.
- Настанова щодо виконання ремонтно-реставраційних робіт на пам'ятках архітектури та містобудування : ДСТУ-Н Б В.3.2-4:2016 [Чинний від 2017-01-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2016. 50 с. (Державний стандарт України).
- Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:1016. [чинний від 2017-04-01]. Київ, 2017. 44 с.
- Николишин В.П. Отчет о результатах обобщения материалов инженерно-геологических изысканий прошлых лет на территории Киево-Печерского государственного заповедника «Лавра» : Отчет о НИР. Гос. ин-т Киевпроект; инв. № 7833. Киев, 1983. 12 с.
- Николишин В.П. Отчет о результатах обобщения материалов инженерно-геологических изысканий прошлых лет по Верхней Лавре: Отчет о НИР. Гос. ин-т Киевпроект; инв. № 8739. Киев, 1987. 13 с.

- Огильви А.А. Основы инженерной геофизики. Москва: Недра, 1990. 501 с.
- Основи та фундаменти споруд : ДБН В.2.1-10-2009 [Чинний від 2009-10-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 161 с. (Державні будівельні норми України).
- План сучасного стану території Заповідника. М 1:500. План організації території Національного Києво-Печерського історико-культурного заповідника. Розроб. Сюр М.Г., Онищенко В.М., Соковніна Н.Х. 1 аркуш, інв. ном. 2012-49-ГП. Київ: Державне підприємство «НДПІ містобудування», 2012.
- Пасько Р.М., Теренчук С.А., Агхеззаф Амін. Аналіз причин погіршення технічного стану об'єктів, побудованих на просідаючих лесових ґрунтах. *Управління розвитком складних систем*. 2020. № 43. С. 116–122. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2020.43.116-122>
- Планування та забудова територій : ДБН Б.2.2-12-20019. [Чинний від 2019-10-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2019. 185 с. (Державні будівельні норми України).
- Рибін В.Ф., Демчишин М.Г., Черевко І.А., Куциба В.О., Чорний Г.І., Канарьова О.С., Сахно А.П. Розробити методуку та обґрунтувати моніторинг геологічного середовища зон історичної забудови м. Києва з метою охорони історико-архітектурних пам'яток. Звіт про НДР. № держреєстр. 15-2001. Київ: ІГН НАН України, 2001. 197 с.
- Самедов А.М. Расчет и проектирование геотехнических инженерных сооружений. Киев: НТУУ «КПИ», 2013. 908 с.
- Туғаєнко Ю.Ф., Марченко М.В., Логинова Л.А. Вплив вологості лесових ґрунтів на процеси їх ущільнення ударним навантаженням. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2014. Т. 2. С. 47–52. URL: <http://stmkvb.vntu.edu.ua/index.php/stmkvb/article/view/357>
- Чередніченко Є.Ф. Архітектура та функціональне призначення підземних споруд Верхньої Лаври. Могилянські читання. 2006. С. 550–556.
- Шестопалов В.М. Водообмен в гидрогеологических структурах Украины: Водообмен в нарушенных условиях. Шестопалов В.М. (ред.). Киев: Наукова думка, 1991. 528 с.
- ABEM Terrameter LS Toolbox User Manual. Sundbyberg, Sweden, 47 p. URL: <https://www.guidelinegeoc.cdn.triggerfish.cloud/uploads/2016/03/ABEM-Terrameter-LS-Toolbox-v2.0.1-User-Manual-1.pdf> (accessed 28 September 2023).
- Balasco M., Lapenna V., Rizzo E., Telesca L. Deep Electrical Resistivity Tomography for Geophysical Investigations: The State of the Art and Future Directions. *Geosciences*. 2022. Vol.12, No. 12. P. 438. <https://doi.org/10.3390/geosciences12120438>
- Bira Wafaei Baneh, Koosha Wafaei Baneh. Review of the Methods for Strengthening and Retrofitting Cultural Heritage Structures. *Journal of Science and Engineering*. 2020. Vol. 4, No. 6. P. 45–56. DOI: [10.25079/ukhjs.v4n1y2020.pp45-56](https://doi.org/10.25079/ukhjs.v4n1y2020.pp45-56)
- Blome M., Maurer H. and Schmidt K., Advances in three-dimensional geoelectric forward solver techniques. *Geophys. J. Int.* 2009. Vol. 176. P. 740–752. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2008.04006.x>
- Burkart Ullrich, Thomas Günther, Carsten Rücker. Electrical resistivity tomography methods for archaeological prospection. *Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)*, Berlin, April 2–6, 2007. URL: https://archiv.ub.uni-heidelberg.de/propylaeumdok/488/1/02_05_ullrich_et_al_resistivity.pdf
- Coscia I., Greenhalgh S., Linde N., Doetsch J., Marescot L., Günther T., Vogt T. and Green A. 3D crosshole ERT for aquifer characterization and monitoring of infiltrating river water. *Geophysics*. 2011. Vol. 76, No. 2. G49–G59. <https://doi.org/10.1190/1.3553003>
- Demchyshyn M.G., Kril T.V. Improvement of the Engineering Protection Systems of the Kyiv-Pechersk Lavra Reserve Territory. *Nauka i innovacii*. 2019. Vol. 15, No. 3. P. 37–51. <https://doi.org/10.15407/scin15.03.037>
- Guide for the Structural Rehabilitation of Heritage Buildings. Pompeu Santos, S. (coord). CIB W023 Commission. June, 2010, 53 p. URL: <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB18446.pdf>
- Hassan Saghi, Abbas Ansariaval. Effective Factors in Causing Leakage in Water Supply Systems and Urban Water Distribution Networks. *American Journal of Civil Engineering*. 2015. Vol. 3, No. 2-2. P. 60–63. DOI: [10.11648/j.ajce.s.2015030202.22](https://doi.org/10.11648/j.ajce.s.2015030202.22)
- Hayashi T., Tokunaga T., Aichi M., Shimad J., Taniguchi M. Effects of human activities and urbanization on groundwater environments: An example from the aquifer system of Tokyo and the surrounding area. *Science of the Total Environment*. 2009. Vol. 407, No. 9. P. 3165–3172. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.07.012>
- Hemeda S. Electrical Resistance Tomography (ERT) Subsurface Imaging for Non-destructive Testing and Survey in Historical Buildings Preservation. *Australian Journal of Basic And Applied Sciences*. 2013. Vol. 7, No. 1. P. 344–357. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:51769244>
- Hudak V.M., Cherevko I.A., Zatserkovnyi V.I., Ostroukh V.I., Ilchenko A.V. Determining of the effects of groundwater regime on the status of architectural monuments of Kyiv-Pechersk Lavra. *Geoinformatics 2020 – XIXth International Conference “Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects”*, Kyiv, Ukraine, May 2020. Kyiv, 2020. P. 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo009>
- Johnson A.I. Methods of measuring soil moisture in the field. *Geological Survey Water-Supply. Paper 1619-U (U-2-2-14)*. United States Government Printing Office, Washington, 1962. <https://doi.org/10.3133/wsp1619U>
- Kril T., Shekhunova S. Terrain elevation changes by radar satellite images interpretation as a component of geo-environmental monitoring. *3th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Monitoring*, Kyiv, Ukraine, Nov. 2019. Kyiv, 2019. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903176>
- Kril T., Shekhunova S., Cherevko I. Identification of Potentially Unstable Areas by Engineering and Geological Processes Monitoring and Heritage Building Deformations. *17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, Kyiv, Ukraine, Nov. 2023. Kyiv, 2023. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520203>
- Kril T., Cherevko I. Identification on Unstable (Landslide Hazard) Areas on Lavra Far-Caves Hill. *Fourth EAGE Workshop on Assessment of Landslide Hazards and impact on communities*, Lviv, Ukraine, Sep. 2023. Lviv, 2023. P. 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023500017>
- Kyiv: Saint-Sophia Cathedral and Related Monastic Buildings, Kyiv-Pechersk Lavra. URL: <https://whc.unesco.org/en/list/527/maps/> (accessed 05 May 2024).
- La Vigna F., Bonfà I., Coppola A.G., Corazza A., Di Filippo C., Ferri G., Martelli S., Rosa C., Succiarelli C. The City of Rome and its groundwater: from critical issues, to urban resilience opportunities. *Acque Sotterranee – Italian Journal of Groundwater*. 2015. Vol. 4, No. 4. P. 59–70. <https://doi.org/10.7343/as-132-15-0159>
- La Vigna F. Review: Urban groundwater issues and resource management, and their roles in the resilience of cities. *Hydrogeology Journal*. 2022. Vol. 30. P. 1657–1683. <https://doi.org/10.1007/s10040-022-02517-1>
- Li Ping, Li Tonglu, Hou Xiaokun, Niu Shuxuan, Fu Yukai, Zhao Quanli. Field experiment on rate of capillary rise in loess. *Journal of Hohai University*. 2014. Vol. 42, No. 6. P. 503–507. DOI: [10.3876/j.issn.1000-1980.2014.06.007](https://doi.org/10.3876/j.issn.1000-1980.2014.06.007)
- Loke M.H. Time-lapse resistivity imaging inversion. *5th Meeting of the Environmental and Engineering Geophysical Society European Section Proceedings*. Budapest, Hungary, 1999.
- Mauriello P, Monna D, Patella D. 3D geoelectric tomography and archaeological applications. *Geophysical Prospecting*. 1998. Vol. 46, iss. 5. P. 543–570. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2478.1998.00102.x>
- Mohd Umzarulazijo Umar, Mohd Hanizun Hanafi, Normah Abdul Latip, A. Ghafar Ahmad. Strengthening of Historic Buildings through Structural Repair Works: Review of the Methods and Process. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. April 2015. Vol. 97, No. 7. P. 358–362. URL: <https://www.ajbas-web.com/old/ajbas/2015/April/358-362.pdf>

Moon P., Spencer D.E. *Field Theory Handbook: Including Coordinate Systems, Differential Equations and Their Solutions*. 2nd ed. Springer, Berlin, 1988. 236 p.

Rapid geophysical inversion with Res2DInv and Res3DInv. URL: <https://www.seequent.com/ru/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%8B-%D0%B8-%D1%80%D0%B5%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F/res2d-inv-%D0%B8-res3dinv/> (accessed 05 September 2023).

Tsourlos P.I., Tsokas G.N. Non-destructive Electrical Resistivity Tomography Survey at the South Walls of the Acropolis of Athens. *Archaeological Prospection*. 2011. Vol. 18, No. 3. P. 173–186. DOI: 10.1002/arp.416

Williams E., Ahenkorah I., Baffoe E., Awotoye T.F., Ephraim G.L., Asebiah D.C. Application of Geoelectric Resistivity to Determine Soil Moisture Distribution. *American Journal of Engineering Research*. 2018. Vol. 7, iss. 5. P. 113–124. URL: <https://www.ajer.org/papers/Vol-7-issue-5/M0705113124.pdf>

References

ABEM Terrameter LS Toolbox User Manual. Sundbyberg, Sweden, 47 p. URL: <https://www.guidelinegeoc.cdn.triggerfish.cloud/uploads/2016/03/ABEM-Terrameter-LS-Toolbox-v2.0.1-User-Manual-1.pdf> (accessed 28 September 2023).

Arkhipenko O.A., Arkhipenko A.O. 2017. Architectural monument of national significance “Church of the Savior on Berestov”. 2. Complex scientific studies. Book 2.7. Technical report on engineering and geological investigations at the restoration site. Kyiv (in Ukrainian).

Arkhipenko O.A., Konyushin V.V. 2018. Works on the construction of a network of hydrogeological wells on the territory of the National Kyiv-Pechersk Historical and Cultural Reserve. LLC KB PRIDE, code 154/2-IG-TZ. Kyiv (in Ukrainian).

Balasco M., Lapenna V., Rizzo E., Telesca L. 2022. Deep Electrical Resistivity Tomography for Geophysical Investigations: The State of the Art and Future Directions. *Geosciences*, 12 (12): 438. <https://doi.org/10.3390/geosciences12120438>

Bases and foundations of buildings: DBN V.2.1-10-2009 [Effective from 2009-10-01]. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2009. (State building regulations of Ukraine) (in Ukrainian).

Bira Wafaei Baneh, Koosha Wafaei Baneh. 2020. Review of the Methods for Strengthening and Retrofitting Cultural Heritage Structures. *Journal of Science and Engineering*. 4 (6): 45–56. DOI: 10.25079/ukhjs.v4n1y2020.pp45-56

Blome M., Maurer H. and Schmidt K. 2009. Advances in three-dimensional geoelectric forward solver techniques. *Geophys. J. Int.* 176: 740–752. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2008.04006.x>

Bondar K.M. 2021. Geophysical methods in archeology: theory, methodology, practice: autoref. thesis ... Dr. Geol. Sciences: 04.00.22 / Bondar Ksenia Mykhailivna; Kyiv National University named after Taras Shevchenko. Kyiv (in Ukrainian).

Buildings and structures in difficult engineering and geological conditions. General provisions: DBN V.1.1-45:2017. [Effective from 2017-10-01]. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2017. 35 p. (State building regulations of Ukraine) (in Ukrainian).

Burkart Ullrich, Thomas Günther, Carsten Rücker. 2007. Electrical resistivity tomography methods for archaeological prospection. Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), Berlin, April 2–6, 2007. URL: https://archiv.ub.uni-heidelberg.de/propylaeumdok/488/1/02_05_ullrich_et_al_resistivity.pdf

Cherednichenko E.F. 2006. Architecture and functional purpose of the underground structures of the Upper Lavra. Mohyla readings, pp. 550–556 (in Ukrainian).

Complex research of the geoeological state of preservation of the historical and cultural heritage objects of the National Reserve “Kyiv-Pechersk Lavra” in the conditions of military operations. Bugai D.O. Scientific report. 2023. Kyiv (in Ukrainian).

Coscia I., Greenhalgh S., Linde N., Doetsch J., Marescot L., Günther T., Vogt T. and Green A. 2011. 3D crosshole ERT for aquifer characterization and monitoring of infiltrating river water. *Geophysics*, 76 (2): G49–G59. <https://doi.org/10.1190/1.3553003>

Demchishin M.G., Kraev V.F., Saenko T.S., Sergeeva L.G. 1991. Loess cover of the territory of Ukraine in the sphere of technogenesis. Kyiv. 55 p. (Preprint / Academy of Sciences of Ukraine. Institute of Geological Sciences; 91-9) (in Ukrainian).

Demchyshyn M.G., Kril T.V. 2019. Improvement of the Engineering Protection Systems of the Kyiv-Pechersk Lavra Reserve Territory. *Nauka i innovacii*, 15 (3): 37–51. <https://doi.org/10.15407/scin15.03.037>

Demchyshyn M.G., Rybin V.F. 1998. Engineering-geological studies on the territory of the Kyiv-Pechersk State Reserve for the project of reproduction of the Assumption Cathedral and engineering protection of the territory of the Upper Lavra: Scientific report. Institute of Geol. of Sciences of NAS of Ukraine. Kyiv. 89 p. (in Ukrainian).

Degtyarev B.M., Dzektsler E.S., Muftakhov A.Zh. 1985. Protection of foundations of buildings and structures from the effects of groundwater. Moscow: Stroyizdat. 264 p. (in Russian).

Engineering protection of territories and structures against flooding and inundation: DBN V.1.1-25-2009. [Effective from 2011-01-01]. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2010. 52 p. (State building regulations of Ukraine) (in Ukrainian).

Engineering protection of the territory of the Reserve. Current state. M 1:1000. Organization plan of the territory of the National Kyiv-Pechersk Historical and Cultural Reserve. Development by Sur M.G., Onishchenko V.M., Sokovnina N.Kh. 1 sheet, inv. no. 2012-45-GP. State enterprise “NDPI urban development”, 2012 (in Ukrainian).

Engineering searches for construction: DBN A.2.1-1-2008. [Effective from 2008-07-01]. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2008. 74 p. (State building regulations of Ukraine) (in Ukrainian).

Geological map of Ukrainian USSR of scale 1:50 000. Kyiv industrial area (1984). Explanatory note in 2 parts. Kolot Ye.I., Kuzyshyna L.P., Kutovoi V.Y., Lavryk V.F., Marakhovskaia Y.Y., Selyu Yu.Y., Solovytskyi V.N., Shestopalova E.V. Kyiv (in Russian).

Guidelines for the inspection of buildings and structures to determine and assess their technical condition. DSTU-N B V.1.2-18:1016. [Effective from 2017-04-01]. Kyiv, 2017. 44 p. (in Ukrainian).

Guide for the Structural Rehabilitation of Heritage Buildings. Pompeu Santos, S. (coord). CIB W023 Commission. June, 2010, 53 p. URL: <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB18446.pdf>

Guidelines for performing repair and restoration works on monuments of architecture and urban planning: DSTU-NB V.3.2-4:2016 [Effective from 2017-01-01]. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2016. 50 p. (State Standard of Ukraine) (in Ukrainian).

Hassan Saghi, Abbas Ansari Aval. 2015. Effective Factors in Causing Leakage in Water Supply Systems and Urban Water Distribution Networks. *American Journal of Civil Engineering*, 3 (2-2): 60–63. DOI: 10.11648/j.ajce.s.2015030202.22

Hayashi T., Tokunaga T., Aichi M., Shimada J., Taniguchi M. 2009. Effects of human activities and urbanization on groundwater environments: An example from the aquifer system of Tokyo and the surrounding area. *Science of the Total Environment*, 407 (9): 3165–3172. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.07.012>

Hemeda S. 2013. Electrical Resistance Tomography (ERT) Sub-surface Imaging for Non-destructive Testing and Survey in Historical Buildings Preservation. *Australian Journal Of Basic And Applied Sciences*. 7 (1): 344–357. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:51769244>

Hudak V.M., Cherevko I.A., Zatserkovnyi V.I., Ostroukh V.I., Ilchenko A.V. 2020. Determining of the effects of groundwater regime on the status of architectural monuments of Kyiv-Pechersk Lavra. *Geoinformatics 2020 – XIXth International Conference “Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects”*, Kyiv, Ukraine, May 2020. Kyiv, pp. 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo009>

- Johnson A.I. Methods of measuring soil moisture in the field. Geological Survey Water-Supply. Paper 1619-U (U-2-2-14). United States Government Printing Office, Washington, 1962. <https://doi.org/10.3133/wsp1619U>
- Kovalevsky A.L. 1975. Features of the formation of ore biogeochemical halos. Novosibirsk: Nauka. 115 p. (in Russian).
- Kril T., Shekhunova S. 2019. Terrain elevation changes by radar satellite images interpretation as a component of geo-environmental monitoring. *3th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, Monitoring, Kyiv, Ukraine, Nov. 2019. Kyiv, pp. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903176>
- Kril T., Shekhunova S., Cherevko I. 2023. Identification of Potentially Unstable Areas by Engineering and Geological Processes Monitoring and Heritage Building Deformations. *17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, Kyiv, Ukraine, Nov. 2023. Kyiv, pp. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520203>
- Kril T., Cherevko I. 2023. Identification on Unstable (Landslide Hazard) Areas on Lavra Far-Caves Hill. *Fourth EAGE Workshop on Assessment of Landslide Hazards and impact on communities*, Lviv, Ukraine, Sep. 2023. Lviv, pp. 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023500017>
- Kyiv: Saint-Sophia Cathedral and Related Monastic Buildings, Kyiv-Pechersk Lavra. URL: <https://whc.unesco.org/en/list/527/maps/> (accessed 05 May 2024).
- La Vigna F., Bonfà I., Coppola A.G., Corazza A., Di Filippo C., Ferri G., Martelli S., Rosa C., Succhiarelli C. 2015. The City of Rome and its groundwater: from critical issues, to urban resilience opportunities. *Acque Sotterranee – Italian Journal of Groundwater*, 4 (4): 59–70. <https://doi.org/10.7343/as-132-15-0159>
- La Vigna F. 2022. Review: Urban groundwater issues and resource management, and their roles in the resilience of cities. *Hydrogeology Journal*, 30: 1657–1683. <https://doi.org/10.1007/s10040-022-02517-1>
- Li Ping, Li Tonglu, Hou Xiaokun, Niu Shuxuan, Fu Yukai, Zhao Quanli. 2014. Field experiment on rate of capillary rise in loess. *Journal of Hohai University*, 42 (6): 503–507. DOI: [10.3876/j.issn.1000-1980.2014.06.007](https://doi.org/10.3876/j.issn.1000-1980.2014.06.007)
- Loke M.H. 1999. Time-lapse resistivity imaging inversion. *5th Meeting of the Environmental and Engineering Geophysical Society European Section Proceedings*. Budapest, Hungary,
- Matsola O.I., Korbutyak O.M., Lopata O.V. 2023. Report on the provision of services in geological, geophysical and other types of scientific exploration “Special engineering and geophysical searches on the territory of the national reserve “Kyiv-Pechersk Lavra” within the boundaries of flooding zones, underground voids and the development of failure processes by the method of vertical electric sounding and natural electric field, area – 0.6 ha”. Kyiv (in Ukrainian).
- Mauriello P., Monna D., Patella D. 1998. 3D geoelectric tomography and archaeological applications. *Geophysical Prospecting*, 46, 5: 543–570. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2478.1998.00102.x>
- Mohd Umzarulazijo Umar, Mohd Hanizun Hanafi, Normah Abdul Latip, A. Ghafar Ahmad. Strengthening of Historic Buildings through Structural Repair Works: Review of the Methods and Process. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 9(7) April 2015, Pages: 358–362. URL: <https://www.ajbasweb.com/old/ajbas/2015/April/358-362.pdf>
- Molodchenko G.A., Gryn V.I. 1993. Reconstruction and strengthening completed and constructed. Kyiv: ISIO. 173 p. (in Russian).
- Moon P., Spencer D.E. 1988. *Field Theory Handbook: Including Coordinate Systems, Differential Equations and Their Solutions*. 2nd ed. Springer, Berlin.
- Nikolishin V.P. 1983. Report on the results of summarizing materials from engineering-geological surveys of past years on the territory of the Kiev-Pechersk State Nature Reserve “Lavra”: Research report. State institute Kievproekt; inv. No. 7833. Kyiv (in Russian).
- Nikolishin V.P. 1987. Report on the results of summarizing materials from engineering-geological surveys of past years in the Upper Lavra: Research report. State institute Kievproekt; ynv. No. 8739. Kyiv (in Russian).
- Ogilvy A.A. 1990. *Fundamentals of Engineering Geophysics*. Moscow: Nedra. 501 p. (in Russian).
- Pasko Roman, Terenchuk Svitlana, Aghezzaf Amine, 2020. Analysis of deterioration causes to the technical condition of buildings constructed on subsidence loess soils. *Management of Development of Complex Systems*. 43: 116–122. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2020.43.116-122> (in Ukrainian).
- Plan of the current state of the territory of the Reserve. M 1:500. Organization plan of the territory of the National Kyiv-Pechersk Historical and Cultural Reserve. Development by Sokovnina N. Kh., Vdovichenko S.V., Pasholok S.P. 1 sheet, inv. no. 2012-49-GP. State enterprise “NDPI urban development”, 2012 (in Ukrainian).
- Planning and development of territories: DBN B.2.2–12–20019. 2019. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine (State building regulations of Ukraine) (in Ukrainian).
- Rapid geophysical inversion with Res2DInv and Res3DInv. URL: <https://www.seequent.com/ru/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%8B-%D0%B8-%D1%80%D0%B5%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F/res2d-inv-%D0%B8-res3dinv/> (accessed 05 September 2023).
- Rybin V.F., Demchyshyn M.G., Cherevko I.A., Kutsiba V.O., Chornyi H.I., Kanarova O.S., Sakhno A.P. 2001. Develop a methodology and substantiate the monitoring of the geological environment of the historical building zones of the city of Kyiv for the purpose of protecting historical and architectural monuments. Scientific Report No. state register. 15-2001. Kyiv: IGN NAS of Ukraine (in Ukrainian).
- Samedov A.M. 2013. Calculation and design of geotechnical engineering structures. Kyiv: NTUU “KPI” (in Russian).
- Shestopalov V.M. (Ed.), 1991. Water exchange in hydrogeological structures of Ukraine: Water exchange in disturbed conditions. Kiev: Naukova Dumka. 528 p. (in Russian).
- Tsourlos P.I., Tsokas G.N. 2011. Non-destructive Electrical Resistivity Tomography Survey at the South Walls of the Acropolis of Athens. *Archaeological Prospection*, 18 (3): 173–186. DOI: [10.1002/arp.416](https://doi.org/10.1002/arp.416)
- Tugaenko Y., Marchenko M., Loginova L. 2014. Influence of moisture content of loess soils processes of their seals shock load. *Modern technologies, materials and structures in construction*. 2: 47–52. (in Ukrainian).
- Vlasenko A.I. 1962. Report on engineering-geological research of the site of the main bell tower of the Kiev-Pechersk Lavra Museum: Research report. State institute Kievproekt; inv. No. 2881. Kyiv (in Russian).
- Vyzhva S.A., Reva M.V., Onyshchuk I.I., Onyshchuk V.I. 2014. *Electrometry. Guide to educational geophysical practice*. Kyiv: VOC “Kyiv University” (in Ukrainian).
- Vinnikov Yu.L., Mukha V.A., Yakovlev A.V., Andrievska O.V., Bida S.V. 2002. *Foundations of buildings and structures. Reference guide*. Kyiv: Urozhai. 432 p. (in Ukrainian).
- Zviryaka A.M., Bobrovskiy T.A., Balakin S.A., Golovatenko Yu.G. Wine cellar in the garden of the Metropolitan (Underground structure #9). Passport of the object of cultural heritage. Research Institute of Monument Protection Studies, Kyiv. 2012, 46 p. and appendices (historical plans and images, maps, sections, photofixation) (in Ukrainian).
- Zuevska N.V. 2013. Emergency phenomena at urban facilities in the conditions of loess subsidence soils in the presence of a temperature factor. *Bulletin of the Donetsk Mining Institute*, 1 (32): 11–115 (in Ukrainian).
- Zuevska N.V. 2012. Intensification of the process of subsidence of loess soils taking into account the hydrothermal factor. *Bulletin of the Donetsk Mining Institute*, 1 (30)–2 (31): 469–474 (in Ukrainian).
- Williams E., Ahenkorah I., Baffoe E., Awotoye T.F., Ephraim G.L., Asebiah D.C. 2018. Application of Geoelectric Resistivity to Determine Soil Moisture Distribution. *American Journal of Engineering Research*, 7, 5, pp. 113–124. URL: <https://www.ajer.org/papers/Vol-7-issue-5/M0705113124.pdf>

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.3.304322>

УДК [551.763:552.13/14:553.4]
(477.83+477.85/.86:292.452)

E-mail: mykola.pavlun@lnu.edu.ua,
<http://orcid.org/0000-0002-8634-6576>;
anton.heneralov@lnu.edu.ua,
<https://orcid.org/0000-0002-4221-0415>;
larysa.heneralova@lnu.edu.ua,
<https://orcid.org/0000-0002-6033-6556>;
oleksandr.kostyuk@lnu.edu.ua,
<https://orcid.org/0000-0003-2218-1757>

*Corresponding author /

Автор для кореспонденції:
L.V. Heneralova, larysa.heneralova@lnu.edu

Received / Надійшла до редакції:
17.05.2024

Received in revised form /
Надійшла у ревізованій формі:
10.08.2024

Accepted / Прийнята:
07.09.2024

Keywords: geology; stratigraphy; mudstone; hemipelagites; mineral types; background formations; Skyba Nappe; Boryslav-Pokuttya Nappe; Ukrainian Carpathians.

Ключові слова: геологія; стратиграфія; аргіліти; геміпелагіти; мінеральні типи; фонові утворення; Скибовий покрив; Бориславсько-Покутський покрив; Українські Карпати.

Верхньокрейдово-нижньоеоценові аргіліти Зовнішніх Карпат (петрохімічний та палеогеодинамічний аспекти)

М.М. Павлунь, А.В. Генералов, Л.В. Генералова*, О.В. Костюк

Львівський національний університет ім. Івана Франка, Львів, Україна

Upper Cretaceous–Lower Eocene mudstones of the Outer Carpathians (petrochemical and paleogeodynamic aspects)

M.M. Pavlun, A.V. Heneralov, L.V. Heneralova*, O.V. Kostyuk

Lviv National Ivan Franko University, Lviv, Ukraine

The mineral types of the Upper Cretaceous–Lower Eocene greenish-gray mudstones of the Skyba and Boryslav-Pokuttya nappes of the Outer Carpathians were studied. According to sedimentological features, these mudstones belong to hemipelagites and contain information about the background sedimentation conditions of the deep-sea oceanic basin. The purpose of the work is to clarify the paleogeodynamic features of the basin based on the results of studying the material composition of the Upper Cretaceous–Lower Eocene background mudstones, which in particular are part of the variegated-colored horizons. Research methods were geological mapping, X-ray structural, sedimentological, lithostratigraphic, petrogeochemical, geodynamic analysis. On the classification module diagram $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3-(\text{FeO}^*+\text{MnO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2$, the figurative points of the contents of the Upper Cretaceous–Lower Eocene mudstones of the Stryi, Yamna, and Manyava suites fall into the fields corresponding to two mineral types: a mixture with a predominance of montmorillonite and three-component mixture of chlorite+montmorillonite+hydromica composition. According to the obtained data, a gradual change in the conditions of the sedimentary environment from the Late Cretaceous to the Eocene can be traced, with a successive increase in the normalized alkalinity modulus and a decrease in the phemic modulus. On the paleogeodynamic discriminant diagrams $(\text{FeO}^*+\text{MgO})-\text{TiO}_2$ and F1–F2, figurative points of Upper Cretaceous–Lower Eocene mudstones form petrochemical distribution trends that cover the fields of geodynamic conditions from passive to active margins of the sedimentation basin. The Cretaceous–Paleogene pelagic mudstones of the Sicilian domain of the Alpine Belt have a similar distribution of petrochemical components. The mineral assemblages found in the mudstones of the Skyba and Boryslav-Pokuttya nappes are typical for deep-sea clay sediments of modern oceans. The presence of montmorillonite and chlorite in the background argillites indicates a high probability of a contribution to the background petrofund of the sedimentary basin by a femic magmatic component of endogenous origin, realized as a manifestation of volcanic and hydrothermal activity, synchronous to sedimentogenesis. An exogenous source could be the magmatic material transferred or changed by the processes of halmyrolysis, which is not synchronous with sedimentation. The Late Cretaceous–Early Eocene geodynamic events of the Outer Carpathian sedimentary basin developed in front of the ALCAPA and Tisza-Dacia terranes of the Alpine Tethys. Convergence, which caused the formation of the accretionary prism in front of the terranes, could contribute to the riftogenic (?) opening, deepening of the Outer Carpathian Basin, where the penetration of synsedimentary endogenous material, mainly of the basic composition, took place. This material could be the rock-forming source of the basin substrate, on which the mineral assemblages of the background hemipelagic mudstones were formed.

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2024. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2024. This is an Open Access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Цитування: Павлунь М.М., Генералов А.В., Генералова Л.В., Костюк О.В. Верхньокрейдово-нижньоеоценові аргіліти Зовнішніх Карпат (петрохімічний та палеогеодинамічний аспекти). *Геологічний журнал*. 2024. № 3 (388). С. 31–47. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.3.304322>

Citation: Pavlun M.M., Heneralov A.V., Heneralova L.V., Kostyuk O.V. 2024. Upper Cretaceous–Lower Eocene mudstones of the Outer Carpathians (petrochemical and paleogeodynamic aspects). *Geologichnij zhurnal*, 3 (388): 31–47. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.3.304322>

Вступ

На сучасному етапі розвитку геологічної науки формується тенденція щодо використання седиментологічних та петрогеохімічних досліджень теригенних порід для виявлення нових закономірностей та уточнення тектоно-седиментаційних моделей розвитку регіонів. Важливу роль у таких дослідженнях відіграють пеліти – осадові тонкозернисті породи різного складу та походження. Для реконструкції складу пелітів та розшифрування геодинамічних обстановок формування відкладів застосовуються класифікаційні та дискримінантні петрохімічні діаграми. Практика вивчення тонкозернистих теригенних відкладів різних регіонів показує, що використання петрохімічних даних дає підстави достатньо обґрунтовано встановлювати умови формування первинних осадів (Сокур, 2013; Маслов, 2014; Маслов и др., 2015). Крім вивчення складу важливе значення має пошарове дослідження у відслонених розрізах відкладів насамперед осадових текстур і структур, які несуть інформацію про давні процеси осадоагромадження та є основою методу седиментологічного, зокрема фаціального, аналізу. Седиментологічний аналіз для відкладів позашельфових океанічних обстановок дозволяє розрізнити утворення пелагічного і суспензійно-потокowego седиментогенезу. Утворення пелагічного седиментогенезу (пелагіти і близькі до них геміпелагіти) акумулювались з субвертикальних потоків. Потони складають універсальний «пелагічний» фон, на який подієво, епізодично накладається суспензійно-потоківий седиментогенез.

Типові пелагіти і геміпелагіти складені кремністими, вапняковистими або теригенними мулістими утвореннями, що залягають на дні у вигляді осадового «фоновий плаща». Він обволікає нерівності рельєфу або перешаровується з турбідитами і контуритами. (Гемі)пелагітам притаманні гомогенні текстури за умови рівномірності седиментаційного потоку або горизонтальна ламінованість різного масштабу – при змінах інтенсивності потоку чи складу осадового матеріалу.

Українські Карпати згідно з поперечною зональністю орогену складаються з Внутрішніх та Зовнішніх. Зовнішні (Флішеві) Карпати включають низку флішево-моласових покривів, серед яких ми зупинимось на Скибовому та Бориславсько-Покутському покривах. Їх стратиграфічні розрізи та структури дозволяють сформувати цілісне уявлення про крейдово-палеогенову седи-

ментогенну, структурну і палеогеодинамічну природу палеобасейну осадоакопичення. В межах цих покривів розвинений фліш, представлений турбідитами, які чергуються з фоновими (гемі)-пелагітами.

Метою роботи є уточнення палеогеодинамічних особливостей Карпатського седиментаційного басейну за результатами вивчення речовинного складу верхньокрейдово-нижньоеоценових фонових аргілітів (які, зокрема, входять до стратокотолірних горизонтів), розвинених у межах Скибового та Бориславсько-Покутського покривів. Для досягнення мети реалізуються такі завдання: на підставі польових досліджень деталізуються літодинамічні типи фонових аргілітів Скибового покриву; виконується згрупування виборок петрохімічних даних фонових геміпелагічних зеленкувато-сірих аргілітів Скибового та Бориславсько-Покутського покривів щодо стратонів, які розглядаються (стрийської, ямненської, манявської світ); аналізується розташування фігуративних точок складу фонових аргілітів на класифікаційних та дискримінантних палеогеодинамічних діаграмах; розглядається залежність складу аргілітів від впливу ендегенних магматичних джерел та процесів постседиментаційних змін; обговорюються палеогеографічні та палеогеодинамічні умови утворення фонових аргілітів у контексті розвитку Зовнішньокарпатського палеобасейну.

Аналіз попередніх досліджень

Геологічне вивчення північного схилу Українських Карпат розпочато в кінці XIX ст. Дослідження, проведені у XX ст. та на початку XXI ст., дозволили опублікувати праці про стратотипи крейди та палеогену Українських Карпат (Вялов и др., 1988), регіональні стратиграфічні схеми крейдових (Вялов и др., 1989; Стратиграфія..., 2013) та палеогенових (Андреева-Григорович и др., 1984) відкладів, які стали важливим методичним підґрунтям зйомочних робіт району. В нашій статті використана стратифікація відкладів Скибового та Бориславсько-Покутського покривів, наведена в роботі (Гнилко та ін., 2021).

Умови та процеси накопичення флішу Українських Карпат, з використанням турбідитної концепції, розглядалися починаючи з 60-х років XX ст. у працях Л.В. Лінецької, М.А. Беєра, М.А. Вуля, Я.О. Кульчицького, Ю.М. Сеньковського, А.С. Пилипчака. У кінці минулого – на початку цього століт-

тя виконано великий об'єм робіт з довивчення та видання Карпатської серії аркушів Держгеокарти України масштабу 1:200 000, з якими пов'язані тематичні дослідження, що сприяли деталізуванню питань стратиграфії, седиментології, літології, тектоніки та геологічної еволюції регіону.

Сучасне вивчення Флішевих Карпат методами седиментаційного та біостратиграфічного аналізів дозволило доповнити знання про стратифікацію крейдово-міоценових утворень, виокремити їх літодинамічні (фаціальні) типи (Андреєва-Григоревич та ін., 2014; Гнилко та ін., 2021, 2022, 2023) та окреслити стадії тектоно-седиментаційної еволюції регіону (Сеньковський та ін., 2004, 2018; Третьак та ін., 2015). Дані цих робіт свідчать, що період формування верхньокрейдово-нижньоеоценових утворень характеризується глибоководними умовами турбідитної седиментації близько CCD (Calcite Compensation Depth), яка періодично чергувалась з (гемі)пелагічним осадженням (Сеньковський та ін., 2018; Гнилко та ін., 2021, 2022).

Океанографічне дослідження сучасних океанів отримало значні здобутки у вивченні глибоководних осадових систем. За цими даними пелагічні (Осадконакопление..., 1979) фонові глини вирізняються полімінеральним складом пелітових компонентів. Головні глинисті мінерали, які присутні майже завжди, представлені гідрослюдою (ілітом), монтморилонітом (групи смектитів), хлоритом, іноді каолінітом. Найбільше розповсюджені гідрослюда (іліт) та монтморилоніт. Їх вміст може досягати 70 % від суми глинистих мінералів, хоча стандартний петрофон в осадах становить не менше 20 %. Під дією гідротерм утворюються чисті монтморилонітові глини. Суттєвий внесок у складі глин належить уламковому матеріалу, головню кварцу і польовим шпатам та тонкодисперсному вулканічному склу. Завжди присутні рентгеноаморфна фаза, до якої входять приховано кристалічні та колоїдні форми водних силікатів, вулканічне скло, гідроксиди заліза та мангану, іноді опал. В евпелагічних глинах є аутигенний монтморилоніт, що утворився в результаті гальміролітичного перетворення базальтової гіалокластики. Взагалі основна маса монтморилоніту утворюється при перетворенні попелового матеріалу (Осадконакопление..., 1979; Хмелевський, 2015). Вивчення глинистих мінералів дає підстави дослідникам зробити висновок, що глинисті мінерали в процесі седиментогенезу не зазнають настільки глибоких змін, щоб легко перетворюватися з одного в інший (Hower et al., 1976).

Мінеральний склад зеленкувато-сірих аргілітів (фракція менше 0,001 мм) північно-східної частини Зовнішніх Карпат (Скибовий та Бориславсько-Покутський покриви) вивчався з використанням рентгеноструктурного аналізу (Габинет и др., 1976; Афанасьєва, 1983; Габинет, 1985; Гавришків та ін., 2007; Гаєвська, 2009). Цей аналіз показав, що верхньокрейдово-нижньоеоценові аргіліти характеризуються близьким вмістом гідрослюди, монтморилоніту, каолініту та хлориту.

Узагальнені результати досліджень, виконані попередниками, показують, що до складу зеленкувато-сірих аргілітів входять гідрослюда (іліт), змішаносаруваті мінерали іліт-монтморилоніт (Габинет и др., 1976; Габинет, 1985) та хлорит-монтморилоніт (Гавришків та ін., 2007; Гаєвська, 2009), хлорит (Габинет и др., 1976; Афанасьєва, 1983; Габинет, 1985). Монтморилоніт та хлорит наявні у вільній фазі. Для фракції відмічено високий вміст води та заліза завдячуючи присутності у вільній фазі залізного хлориту та монтморилоніту. Серед аргілітів стрийської та ямненської світ фіксується каолініт (Габинет и др., 1976; Габинет, 1985). Виконані перерахунки (Габинет и др., 1976; Афанасьєва, 1983; Габинет, 1985; Гавришків та ін., 2007; Гаєвська, 2009) петрохімічних аналізів на мінерали показують, що склад верхньокрейдово-нижньоеоценових аргілітів має варіативність, а саме: у стрийській світі – 44,60–69,45 % гідрослюди, 18,0–50,8 % монтморилоніту, хлориту від 0 до 4,7–21,54 %, каолініту від 0 до 17,75–25,2 %; в ямненській світі (головно у складі яремчанського горизонту) – 39,0–90,4 % гідрослюди, 8,2–35,3 % монтморилоніту, хлориту від 0 до 35,7 %; у манявській світі – 36,0–74,1 % гідрослюди, 2,3–34,0 % монтморилоніту, хлориту 4,4–29,05 %. Часто в аргілітах наявний уламковий матеріал (0,01–0,08 мм), представлений кварцом, польовими шпатами, уламками гірських порід, який нерівномірно розподілений в основній масі (його кількість змінюється від кількох зерен до 10–15 %).

Мінералогічні та літологічні особливості фонових аргілітів Скибового та Бориславсько-Покутського покривів вивчено досить ґрунтовно. Проте поява матеріалів про будову Українських Карпат та суміжних з ними територій з позицій плитно-тектонічної парадигми і застосування методів петрохімічного дослідження фонових породних асоціацій відкривають нові можливості щодо порівняння складу світ у процесі еволюційного розвитку регіону, палеогеографічних та палеогеодинамічних реконструкцій регіону і виявлення ресурсів потенційної металогенічної спеціалізації аргілітів.

Матеріали та методи досліджень

Дослідження проведено з використанням методів геологічного картування, рентгеноструктурного, седиментологічного, літостратиграфічного, петрогеохімічного, палеогеодинамічного аналізів. Під час польових робіт у межах річки Стрий-Дністер літодинамічні типи фонових аргілітів вивчено та уточнено за методами седиментологічного аналізу (Einsele, 1992; Posamentier, Walker, 2006; Гнилко, 2010, 2016). Враховано опубліковані дані. Для характеристики петрохімічних параметрів аргілітів використано аналізи фракції менше 0,001 мм з породних комплексів стрийської, ямненської та манявської світ, відомі за джерелами (Габинет и др., 1976; Афанасьєва, 1983; Габинет, 1985; Гавришків та ін., 2007; Гаєвська, 2009; Генералова, Степанов, 2015). Для систематики глинистих порід та визначення мінеральних асоціацій аргілітів за літохімічними параметрами використано класифікаційну модульну діаграму $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / \text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{FeO}^* + \text{MnO} + \text{MgO}) / \text{SiO}_2$ НКМ-ФМ (Юдович, Кетрис, 2000; Маслов и др., 2015). Для типізації палеогеодинамічних обстановок осадо-нагромадження Зовнішньокарпатського басейну

застосовано модульні діаграми $(\text{FeO}^* + \text{MgO}) - \text{TiO}_2$ (Bhatia, 1983) та F1-F2 (Bhatia, 1983). Отримані результати порівнювались між собою та з відомими світовими аналогами.

Аналіз палеогеодинамічної позиції регіону досліджень в пізньокрейдово-ранньоеоценовий час виконано з огляду тектонічної схеми, складеної О.М. Гнилком (Гнилко, 2012, 2016; Третьак та ін., 2015), та запропонованої ним моделі геологічної будови і розвитку Українських Карпат з позицій тектоніки плит. Також враховано матеріали про геодинамічний розвиток складчасто-покривної системи Альпи-Карпати-Динариди (Csontos, Vörös, 2004; Schmid et al., 2008, 2020; Kovač et al., 2016).

Характеристика верхньокрейдово-нижньоеоценових відкладів Скибового та Бориславсько-Покутського покривів. Літостратиграфічний верхньокрейдово-нижньоеоценовий інтервал розрізу Скибового покриву (рис. 1), що розглядається в роботі, відповідає геодинамічним подіям Зовнішньокарпатського басейну, які характеризуються глибоководним океанічним режимом.

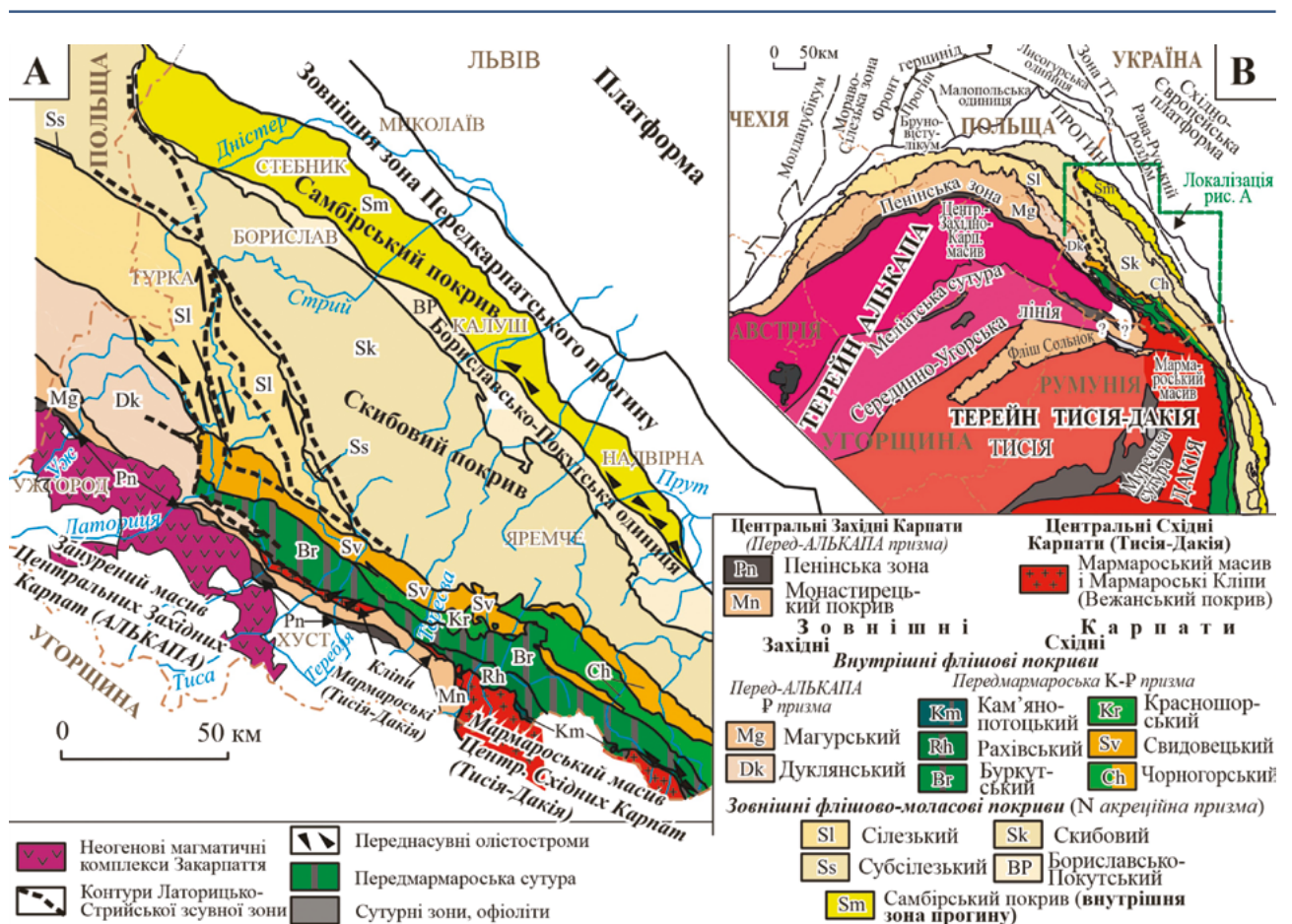


Рис. 1. Тектонічна схема Українських Карпат (Гнилко, 2012, 2016)
 Fig. 1. Tectonic scheme of the Ukrainian Carpathians (Hnylko, 2012, 2016)

Стратиграфічний розріз відкладів, розвинених у межах Скибового та Бориславсько-Покутського покривів (поданий за (Гнилко та ін., 2021)), починається барем-альбськими темно-сірими аргілітами та пісковиками спаської світи (геміпелагіти з прошарками турбідитів) і сеноман-туронськими мергелями головнинської світи (геміпелагіти з прошарками турбідитів). На них залягає сенон-палеоценовий сірий фліш стрийської світи. Стрийська світа складена різнозернистими турбідитами з текстурами Боума T_{abcde} (понад 1000 м). Потужність турбідитних шарів від перших десятків сантиметрів до 2–3 м. Між ними наявні шари зеленкувато-сірих або строкатоколірних аргілітів з прошарками дрібнозернистих турбідитів. Стрийська світа вверх по розрізу наращується

середньо-верхньопалеоценовими пісковиками ямненської світи (до 350 м) з яремчанським горизонтом строкатоколірних аргілітів і дрібнозернистих пісковиків (до 40 м) в основі. Ямненська світа вверх по розрізу наращується відкладами нижньоеоценового тонко-середньоритмічного зеленого або строкатоколірного флішу манявської світи (до 400 м). На різних стратиграфічних рівнях розрізу манявської світи розвинуті строкатоколірні горизонти (перші метри–перші десятки метрів) (рис. 2), які представлені тонким (потужністю від перших сантиметрів до 20 см) перешаруванням зеленкувато-сірих і вишнево-червоних аргілітів. У зеленкувато-сірих породах відзначають текстури Боума T_{de} , T_{cde} , які дозволяють віднести їх до дрібнозернистих турбідитів та геміпелагітів.



Рис. 2. Корінні виходи строкатоколірних порід манявської світи по правому борту потоку Святославчик басейну р. Опір (Львівська обл., Стрийський р-н, північно-східна околиця с. Гребенів)

Fig. 2. Native outcrops of variegated rocks of the Manyava suite on the right bank of the Sviatoslavchik stream of the Opir river basin (Lviv region, Stryi district, northeastern outskirts of the village of Hrebeniv)

За седиментологічними даними, які отримані попередниками та нами (Генералова, Степанов, 2015; Генералова та ін., 2022), у зазначених верхньокрейдово-нижньоеоценових відкладах діагностуються геміпелагіти та пелагіти (вишнево-червоні, зеленкувато-сірі аргіліти строкатоколірних горизонтів), різнозернисті дистальні турбідити з текстурами Боума та грейнити з прошарками дебритів (масивні ямненські пісковики). Відповідно до класифікацій літодинамічних (генетичних) типів утворень позашельфових океанічних областей турбідити та грейнити є продуктами дії гравітаційних підводних епізодичних схилових потоків; геміпелагіти та пелагіти (рис. 3) належать до утворень постійно діючих повільних вертикальних седиментаційних потоків типу «частинка за частинкою». Серед геміпелагітів іноді трапляються малопотужні шари халцедонолітів (рис. 4). Геміпелагіти та пелагіти

розглядаються як фонові фації; вони значною мірою представлені матеріалом пелітової розмірності, який своїм складом головно характеризує хімізм басейну седиментації.

На підставі мікропалеонтологічного та седиментологічного вивчення верхньокрейдово-нижньоеоценових породних комплексів встановлено, що в цей час у басейні седиментації домінувала глибоководна (близько CCD – Calcite Compensation Depth) гравітитова (переважно турбідитна) седиментація. Вона періодично змінювалась (гемі)пелагічним осадженням. Власне ямненські пісковики дослідники розглядають як комплекси каналів стоку, тонкозернисті дистальні турбідити та строкатоколірні геміпелагіти (яремчанський горизонт та ін.) відповідають міжрусловим відкладам (Гнилко та ін., 2021). Саме геміпелагіти (та пелагіти) ідентифікуються як фонові утворення.



Рис. 3. Дистальні турбідити та геміпелагіти. Манявська світа. Лівий борт потоку Кам'янка, басейн р. Опір (Львівська обл., Стрийський р-н, північна околиця с. Кам'янка)

Fig. 3. Distal turbidites and hemipelagites. Manyava suite. The left side of the Kamyanka stream, the Opir river basin (Lviv region, Stryi district, northern outskirts of Kamyanka village)



Рис. 4. Зеленкувато-сірі аргіліти (геміпелагіти) та халцедоноліти (пелагіти). Манявська світа. Потік Гребеновець, права притока р. Опір (Львівська обл., Стрийський р-н, південна околиця с. Гребенів)

Fig. 4. Greenish-gray mudstones (hemipelagites) and chalcidolites (pelagites). Manyava suite. Hrebenovets stream, right tributary of the Opir river (Lviv region, Stryi district, southern outskirts of the village of Hrebeniv)

Отримані результати

За відомими методичними прийомами петрохімічні параметри осадових пелітових порід дозволяють систематизувати їх мінеральні типи, закономірності послідовних змін та особливості палеогеодинамічної еволюції. Для систематики мінеральних типів верхньокрейдово-нижньоеоценових зеленкувато-сірих аргілітів (геміпелагітів) Скибового та Бориславсько-Покутського покривів використано діаграму кореляції модулів нормованої лужності (НКМ) та фемічності (ФМ): $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{FeO}^*+\text{MnO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2$, де $\text{FeO}^* = (0,9 \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})$ (Маслов и др., 2015; Юдович, Кетрис, 2000).

Розрахований нами модуль нормованої лужності (НКМ = $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$) для геміпелагітів стрийської світи визначено за даними робіт (Габинет и др., 1976; Афанасьєва, 1983; Габинет, 1985). Він характеризується від мінімальних значень (0,16) до максимальних (0,38). При цьому середня величина НКМ = 0,22 є типовою для мінерального типу поля IV діаграми, якому притаманна стандартна двокомпонентна суміш хлорит-гідрослюда. Модуль фемічності аргілітів стрийської світи (ФМ = $(\text{FeO}^*+\text{MnO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2$) має широкі варіації значень від мінімального (0,01) до максимального (0,28). Середнє значення ФМ = 0,22 є типовим для мінеральних типів із домінуванням монтморилоніту за наявності гідрослюди (іліту).

На діаграмі НКМ-ФМ (рис. 5) фігуративні точки складу аргілітів стрийської світи (склад поданий в роботах (Габинет и др., 1976; Афанасьєва, 1983; Габинет, 1985)) утворюють сукупність в полі II,

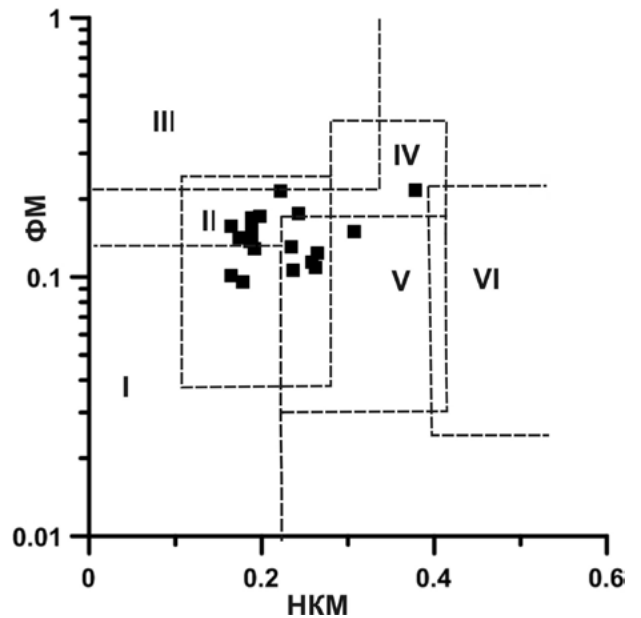


Рис. 5. Класифікаційна діаграма для систематизації аргілітів стрийської світи. Мінеральні типи глинистих фракцій на діаграмі НКМ-ФМ утворюють поля: I – з переважанням каолініту; II – здебільшого смектитові (монтморилонітові) з домішками каолініту та гідрослюди; III – головню хлоритові з домішками Fe-гідрослюди; IV – хлорит-гідрослюдистого складу; V – хлорит-смектит (монтморилоніт)-гідрослюдистого складу; VI – гідрослюдистого складу зі значною кількістю дисперсних частинок польових шпатів. НКМ = $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$. ФМ = $(\text{FeO}^*+\text{MnO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2$, де $\text{FeO}^* = (0,9 \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})$. Петрохімічний склад аргілітів стрийської світи позначений чорними квадратами

Fig. 5. Classification diagram for the systematization of mudstones of the Stryi suite. Conventional designations: mineral types of clay fractions on the NCM-FM diagram form the fields: I – with the predominance of kaolinite; II – mainly smectite (montmorillonite) with admixtures of kaolinite and hydromica; III – mainly chlorite with Fe-hydromica impurities; IV – chlorite-hydromica composition; V – chlorite-smectite (montmorillonite)-hydromica composition; VI – of hydromica composition with a significant amount of dispersed particles of feldspars. NCM = $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$. FM = $(\text{FeO}^*+\text{MnO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2$, where $\text{FeO}^* = (0,9 \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})$. The petrochemical composition of mudstones of the Stryi suite is indicated by black squares

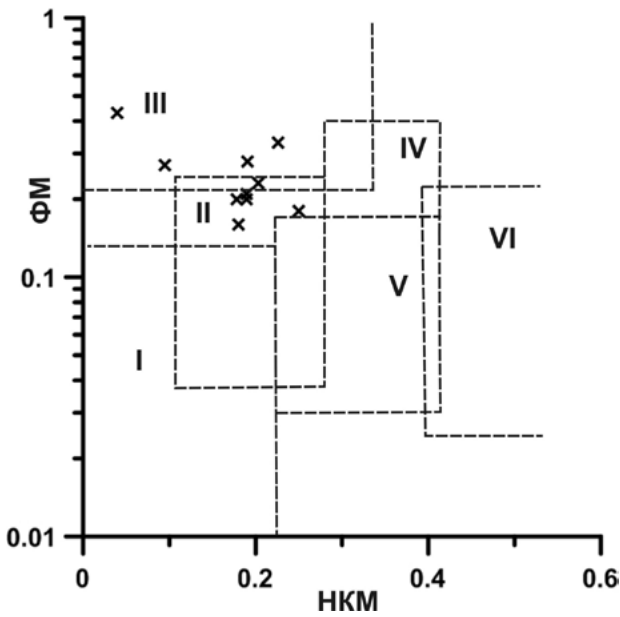


Рис. 6. Класифікаційна діаграма для систематизації аргілітів ямненської світи. Умовні позначення див. рис. 5. Петрохімічний склад аргілітів ямненської світи позначений зірочками

Fig. 6. Classification diagram for the systematization of mudstones of the Yamna suite. Conventional designations see Fig. 5. The petrochemical composition of mudstones of the Yamna suite is indicated by asterisks

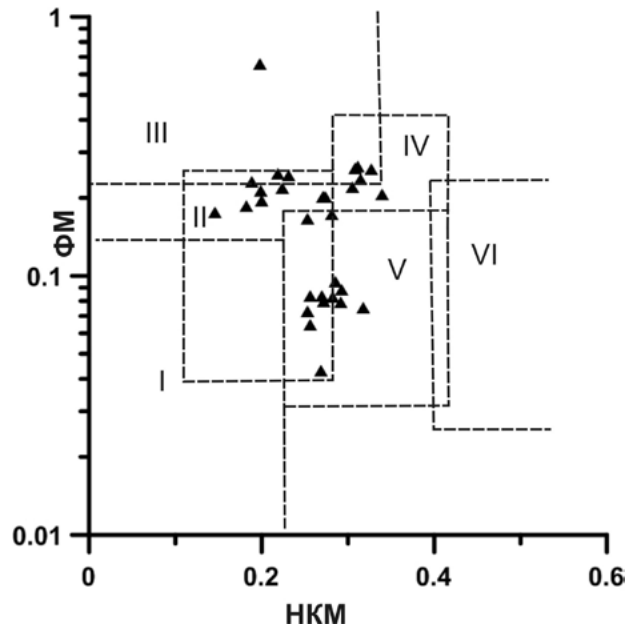


Рис. 7. Класифікаційна діаграма для систематизації аргілітів манявської світи. Умовні позначення див. рис. 5. Петрохімічний склад аргілітів манявської світи позначений чорними трикутниками

Fig. 7. Classification diagram for the systematization of mudstones of the Manyava suite. Conventional designations see Fig. 5. The petrochemical composition of mudstones of the Manyava suite is indicated by black triangles

яке вирізняється переважанням монтморилоніту (сметкиту) з домішками гідрослюда та каолініту. Воно частково перекривається полем V, що являє собою мінеральний тип стандартної трикомпонентної суміші хлорит+монтморилоніт (сметкит)+гідрослюда (іліт). Це змішаношаруваті мінерали ряду монтморилоніт-гідрослюда (іліт) та ряду хлорит-гідрослюда.

Нами розрахований модуль нормованої лужності (НКМ) для аргілітів ямненської світи (та яремчанського горизонту) за аналізами, наведеними в роботах (Габинет и др., 1976; Афанасьєва, 1983; Габинет, 1985; Гавришків та ін., 2007). Він має значення в межах 0,16–0,33. Модуль фемічності аргілітів (ФМ) змінюється від мінімального 0,04 до максимального 0,25. За винятком одного показника всі ФМ є вище за 0,10, що притаманне асоціаціям із значним вмістом вулканокластичного матеріалу.

На діаграмі НКМ–ФМ (рис. 6) фігуративні точки складу фонових аргілітів ямненської світи (склад узятий з робіт (Габинет и др., 1976; Афанасьєва, 1983; Габинет, 1985; Гавришків та ін., 2007)) потрапляють у поле II. Воно відповідає мінеральному типу, якому притаманне домінування сметкиту (монтморилоніту), з підпорядкованою кількістю каолініту та гідрослюда (іліту).

Глинисті мінерали асоціації, типової для поля II, утворюються при звітрюванні вулканічного попелу (Юдович, Кетрис, 2000). Співвідношення модулів ФМ та НКМ аргілітів яремчанського горизонту та ямненської світи свідчать, що вони могли бути результатом гальміролізу апопелового монтморилоніту. Крім поля II фігуративні точки складів аргілітів даної світи трапляються в полі III, що характеризується переважанням вмісту хлориту з підпорядкованою кількістю залізистих гідрослюд (іліту).

Для глинистих порід манявської світи модуль нормованої лужності (НКМ) коливається від 0,18 до 0,34 (склад узятий з робіт (Габинет и др., 1976; Афанасьєва, 1983; Габинет, 1985; Генералова, Степанов, 2015)). Середнє значення досягає величини 0,26, яка відповідає глинистій речовині з домінуванням хлориту (Юдович, Кетрис, 2000). Мінімальне значення модуля фемічності сягає 0,04, максимальне – 0,26. Середнє значення модуля фемічності (ФМ, 0,19) є вищим за 0,10, що властиве вулканокластичним утворенням.

На діаграмі НКМ–ФМ (рис. 7) фігуративні точки складу аргілітів манявської світи (склад поданий за роботами (Габинет и др., 1976; Афанасьєва, 1983; Габинет, 1985; Гаєвська, 2009; Генералова,

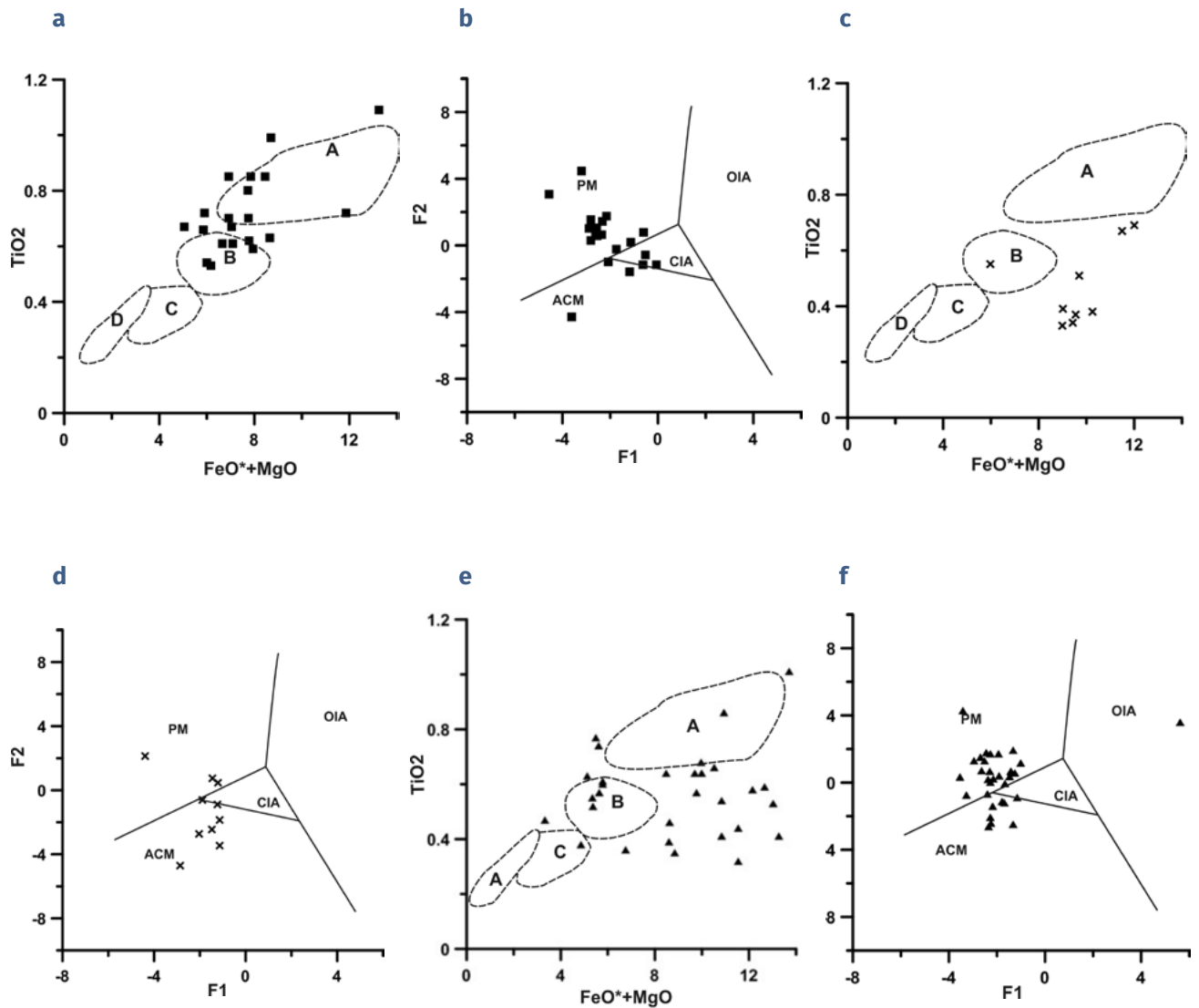


Рис. 8. Положення фігуративних точок складу аргілітів стрийської світи, ямненської світи (і яремчанського горизонту) та манявської світи Скибового та Бориславсько-Покутського покривів на дискримінантних палеогеодинамічних діаграмах (FeO*+MgO)–TiO₂ (Bhatia, 1983) та F1–F2 (Bhatia, 1983). Умовні позначення для діаграми (FeO*+MgO)–TiO₂ (8a – стрийська світа; 8c – ямненська світа; 8e – манявська світа). Поля, що характеризують петрохімічні асоціації різних геодинамічних обстановок: A – океанічні острівні дуги; B – континентальні острівні дуги; C – активна континентальна окраїна; D – пасивна континентальна окраїна. Умовні позначення для діаграми F1–F2 (8b – стрийська світа; 8d – ямненська світа; 8f – манявська світа). Поля, що характеризують петрохімічні асоціації геодинамічних обстановок: PM – пасивна континентальна окраїна; ACM – активна континентальна окраїна; CIA – континентальна вулканічна дуга; OIA – океанічна острівна (вулканічна) дуга.

$$F_1 = 0,303 - 0,0447 \times \text{SiO}_2 - 0,972 \times \text{TiO}_2 + 0,008 \times \text{Al}_2\text{O}_3 - 0,267 \times \text{Fe}_2\text{O}_3 + 0,208 \times \text{FeO} - 3,082 \times \text{MnO} + 0,14 \times \text{MgO} + 0,195 \times \text{CaO} + 0,719 \times \text{Na}_2\text{O} - 0,032 \times \text{K}_2\text{O} + 7,51 \times \text{P}_2\text{O}_5$$

$$F_2 = 43,53 - 0,421 \times \text{SiO}_2 + 1,988 \times \text{TiO}_2 - 0,526 \times \text{Al}_2\text{O}_3 - 0,551 \times \text{Fe}_2\text{O}_3 - 1,61 \times \text{FeO} + 2,72 \times \text{MnO} + 0,881 \times \text{MgO} - 0,907 \times \text{CaO} - 0,177 \times \text{Na}_2\text{O} - 1,84 \times \text{K}_2\text{O} + 7,244 \times \text{P}_2\text{O}_5$$

8a – дискримінантна діаграма (FeO*+MgO)–TiO₂ для аргілітів стрийської світи; 8b – дискримінантна діаграма F1–F2 для аргілітів стрийської світи; 8c – дискримінантна діаграма (FeO*+MgO)–TiO₂ для аргілітів ямненської світи; 8d – дискримінантна діаграма F1–F2 для аргілітів ямненської світи; 8e – дискримінантна діаграма (FeO*+MgO)–TiO₂ для аргілітів манявської світи; 8f – дискримінантна діаграма F1–F2 для аргілітів манявської світи

Fig. 8. The position of figurative points of the composition of mudstones of the Stryi suite, Yamna suite (including the Yaremche horizon) and Manyava suite of the Skyba and the Boryslav-Pokuttya nappes on the discriminating paleogeodynamic diagrams (FeO*+MgO)–TiO₂ (Bhatia, 1983) and F1–F2 (Bhatia, 1983). Notations for the diagram (FeO*+MgO)–TiO₂ (8a – the Stryi suite; 8c – the Yamna suite; 8e – the Manyava suite). Fields characterizing the petrochemical associations of different geodynamic settings: A – oceanic island arcs, B – continental island arcs, C – active continental margin, D – passive continental margin. Notations for diagram F1–F2 (8b – the Stryi suite; 8d – the Yamna suite; 8f – the Manyava suite). Fields characterizing the petrochemical associations of different geodynamic settings: PM – passive continental margin, ACM – active continental margin, CIA – continental island arcs, OIA – oceanic island (volcanic) arc.

$$F_1 = 0,303 - 0,0447 \times \text{SiO}_2 - 0,972 \times \text{TiO}_2 + 0,008 \times \text{Al}_2\text{O}_3 - 0,267 \times \text{Fe}_2\text{O}_3 + 0,208 \times \text{FeO} - 3,082 \times \text{MnO} + 0,14 \times \text{MgO} + 0,195 \times \text{CaO} + 0,719 \times \text{Na}_2\text{O} - 0,032 \times \text{K}_2\text{O} + 7,51 \times \text{P}_2\text{O}_5$$

$$F_2 = 43,53 - 0,421 \times \text{SiO}_2 + 1,988 \times \text{TiO}_2 - 0,526 \times \text{Al}_2\text{O}_3 - 0,551 \times \text{Fe}_2\text{O}_3 - 1,61 \times \text{FeO} + 2,72 \times \text{MnO} + 0,881 \times \text{MgO} - 0,907 \times \text{CaO} - 0,177 \times \text{Na}_2\text{O} - 1,84 \times \text{K}_2\text{O} + 7,244 \times \text{P}_2\text{O}_5$$

8a – discriminating diagram (FeO*+MgO)–TiO₂ for mudstones of the Stryi suite; 8b – discriminating diagram F1–F2 for mudstones of the Stryi suite; 8c – discriminating diagram (FeO*+MgO)–TiO₂ for mudstones of the Yamna suite; 8d – discriminating diagram F1–F2 for mudstones of the Yamna suite; 8e – discriminating diagram (FeO*+MgO)–TiO₂ for mudstones of the Manyava suite; 8f – discriminating diagram F1–F2 for mudstones of the Manyava suite

Степанов, 2015)) потрапляють у поле II на межі з полями III–V. Поле II відповідає мінеральним типам глинистих асоціацій, яким притаманне панування монтморилоніту (сметкиту) за наявності незначної кількості каолініту та гідрослюди (іліту). Глинисті асоціації поля III належать до мінерального типу, який характеризується переважанням хлориту з домішками Fe-гідрослюди (іліту). Глинисті асоціації поля IV представлені двокомпонентним хлорит-гідрослюдистим мінеральним типом. Асоціації поля V репрезентовані так званим стандартним мінеральним глинистим типом хлорит+сметтит (монтморилоніт)+гідрослюда (іліт).

На діаграмі НКМ–ФМ (див. рис. 5–7) поля фігуративних точок складів верхньокрейдово-нижньоеоценових зеленкувато-сірих аргілітів вкладаються у чотири поля (II–V), зміщуючись в область збільшення модуля нормованої лужності (натрій-калійового модуля) та зменшення модуля фемічності. Проте сукупність фігуративних точок складу аргілітів тяжіє до стійкої мінеральної асоціація в полі II, представленій переважно монтморилонітом. Цей мінеральний тип має тенденцію до поступового переходу в поле V, що є стандартною трикомпонентною сумішшю хлорит+монтморилоніт+гідрослюда. Перехід може бути інтерпретовано нами як дуже поступова трансформація геодинамічних умов, яка реалізувалась у речовинному складі фонових пелітів та експонує зміни від суттєво монтморилонітових (сметкитових) аргілітів до трикомпонентної суміші хлорит+монтморилоніт+гідрослюда.

Для типізації палеогеодинамічних обстановок осадоагромадження Зовнішньокарпатського басейну використано модульні діаграми (FeO*+MgO)–TiO₂ та F1–F2 (Bhatia, 1983; Маслов, 2014; Маслов и др., 2015).

На бінарній діаграмі (FeO*+MgO)–TiO₂ (рис. 8, а, с, е) фігуративні точки складу аргілітів верхньокрейдово-нижньоеоценових утворень локалізовані в полі В, яке відповідає геодинамічним обстановкам континентальних острівних дуг та локаціям поблизу від нього. Частина точок тяжіє до класифікаційної області океанічних острівних дуг (А) та її окраїн. Такий же характер розміщення фігуративних точок складу аргілітів стрийської, ямненської та манявської світ спостерігаємо на діаграмі Бхатія (FeO*+MgO)–Al₂O₃/SiO₂ (Bhatia, 1983). Аналіз даних свідчить, що на петрохімічний склад верхньокрейдово-нижньоеоценових аргілітів могло вплинути надходження матеріалу як

основного-середнього, так і кислого ендегенних джерел. Вірогідно, такі геодинамічні умови пов'язані з островодужними процесами. Вони реалізуються завдяки впливу субдукції за суттєвої тектонічної перебудови басейну розривами із зсувною складовою (Гнилко, 2011, 2016, 2023).

На мультикомпонентній дискримінантній діаграмі F1–F2 (див. рис. 8, b, d, f)) фігуративні точки складу верхньокрейдово-нижньоеоценових аргілітів головно розміщуються в полях пасивних континентальних окраїн (PM) та континентальних вулканічних дуг (CIA) (стрийська світа), активних континентальних окраїн (ACM) та CIA (ямненська світа), PM та ACM (манявська світа), формуючи субвертикальний тренд в інтервалі значень F1 = 1,14...–1,90.

Подібний розподіл мінеральних асоціацій аргілітів спостерігається для крейдово-олігоценових (?) пелагічних аргілітів Сицилійського домену Альпійського складчастого поясу. Ці утворення відігравали роль фонових відкладів у басейні з турбідитною седиментацією, ініційованою субдукційно-колізійними процесами зближення Європейської та Адріатичної плит за акреції домену з Апенінською складчастою спорудою. На палеодинамічних дискримінаційних діаграмах фігуративні точки аргілітів Сицилійського домену формують субмеридіональний тренд розподілу від активних до пасивних окраїн басейну седиментації із суттєво помітною мірою концентрації їх в полі пасивної окраїни (Barbera et al., 2009; Маслов и др., 2015).

Близький або майже ідентичний мінеральний склад мають ранньонеопротерозойські (верхній рифей–венд) синорогенні глинисті утворення Єнісейського пасма. Вони на діаграмі F1–F2 розташовані в області пасивної окраїни та частково активної окраїни, формуючи субвертикальний вектор, який, очевидно, демонструє синорогенні палеогеодинамічні обстановки басейну осадоагромадження (Маслов и др., 2015).

Обговорення

Літостратиграфічна характеристика стратонів верхньої крейди–нижнього еоцену дозволяє підкреслити значну роль у їх будові аргілітів. Вони утворюють угруповання, зокрема строкатоколірні горизонти, що за седиментологічними ознаками належать гомогенним і горизонтально ламінованим аргілітам та є літодинамічними типами геміпелагітів. Ми відносимо їх до утворень фонові седиментації. Серед детально досліджених строкатоколірних горизонтів виділяють яремчанський та над'ямненський.

Комплексні результати дослідження речовинного складу зеленкувато-сірих аргілітів попередниками та нами показують, що до складу порід входять гідрослюди (іліт), змішаношаруваті мінерали іліт-монтморилоніт та хлорит-монтморилоніт, хлорит. У вільній фазі наявні монтморилоніт, хлорит, Fe-монтморилоніт. Для стрийської та яменської світ фіксується каолініт. Нерівномірно розсіяний уламковий матеріал алевропсамітової розмірності, складений кварцом, польовими шпатами, літоїдами, займає до 15 % об'єму аргілітів.

Верхньокрейдово-нижньоеоценові аргіліти району робіт мають високий ступінь концентрації глинистої речовини. Цей показник, за сучасними океанографічними спостереженнями, може бути обумовлений відсутністю розбавляючого впливу теригенної седиментації на глибинах, які близькі до CCD в умовах низької біологічної продуктивності вод та низьких швидкостей седиментації (Осадконакопление..., 1979). Це глибини, на яких слабо проявлялося або не проявляється привнесення теригенного матеріалу. Такі глибини притаманні відкритому океану, звільненому від основної маси теригенної зависі.

Вивчення мінеральних типів зеленкувато-сірих фонових аргілітів Скибового та Бориславсько-Покутського покривів за петрохімічними даними свідчить, що серед них є глинисті асоціації з домінуванням монтморилоніту (смактиту), вірогідно, із значною мірою залістим різновидом монтморилоніту (Білоніжка, Матковський, 2010) та трикомпонентна асоціація хлорит+монтморилоніт+гідрослюда.

Наявність аргілітів мінерального типу з переважанням монтморилоніту може контролюватися певними причинами. Серед них слід розглянути умови його надходження на деякі ділянки басейну осадонакопичення, за яких кількісно пригнічуються всі інші складові осаду і відбувається так звана «пасивна» концентрація глинистих мінералів і, зокрема, монтморилоніту.

За результатами вивчення сучасних океанів (Осадконакопление..., 1979; Тимофеев и др., 1983) встановлено, що монтморилоніт є різного походження: теригенний монтморилоніт, який принесений з суходолу; аутигенний Fe-монтморилоніт з областей розвитку металоносних осадов (Тихого, Атлантичного, Індійського океанів) та поблизу крупних розломів; монтморилоніт, що розвивався внаслідок гальміролізу пірокластичних і лавових основних порід; добре окристалізований монтморилоніт, що утворюється по фонових осадах

під впливом гідротерм. У Червоному морі виявлено декілька модифікацій смактиту (монтморилоніту): гідротермальний Fe-монтморилоніт, який утворюється аутигенно з розсолів і пов'язаний з металоносними осадами; змішаношаруватий монтморилоніт-хлоритовий тип, котрий утворюється при підводному звітрюванні базальтового скла; нормальний бейделітовий монтморилоніт, що має еолове походження, бейделітовий тип монтморилоніту, який утворився за підводного звітрювання вулканічного скла, вірогідно, частково транспортованого тропосферою (Осадконакопление..., 1979). Дослідники зазначають (Осадконакопление..., 1979; Тимофеев и др., 1983; Гуревич, 1998), що Fe-монтморилоніт (Fe-смактит) є головним породоутворювальним глинистим мінералом металоносних осадов.

Розглянемо ймовірні джерела формування монтморилоніту в районі досліджень. Як зазначено вище, зеленкувато-сірі аргіліти в стратиграфічних розрізах покривів є складовими строкатоколірних горизонтів. При вивченні розрізів строкатоколірних горизонтів ми звернули увагу на те, що з ними у просторовій і генетичній асоціаціях знаходяться пласти утворень залізної і манганової мінералізації та глибоководних сульфідів. Геохімічне вивчення залізо-манганової мінералізації та вмісних порід над'яменського строкатоколірного горизонту виявило підвищені вмісти оксидів Fe та Mn (Огар та ін., 2018; Генералова та ін., 2022) та рудних елементів Co, Ni, Zn, Cu (Генералова та ін., 2022). Наведені у згаданих працях дані дають підстави стверджувати, що вміст мангану у зелених, червоних аргілітах та залізо-манганових утвореннях горизонту змінюється 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. Виявлені особливості не виключають впливу гідротермального процесу на утворення порід та на просторову приуроченість їх до виходів на дно палеоакваторії (Генералова та ін., 2022). Наведені геохімічні характеристики також свідчать про те, що зеленкувато-сірі аргіліти, які входять до складу строкатоколірних горизонтів, мають значні межі коливань вмісту компонентів, що може вказувати на їхню дисипацію з віддаленням від гідротермального джерела. В той же час звертає увагу вміст заліза понад 10 % в абіогенній частині досліджуваних порід. Деякі дослідники

океанів (Гуревич, 1998) такий вміст заліза в породах беруть за критерій, що дозволяє відносити їх до металоносних осадів океанів. Власне вишнево-червоні аргіліти строкатоколірних горизонтів є аналогами сучасних металоносних шарів. Вишнево-червоні аргіліти мають незначну кількість теригенних уламків, малий відсоток органічної речовини, проте характеризуються підвищеним вмістом валового заліза та мангану, відносною концентрацією Co, Ni, Zn, Cu та інших елементів, що може свідчити про періоди посилення магматичної діяльності. Утворення залізо-манганової мінералізації, досліджені нами (Генералова та ін., 2022) для над'ямненського горизонту, збагачені манганом ($Mn/Fe = 2,3-3,1$) або залізом за суми кольорових металів 0,115–1,2 %. Вивчення розподілу вмісту елементів в утвореннях залізо-манганової мінералізації з використанням діаграми $Fe-Mn-10 \times (Ni+Co+Cu)$ (Bonatti, 1981) дозволило з'ясувати, що вони потрапляють у поле гідротермальних Fe-Mn утворень Західно-Тихоокеанського регіону або в поле Серединно-Атлантичного хребта. Наявність гідротермальних джерел заліза та мангану на дні крейдового Карпатського океанічного домену західного Тетису виявили дослідники (Вак М. et al., 2015; Вак К. et al., 2018).

Гідротерми, які сприяли формуванню тіл залізної, манганової та іншої мінералізації, могли бути задіяні у кристалізації Fe-монтморилоніту та сприяти гальміролітичним перетворенням порід субстрату басейну та принесеного пірокластичного матеріалу. Відомо, що при активних гідротермах вихідні породи перетворюються на монтморилоніт, не залишаючи реліктів.

На загальну тектоно-магматичну активність Зовнішньокарпатського палеобасейну вказують знахідки в аргілітах Флішевих Карпат склоподібних частинок, які за даними мінералого-петрографічних робіт діагностуються як титан-марганець-залізо-силікатні сферули і гіалокластичні матеріал за величиною уламків найчастіше характеризується попеловою (пелітовою, алевритовою, псамітовою) структурою. Епізодично трапляються уламки дрібнопсефітової розмірності (до 5 мм за довгою віссю), які за формою щодо обкатування є гострокутними, без слідів механічної обробки. На думку дослідників (Яценко та ін., 2012, 2015), ця обставина може розглядатися як свідчення про надходження гіалокластичного матеріалу з близьких магматичних джерел завдячуючи механізмам дроблення (десквамацій) та/або розпи-

лення (пульверизацій та гідроексплозій). Отже, вивчення сферул та гіалокластитів свідчить, що у пізньокрейдово-палеогеновий час фонова седиментація Зовнішньокарпатського басейну розвивалась на тлі активізації тектоно-магматичного режиму, зокрема із проникненням мантійної речовини (Яценко та ін., 2012, 2015), яка могла бути пов'язана навіть з плюмами (Лукин, 2013).

Значний вміст монтморилоніту в аргілітах Скибового та Бориславсько-Покутського покривів може пояснюватись його надходженням у Зовнішньокарпатський басейн седиментації з деяких джерел. Серед них слід відмітити: аутигенний Fe-монтморилоніт гідротермального походження; монтморилоніт, який розвивається по пірокластичному матеріалу (зокрема, вулканічному склу); змішаношаруватий монтморилоніт – хлоритовий тип, що утворюється при підводному звітрюванні базальтів, фрагментів (суб)океанічної кори, в умовах критично низьких швидкостей осадонагромадження; монтморилоніт, який виникає при гідротермальній взаємодії на осади басейну та їх зміни.

Палеогеодинамічна історія геологічного розвитку Зовнішніх Карпат розглядається як формування акреційної призми, що утворилась при зближенні терейнів Алькапа та Тисія-Дакія з Євразією та субдукції під ці терейни основи Карпатського басейну (Nemcok et al., 1998; Csontos, Vörös, 2004; Golonka et al., 2006; Oszczyrko, 2006; Schmid et al., 2008, 2020; Гнилко, 2012, 2016; Третьак та ін. 2015; Kováč et al., 2016, 2017).

В крейді в області терейну Тисія-Дакія локалізувалась субдукційна магматична дуга Апусені-Банат-Тимок-Середньогір'я (АБТС), яка проявляла високу активність в період 92–67 млн років тому (Gallhofer et al., 2015). Проте її ендегенна діяльність не припинилась в кайнозой (палеогені-неогені), а продовжувалась з дещо меншою інтенсивністю (Gallhofer et al., 2015). Сучасні роботи відмічають для центральних та західних сегментів дуги щільний просторовий зв'язок між магматизмом, седиментацією та крупномасштабними зсувними переміщеннями і вказують на омолодження магматизму до заходу та півдня дуги АБТС.

В акреційній призмі, утвореній перед фронтом Тисії-Дакії (Кам'янопотоцький, Рахівський, Буркутський флішеві покриви), наявні невеликі дуплекси юрсько-неокомських базальтоїдів (Krobicki et al., 2014), зрідка габро та ультрабазитів, які за петрогеохімічними параметрами (Ляшкевич и др., 1995; Генералова та ін., 2013; Ступка, 2013) відносяться до фрагментів офіолітів

океанічної та субокеанічної літосфери. Наявність порід магматичної дуги та дуплексів фрагментів (суб)океанічної кори свідчить про активний геодинамічний режим Альпійського Тетису, який відповідав геодинамічним обстановкам спредингу, островодужним системам, субдукційно-колізійним процесам. Тобто протягом крейди у Зовнішньокарпатському басейні та на його окраїнах спостерігалася ендегенна активність, яка, очевидно, супроводжувалась різними проявами магматизму (гідротермами, ексгаляціями тощо).

Сліди магматичної активності також виявлені в еоценовому фліші (сушманецька світа) Монастирцького покриву, розміщеного між террейнами Алькапа і Тися-Дакія (див. рис. 1) (Генералова, Степанов, 2015).

Інформативним матеріалом для реконструкції джерел зеленкувато-сірих аргілітів є дискримінантна діаграма FAK O. Предовського (Предовський, 1970). За петрохімічними коефіцієнтами діаграми FAK фігуративні точки петрохімічного складу зеленкувато-сірих аргілітів нижнього еоценової сушманецької світи разом з аргілітами манявської світи потрапляють у поля продуктів глибокого гальміролітичного звітрювання переважно основних порід (Генералова, Степанов, 2015). Ми схилиємось до думки, що магматична діяльність у Монастирцькому басейні розвивалась синхронно з процесами седиментогенезу.

Виконані нами дослідження петрохімічних параметрів фонових аргілітів Скибового та Бориславо-Покутського покривів дають підстави говорити про те, що прояви магматичної діяльності закарбовані в їх мінеральних і породних парагенезисах. Серед мінеральних типів верхньокрейдково-нижнього еоценових зеленкувато-сірих аргілітів впевнено домінують асоціації, виявлені за результатами опрацювання петрохімічних даних за допомогою класифікаційної діаграми кореляції модулів нормованої лужності (НКМ) та фемічності (ФМ). Це асоціація II з переважанням монтморилоніту (сметиту) та трикомпонентна асоціація V – хлорит+монтморилоніт+гідрослюда. На присутність ендегенних джерел (гідротермальних розчинів, магматичних флюїдів, ексгаляцій) речовини в басейні може вказувати розвиток власне некарбонатних аргілітів, які формують строкатоколірні горизонти (з пластами залізо-манганової мінералізації і проявами глибоководних сульфідів), кременистий цемент алевролітів і псамітів (що належать турбідитам, які перешаровуються з геміпелагітами (аргіліта-

ми)), лінзи та прошарки силіцитів (манявська світа), мінеральні асоціації аргілітів та псамітів, до яких входять монтморилоніт, хлорит, глауконіт, цеоліти, опал, халцедон. Важливе значення має наявність у фонових аргілітах сферул та уламкового пірокластичного матеріалу. Сучасна геодинамічна інтерпретація подій у Зовнішньокарпатському басейні, фрагментами якого у сучасній структурі є Скибовий і Бориславсько-Покутський покриви, не суперечить отриманим результатам.

Наукова новизна. Вперше проаналізовано петрохімічні параметри зеленкувато-сірих аргілітів верхньокрейдково-нижнього еоценових утворень в межах Скибового та Бориславсько-Покутського покривів за допомогою класифікаційної діаграми кореляції модулів нормованої лужності (НКМ) та фемічності (ФМ). Це дозволило виділити домінантні мінеральні типи аргілітів, а саме: тип II – з переважанням монтморилоніту (сметиту) та тип V – трикомпонентна асоціація хлорит+монтморилоніт+гідрослюда. За седиментологічними даними підтверджено, що зеленкувато-сірі аргіліти є геміпелагітами; вони перешаровуються з вишнево-червоними аргілітами (пелагітами) і дозволяють охарактеризувати фонові фації. Вперше використано дискримінантні діаграми $(\text{FeO}^* + \text{MgO}) - \text{TiO}_2$ та F1-F2, які за петрохімічними характеристиками фонових утворень орієнтовані на реконструкцію палеогеодинамічних обстановок Зовнішньокарпатського басейну седиментації. Наявність у мінеральних типах фонових аргілітів монтморилоніту та хлориту сприяє кращому розумінню генетичної природи та умов формування фонових глинистих утворень. Ці мінеральні типи утворюються за участі ендегенного магматичного матеріалу головно основного складу. Магматичний матеріал під час проявів вулканічної і гідротермальної (залізистий монтморилоніт) активності постачався в басейн синхронно із седиментацією; вулканічний попел міг потрапляти тропосферним шляхом.

Практичне значення. Виконане дослідження сприятиме розширенню відомостей про ймовірну продуктивну металогенічну спеціалізацію верхньокрейдково-нижнього еоценових утворень Скибового та Бориславсько-Покутського покривів.

Подальше вивчення петрогеохімічних параметрів верхньокрейдково-нижнього еоценових глинистих утворень Скибового та Бориславсько-Покутського покривів слугуватиме деталізації їх літодинамічної (генетичної) належності, уточненню складу порід, з'ясуванню залежності складу відкладів від магматизму для реконструкції палео-

географічних і палеогеодинамічних обставин Зовнішньокарпатського басейну.

Висновки

Методами петрохімічного аналізу досліджено вмісти верхньокрейдово-нижньоеоценових аргілітів, які за даними седиментологічного вивчення належать до геміпелагітів скибової та бориславсько-покутської частин Зовнішньокарпатського басейну.

- На класифікаційній модульній діаграмі $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3-(\text{FeO}^*+\text{MnO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2$ фігуративні точки петрохімічного складу верхньокрейдово-нижньоеоценових аргілітів стрийської, яменської, манявської світ Скибового та Бориславсько-Покутського покривів головно потрапляють у поля, які відповідають мінеральним типам: з переважанням монтморилоніту (смектиту) (тип II) та хлорит+(монтморилоніт)смектит+гідрослюдистого (ілітового) складу (тип V). За петрохімічними даними простежується поступова зміна кислотно-лужних умов середовища осадоагромадження, які послідовно зміщувались в поля збільшення модуля нормованої лужності та зменшення фемічного модуля від пізньої крейди (стрийська світ) до раннього еоцену (манявська світ).
- Виявлені в аргілітах верхньої крейди-нижнього еоцену Бориславсько-Покутського і Скибового покривів мінеральні асоціації типові для асоціацій глибоководних глинистих осадів сучасних океанів.
- На палеодинамічних дискримінантних діаграмах $(\text{FeO}^*+\text{MgO})-\text{TiO}_2$ та F1-F2 фігуративні точки верхньокрейдово-нижньоеоценових аргілітів Скибового та Бориславсько-Покутського покривів формують тренди розподілу, які охоплюють петрохімічні поля геодинамічних обставин від пасивних до активних окраїн басейну седиментації. Подібні тренди розподілу петрохімічних складів пелітових порід описані для крейдово-олігоценних аргілітів Сицилійського домену та ранньонеопротеро-зойських (верхній рифей-венд) глинистих утворень Єнісейського пасма.
- Наявність монтморилоніту та хлориту у вивчених фонових аргілітах верхньої крейди-нижнього еоцену Скибового та Бориславсько-Покутського покривів вказує на високу вірогідність внеску у фоновий петрофонд басейну седиментації фемічної магматичної складової. Fe-монтморилоніт є індикатором гідротермальних

процесів, що супроводжують формування металоносних осадів сучасних океанів.

- Магматогенний матеріал, по якому розвивався монтморилоніт (і частково хлорит) у вивчених фонових аргілітах, імовірно, походив з різних джерел. Ендогенні джерела магматичного матеріалу ініційовані обстановкою розтягу Зовнішньокарпатського басейну седиментації та реалізовані як прояви вулканічної (ексгаляційної, експлозивної) та гідротермальної активності в розривних зонах. Не виключається, що магматогенний матеріал частково був конседиментаційного походження. Магматичні продукти могли потрапляти в басейн седиментації завдячуючи субдукційній дузі Апусені-Банат-Тимок-Середньогір'я (АБТС). Ознаки магматичної активності наявні в аргілітах Монастирецького «міжтерейнового» флішевого басейну.
- Екзогенними джерелами магматичного матеріалу могли бути: перенесення вулканічного матеріалу тропосферним шляхом, транспортування магматичного матеріалу з областей зносу; утворення монтморилоніту (і хлориту) в результаті вторинних змін едафогенних уламкових океанічних осадів перехідної літосфери, особливо за дії гідротермального метаморфізму (вважається, що при активних гідротермах вихідні породи перетворюються на монтморилоніт, не залишаючи протолітів).
- Вірогідно, режим конвергенції при утворенні Карпатської акреційної призми ініціював рифтогенне розкриття Зовнішньокарпатського басейну, де могло відбутись проникнення ендогенного магматичного матеріалу головно основного складу. Цей первинний матеріал частково слугував субстратом, по якому розвивався монтморилоніт зеленкувато-сірих верхньокрейдово-нижньоеоценових аргілітів (геміпелагітів) Скибового та Бориславсько-Покутського покривів. На ділянках седиментаційного басейну з розвитком літосферної кори океанічного та субокеанічного типів під дією гідротерм могло відбуватись гальміролітичне перетворення її порід. У розрізах аргілітів, які не містять залізного монтморилоніту, висока вірогідність, що магматогенний матеріал потрапив при перенесенні з районів вулканізму та/або зносу із суходолу.

Подяки. Автори висловлюють щиросердну вдячність рецензентам за конструктивні зауваження і поради, які суттєво покращили роботу.

Досліджено мінеральні типи верхньокрейдово-нижньоеоценових зеленкувато-сірих аргілітів Скибового та Бориславсько-Покутського покривів Зовнішніх Карпат. За седиментологічними ознаками ці аргіліти належать до геміпелагітів і містять відомості про умови фонові седиментації глибоководного океанічного басейну. Метою роботи є уточнення палеогеодинамічних особливостей басейну за результатами вивчення речовинного складу верхньокрейдово-нижньоеоценових фонових аргілітів, які, зокрема, входять до строкатоколірних горизонтів. Методами досліджень були: геологічне картування, седиментологічний, літостратиграфічний, рентгеноструктурний, петрогеохімічний, палеогеодинамічний аналізи.

На класифікаційній модульній діаграмі $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3-(\text{FeO}^*+\text{MnO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2$ фігуративні точки вмісту верхньокрейдово-нижньоеоценових аргілітів стрийської, ямненської, манявської світ потрапляють у поля, які відповідають двом мінеральним типам: суміші з переважанням монтморилоніту та трикомпонентної суміші хлорит+монтморилоніт+гідрослюдистого складу. За отриманими даними простежується поступова зміна умов середовища осадоагромадження від пізньої крейди до раннього еоцену з послідовним збільшенням модуля нормованої лужності та зменшення фемічного модуля. На палеогеодинамічних дискримінантних діаграмах $(\text{FeO}^*+\text{MgO})-\text{TiO}_2$ та F1–F2 фігуративні точки верхньокрейдово-нижньоеоценових аргілітів формують петрохімічні тренди розподілу, які охоплюють поля геодинамічних обстановок від пасивних до активних окраїн басейну седиментації. Близький розподіл петрохімічних компонентів мають крейдово-палеогенові пелагічні аргіліти Сицилійського домену Альпійського поясу. Виявлені в аргілітах Скибового та Бориславсько-Покутського покривів мінеральні асоціації типові для глибоководних глинистих осадів сучасних океанів. Наявність монтморилоніту та хлориту у фонових аргілітах вказує на високу вірогідність внеску у фоновий петрофонд басейну седиментації фемічної магматичної складової ендегенного походження, реалізованої як прояви вулканічної і гідротермальної активності, синхронної з седиментогенезом. Екзогенним джерелом міг слугувати перенесений або змінений процесами гальміролізу несинхронний осадоагромадженню магматичний матеріал. Пізньокрейдово-ранньоеоценові геодинамічні події Зовнішньокарпатського басейну седиментації розвивались перед терейнами Алькапа і Тися-Дакія Альпійського Тетису. Конвергенція, яка спричинила формування акреційної призми перед терейнами, могла сприяти рифтогенному (?) розкриттю, поглибленню Зовнішньокарпатського басейну, де відбувалось проникнення синседиментогенного ендегенного матеріалу, головно основного складу. Цей матеріал міг бути породоутворювальною вихідною субстрату басейну, по якому формувались мінеральні асоціації фонових геміпелагічних аргілітів.

Список літератури

- Андреева-Григорович А.С., Вялов О.С., Гавура С.П., Грузман А.Д., Дабагян Н.В., Даныш В.В., Иваник М.М., Кульчицкий Я.О., Лозыняк П.Ю., Маслун Н.В., Петрашкевич М.И., Пономарева Л.Д., Портнягина Л.А., Смирнов С.Е., Совчик Я.В. Объяснительная записка к региональной стратиграфической схеме палеогеновых отложений Украинских Карпат. Киев, 1984. 50 с. (Препр. / Ин-т геол. наук АН УССР; № 84–19).
- Андреева-Григорович А., Маслун Н., Гнилко С., Гнилко О. Про вік і умови седиментації горизонтів строкатих аргілітів у палеоцен-еоценових відкладах Українських Карпат. *Проблеми геології фанерозою України*: матеріали V Всеукр. наук. конф. (8–14 жовт. 2014 р.). Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2014. С. 3–6.
- Афанасьева И.М. Литогенез и геохимия флишевой формации северного склона Украинских Карпат. Киев: Наукова думка, 1983. 183 с.
- Білоніжка П., Матковський О. Сметити в геологічних утвореннях Українських Карпат. *Мінерал. зб.* 2010. № 60, вип. 2. С. 3–14.
- Вялов О.С., Гавура С.П., Даныш В.В., Лещух Р.И., Пономарева Л.Д., Романив А.М., Смирнов С.С., Царненко П.Н., Лемішко О.Д., Циж И.Т. Стратотипы меловых и палеогеновых отложений Украинских Карпат. Киев: Наукова думка, 1988. 204 с.
- Вялов О.С., Андреева-Григорович А.С., Гавура С.П., Дабагян Н.В., Даныш В.В., Кульчицкий Я.О., Лещух Р.И., Лозыняк П.Ю., Петрашкевич М.И., Пономарева Л.Д., Романив А.М., Царненко П.Н. Объяснительная записка к региональной стратиграфической схеме меловых отложений Украинских Карпат. Львов, 1989. 51 с. (Препр. / Ин-т геологии и геохимии горючих ископаемых АН УССР; № 89-5).
- Габинет М.П. Постседиментационные преобразования флиша Украинских Карпат. Киев: Наукова думка, 1985. 148 с.
- Габинет М.П., Кульчицкий Я.О., Матковский О.И. Геология и полезные ископаемые Украинских Карпат. Львов, 1976. Т. 1. 200 с.
- Гавришків Г., Гаєвська Ю., Жуков С., Попп І. Глинисті мінерали палеоцен-еоценових теригенних порід Скибової зони Українських Карпат (за даними дифрактометричного аналізу). *Мінерал. зб.* 2007. № 57, вип. 1. С. 93–101.
- Гаєвська Ю. Про мінералогію глинистої фракції теригенних порід еоцену Скибової зони Українських Карпат. *Мінерал. зб.* 2009. № 59, вип. 4. С. 105–115.
- Генералова Л., Степанов В. Мінералого-петрохімічні особливості порід еоценових строкатоколірних горизонтів Українських Карпат (на прикладі сушманецької та манявської світ). *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геол.* 2015. Вип. 29. С. 107–116.
- Генералова Л., Степанов В., Хом'як Л., Костюк О., Генералов А. Залізо-манганова мінералізація в еоценових відкладах скиби Парашка (Скибовий покрив, Українські Карпати). *Вісн. Харків. нац. ун-ту ім. В.Н. Каразіна. Сер. Геологія. Географія. Екологія.* 2022. № 56. С. 49–66. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-03>
- Генералова Л.В., Пашенко В.Г., Степанов В.Б. Деякі особливості хімізму вулканітів тростянецького комплексу мезозою (Українські Карпати). *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геол.* 2013. Вип. 27. С. 104–115.
- Гнилко О. Тектонічне районування Карпат у світлі терейнової тектоніки. Ч. 2. Флішові Карпати – давня акреційна призма. *Геодинаміка.* 2012. № 1 (12). С. 67–78. <https://doi.org/10.23939/jgd2012.01.067>
- Гнилко О., Андреева-Григорович А., Гнилко С. Вік та умови нагромадження палеогенових відкладів Скибового покриву Карпат на основі мікропалеонтологічних та седиментологічних даних. *Геологія і геохімія горючих копалин.* 2022. № 1–2 (187–188). С. 36–47. <https://doi.org/10.15407/ggcm2022.01-02.036>
- Гнилко О., Гнилко С., Кулянда М., Марченко Р. Тектоно-седиментаційна еволюція передової частини насувної споруди Українських Карпат. *Геологія і геохімія горючих копалин.* 2021. № 1–2 (183–184). С. 45–59. <https://doi.org/10.15407/ggcm2021.01-02.045>
- Гнилко О.М. Геологічна будова та еволюція Українських Карпат: автореф. дис. ... д-ра геол. наук: спец. 04.00.01 «загальна та регіональна геологія». Львів, 2016. 46 с.
- Гнилко О.М. Геологічні плитно-тектонічні умови формування терейну Тися-Дакія, Українські Карпати. *Геологія і геохімія горючих копалин.* 2023. № 3–4 (191–192). С. 61–73. <https://doi.org/10.15407/ggcm2023.191-192.061>
- Гнилко О.М. Про зсувну зону в західній частині Українських Карпат. *Геологія і геохімія горючих копалин.* 2011. № 3–4. С. 68–80.
- Гнилко О.М. Про седиментаційні процеси формування флішевих відкладів Українських Карпат. *Зб. наук. пр. Ін-ту геол. наук НАН України.* Київ, 2010. Вип. 3. С. 32–37.

- Гнилко С.Р., Гнилко О.М., Супрун І.С., Наварівська К.О., Генералова Л.В. Стратиграфія верхньокрейдових відкладів з океанічними червоноколірними верствами (CORBs), Українські Карпати. *Геол. журн.* 2023. № 3 (384). С. 79–107. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.3.281067>
- Гуревич Е.Г. Металлоносные осадки Мирового океана. Москва: Научный мир, 1998. 340 с.
- Ляшкевич З.М., Медведев А.П., Крупский Ю.З., Варичев А.С., Тимошук В.Р., Ступка О.О. Тектоно-магматическая эволюция Карпат. Киев: Наукова думка, 1995. 132 с.
- Лукин А.Е. Минеральные сферы – индикаторы специфического флюидного режима рудообразования и нефтидогенеза. *Геофиз. журн.* 2013. Т. 35, № 6. С. 10–53.
- Маслов А.В. Литохимический облик отложений ашинской серии венда западного склона Южного Урала. *Литосфера.* 2014. № 1. С. 13–32.
- Маслов А.В., Мизенс Г.А., Подковыров В.Н., Ножкин А.Д., Сокур Т.М., Малиновский А.И., Сорокин А.А., Смирнова Ю.Н., Гареев Э.З., Дмитриева Н.В., Крупенин М.Т., Летникова Е.Ф. Синорогенные глинистые породы: особенности валового химического состава и палеотектоника. *Геохимия.* 2015. № 6. С. 512–538. doi:10.7868/S0016752515060072
- Огар В.В., Савенок С.П., Андреев О.В. Мінерали мангану у палеогеновому фліші Зовнішніх Карпат. *Геологія і корисні копалини України: 36. тез наук. конф. Ін-ту геології, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України (Київ, 2–4 жовт. 2018 р.)*. Київ, 2018. С. 170–171. https://igmof.org.ua/sites/default/files/abstracts_100_nas_ukr_2018_0.pdf
- Осадконакопление и магматизм. Т. 1. В кн. Геология океана. Сер. Океанология. П.Л. Безруков (ред.). Москва: Наука, 1979. 416 с.
- Предовский А.А. Геохимическая реконструкция первичного состава метаморфизованных вулканогенно-осадочных образований докембрия. Апатиты: Изд-во АН СССР, 1970. 114 с.
- Сеньковський Ю., Григорчук К., Гнідець В., Колтун Ю. Геологічна палеоокеанографія океану Тетіс. Київ: Наукова думка, 2004. 172 с.
- Сеньковський Ю.М., Григорчук К.Г., Колтун Ю.В., Гнідець В.П. Літогенез осадкових комплексів океану Тетіс: Карпато-Чорноморський сегмент. Київ: Наукова думка, 2018. 158 с. ISBN 966-00-1625-5.
- Сокур Т.М. Реконструкція умов формування аргілітів верхнього венда і нижнього кембрія на юго-західній окраїні Східно-Європейської платформи петрохімічними методами. *Тектоніка і стратиграфія.* 2013. Вип. 40. С. 91–101.
- Стратиграфія верхнього протерозою та фанерозою України: у 2-х т. Т. 1: Стратиграфія верхнього протерозою, палеозою та мезозою України: Гожик П.Ф. (гол. ред.). Київ: Логос, 2013. 637 с.
- Ступка О.О. Офіоліти Українських Карпат: геохімія і мінералогія: автореф. дис. ... канд. геол. наук. Львів, 2013. 20 с.
- Тимофеев П.П., Ратеев М.А., Ренгартен Н.В., Боголюбова Л.И., Варенцов И.М., Гречин В.И., Копорулин В.И., Золоторев Б.П., Еремеев В.В. Проблемы литологии Мирового океана. Литология и геохимия Тихого океана. Москва: Наука, 1983. 216 с. (Тр. ГИН; Вып. 387).
- Третяк К.Р., Максимчук В.Ю., Кутас Р.І., Рокитянський І.І., Гнилко О.М., Кендзера О.В., Пронишин Р.С., Климович Т.А., Кузнєцова В.Г., Марченко Д.О., Смирнова О.М., Серант О.В., Бабак В.І., Вовк А.І., Романюк В.В., Тершин А.В. Сучасна геодинаміка і геофізичні поля Карпат та суміжних територій. Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2015. 420 с.
- Хмельевський В.О. Особливості стадіального аналізу літогенезу. Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2015. 140 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. С.-Петербург: Наука, 2000. 479 с.
- Яценко І.Г., Яценко Г.М., Бекеша С.М., Білик Н.Т. Ендогенні Ti-Mn-Fe-силікатні сфери з експлозивних структур та вулканогенно-осадочних формацій України. *Мінерал. зб.* 2012. № 62, вип. 1. С. 83–101.
- Яценко Г., Бекеша С., Гайовський О., Яценко І. Флюїдизація-експлозивний рудогенез і мінералізація окраїни Східноєвропейської платформи в межах України. *Мінерал. зб.* 2015. № 65, вип. 2. С. 55–61.
- Bağ K., Kowalczyk J., Wolska A., Bağ M., Natkaniec-Nowak L. Iron and silica enrichments in the middle Albian neptunian dykes from the High-Tatric Unit, Central Western Carpathians: an indication of hydrothermal activity for an extensional tectonic regime. *Geological Magazine.* 2018. Vol. 155, iss. 1. P. 1–19. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0016756815001132>
- Bağ M., Bağ K., Górny Z., Stożek B. Evidence of bacteriogenic iron and manganese oxyhydroxides in Albian–Cenomanian marine sediments of the Carpathian realm (Poland). *Annales Societatis Geologorum Poloniae.* 2015. Vol. 85, No. 2. P. 371–385. DOI: <https://doi.org/10.14241/asgp.2015.013>
- Barbera G., Giudice A.L., Mazzoleni P., Pappalardo A. Combined statistical and petrological analysis of provenance and diagenetic history of mudrocks: Application to Alpine Tethydes shales (Sicily, Italy). *Sed. Geol.* 2009. Vol. 213. P. 27–40. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2008.11.002>
- Bhatia M.R. Plate Tectonics and Geochemical Composition of Sandstone. *The Journal of Geology.* 1983. Vol. 91. P. 611–627. <http://dx.doi.org/10.1086/628815>
- Bonatti E. Metal deposits in the oceanic lithosphere. In: The Sea, 7, *The oceanic lithosphere* (Emiliane C., ed). New York, Wiley. 1981. P. 639–686.
- Csontos L., Vörös A. Mesozoic plate tectonic reconstruction of the Carpathian region. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.* Elsevier, 2004. Iss. 210 (1). P. 1–56. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2004.02.033>
- Einsele G. Sedimentary Basins: evolution, facies and sediment budget. Berlin: Springer Verlag, 1992. 615 p.
- Gallhofer D., Quadt A., Peytcheva I., Schmid S.M., Heinrich C.A. Tectonic, magmatic, and metallogenic evolution of the Late Cretaceous arc in the Carpathian-Balkan orogeny. *Tectonics.* 2015. Vol. 34, iss. 9. P. 1813–1836. <https://doi.org/10.1002/2015TC003834>
- Golonka J., Gahagan L., Krobicki M., Marko F., Oszczytko N., Ślaczka A. Plate tectonic evolution and paleogeography of the circum-Carpathian region. *AAPG. Memoir.* 2006. Spec. vol. 84. P. 11–46. <https://doi.org/10.1306/985606m843066>
- Hower J., Eslinger E., Hower M.E., Perry E.A. Mechanism of burial metamorphism of argillaceous sediments. 1. Mineralogical and chemical evidence. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 1976. Vol. 87. P. 725–737.
- Hnylko O. Tectono-sedimentary evolution of the junction area between the Western and Eastern Carpathian nappe systems (Ukrainian Carpathians). In M. Krobicki (Ed.), *Second Symposium of the International Geosciences IGCP 710 Project Western Tethys meets Eastern Tethys.* (Geotourism/Geoturystyka). 2023. Vol. 20. No. 1–2 (72–73). P. 25–26. <https://journals.agh.edu.pl/geotour/article/view/5792>
- Kováč M., Plašienka D., Soták J., Vojtko R., Oszczytko N., Less G., Čosović V., Fügenschuh B., Králiková S. Paleogene palaeogeography and basin evolution of the Western Carpathians, Northern Pannonian domain and adjoining areas. *Global and Planetary Change.* 2016. Iss. 140. P. 9–27. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.03.007>
- Kováč M., Márton E., Oszczytko N., Vojtko R., Hók J., Králiková S., Plašienka D., Klučiar T., Hudáčková N., Oszczytko-Clowes M. Neogene palaeogeography and basin evolution of the Western Carpathians, Northern Pannonian domain and adjoining areas. *Global and Planetary Change.* 2017. Spec. iss. 155. P. 133–154. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.07.004>
- Krobicki M., Hnylko O., Feldman-Olszewska A., Iwanczuk J. Tectono-Stratigraphic Position of the Kaminnyi Potik Unit in the Ukrainian Carpathians and Volcanogenic Rocks of Mt Chyvychn. In: Roch R. et al. (Eds.), *STRATI 2013.* Springer Geology. 2014. P. 533–537. https://doi.org/10.1007/978-3-319-04364-7_102

- Nemcok M., Pospisil L., Lexa J., Donelick R.A. Tertiary subduction and slab break-off model of the Carpathian-Pannonian region. *Tectonophysics*. 1998. Vol. 295, No. 3–4. P. 307–340. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(98\)00092-4](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(98)00092-4)
- Oszczypko N. Late Jurassic-Miocene evolution of the Outer Carpathian fold-and-thrust belt and its foredeep basin (Western Carpathians, Poland). *Geological Quarterly*. 2006. Vol. 50, No. 1. P. 169–194.
- Posamentier H.W., Walker R.G. Deep-Water Turbidites and Submarine Fans Facies Models Revisited. *SEPM Special Publication*. 2006. No. 84. 122 p. <https://doi.org/10.2110/pec.06.84>
- Schmid S., Bernoulli D., Fugenschuh B., Matenco L., Schefer S., Schuster R., Tischler M., Ustaszewsk K. The Alpine-Carpathian-Dinaric orogenic system: correlation and evolution of tectonic units. *Swiss Journal of Geosciences*. 2008. Vol. 101. P. 139–183. <https://doi.org/10.1007/s00015-008-1247-3>
- Schmid S.M., Fugenschuh B., Kounov A., Matenco L., Niev-ergelt P., Oberhansli R., Pleuger J., Schefer S., Schuster R., Tomljenovic B., Ustaszewski K., van Hinsbergen D.J.J. Tectonic units of the Alpine collision zone between Eastern Alps and western Turkey. *Gondwana Research*. 2020. Vol. 78. P. 308–374. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2019.07.005>
- Sperner B., Ratschbacher L., Nemcok M. Interplay between subduction retreat and lateral extrusion: Tectonics of the Western Carpathians. *Tectonics*. 2002. Vol. 21, iss. 6. P. 1-11–24. doi:10.1029/2001TC901028
- ## References
- Andreeva-Grigorovich A.S., Vyalov O.S., Gavura S.P., Gruzman A.D., Dabagyan N.V., Danysh V.V., Ivanik M.M., Kulchitsky Ya.O., Lozynyak P.Yu., Maslun N.V., Petrashkevich M.Y., Ponomareva L.D., Portnyagina L.A., Smirnov S.E., Sovchik Y.V. 1984. Explanatory note to the regional stratigraphic scheme of Paleogene deposits of the Ukrainian Carpathians. Kyiv. (Preprint / Institute of Geological Sciences of the Ukrainian SSR Academy of Sciences; No. 84-19) (in Russian).
- Andreeva-Grigorovich A., Maslun N., Hnylko S., Hnylko O. 2014. About the age and sedimentation of horizons of striatal argillites in the Paleocene-Eocene deposits of the Ukrainian Carpathians. *Problems of geology in the Phanerozoic of Ukraine: materials of the V All-Ukrainian Sci. Conference* (August 8–14, 2014). Lviv: LNU named after Ivan Franko, pp. 3–6 (in Russian).
- Afanasyeva I.M. 1983. Lithogenesis and geochemistry of the flysch formation of the northern slope of the Ukrainian Carpathians. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
- Bilonizhka P., Matkovskiy O. 2010. Smectite in the geological formations of the Ukrainian Carpathians. *Mineralohichnyi zbirnyk*, 60 (2): 3–14 (in Ukrainian).
- Bąk K., Kowalczyk J., Wolska A., Bąk M., Natkaniec-Nowak L. 2018. Iron and silica enrichments in the middle Albianneptunian dykes from the High-Tatric Unit, Central Western Carpathians: an indication of hydrothermal activity for an extensional tectonic regime. *Geological Magazine*, 155 (1): 1–19. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0016756815001132>
- Bąk M., Bąk K., Górny Z., Stożek B. 2015. Evidence of bacteriogenic iron and manganese oxyhydroxides in Albian–Cenomanian marine sediments of the Carpathian realm (Poland). *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 85 (2): 371–385. DOI: <https://doi.org/10.14241/asgp.2015.013>
- Barbera G., Giudice A.L., Mazzoleni P., Pappalardo A. 2009. Combined statistical and petrological analysis of provenance and diagenetic history of mudrocks: Application to Alpine Tethydes-shales (Sicily, Italy). *Sed. Geol.*, 213: 27–40. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2008.11.002>
- Bhatia M.R. 1983. Plate Tectonics and Geochemical Composition of Sandstone. *The Journal of Geology*, 91: 611–627. <http://dx.doi.org/10.1086/628815>
- Bonatti E. 1981. Metal deposits in the oceanic lithosphere. In: The Sea, 7. *The oceanic lithosphere* (Emiliane C., ed.). New York, Wiley, pp. 639–686.
- Csontos L., Vörös A. 2004. Mesozoic plate tectonic reconstruction of the Carpathian region. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Elsevier, 210 (1): 1–56. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2004.02.033>
- Einsele G. 1992. Sedimentary Basins: evolution, facies and sediment budget. Berlin: Springer Verlag, 615 p.
- Golonka J., Gahagan L., Krobicki M., Marko F., Oszczypko N., Ślącza A. 2006. Plate tectonic evolution and paleogeography of the circum-Carpathian region. *AAPG. Memoir*, 84: 11–46. <https://doi.org/10.1306/985606m843066>
- Habinet M.P., Kulchitsky Ya.O., Matkovskiy O.I. 1976. Geology and minerals of the Ukrainian Carpathians. Lvov. Vol. 1 (in Russian).
- Habinet M.P. 1985. Postsedimentation transformations of flysch of the Ukrainian Carpathians. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
- Haevska Yu. 2009. On the mineralogy of the clay fraction of terrigenous rocks of the Eocene of the Skybova zone of the Ukrainian Carpathians. *Mineralohichnyi zbirnyk*, 59 (4): 105–115 (in Ukrainian).
- Havryshkiv H., Haievska Yu., Zhukov S., Popp I. 2007. Clay minerals of the Paleocene-Eocene terrigenous rocks of the Skybova zone of the Ukrainian Carpathians (according to diffractometric analysis). *Mineralohichnyi zbirnyk*, 57 (1): 93–101 (in Ukrainian).
- Heneralova L., Stepanov V. 2015. Mineralogical and petrochemical features of rocks of the Eocene strocacolor horizons of the Ukrainian Carpathians (on the example of the Sushmanetska and Maniavska suites). *Visnyk Lvivskoho unyversytetu. Seriya heolohichna*, 29: 107–116 (in Ukrainian).
- Heneralova L., Stepanov V., Khomiak L., Kostyuk O., Heneralov A. 2022. Iron-manganese mineralization in Eocene deposits of Parashka skyba (Skybov nappe, Ukrainian Carpathians). *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho unyversytetu imeni V.N. Karazina. Seriya "Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia"*, 56: 49–66. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-03> (in Ukrainian).
- Heneralova L.V., Pashchenko V.H., Stepanov V.B., 2013. Some peculiarities of the chemistry of volcanics of the Trostyanets complex of the Mesozoic (Ukrainian Carpathians). *Visnyk Lvivskoho unyversytetu. Seriya heolohichna*, 27: 104–115 (in Ukrainian).
- Hnylko O. 2023. Plate-tectonic geodynamics of the Tisza–Dacia terrain, Ukrainian Carpathians. *Heolohiia i heokhimiia horiuchykh kopalyn*, 3–4 (191–192): 61–73. <https://doi.org/10.15407/ggcm2023.191-192.061> (in Ukrainian).
- Hnylko O. 2023. Tectono-sedimentary evolution of the junction area between the Western and Eastern Carpathian nappe systems (Ukrainian Carpathians). In M. Krobicki (Ed.), *Second Symposium of the International Geosciences IGCP 710 Project Western Tethys meets Eastern Tethys*. (Geotourism/Geoturystyka), 20, 1–2 (72–73): 25–26. <https://journals.agh.edu.pl/geotour/article/view/5792>
- Hnylko O. 2016. *Heolohichna budova ta evoliutsiia Ukrainykykh Karpat* [Geological structure and evolution of the Ukrainian Carpathians]. Extended abstract of Doctor's thesis. Lvivskiy natsionalnyi unyversytet imeni Ivana Franka. Lviv (in Ukrainian).
- Hnylko O.M. 2011. About the shear zone in the western part of the Ukrainian Carpathians. *Heolohiia i heokhimiia horiuchykh kopalyn*, 3–4: 67–80 (in Ukrainian).
- Hnylko O.M. 2012. Tectonic zoning of the Carpathians in terms of the terrane tectonics. Article 2. The Flysch Carpathian – ancient accretionary prism. *Heodynamika*, 1 (12): 67–78. <https://doi.org/10.23939/jgd2012.01.067> (in Ukrainian).
- Hnylko O.M. 2010. About sedimentation processes in the formation of flysch deposits of the Ukrainian Carpathians. *Collection of scientific works of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 3: 32–37 (in Ukrainian).
- Hnylko O., Andreeva-Grigorovich A., Hnylko S. 2022. Age and sedimentary environments of the Paleocene deposits in the Carpathian Skybova Nappe based on micropaleontological and sedimentological data. *Heolohiia i heokhimiia horiuchykh*

- kopalyn*, 1–2 (187–188): 36–47. <https://doi.org/10.15407/ggcm2022.01-02.036> (in Ukrainian).
- Hnylko O., Hnylko S., Kulyanda M., Marchenko R. 2021. Tectonic-sedimentary evolution of the frontal part of the Ukrainian Carpathian nappe structure. *Heolohiia i heokhimiia horiuchykh kopalyn*, 1–2 (183–184): 45–59. <https://doi.org/10.15407/ggcm2021.01-02.045> (in Ukrainian).
- Hnylko S.R., Hnylko O.M., Suprun I.S., Navarivska K.O., Heneralova L.V. 2023. Stratigraphy of the Upper Cretaceous deposits with oceanic red-colored rocks (CORBs), Ukrainian Carpathians. *Geologičnij žurnal*, 3 (384): 79–107. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.3.281067>
- Hower J., Eslinger E., Hower M.E., Perry E.A. 1976. Mechanism of burial metamorphism of argillaceous sediments. 1. Mineralogical and chemical evidence. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 87: 725–737.
- Hurevych E.G. 1998. Metalliferous sediments of the World Ocean. Moscow: Nauchny Mir (in Russian).
- Khmelevskiy V.O. 2015. Peculiarities of stage analysis of lithogenesis. Lviv: LNU imeni Ivana Franka (in Ukrainian).
- Kováč M., Plašienka D., Soták J., Vojtko R., Oszczytko N., Less G., Čosovič V., Fügenschuh B., Králiková S. 2016. Paleogene palaeogeography and basin evolution of the Western Carpathians, Northern Pannonian domain and adjoining areas. *Global and Planetary Change*, 140: 9–27. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.03.007>
- Kováč M., Márton E., Oszczytko N., Vojtko R., Hók J., Králiková S., Plašienka D., Klučiar T., Hudáčková N., Oszczytko-Clowes M. 2017. Neogene palaeogeography and basine volution of the Western Carpathians, Northern Pannonian domain and adjoining areas. 2017. *Global and Planetary Change*, 155: 133–154. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.07.004>
- Krobicki M., Hnylko O., Feldman-Olszewska A., Iwanczuk J. 2014. Tectono–Stratigraphic Position of the Kaminnyi Potik Unit in the Ukrainian Carpathians and Volcanogenic Rocks of Mt Chyvchyn. In: Roch R. et al. (Eds.), *STRATI 2013*. Springer Geology, pp. 533–537. https://doi.org/10.1007/978-3-319-04364-7_102
- Liazhkevych Z.M., Medvedev A.P., Krupskiy Yu.Z., Varychev A.S., Tymoshchuk V.R., Stupka O.O. 1995. Tectono-magmatic evolution of the Carpathians. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
- Lukin A.E. 2013. Mineral spherules are indicators of a specific fluid regime of ore formation and naphthidogenesis. *Geophysical Journal*, 6 (35): 10–53 (in Russian).
- Maslov A.V. 2014. Lithochemical appearance of sediments of the Asha Group of the Vendian on the western slope of the Southern Urals. *Lithosphere*, 1: 13–32 (in Russian).
- Maslov A.V., Misens G.A., Podkovyrov V.N., Nozhkin A.D., Sokur T.M., Malinovsky A.I., Sorokin A.A., Smirnova Yu.N., Gareev E.Z., Dmitrieva N.V., Krupenin M.T., Letnikova E.F. 2015. Synorogenic clayey rocks: features of bulk chemical composition and paleotectonics. *Geochemistry*, 6: 512–538. [doi.10.7868/S0016752515060072](https://doi.org/10.7868/S0016752515060072) (in Russian).
- Nemcok M., Pospisil L., Lexa J., Donelick R.A. 1998. Tertiary subduction and slab break-off model of the Carpathian–Pannonian region. *Tectonophysics*, 295 (3–4): 307–340. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(98\)00092-4](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(98)00092-4)
- Ohar V.V., Savenok S.P., Andreiev O.V. 2018. Manganese minerals in the Paleogene flysch of the Outer Carpathians. *Heolohiia i korysni kopalyny Ukrainy*: zb. tez nauk. konf. In-t heokhimi, mineralohii ta rudoutvorennia im. M.P. Semenena NAN Ukrainy (Kyiv, 2–4 zhovtnia 2018 r.). Kyiv, pp. 170–171 https://igmof.org.ua/sites/default/files/abstracts_100_nas_ukr_2018_0.pdf (in Ukrainian)
- Oszczytko N. 2006. Late Jurassic–Miocene evolution of the Outer Carpathian fold-and-thrust belt and its foredeep basin (Western Carpathians, Poland). *Geological Quarterly*, 50 (1): 169–194.
- Posamentier H.W., Walker R.G. 2006. Deep-Water Turbidites and Submarine Fans Facies Models Revisited. *SEPM Special Publication*, 84: 122. <https://doi.org/10.2110/pec.06.84>
- Predovskiy A.A. 1970. Geochemical reconstruction of the primary composition of metamorphosed volcanic-sedimentary formations of the Precambrian. Apatity: Publishing House of the Academy of Sciences (in Russian).
- Schmid S., Bernoulli D., Fügenschuh B., Matenco L., Schefer S., Schuster R., Tischler M., Ustaszewski K. 2008. The Alpine–Carpathian–Dinaric orogenic system: correlation and evolution of tectonic units. *Swiss Journal of Geosciences*, 101: 139–183. <https://doi.org/10.1007/s00015-008-1247-3>
- Schmid S.M., Fügenschuh B., Kounov A., Matenco L., Niev-ergelt P., Oberhansli R., Pleuger J., Schefer S., Schuster R., Tomljenovic B., Ustaszewski K., van Hinsbergen D.J.J. 2020. Tectonic units of the Alpine collision zone between Eastern Alps and western Turkey. *Gondwana Research*, 78: 308–374. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2019.07.005>
- Sedimentation and magmatism. Vol. 1. 1979. In the book. Ocean Geology. Oceanology Series. P. L. Bezrukov (ed.). Moscow: Nauka (in Russian).
- Senkovskiy Yu., Grigorchuk K., Gnidec V., Koltun Yu. 2004. Geological paleoceanography of the Tethys Ocean. Kyiv: Naukova Dumka (in Ukrainian).
- Senkovskiy Yu.M., Hryhorchuk K.H., Koltun Yu.V., Hnidets V.P. 2018. Lithogenesis of sedimentary complexes of the Tethys-ocean: Carpatho-Black Sea segment. Kyiv: Naukova Dumka (in Ukrainian).
- Sokur T.M. 2013. Reconstruction of the conditions for the formation of Upper Vendian and Lower Cambrian mudstones on the southwestern margin of the East European Platform using petrochemical methods. *Tectonics and stratigraphy*, 40: 91–101 (in Russian).
- Sperner B., Ratschbacher L., Nemcok M. 2002. Interplay between subduction retreat and lateral extrusion: Tectonics of the Western Carpathians. *Tectonics*, 21 (6): 1–1–1–24. [doi:10.1029/2001TC901028](https://doi.org/10.1029/2001TC901028)
- Stratigraphy of the Upper Proterozoic and Phanerozoic of Ukraine: 2 volumes. Vol. 1: Stratigraphy of the Upper Proterozoic, Paleozoic and Mesozoic of Ukraine. (Ed. Gozhik P.F.). 2013. Kyiv: Logos (in Ukrainian).
- Stupka O.O. 2013. Ophiolites of the Ukrainian Carpathians: geochemistry and mineralogy. (Extended abstract of Doctor's thesis). Lviv (in Ukrainian).
- Tretyak K.R., Maksymchuk V.Yu., Kutas R.I., Rokytyanskyi I.I., Hnylko O.M., Kendzera O.V., Pronyshyn R.S., Klimkovych, T.A., Kuznetsova V.G., Marchenko D.O., Smirnova O.M., Serant O.V., Babak V.I., Vovk A.I., Romanyuk V.V., Tereshyn A.V. 2015. Modern geodynamics and geophysical fields of the Carpathians and adjacent territories. Lviv: View of Lviv. polytechnics (in Ukrainian).
- Timofeev P.P., Rateev M.A., Rengarten N.V., Bogolyubova L.I., Varentsov I.M., Grechin V.I., Koporulin V.I., Zolotorev B.P., Ere-meev V.V. 1983. Problems of lithology of the World Ocean. Lithology and geochemistry of the Pacific Ocean. Moscow: Nauka. (Ttudi of GIN; Iss. 387) (in Russian).
- Yatsenko I.H., Yatsenko H.M., Bekesha S.M., Bilyk N.T. 2012. Endogenous Ti–Mn–Fe–silicate spherules from explosive structures and volcanic-sedimentary formations of Ukraine. *Mineralohichnyi zbirnyk*, 62 (1): 83–101 (in Ukrainian).
- Yatsenko H., Bekesha S., Haiovskiy O., Yatsenko I. 2015. Fluid-explosive ore genesis and mineralization of the margin of the Converging European Platform within Ukraine. *Mineralohichnyi zbirnyk*, 65 (2): 55–61 (in Ukrainian).
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P. 2000. Fundamentals of lithochemistry. St.-Petersburg: Nauka (in Russian).

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.3.300565>
УДК 552.5+551.7.022.4/734.5 (477.74)

E-mail: vgnidets53@gmail.com,
<http://orcid.org/0009-0001-6372-7878>;
kosagri@ukr.net,
<http://orcid.org/0000-0003-1595-0968>;
pavlyuk.myroslav@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0001-8741-0624>;
koshil_lesia@ukr.net,
<http://orcid.org/0000-0001-6678-9460>;
myroslavakoshil@ukr.net,
<http://orcid.org/0000-0001-8967-0489>

***Corresponding author /
Автор для кореспонденції:**
M.B. Yakovenko, myroslavakoshil@ukr.net

Received / Надійшла до редакції:
03.04.2024

**Received in revised form /
Надійшла у ревізованій формі:**
20.07.2024

Accepted / Прийнята:
30.08.2024

Keywords: lithological features; cyclites; reservoir rocks; Middle Devonian sediments; Dobrudja Foredeep.

Ключові слова: літологічні особливості; цикліти; породи-колектори; відклади середнього девону; Переддобрудзький прогин.

Особливості літологічної будови та розвитку порід-колекторів і резервуарів вуглеводнів у середньодевонських відкладах південної частини Тузлівської депресії (Переддобрудзький прогин)

В.П. Гнідець, К.Г. Григорчук, М.І. Павлюк, Л.Б. Кошіль, М.Б. Яковенко*

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

Features of the lithological structure and development of reservoir rocks and hydrocarbon reservoirs in the Middle Devonian sediments of the southern part of the Tuzliv depression (Dobrudja Foredeep)

V.P. Hnidets, K.H. Hryhorchuk, M.I. Pavlyuk, L.B. Koshil, M.B. Yakovenko*

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

The aim of the work was to clarify the features of the lithological structure of the Middle Devonian sediments of the Zhovtoyarska-Tuzlivska and Biloliska-Zarichnenska prospective areas of the Dobrudja Foredeep and to determine its influence on the formation of reservoir rocks, traps and hydrocarbon reservoirs. The research was based on the results of geophysical research of wells (radioactive methods) in combination with fragmentary geological (lithological) data. As a result, 9 lithocycles of regressive nature were identified in the section for the first time (e-1 – e-5; g-1 – g-4). Each lithocycle is characterized by a two-membered structure and represents a separate productive horizon (PH). The lower parts of the latter are composed of porous and fractured reservoir rocks (limestones, dolomites, siltstones, sandstones), and the upper parts are composed of fluid-resistant packs (marls, anhydrites). It has been shown that cyclites are grouped into larger units (mesocyclites) of re- or progressive nature, which in different wells (in separate intervals) exhibit a certain similarity or difference in structure. Such spatial and age variability is caused, on the one hand, by the placement of wells in different facies zones of the sulfate-carbonate shelf, and on the other, by the processes of interaction of syndimentary tectonic movements and paleoceanographic (sea level changes, etc.) factors. The consequence of this is the lateral lithological heterogeneity, which in the petrogeological aspect is manifested in the morphological features of the reservoirs and the character of the development of various types of reservoirs and ultimately determines, taking into account secondary rock changes, the prospects of specific productive horizons. Thus, for the Zhovtoyarska-Tuzlivska area, the vaulted trap is localized near borehole Zhovtoyarska-1 (e-1, e-2 productive horizons), according to other horizons it is fixed near borehole Zhovtoyarska-2. The development of lithological traps is predicted in e-1, e-3 and e-4 productive horizons, which is associated with the wedging of pore reservoirs in the direction from borehole Tuzlivska-2 to borehole Zhovtoyarska -2 and -1. For most productive horizons, the quality of reservoir rocks is expected to deteriorate in the same direction, which suggests the possibility of catagenetic screening of fluids.

For the Biloliska-Zarichnenska area, along all productive horizons, trap vaults are localized near borehole Zarichnenska-1 or further south. The most capacious are the traps of horizons e-1, e-4 and e-5, composed mainly of pore-type collectors, the quality of which is low due to anhydritization. The best reservoir rocks are predicted in the Givetian sediments (g-2 – g-4 productive horizons) of borehole Zarichnenska -1.

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2024. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2024. This is an Open Access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Ц и т у в а н н я : Гнідець В.П., Григорчук К.Г., Павлюк М.І., Кошіль Л.Б., Яковенко М.Б. Особливості літологічної будови та розвитку порід-колекторів і резервуарів вуглеводнів у середньодевонських відкладах південної частини Тузлівської депресії (Переддобрудзький прогин). *Геологічний журнал*. 2024. № 3 (388). С. 48–60. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.3.300565>

C i t a t i o n : Hnidets V.P., Hryhorchuk K.H., Pavlyuk M.I., Koshil L.B., Yakovenko M.B. 2024. Features of the lithological structure and development of reservoir rocks and hydrocarbon reservoirs in the Middle Devonian sediments of the southern part of the Tuzliv depression (Dobrudja Foredeep). *Geologichnij zhurnal*, 3 (388): 48–60. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.3.300565>

Вступ

Постановка проблеми. У сульфатно-карбонатних відкладах середнього девону Переддобрудзького прогину відкриті Східносаратське та Жовтоярське родовища нафти та отримані незначні припливи нафти на Білоліській та Сариярській структурах. Це зумовлює актуальність детального вивчення літологічних особливостей осадових нашарувань цього віку, зокрема в контексті їх впливу на формування порід-колекторів різного типу, флюїдотривів, утворення резервуарів вуглеводнів (ВВ) різного типу.

Мета та завдання – з'ясувати літологічні особливості середньодевонських відкладів Жовтоярсько-Тузлівської та Білолісько-Заріченської перспективних ділянок у контексті їхнього впливу на формування порід-колекторів і резервуарів ВВ.

Предмет та об'єкт роботи – літологічні особливості середньодевонських відкладів Жовтоярсько-Тузлівської та Білолісько-Заріченської перспективних ділянок південної частини Тузлівської депресії (Переддобрудзький прогин).

Огляд попередніх досліджень. Попередніми дослідженнями, які стосувалися згаданих питань, було показано, що продуктивність пов'язана (Воловик и др., 1988; Трофименко, Герасимов, 1991; Самсонов и др., 2003) з карбонатними (доломіти, вапняки) пачками, які разом з ангідритами,

аргілітами, пісковиками та алевролітами формують низку циклітів регресивної природи (Мачулина и др., 1991; Гнідець та ін., 2003). Верхня їх частина складена мергельно-сульфатними та сульфатними (ангідрити) породами, нижня – карбонатними або теригенно-карбонатними. Карбонатні утворення являють собою біогерми та біостроми, розвиток яких прогнозується (Лукин, Трофименко, 1992; Наукове..., 2005) на Саратській, Східносаратській, Жовтоярській та Заріченській структурах у межах верхньої субліторалі, яка смугою простягалася вздовж бортів Тузлівської та Алібейської депресій.

У роботі (Гнідець та ін., 2021) викладені результати вивчення літологічних особливостей середньодевонських відкладів Східносаратської структури в аспекті їхнього впливу на формування порід-колекторів і резервуарів ВВ. Була з'ясована літологічна (циклічна) будова відкладів ейфельського та живетського ярусів, визначені особливості поширення продуктивних горизонтів (ПГ), локалізації резервуарів, характеру розвитку порід-колекторів різного типу та якості. На цій основі спрогнозована наявність пасток та здійснена оцінка перспектив виділених горизонтів.

У даній публікації в такому ж аспекті розглянуті відклади середнього девону, розкриті на Білолісько-Заріченській та Жовтоярсько-Тузлівській ділянках (рис. 1).

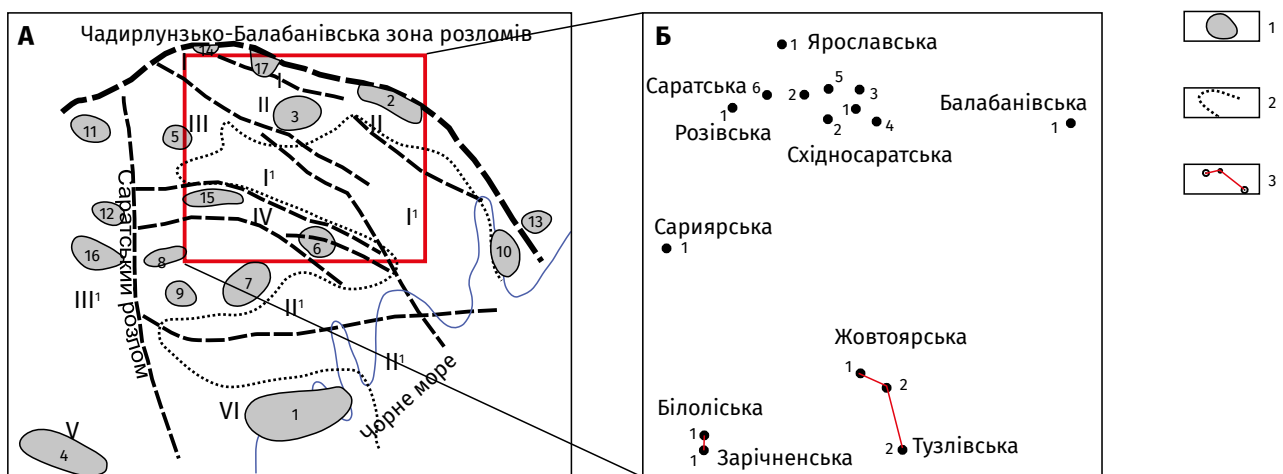


Рис. 1. Структурні елементи східної частини Переддобрудзького прогину (А) (в червоному прямокутнику – район досліджень), за (Скачедуб, 1998), та схема розміщення досліджуваних свердловин (Б): 1 – антиклінальні підняття (1 – Лиманське, 2 – Балабанівське, 3 – Східносаратське, 4 – Глибокінське, 5 – Григорівське, 6 – Жовтоярське, 7 – Заріченське, 8 – Кагильницьке, 9 – Кантемирівське, 10 – Курортне, 11 – Новоселівське, 12 – Павлівське, 13 – Приморське, 14 – Рибальське, 15 – Сариярське, 16 – Татарбунарське, 17 – Ярославське), антиклінальні зони (I – Рибальсько-Ярославська, II – Саратсько-Балабанівська, III – Григорівська, IV – Сариярсько-Жовтоярська, V – Кагильницько-Заріченська, VI – Глибокінсько-Лиманська); 2 – депресії: I' – Тузлівська, II' – Алібейська, III' – Татарбунарська); 3 – перетини

Fig. 1. Structural elements of the eastern part of the Dobrudja Foredeep (A) (in the red rectangle - the research area), according to (Skachedub, 1998) and the layout of the studied boreholes (B): 1 – anticlinal uplifts (1 – Lymanske, 2 – Balabanivske, 3 – Skhidnosaratske, 4 – Hlybokynske, 5 – Hryhorivske, 6 – Zhovtoyarske, 7 – Zarichnenske, 8 – Kagylinske, 9 – Kantemyrivske, 10 – Kurortne, 11 – Novoselivske, 12 – Pavlivske, 13 – Primorske, 14 – Rybalske, 15 – Saryarske, 16 – Tatarbunarske, 17 – Yaroslavske), anticlinal zones (I – Rybalsko-Yaroslavska, II – Saratsko-Balabanivska, III – Hryhorivska, IV – Saryyarsko-Zhovtoyarska, V – Kagylinytsko-Zarichnenska, VI – Hlybokinsko-Lymanska); 2 – depressions: I' – Tuzlivska, II' – Alibeyska, III' – Tatarbunarska); 3 – intersections

Загальна геологічна характеристика. Район досліджень розташований в межах Тузлівської депресії – структурного елемента другого порядку Переддобрудзького прогину. Депресія, «коритоподібна» субширотного простягання, обмежена з півночі Саратовсько-Балабанівською зоною складок, а з півдня – Лиманською зоною підняття. Осадове виповнення депресії, завтовшки понад 8000 м при потужності середньодевонських відкладів до 1000 м, відносно добре вивчене в межах Саратовського нафтового родовища (площі) та фрагментарно (поодинокими глибокими свердловинами) на інших площах. Згідно зі стратиграфічними дослідженнями у складі середнього девону виокремлюються ейфельський (товщиною понад 500 м) та живетьський (близько 150 м) яруси, які різняться як за літологічною структурою розрізу, так і геофізичними ознаками.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. У попередніх дослідженнях була розглянута низка питань з геології відкладів девону в регіональному плані. Зокрема, це стосувалося характеру їх поширення, літолого-фаціальних особливостей, умов осадонагромадження, деяких аспектів розвитку осадових тіл – потенційних природних колекторів. Детальне вивчення перспективних ділянок на породному рівні (виділення ПГ, типів порід-колекторів, їх якості, локалізація пасток і резервуарів ВВ) практично не проводилося (за винятком згаданої вище Східносаратовської структури).

Матеріали та методи

У зв'язку зі значною латеральною фаціальною мінливістю та літологічною неоднорідністю сульфатно-карбонатних відкладів та незначним відбором керн дослідження ґрунтувалися на результатах геофізичних досліджень свердловин (радіоактивні методи) в комплексі з фрагментарними геологічними (літологічними) даними.

На основі цього по окремих свердловинах побудовані літологічні розрізи, а з метою їх генералізації виділені літоцикліти, границі яких маркуються пачками ангідритів з прошарками мергелів, що в седиментаційному аспекті відображає максимум обміління з утворенням припливно-відпливних рівнин та себх (Уилсон, 1980; Селли, 1989). Трансгресивні частини літоциклітів складені переважно вапняками та доломітами з прошарками аргілітів та піщано-алевролітових порід у їх припідшовній частині.

В контексті літофізичної будови літоцикліт – це ПГ, представлений у верхній частині сульфатно-мергельним флюїдотривом, а у нижній – породами-колекторами. У складі останніх вирізняємо кавернозно-порові (вапняки, доломіти) та, враховуючи дані (Бортницькая, 1963; Кульчицкий, 1965; Лукин, 2003), – тріщинні (тонке перешарування різних літотипів) відміни.

У карбонатних пачках нижніх частин циклітів поряд з органогенними вапняками прослідковуються ангідрити та доломіти. За результатами петрографічних досліджень можна передбачати епігенетичну природу цих відмін і розглядати їх як інтенсивно доломітизовані та (або) сульфатизовані вапняки (вміст новоутворень часом перевищує 50–60 %). Враховуючи діаметрально протилежний вплив цих процесів на фільтраційно-ємнісні параметри (Мар'єнко, 1978; Saller, 1994; Морозов, 2006), для визначення якості порід-колекторів здійснено підрахунок вмісту різних літотипів у карбонатних пачках.

Результати та обговорення

Літоцикли відкладів середнього девону

Жовтоярьсько-Тузлівська ділянка

Потужність відкладів ейфельського віку становить у свердловинах: Жовтоярьська-1 – 329 м, Жовтоярьська-2 – 484 м, Тузлівська-2 – 472 м.

Розріз складений п'ятьма літологічними циклітами регресивної природи (рис. 2). Нижня частина представлена карбонатними або теригенно-карбонатними породами, верхня – мергельно-сульфатними та сульфатними (ангідрити). Сумарний вміст ангідритів та мергелів у верхніх частинах циклітів становить в середньому 75–81 %, коливаючись від 47 до 100 %; у нижніх – 27–44 % (від 22 до 50 %). В останньому випадку вздовж перетину спостерігається виразна тенденція зменшення кількості ангідритів та мергелів у напрямку від св. Жовтоярьська-1 до св. Тузлівська-2. Середній сумарний вміст вапняків та доломітів у верхніх частинах циклітів змінюється від 13 до 22 % (коливання в діапазоні 5–38 %), а в нижніх – від 35 до 55 % (22–63 %). Загалом, кількість цих карбонатних відмін зростає в напрямку від св. Жовтоярьська-1 до св. Тузлівська-2.

Спостерігається просторово-вікова нерівномірність розподілу потужностей циклітів та їх породного складу. Так, у розрізі св. Жовтоярьська-1 потужність варіює від 35 м (цикліт е-5) до 88 м (е-3), св. Жовтоярьська-2 – від 35 (е-4)

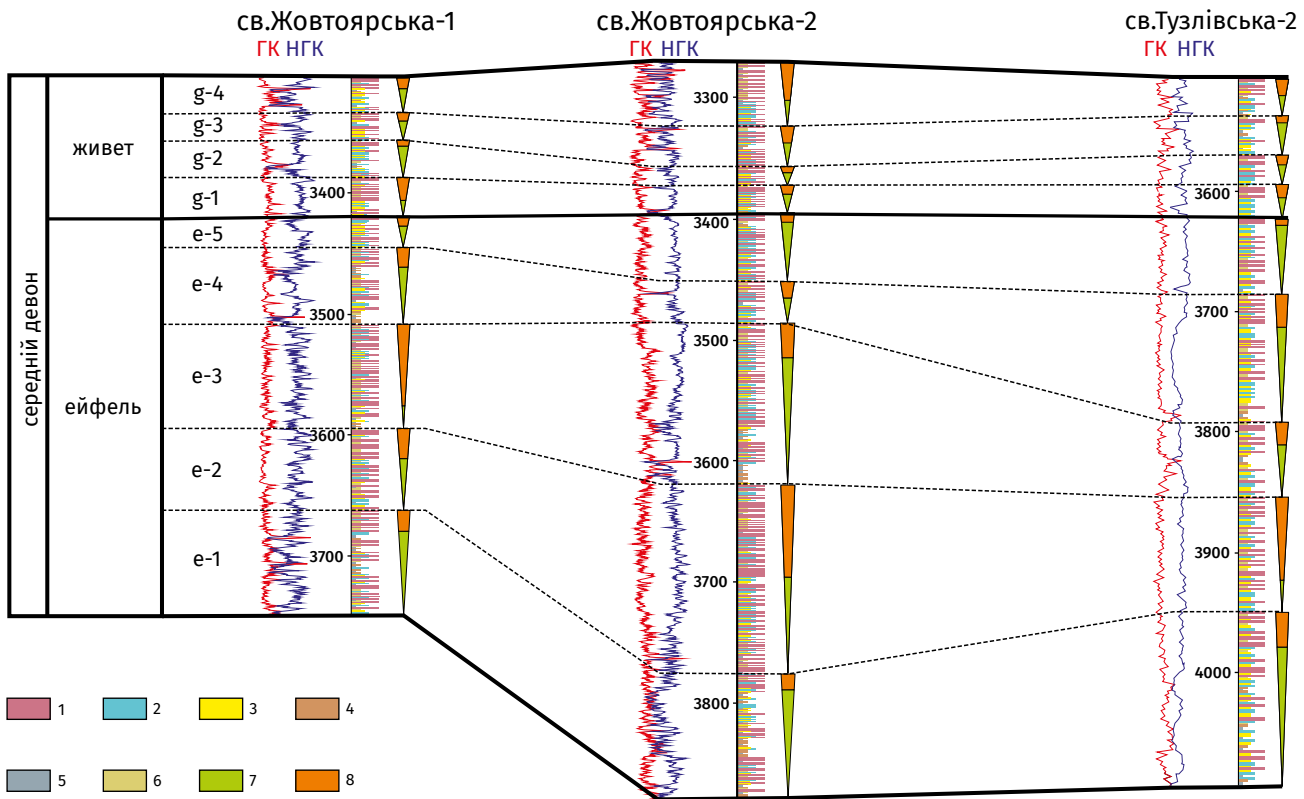


Рис. 2. Цикліти відкладів середнього девону Жовтоярска-Тузлівської ділянки. Літологія: 1 – ангідрити, 2 – доломіти, 3 – вапняки, 4 – мергелі, 5 – аргіліти, 6 – пісковики, алевроліти; цикліти: 7 – трансгресивна, 8 – регресивна частини

Fig. 2. Cyclites of the Middle Devonian sediments of the Zhovtoyarska-Tuzlivska area. Lithology: 1 – anhydrites, 2 – dolomites, 3 – limestones, 4 – marls, 5 – mudstones, 6 – sandstones, siltstones; cyclites: 7 – transgressive part, 8 – regressive part

до 157 м (e-2), св. Тузлівська-2 – від 63 (e-5,3) до 146 м (e-1). Найбільша латеральна мінливість потужностей притаманна циклітам e-2–e-4. Це ж стосується і товщини верхньої та нижньої частин циклітів. Так, у першому випадку вона змінюється від 5 м (цикліт e-5, св. Тузлівська-2) до 88 м (e-3, св. Жовтоярска-1), а в другому – від 18 м (цикліт e-5, св. Жовтоярска-1) до 116 м (e-1, св. Тузлівська-2).

Породний склад циклітів теж характеризується певною мінливістю. Це стосується насамперед характеру розвитку теригенних (аргіліти, пісковики, алевроліти) та карбонатних (вапняки, доломіти) порід. Вміст теригенних літотипів, які формують окремі прошарки, у верхніх частинах циклітів становить 0–6 % (максимальний розвиток у св. Жовтоярска-1). Натомість, у нижніх частинах (у деяких циклітах) ці породи складають пачки товщиною до 17–24 м. Максимальні значення зафіксовані у цикліті e-1 (св. Жовтоярска-2, Тузлівська-2), де сумарна потужність трьох теригенних пачок сягає 38 та 40 м, відповідно.

Вапняки та доломіти у нижніх частинах циклітів формують пачки товщиною від 5 до 42 м. При цьому у св. Жовтоярска-1 товщина вказаних утворень зазвичай не перевищує 10 м.

У напрямку св. Тузлівська-2 цей показник є більшим за 15–20 м, а сумарна їх товщина перевищує 86 м (цикліт e-1) проти 11–14 м на Жовтоярскій площі.

У сульфатних частинах циклітів також місцями спостерігаються окремі горизонти вапняків та доломітів, вміст яких може досягати 20–30 %, а потужність – 10–13 м. Такі утворення наявні у цикліті e-4 у всіх трьох свердловинах, а також у циклітах e-2 та e-1 у св. Жовтоярска-2 та Тузлівська-2.

Потужність відкладів живетського віку змінюється від 115 м (св. Тузлівська-2) до 124 м (св. Жовтоярска-2). У розрізі виділено чотири цикліти (g-1–g-4), потужність яких варіює у св. Жовтоярска-1 від 23 до 33 м, у св. Тузлівська-2 – від 24 до 33 м і лише у св. Жовтоярска-2 коливається у більш широких межах – 15 (g-2)–53 (g-4) м.

Сумарний вміст ангідритів та мергелів у верхніх частинах циклітів у середньому становить 90–95 %, коливаючись від 76 до 100 %; у нижніх – 8–18 % (від 0 до 31 %). Кількість вапняків та доломітів у середньому змінюється від 4–8 % у верхній частині циклітів до 69–76 % – у нижніх, коливаючись відповідно від 0 до 20 % та від 56 до 100 %. При цьому в останньому випадку розвинені пачки карбонатних порід потужністю від 5 до 20 м.

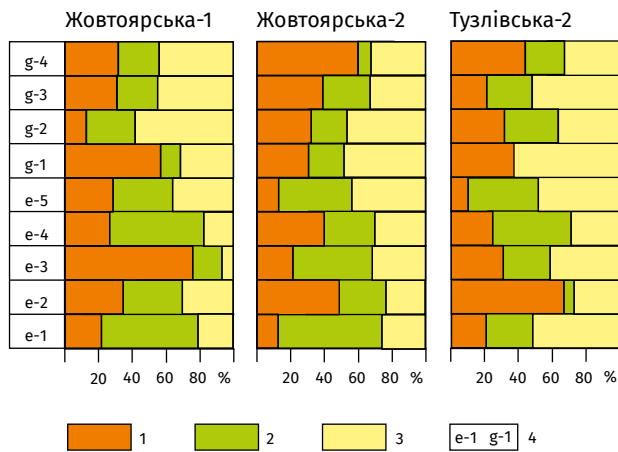


Рис. 3. Літологічна будова відкладів середнього девону. Елементи циклітів: 1 – мергельно-сульфатний; теригенно-карбонатний; 2 – теригенні породи, мергелі, ангідрити; 3 – карбонатні (вапняки-доломіти) породи; 4 – цикліти

Fig. 3. Lithological structure of Middle Devonian sediments. Elements of cyclites: 1 – marl-sulfate; terrigenous-carbonate; 2 – terrigenous rocks, marls, anhydrites; 3 – carbonate (limestone-dolomite) rocks; 4 – cyclites

Теригенні породи у нижніх частинах циклітів характеризуються нерівномірністю розвитку як у розрізі, так і по латералі. Так, у св. Жовтоярська-1 ці утворення фіксуються у всіх циклітах (6–26 %), а у св. Жовтоярська-2 та Тузлівська-2 вони зафіксовані лише у циклітах g-3 та g-4 (до 18 та 32 %). У верхніх частинах циклітів теригенні літотипи практично відсутні, лише у св. Жовтоярська-2 (g-4) їх вміст (аргіліти) досягає 20 %.

За характером літологічної будови (рис. 3) намічається певна специфіка циклічності відкладів середнього девону. Так, на Жовтоярській структурі фіксуються три регресивних мезоцикліти, які, втім, по-різному проявлені у св. 1 та 2. У св. 1 перший регресивний епізод охоплює цикліти e-1–e-3, у св. 2 – цикліти e-1–e-2; другий епізод – відповідно цикліти e-4–g-1 та e-3–e-4; третій – цикліти g-2–g-4 та e-5–g-4. Натомість, у св. Тузлівська-2 поряд з регресивними тенденціями чітко проявлені і трансгресивні. Так, цикліти e-1–e-2 та g-3–g-4 формують регресивні послідовності нашарувань, в той час як e-3–e-5 та g-2–g-3 – трансгресивні.

Такі особливості можуть бути пов'язані з тим, що досліджуваний профіль перетинає декілька фаціальних зон сульфатно-карбонатного шельфу (літораль–верхня, нижня сублітораль). А, як відомо (Ботвинкіна, Алексеев, 1991), при змінах рівня моря на окремих ділянках басейнів формуються специфічні послідовності нашарувань, що утворюють циклічність різного характеру.

Білолісько-Заріченська ділянка

Потужність відкладів ейфельського віку становить 424 м у св. Білоліська-1 та 515 м у св. Заріченська-1. Розріз складений п'ятьма літологічними циклітами регресивної природи (рис. 4). Нижня частина представлена карбонатними або теригенно-карбонатними породами, верхня – мергельно-сульфатними та сульфатними (ангідрити). Сумарний вміст ангідритів та мергелів в останніх частинах циклітів варіює від 80 до 100 % у св. Білоліська-1 та від 70 до 77 % у св. Заріченська-1, решту складають доломіти та вапняки (іноді аргіліти). Середній сумарний вміст вапняків та доломітів у верхніх частинах циклітів змінюється від 10 до 16 % (св. Білоліська-1) та від 23 до 30 % (св. Заріченська-1).

Спостерігається просторово-вікова нерівномірність розподілу потужностей циклітів та їх породного складу. Так, у розрізі св. Білоліська-1 потужність варіює від 45 м (цикліт e-5) до 140 м (e-2), св. Заріченська-1 – від 42 (e-3) до 165 м (e-5). Найбільша латеральна мінливість потужностей притаманна циклітам e-3 та e-5. Це ж стосується і товщини верхньої та нижньої частин циклітів. Так, у першому випадку вона змінюється від 10 м (цикліт e-4, св. Заріченська-1) до 66 м (e-3, св. Білоліська-1), а в другому – від 21 м (цикліт e-3, св. Заріченська-1) до 147 м (e-1, св. Заріченська-1). Потужність верхніх частин більшості циклітів зменшується від св. Білоліська-1 до св. Заріченська-1, в середньому відповідно 37,4 та 18,2 м, що сягає 31,6 та 22,8 % від загальної товщини. Потужність нижніх частин циклітів істотно збільшується від св. Білоліська-1 до св. Заріченська-1 (середні значення 47,2 та 84,8 м).

Розріз у св. Білоліська-1 збагачений теригенними породами, вміст яких у нижніх частинах циклітів змінюється від 10 (g-1) до 49 % (g-2), в середньому 26 %. У св. Заріченська-1 ці значення становлять 2 % (g-4), 13 % (g-2) та в середньому 10 %.

Породний склад циклітів теж характеризується певною мінливістю. Теригенні літотипи у верхньому елементі циклітів наявні (4–5 %) лише у св. Білоліська-1 (e-1, e-4) і формують окремі прошарки. У нижніх елементах вони максимально розвинені (в обох свердловинах) у циклітах e-1 та e-2, де формують пачки товщиною 14–23 м (вміст 42–48 %). У решті циклітів їх кількість не перевищує 10 %, а у цикліті e-3 вони взагалі відсутні.

Вапняки та доломіти у нижніх частинах циклітів формують 1–3 пачки товщиною від 5 до 88 м.

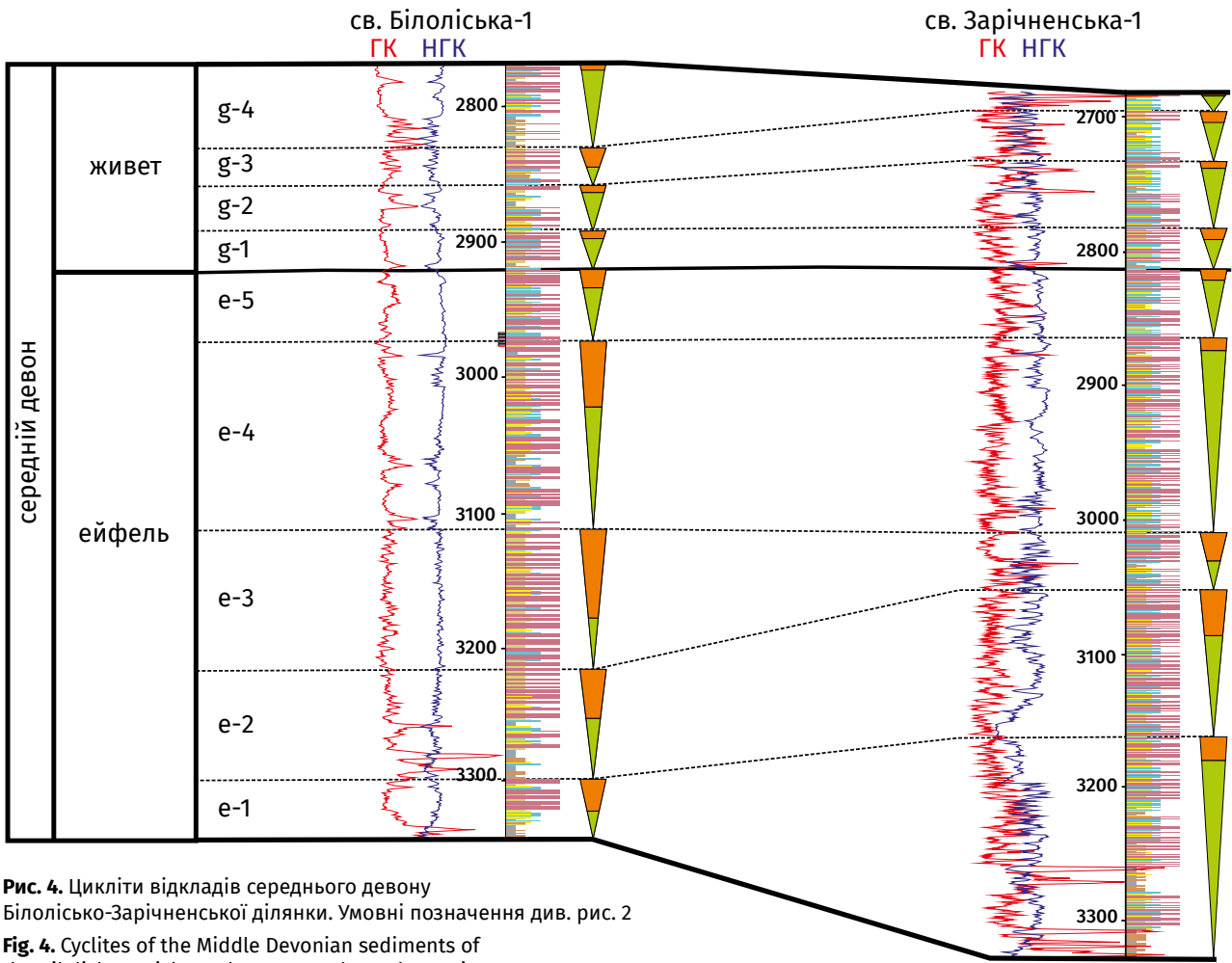


Рис. 4. Цикліти відкладів середнього девону Білолісько-Зарічненської ділянки. Умовні позначення див. рис. 2

Fig. 4. Cyclites of the Middle Devonian sediments of the Biloliska-Zarichnenska area. For legend, see Fig. 2

Середні значення відчутно зростають в напрямку від св. Білоліська-1 до св. Зарічненська-1 (відповідно 14 та 35 м), а вміст у середньому сягає 27,6 та 41 %. Характерно, що мінімальний розвиток цих утворень в обох свердловинах притаманний циклітам е-2 та е-3. У сульфатних частинах циклітів постійно спостерігаються окремі прошарки вапняків та доломітів (до 1–3 м), вміст яких у св. Білоліська-1 змінюється від 10 до 16 %, а у св. Зарічненська-1 – від 23 до 30 %.

Потужність відкладів живецького віку становить 154 м у св. Білоліська-1 та 130 м у св. Зарічненська-1. Розріз складений чотирма літологічними циклітами (g-1–g-4) регресивної природи (рис. 5), потужність яких варіює у першому випадку від 28 (g-3) до 63 м (g-4), а в другому – від 13 (g-4) до 50 м (g-2). Як видно, найбільша мінливість товщини притаманна цикліту g-4.

Характерно, що верхні частини циклітів у св. Білоліська-1 складені виключно ангідритами та мергелями. Натомість, у св. Зарічненська-1 спостерігаються і прошарки карбонатних порід

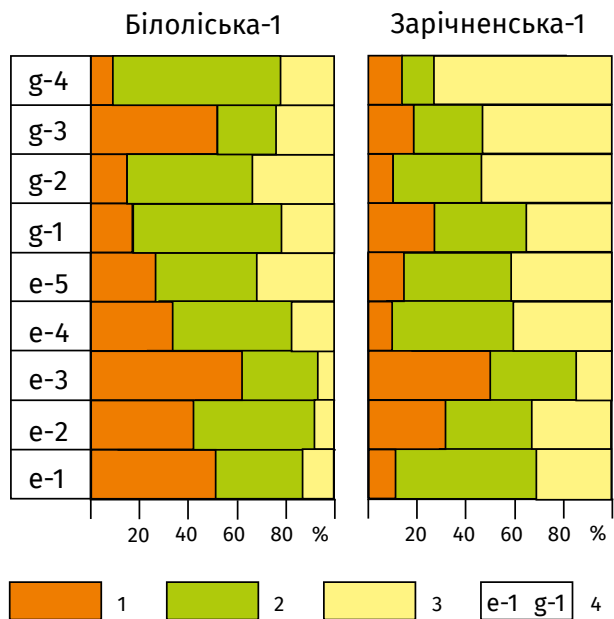


Рис. 5. Літологічна будова відкладів середнього девону. Умовні позначення див. рис. 3

Fig. 5. Lithological structure of Middle Devonian sediments. For legend, see Fig. 3

(вміст до 17–32 %). Кількість ангідритів у нижніх частинах циклітів варіює від 15 до 26 % (св. Білоліська-1) та від 0 до 18 % (св. Зарічненська-1), а карбонатних порід – відповідно від 22 до 48 % та від 47 до 87 %. При цьому останні формують пачки товщиною до 25 м (середні значення по свердловинах 11 та 15 м).

Відклади, розкриті св. Білоліська-1, містять значно більше теригенних порід (у середньому 19 %), ніж у св. Зарічненська-1 (9 %). Найбільше пісковиків та аргілітів фіксується у цикліті g-4 (30 %), де вони складають пачку товщиною близько 25 м.

За особливостями літологічної будови (див. рис. 5) встановлена певна різниця циклічності відкладів у двох розглянутих свердловинах. Для св. Білоліська-1 характерна трансгресивна природа нашарувань (від початку до кінця середнього девону) з двома регресивними епізодами (цикліти e-3 та g-3). Натомість, у св. Зарічненська-1 спостерігаються два регресивних (e-1–e-3 та e-4–g-1) та один регресивно-трансгресивний (g-2–g-4) мезоцикліти. Загалом, в обох свердловинах фіксується зворотна кореляція вмісту сульфатних та карбонатних утворень. При цьому кількість перших у св. Білоліська-1 є відчутно більшою, а карбонатних – меншою, ніж у св. Зарічненська-1.

Особливості розвитку резервуарів та порід-колекторів

Жовтоярсько-Тузлівська ділянка

Кожний з виділених циклітів (g-1–g-4, e-1–e-5) середньодевонських відкладів являє собою ПГ, які різняться за характером розвитку порід-колекторів різного типу.

У ПГ e-1 максимальна потужність пачок природних колекторів спостерігається у св. Тузлівська-2, де вони повністю складають нижню частину цикліту (рис. 6). Тут розвинені три пачки тріщинних та три пачки порових порід-колекторів, товщина яких відповідно варіює від 5 до 22 м та від 20 до 31 м, у напрямку Жовтоярської структури порові колектори виклинюються.

ПГ e-2 складений однією пачкою порових колекторів товщиною 30 м у св. Тузлівська-2 та 45 м у св. Жовтоярська-2, яка зменшується у св. Жовтоярська-1 до 13 м.

У ПГ e-3 потужна пачка порових колекторів (40–45 м), яка розвинена у св. Тузлівська-2, виклинюється в бік св. Жовтоярська-2, де представлена декількома прошарками (8–12 м). У зв'язку з істотним збільшенням потужності сульфатно-мергельної частини цикліту у св. Жовтоярська-1 кардинально змінився структурний план (з моноклінального, притаманного горизонтал

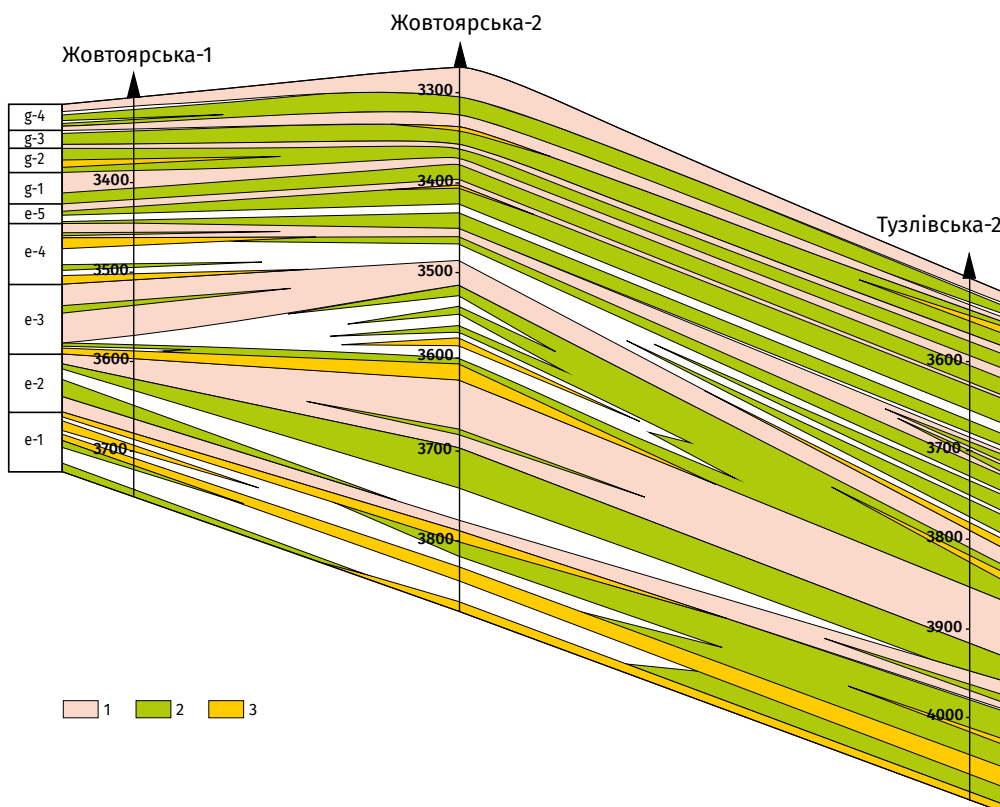


Рис. 6. Літофізична структура відкладів середнього девону: 1 – флюїдоупори; колектори: 2 – порові, 3 – тріщинні

Fig. 6. The lithophysical structure of Middle Devonian deposits: 1 – fluid-resistant; reservoirs: 2 – pore, 3 – fractured

e-1 та e-2, до антиклінального зі склепінням у районі св. Жовтоярська-2), де і прогнозується пастка відповідного типу.

У ПГ e-4 породи-колектори максимально розвинені у св. Тузлівська-2. Тут виявлено три пачки порових (по 18–19 м) та пачка тріщинних (10 м) відмін, які виклинюються в напрямку св. Жовтоярська-2. З боку св. Жовтоярська-1 спостерігається подібна картина, щоправда, потужність колекторських пачок є меншою.

ПГ e-5 складений двома пачками колекторів порового типу, товщина яких поступово зменшується від св. Тузлівська-2 (18–20 м) до св. Жовтоярська-1 (3–7 м).

ПГ g-1 представлений пачкою порових колекторів практично незмінної потужності (близько 12–14 м) уздовж усього профілю. У районі св. Жовтоярська-2 доволі чітко вимальовується склепінна пастка.

ПГ g-2–g-4 характеризуються подібними особливостями. Товщини пачок порових колекторів становлять 11–15 м, локально спостерігаються малопотужні (до 6 м) прошарки тріщинних колекторів. Втім склепіння пастки є більш широким і дещо зміщене в бік св. Жовтоярська-1.

Описані ПГ формують пастки склепінного типу, локалізація та морфологія яких змінюються по розрізу. Так, для ПГ e-1 та e-2 склепіння пастки розміщене у районі св. Жовтоярська-1 (або ще далі на північ). Власне, з цих горизонтів (інт. 3683–3798 м) отримано короточасний приплив газу 250 тис. м³/добу. Літофізичні особливості ПГ e-1 дозволяють очікувати розвиток літологічних пасток у районі св. Жовтоярська-2. По горизонту e-3 виразна склепінна пастка локалізована на ділянці св. Жовтоярська-2, де можна прогнозувати і літологічні пастки у зв'язку з виклинюванням горизонтів порових колекторів від св. Тузлівська-2 до св. Жовтоярська-2 та -1. Подібна картина притаманна і ПГ e-4. До району св. Жовтоярська-2 тяжіють і склепінні пастки по горизонтах e-5 та g-1. ПГ e-4 та g-2–g-4 формують пастки незначної висоти з широким склепінням, яке локалізоване між св. Жовтоярська-1 та -2.

Білолісько-Зарічненська ділянка

У ПГ e-1 резервуар значної потужності (близько 140 м) розкритий св. Зарічненська-1 (рис. 7). Він складений двома пачками колекторів порового типу (30 та 62 м) і двома пачками тріщинних колекторів (20 та 26 м), які перекриті екрануючим горизонтом (18 м). Товщина останнього дещо збільшується у св. Білоліська-1 (23 м). Натомість,

потужність колекторів (насамперед порових) різко зменшується (5 м).

ПГ e-2 характеризується значною товщиною флюїдотриву (34–36 м), розвитком під ним порід типу колектор-неколектор та заміщенням тріщинних колекторів поровими в напрямку від св. Білоліська-1 до св. Зарічненська-1.

Горизонт e-3 відрізняється відсутністю природних колекторів у св. Білоліська-1, розвитком порових колекторів незначної товщини (11 м) у св. Зарічненська-1 та значною потужністю екрануючої сульфатно-мергельної пачки (62 м) у першому випадку.

ПГ e-4 складений головно поровими колекторами, сумарна товщина яких від св. Білоліська-1 до св. Зарічненська-1 зростає від 61 до 118 м, що перекриті флюїдотривом, потужність якого зменшується відповідно від 49 до 10 м.

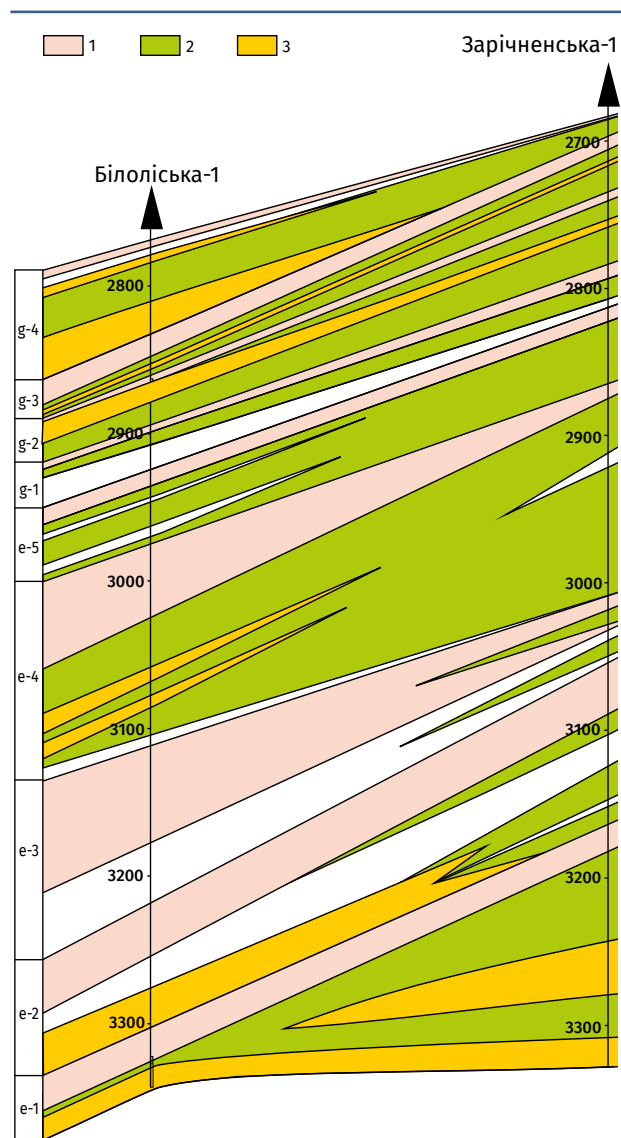


Рис. 7. Літофізична структура відкладів середнього девону. Умовні позначення див. рис. 6

Fig. 7. The lithophysical structure of Middle Devonian deposits. For legend, see Fig. 6

ПГ е-5 характеризується, в цілому, рівномірним розвитком порових колекторів (30–42 м) та флюїдотриву (9–11 м).

ПГ живецьких відкладів відрізняються значно меншими потужностями як у цілому, так і колекторських та екрануючих пачок зокрема. Так, у ПГ g-1 товщина порових колекторів становить 9–15 м, а флюїдотриву – 5–10 м, g-2 – 16–38 м та 5–6 м, g-3 – 5–26 м та 9–15 м, g-4 – 11–25 м та 2–5 м. При цьому характерно збільшення товщини порових колекторів у бік св. Зарічненська-1 та заміщення в цьому ж напрямку тріщинних колекторів поровими.

Наявні дані дозволяють припускати локалізацію склепінних пасток по усіх ПГ у районі св. Зарічненська-1 або ще далі на південь. При цьому найбільш місткими є пастки горизонтів е-1, е-4 та е-5.

Структурно-речовинні особливості порід-колекторів

У зв'язку з незначним відбором керн ПГ слабо і нерівномірно охоплені літолого-петрографічними дослідженнями. Такі дані отримані лише по окремих ПГ Жовтоярської площі (е-1–е-3, g-1, g-2, g-3). Петрофізичні параметри взяті зі справ свердловин.

У ПГ е-1 (св. Жовтоярська-2) нами виділено три пачки тріщинних колекторів в інт. 3790–3801, 3829–3845 та 3867–3879 м. З першої пачки описано мергель (3791 м) глинистий сильно тріщинуватий. Тріщини прямолінійні, звивисті, сутуроподібні з роздувами, виповнені бітумами, ангідритом, глинистою речовиною з піритом (пористість породи – 3,65 %, тріщинна проникність – $0,11 \times 10^{-3}$ мкм²). Друга пачка представлена доломітами (гл. 3836,5 та 3843,3 м) від мікро- до середньозернистих з численними різноспрямованими сутуроподібними мікротріщинами, які переважно заліковані темно-бурими бітумами. Середньозернисті відміни характеризуються також розвитком міжзернових пор, які виповнені подібними бітумами. Ділянками спостерігається нерівномірна сульфатизація (пористість породи – 3,57 %, тріщинна проникність – $0,17 \times 10^{-3}$ мкм²).

Між цими пачками розвинені сульфатні та сульфатно-карбонатні породи. Ангідрит таблитчастої, короткостовпчастої, місцями волокнистої текстури з прошарками і плямами глинисто-карбонатного матеріалу, з тонкими короткими мікротріщинками, які виповнені глинисто-бітуминозною речовиною (гл. 3845,5 м). Сульфатно-карбонатна глиниста мікрозерниста до пелітоморфної тонкошарувата порода.

Основна маса складена мікрозернистим кальцитом та тонкопелітовим глинистим матеріалом, у якому розвинені плями ангідриту (до 30 %). Місцями спостерігаються скупчення мікростяжін піриту (гл. 3849,2 м).

У ПГ е-1 (св. Жовтоярська-1) в інт. 3714–3719 та 3741–3749 м прогнозується розвиток порових колекторів, які схарактеризовані одним зразком (гл. 3747,2 м), що представлений вапняком мікрозернистим згусткової текстури з плямватою ангідритизацією – до 25 % (пористість 1,42 %; проникність $0,06 \times 10^{-3}$ мкм², гл. 3741,5 м).

Прошарки таких вапняків розвинені серед сульфатно-карбонатних тріщинуватих порід. Тріщини звивисті, сутуроподібні різноорієнтовані (0,1 мм–0,5 см). Клиноподібні субвертикальні тріщини (до 1–2 см) заліковані крупнокристалічним кальцитом (гл. 3700,7 м) та короткопризматичними агрегатами ангідриту з поодинокими ромбодрамами доломіту (гл. 3749 м).

Жовтоярсько-Тузлівська ділянка

У св. Жовтоярська-1 (ПГ е-2) порові колектори виділені в інт. 3620–3630 та 3648–3662 м. Породи складені вапняком мікрозернистим з плямватою ангідритизацією (до 30–40 %), основна маса ділянками просякнута бурими бітумами (гл. 3630 м) та вапняком середньо-дрібнозернистим з ділянками ангідритизації та доломітизації (гл. 3648 м). Пористість досягає значень 4,64 % (гл. 3628,3 м), а в оточуючих породах не перевищує 0,23–0,52 % (гл. 3633,5 та 3635,5 м).

У св. Жовтоярська-2 у флюїдотриві (інт. 3620–3696 м) в інт. 3675–3681 м прогнозується пачка порових колекторів, яка представлена доломітами: мікрозернистим згустковим з численними порами (0,02–0,05 мм, гл. 3674 м) та різнозернистим, у якому міжзерновий простір частково або повністю виповнений ангідритом, кальцитом та жовто-бурими бітумами (гл. 3676,1 м). Пористість в останньому випадку становить 0,54 %, проникність – $0,1 \times 10^{-3}$ мкм².

Подібні утворення (порові колектори – 3530–3537 м, у флюїдотриві – 3508–3576 м) фіксуються також у св. Жовтоярська-1 (ПГ е-3). Вони представлені вапняком (інт. 3534–3541 м) дрібно-середньозернистим з інтенсивним розвитком буро-коричневих бітумів по порах та мікротріщинах (пористість – 0,2–0,45 %, проникність – $(0,04–0,1) \times 10^{-3}$ мкм²).

Порові колектори досить детально схарактеризовані по ПГ g-1, g-3, g-4 живецького ярусу (св. Жовтоярська-2).

Породи ПГ g-1 складені вапняком мікрозернистим нерівномірно пігментованим бітумами з сутуроподібними мікротріщинками, виповненими темно-бурими бітумами (гл. 3394 м), та вапняком мікрозернистим слабоперекристалізованим нерівномірно сульфатизованим. Текстура грудкувата, а на ділянках розвитку ангідриту – мозаїчна. Спостерігаються фрагменти органогенних залишків (остракоди та ін.). Основна маса нерівномірно насичена бітумами. Останні виповнюють і волосоподібні тріщинки. На ділянках підвищеної тріщинуватості розвинені ромбедри доломіту (гл. 3396 м). За результатами інтерпретації геофізичних досліджень свердловин (ГДС) пористість порід в інт. 3392–3396 м становить 9,0–10,0 %.

У ПГ g-3 порода з пачки порових колекторів представлена вапняком мікрозернистим уламковим. Окремі уламки овальної форми оконтурені бітумами та зцементовані дрібно-середньозернистим кальцитом. Основна маса нерівномірно насичена бітумами. Пірит (до 1,5 %) спостерігається у тонкорозсіянній формі та у вигляді стяжін до 0,3 мм (гл. 3343 м). За результатами інтерпретації ГДС пористість порід в інт. 3341–3343 м становить 13,2–17,4 %.

Порові колектори ПГ g-4 складені чотирма літотипами. Перший – це вапняк органогенно-детритовий слабосульфатизований з плямуватою перекристалізацією. Вміст органогенного детриту (хіоліти, брахіоподи) становить близько 60 % (інт. 3302–3310 м). Пористість породи (гл. 3306 м) сягає 8,6 %, проникність – $0,04 \times 10^{-3}$ мкм². Другий – це вапняк мікрозернистий згустковий з поодинокими фауністичними залишками. Місцями згусткова текстура переходить у псевдоолітову. Розміри формених утворень варіюють від 0,1 до 0,4 мм. Виявлені мікротріщини (до 0,1 мм), які виповнені кальцитом, глинистою речовиною. Спостерігається розсіяна доломітизація. Вміст мікростяжін піриту становить близько 1 % (інт. 3310–3318 м). Пористість породи (гл. 3314 м) сягає 13,2 %, проникність – $0,15 \times 10^{-3}$ мкм². Третій – вапняк мікрозернистий сильно доломітизований розущільнений. Міжзерновий простір насичений бурими бітумами (гл. 3326 м). Четвертий – доломіт дрібнозернистий вапняковистий сульфатизований. Основна маса складена ромбедрами доломіту (0,1 мм). Ділянками спостерігаються включення кальциту, лінзи, прожилки та плями ангідриту. Міжзерновий простір виповнений глинисто-бітумінозною речовиною (гл. 3327 м).

Отже, наведені вище фрагментарні матеріали підтверджують аргументованість виділених нами інтервалів розвитку порід-колекторів. Втім для прогнозу якості останніх цих прямих даних явно недостатньо. Тому був застосований такий же підхід, як при розгляді одновікових утворень Східносаратської площі (Гнідець та ін., 2021), який полягає у визначенні вмісту доломітових та ангідритових прошарків у карбонатних пачках, що інтерпретується як ступінь сульфатизації та доломітизації вапняків. Діаметрально протилежний вплив цих процесів на фільтраційно-ємнісні параметри порід дозволяє загалом (за вмістом відповідних літотипів) оцінити якість порід-колекторів на конкретних ділянках.

Жовтоярсько-Тузлівська ділянка

В цілому, більш якісні породи-колектори (доломітизовані вапняки) тяжіють до району св. Тузлівська-2 (рис. 8).

ПГ e-1 характеризується розвитком доволі інтенсивно ангідритизованих вапняків, що зумовило переважання вздовж усього профілю колекторів з невисокими петрофізичними параметрами. У ПГ e-2, e-3 та e-4 прогнозується погіршення фільтраційно-ємнісних властивостей порід у напрямку від св. Тузлівська-2 до св. Жовтоярські-2 та -1.

У горизонті e-5 колекторські властивості карбонатних пачок у цілому є невисокими. У ПГ g-1 та g-3 у св. Тузлівська-2 спостерігаються найкращі властивості природних колекторів, якість яких погіршується у свердловинах Жовтоярської структури. Для ПГ g-2 прогнозується зниження петрофізичних параметрів порід у напрямку св. Жовтоярська-2 (як з боку св. Жовтоярська-1, так і св. Тузлівська-2). У горизонті g-4 у всіх досліджених свердловинах очікується розвиток доволі якісних природних колекторів (доломітизованих вапняків).

Білолісько-Зарічненська ділянка

У св. Зарічненська-1 спостерігається в цілому зростання інтенсивності доломітизації та зменшення ролі ангідритизації знизу вгору по розрізу. У зв'язку з цим найкращі порові колектори прогноуються у відкладах живету (ПГ g-2–g-4), а найгірші – у ПГ e-1, e-3, e-4. Вторинні процеси у породах, розкритих св. Білоліська-1, розвинені доволі нерівномірно, що спричинило більш складну петрофізичну структуру відкладів. Так, найякісніші колектори прогноуються у ПГ e-1, e-5, g-3; а найгірші – у ПГ e-4, g-2, g-1.

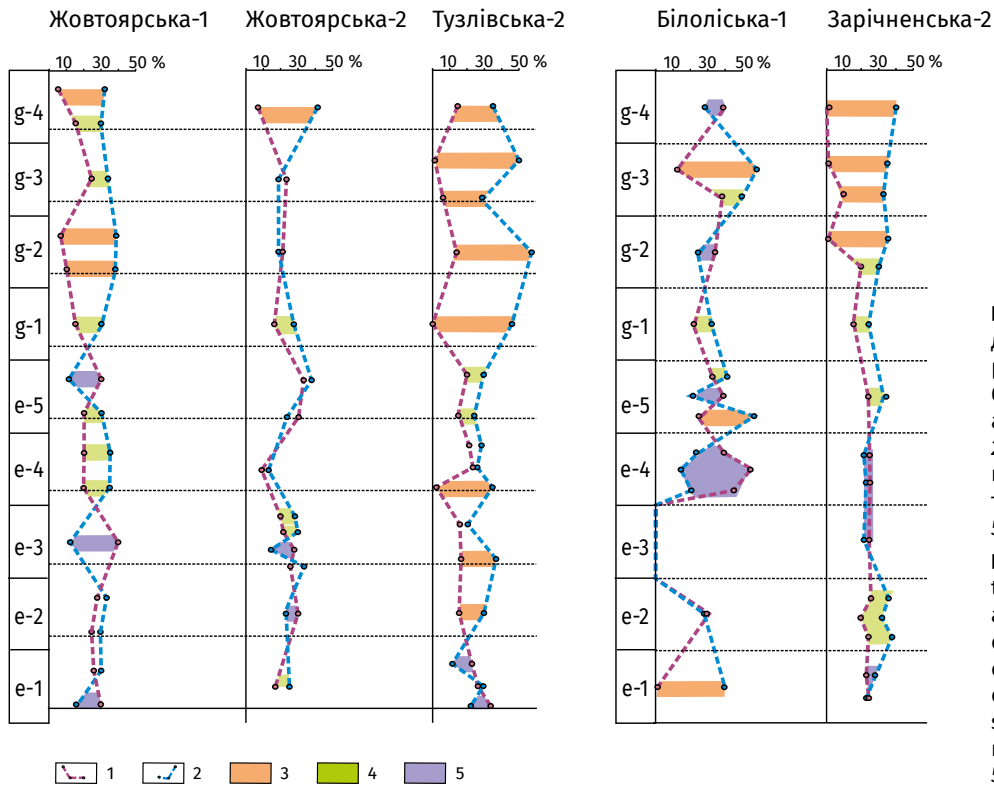


Рис. 8. Характер поширення доломітизованих та ангідритизованих вапняків у карбонатних пачках: 1 – вміст ангідритизованих вапняків, 2 – вміст доломітизованих вапняків; якість порід-колекторів: 3 – висока, 4 – середня, 5 – низька

Fig. 8. The nature of the distribution of dolomitized and anhydritized limestones in carbonate blocks: 1 – content of anhydritized limestones; 2 – content of dolomitized limestones; quality of reservoir rocks: 3 – high, 4 – medium, 5 – low

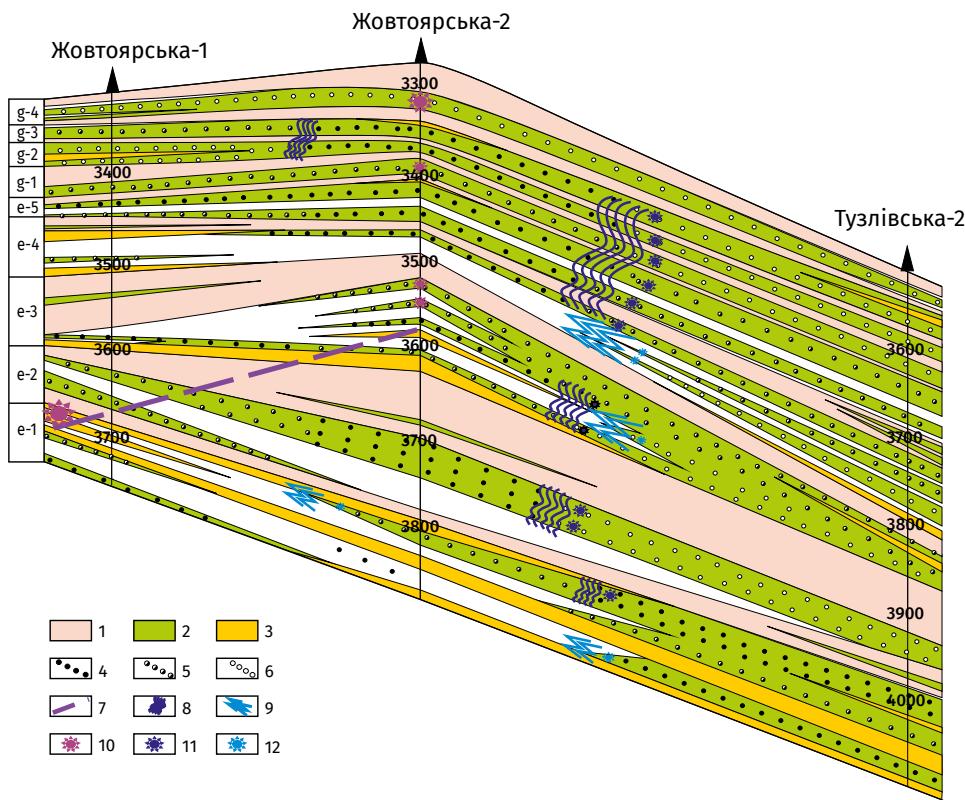


Рис. 9. Локалізація пасток вуглеводнів. Жовтоярска-Тузлівська ділянка: 1 – флюїдоупори; колектори: 2 – порові, 3 – тріщинні; якість колекторів: 4 – низька, 5 – середня, 6 – висока; 7 – зміщення склепіння пасток; літогенетичні пастки: 8 – катагенетичного екранування, 9 – виклинювання горизонтів колекторів; ймовірні скупчення вуглеводнів у пастках: 10 – антиклінальних, 11 – катагенетичного екранування, 12 – виклинювання

Fig. 9. Localization of hydrocarbon traps. The Zhovtoyarska-Tuzlivska area: 1 – fluid-resistants; reservoirs: 2 – pore, 3 – fractured; quality of reservoir rocks: 4 – low, 5 – medium, 6 – high; 7 – displacement of the trap vault; lithogenetic traps: 8 – catagenetic screening, 9 – pinching out of reservoir horizons; probable hydrocarbon accumulations in traps: 10 – anticlinal, 11 – catagenetic screening, 12 – pinching out

Перспективні об'єкти

На основі проведених досліджень побудована модель розвитку пасток ВВ різного типу в межах Жовтоярска-Тузлівської ділянки (рис. 9). Встановлено зміщення склепінної пастки.

Так, для ПГ е-1 та е-2 остання розміщена у районі св. Жовтоярска-1, а по горизонтах е-5–g-4 – св. Жовтоярска-2.

На східній центрикліналі структури прогнозується розвиток катагенетично екранованих пасток, що спричинене ангідритизацією вапняків

і зменшенням їх фільтраційно-ємнісних параметрів. Насамперед це горизонти e-2, e-5-g-3. Пастки, пов'язані з виклинюванням порових колекторів, також тяжіють головно до східної центрикліналі структури і фіксуються у ПГ e-1, e-3 та e-4. На ділянках розвитку цих пасток прогнозується можливість утворення вуглеводневих скупчень.

Висновки

У розрізі середнього девону вперше виділено дев'ять циклітів регресивної природи. Встановлено, що вони групуються у більш крупні одиниці (мезоцикліти) ре- або прогресивної природи, які у різних свердловинах (в окремих інтервалах) проявляють певну подібність або відмінність будови. Так, на Жовтоярській структурі фіксуються три регресивних мезоцикліти. Втім у св. Жовтоярська-1 перший регресивний епізод охоплює цикліти e-1-e-3, у св. Жовтоярська-2 – цикліти e-1-e-2; другий – цикліти e-4-g-1 та e-3-e-4; третій – цикліти g-2-g-4 та e-5-g-4. Натомість, у св. Тузлівська-2 цикліти e-1-e-2 та g-3-g-4 формують регресивні послідовності нашарувань, в той час як e-3-e-5 та g-2-g-3 – трансгресивні. Для св. Білоліська-1 характерна трансгресивна природа розрізу (від початку до кінця середнього девону) з двома регресивними епізодами (цикліти e-3 та g-3). Тоді як у св. Заріченська-1 спостерігається два регресивних (e-1-e-3 та e-4-g-1) та один регресивно-трансгресивний (g-2-g-4) мезоцикліти.

Така просторово-вікова мінливість спричинена, з одного боку, розміщенням свердловин у різних фаціальних зонах сульфатно-карбонатного шельфу, а з іншого – процесами взаємодії конседиментаційних тектонічних рухів та палео-

океанографічних (зміни рівня моря тощо) факторів. Наслідком цього є латеральна літологічна неоднорідність, що в нафтогеологічному аспекті проявляється у морфологічних особливостях резервуарів, характері розвитку різних типів колекторів та визначає в кінцевому рахунку, поряд з урахуванням вторинних змін порід, перспективи конкретних ПГ.

Показано, що у літофізичному аспекті кожен цикліт являє собою ПГ, який складений пачками природних колекторів різного типу, що перекриваються мергельно-сульфатним флюїдотривом.

Вперше встановлено різне положення склепін пасток для окремих ПГ, що важливо враховувати при проведенні нафтогазопошукових робіт. Так, для Жовтоярсько-Тузлівської ділянки склепінна пастка локалізована у районі св. Жовтоярська-1 (ПГ e-1,e-2), по решті горизонтів вона фіксується поблизу св. Жовтоярська-2. Розвиток літологічних пасток прогнозується у ПГ e-1, e-3 та e-4, що пов'язане з виклинюванням порових колекторів у напрямку від св. Тузлівська-2 до св. Жовтоярська-2 та -1. Для більшості ПГ очікується погіршення якості порід-колекторів у цьому ж напрямку, що дозволяє припускати ймовірність формування катагенетичних екранів.

Для Білолісько-Заріченської ділянки по усіх ПГ склепіння пасток локалізовані у районі св. Заріченська-1 або ще далі на південь. Найбільш місткими є пастки горизонтів e-1, e-4 та e-5, складені головно колекторами порового типу, якість яких унаслідок ангідритизації є невисокою. Найкращі породи-колектори прогноуються у відкладах живету (ПГ g-2-g-4) св. Заріченська-1.

Мета роботи полягає у з'ясуванні особливостей літологічної будови відкладів середнього девону Жовтоярсько-Тузлівської та Білолісько-Заріченської перспективних ділянок Передобрудзького прогину та визначенні її впливу на формування порід-колекторів, пасток і резервуарів вуглеводнів. Дослідження ґрунтувалися на результатах геофізичних досліджень свердловин (радіоактивні методи) в комплексі з фрагментарними геологічними (літологічними) даними. В результаті у розрізі вперше виділено дев'ять літоциклів регресивної природи (e-1-e-5; g-1-g-4). Кожний літоцикл характеризується двочленною будовою та є окремим продуктивним горизонтом (ПГ), нижні частини якого складені поровими та тріщинними породами-колекторами (вапняки, доломіти, алевроліти, пісковики), а верхні – флюїдоупорними пачками (мергелі, ангідрити). Показано, що цикліти групуються у більш крупні одиниці (мезоцикліти) ре- або прогресивної природи, які у різних свердловинах (в окремих інтервалах) проявляють певну подібність або відмінність будови. Така просторово-вікова мінливість спричинена, з одного боку, розміщенням свердловин у різних фаціальних зонах сульфатно-карбонатного шельфу, а з іншого – процесами взаємодії конседиментаційних тектонічних рухів та палеоокеанографічних факторів. Наслідком цього є латеральна літологічна неоднорідність, що в нафтогеологічному аспекті проявляється у морфологічних особливостях резервуарів і характері розвитку різних типів колекторів та визначає в кінцевому рахунку, поряд з урахуванням вторинних змін порід, перспективи конкретних ПГ.

Так, для Жовтоярсько-Тузлівської ділянки склепінна пастка локалізована у районі св. Жовтоярська-1 (ПГ e-1,e-2), по решті горизонтів вона фіксується поблизу св. Жовтоярська-2. Розвиток літологічних пасток прогнозується у ПГ e-1, e-3 та e-4, що пов'язане з виклинюванням порових колекторів у напрямку від св. Тузлівська-2 до св. Жовтоярська-2 та -1. Для більшості ПГ очікується погіршення якості порід-колекторів у цьому ж напрямку, що дозволяє припускати ймовірність катагенетичного екранування флюїдів.

Для Білолісько-Заріченської ділянки по усіх ПГ склепіння пасток локалізовані у районі св. Заріченська-1 або ще далі на південь. Найбільш місткими є пастки горизонтів e-1, e-4 та e-5, складені головно колекторами порового типу, якість яких унаслідок ангідритизації є невисокою. Найкращі породи-колектори прогноуються у відкладах живету (ПГ g-2-g-4) св. Заріченська-1.

Список літератури

- Бортницкая В.М. Коллекторские свойства пород Долинского нефтяного месторождения. *Вопросы геологии нефтегазовых районов Украины*. Москва, 1963. С. 369–374. (Тр. УкрНИГРИ; Вып. 3).
- Ботвинкина Л.Н., Алексеев В.П. Цикличность осадочных толщ и методика ее изучения. Свердловск: Изд-во Урал. ун-та, 1991. 336 с.
- Воловик В.Т., Гавриш В.К., Няга В.И. Особенности геологического строения и перспективы нефтегазоносности Северо-Западного Причерноморья. *Геол. журн.* 1988. № 2 (239). С. 48–61.
- Гнідець В.П., Григорчук К.Г., Павлюк М.І., Кошіль Л.Б., Яковенко М.Б. Літогенетичні передумови формування резервуарів і порід-колекторів у середньодевонських відкладах Східносаратського родовища (Переддобрудзький прогин). *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2021. № 3 (80). С. 7–18. [https://doi.org/10.31471/1993-9973-2021-3\(80\)-7-18](https://doi.org/10.31471/1993-9973-2021-3(80)-7-18)
- Гнідець В.П., Григорчук К.Г., Полухтович Б.М., Федисин В.О. Літогенез девонських відкладів Придобрудзького прогину (палеоокеанографія, седиментаційна циклічність, формування порід-колекторів). Київ: УкрДГРІ, 2003. 94 с.
- Кульчицкий Я.О. Время и условия формирования нефтегазоносных залежей в Восточных Карпатах. *Геология и нефтегазоносность территории УССР*. Москва. 1965. С. 80–90. (Тр. УкрНИГРИ; Вып. 5).
- Лукин А.Е., Ларин С.Б. Генетические типы трещиноватости пород глубокозалегающих нефтегазоносных комплексов. *Геол. журн.* 2003. № 3 (305). С. 9–25.
- Лукин А.Е., Трофименко Г.Л. О среднепалеозойском Белолесском мегаатолле в Преддобруджинском прогибе. *Докл. НАН Украины*. 1992. № 5. С. 1008–1012.
- Марьяненко Ю.И. Нефтегазоносность карбонатных пород. Москва: Недра, 1978. 240 с.
- Мачулина С.А., Трофименко Г.Л., Рябчун Л.И. Цикличность осадконакопления и закономерности распространения карбонатных пород-колекторов девонских отложений Западного Причерноморья. *Геол. журн.* 1991. № 1 (256). С. 131–141.
- Морозов В.П. Вторичные изменения карбоновых нефтегазоносных известняков Волго-Уральской антеклизы. *Литосфера*. 2006. № 3. С. 141–148.
- Наукове обґрунтування освоєння вуглеводневих ресурсів карбонатних формацій України. Заключний звіт про науково-дослідну роботу. Кн. 2. Південний нафтогазоносний регіон України. Наук. керівник і відп. викон. НДР Лукін О.Ю. Чернігів, 2005. 303 с.
- Самсонов А.И., Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. О предпосылках нахождения залежей нефти и газа в Одесской области. *Геодинамика и нефтегазоносные структуры Черноморско-Каспийского региона*: сб. докл. IV Междунар. конф. «Крым-2002». Симферополь, 2003. С. 237–242.
- Селли Р.К. Древние обстановки осадконакопления. Москва: Наука, 1989. 294 с.
- Скачедуб Є.О. Умови осадконагромадження і нафтогазоносність середньодевонсько-нижньокам'яновугільної евапоритової формації Переддобрудзького прогину. *Геологія і геохімія горючих копалин*. 1998. № 1 (102). С. 41–52.
- Трофименко Г.Л., Герасимов М.Е. Перспективы нефтегазоносности сульфатно-карбонатной толщи девона-карбона Преддобруджинского прогиба. *Геол. журн.* 1991. № 5 (254). С. 93–100.
- Уилсон Дж.Л. Карбонатные фации в геологической истории. Пер. с англ. Москва: Недра, 1980. 463 с.
- Saller A.H., Yaremko K. Dolomitization and porosity development in the Middle and Upper Wabamun Group South-East Peace River-Arch, Alberta, Canada. *AAPG Bull.* 1994. No. 78 (9). P. 1406–1430.

References

- Bortnytska V.M. 1963. Collector characteristics of the rocks of the Dolya oil field. *Issues of geology of oil and gas-bearing regions of Ukraine*. Moscow, pp. 369–374. (Proceedings of UkrNIHRI; Iss. 3) (in Russian).
- Botvinkina L.N., Alekseev V.P. 1991. Cyclicity of sedimentary strata and methods of its study. Sverdlovsk: Ural University (in Russian).
- Hnidets V.P., Hryhorchuk K.H., Pavlyuk M.I., Koshil L.B., Yakovenko M.B. 2021. Lithogenetic preconditions of reservoirs and reservoir rocks formation in the Middle Devonian sediments of the Skhidnosaratske deposit (Dobrudja Foredeep). *Prospecting and Development of Oil and Gas Fields*, 3 (80): 7–18. [https://doi.org/10.31471/1993-9973-2021-3\(80\)-7-18](https://doi.org/10.31471/1993-9973-2021-3(80)-7-18) (in Ukrainian).
- Hnidets V.P., Hryhorchuk K.H., Polukhtovych B.M., Fedysyn V.O. 2003. Lithogenesis of the Devonian deposits of the Dobrudja Foredeep (paleoceanography, sedimentation cyclicity, formation of reservoir rocks). Kyiv: Ukrainian State Geological Research Institute (in Ukrainian).
- Kulchitsky Ya.O. 1965. Time and conditions for the formation of oil and gas-bearing deposits in the Eastern Carpathians. *Geology and oil and gas potential of the territory of the Ukrainian SSR*. Moscow, pp. 80–90. (Proceedings of UkrNIHRI; Iss. 5) (in Russian).
- Lukin A.E., Larin S.B. 2003. Genetic types of rock fracturing of deep-seated oil and gas-bearing complexes. *Geologičnij žurnal*, 3 (305): 9–25 (in Russian).
- Lukin A.E., Trofimenko G.L. 1992. About the Middle Paleozoic Belolesky megaatoll in the Pre-Dobrudzha trough. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 5: 1008–1012 (in Russian).
- Machulina S.A., Trofimenko G.L., Ryabchun L.I. 1991. Cyclicity of sedimentation and patterns of distribution of carbonate reservoir rocks of the Devonian deposits of the Western Black Sea. *Geologičnij žurnal*, 1 (256): 131–141 (in Russian).
- Marienko Yu.I. 1978. Oil and gas capacity of carbonate rocks. Moscow: Nedra (in Russian).
- Morozov V.P. 2006. Secondary changes in Carboniferous oil and gas-bearing limestones of the Volga-Ural antecline. *Lithosphere*, 3: 141–148 (in Russian).
- Saller A.H., Yaremko K. 1994. Dolomitization and porosity development in the Middle and Upper Wabamun Group South-East Peace River-Arch, Alberta, Canada. *AAPG Bull.*, 78 (9): 1406–1430.
- Samsonov A.I., Levashov S.P., Yakimchuk N.A., Korchagin I.N. 2003. On the prerequisites for finding oil and gas deposits in the Odessa region. *Geodynamics and oil and gas bearing structures of the Black Sea-Caspian region*: sat. report IV International Conf. "Crimea-2002". Simferopol, 2003, pp. 237–242 (in Russian).
- Scientific justification for the development of hydrocarbon resources of carbonate formations of Ukraine. 2005. Final report of the scientific research work. Book 2. Southern oil and gas region of Ukraine. Scientific director and responsible executor of the scientific research work Lukin O.Yu. Chernihiv (in Ukrainian).
- Selly R.Ch. 1989. Ancient environments of sedimentation. Moscow: Nauka (in Russian).
- Skachedub Ye.O. 1998. Sedimentary conditions and oil and gas potential of the Middle Devonian-Lower Carboniferous evaporite formation of the Dobrudja Foredeep. *Geology and Geochemistry of Combustible Minerals*, 1 (102): 41–52 (in Ukrainian).
- Trofimenko G.L., Gerasimov M.E. 1991. Prospects for the oil and gas potential of the Devonian-Carboniferous sulfate-carbonate strata of the Dobrudja Foredeep. *Geologičnij žurnal*, 5 (254): 93–100 (in Russian).
- Volovik V.T., Gavrish V.K., Nyaga V.I. 1988. Features of the geological structure and oil and gas potential of the North-Western Black Sea region. *Geologičnij žurnal*, 2 (239): 48–61 (in Russian).
- Wilson J.L. 1980. Carbonate facies in geological history. Translation from English. Moscow: Nedra (in Russian).

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.3.304036>
УДК 622.1: 681.51:622

E-mail: vilyashenko2017@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0001-8361-4179>;
dudar@nau.edu.ua,
<https://orcid.org/0000-0003-3114-9732>;
Shapovalov@knu.edu.ua,
<https://orcid.org/0000-0002-5965-2869>

*Corresponding author /
Автор для кореспонденції:
V.I. Lyashenko, vilyashenko2017@gmail.com

Received / Надійшла до редакції:
14.02.2024

Received in revised form /
Надійшла у ревізованій формі:
16.05.2024

Accepted / Прийнята:
30.07.2024

Keywords: deposit modeling; geoinformation systems and devices; reserve; management estimation.

Ключові слова: моделювання родовищ; геоінформаційні системи та прилади; оцінка та управління запасів; технології розробки.

Дослідження та оцінка запасів корисних копалин на основі автоматизованого геоінформаційного системного забезпечення на прикладі Новокосянтинівського родовища урану

V.I. Lyashenko¹, T.V. Dudar², V.A. Shapovalov³

¹Державне підприємство «Український науково-дослідний і проектно-розвідувальний інститут промислової технології», м. Жовті Води, Україна; ² Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна; ³ Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг, Україна

Research and assessment of mineral reserves based on automated geo-information system support using the example of the Novokostyantyniv uranium ore deposit

V.I. Lyashenko¹, T.V. Dudar², V.A. Shapovalov³

¹State Enterprise “Ukrainian Research and Design Institute for Industrial Technology”, Zhovti Vody, Ukraine; ² National Aviation University, Kyiv, Ukraine; ³ Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine

The article presents the scientific and practical results of research and assessment of mineral reserves based on automated geo-information system support using the example of the Novokostyantyniv uranium ore deposit. This will ensure the creation of databases of mining-geological and mining-technological conditions of mining operations with the use of computer graphics tools, which make it easier to detail the outline of the ore body by logging the fans of exploratory and explosive wells. It also makes it easier to manage the preparation of ore and metal reserves in it for mining. In the course of the study, data from literary sources and documentation in the field of underground development of ore deposits of complex structure were used. Classical clustering methods were used for data selection. The most practical is the method of inverse weighted distances, spine, trend, kriging, etc. The methods of mathematical statistics, correlation methods, determination of difference equations using the Wiener–Hopf equation, classic and new methods of multi-link systems with the participation of the authors were used in the creation of models. It has been proven that in the contour zone of the chamber, the coefficients of ore desalting reach 60–70% of the total values, and on average they are 29–32% for the operational block. Reserve coefficients are set, taking into account the verifiability of ore reserves (1.10) and metal in it (1.05). The general reserve coefficient (its value is in the range of 1.30–1.45) for rational use and protection of the subsoil during the development of deposits of a complex structure is substantiated. It is shown that the total reserve coefficient should take into account not only the technological reliability of the mine for the extraction of ore and metal in it, but also the verifiability of subsoil reserves. In particular, the values of readiness of reserves for extraction are determined by ore, differ by 10–15% from similar values for metal, and the indicators of extraction of minerals from the subsoil – from the characteristics of the elements of ore deposits (loss and depletion coefficients for metal are about 75%, similar indicators determined by ore). On the basis of the received data, albums-catalogues, methods for them were compiled, specialized computer modules based on K-MINE® GIS were developed. The proposed graph-analytical, tabular and computer calculation methods simplify the management and control of extraction of mineral reserves from the subsoil. The Derzhhirpromnahlyad “Instructions on rationing of ore reserves, prepared and ready for extraction at the Novokostyantynivska mine” of the State Enterprise “Skhidnyi GZK” was developed and agreed upon. Geophysical devices and systems with RAM simplify data entry into the computer database using special programs such as Surfer or GIS K-MINE®, VENTSIM, etc. Their implementation with the help of the automated system of geological and economic assessment (AT GEO) GIS K-MINE® makes it easier to solve applied questions of GEO of reserves of mineral deposits. The obtained results of the research allow to determine, optimize and control losses and depletion of ore and metal in it due to the establishment of the optimal contour of ore reflection in the contour zone, as well as to effectively manage ore reserves prepared and ready for extraction during the development of deposits of complex structure, which are, in particular, uranium deposits.

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2024. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2024. This is an Open Access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Ц и т у в а н н я : Ляшенко В.І., Дудар Т.В., Шаповалов В.А. Дослідження та оцінка запасів корисних копалин на основі автоматизованого геоінформаційного системного забезпечення на прикладі Новокосянтинівського родовища урану. *Геологічний журнал*. 2024. № 3 (388). С. 61–78. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.3.304036>

C i t a t i o n : Lyashenko V.I., Dudar T.V., Shapovalov V.A. 2024. Research and assessment of mineral reserves based on automated geo-information system support using the example of the Novokostyantyniv uranium ore deposit. *Geologichnyi žurnal*, 3 (388): 61–78. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.3.304036>

Вступ

В умовах ринкової економіки гірничі підприємства, щоб мати надто великі прибутки, вдаються до нерегульованої вибіркової розробки родовищ, що супроводжується негативними економічними наслідками (збитками) (Jgamadzea et al., 2018; Apollaro et al., 2019). Сучасний напрям розвитку методів управління запасами базується на широкомасштабному використанні автоматизованих геоінформаційних систем (ГІС), що забезпечують збирання, зберігання, обробку, відображення, аналіз, моделювання та поширення просторово-координованих даних (De Oliveira et al., 2014; Lu Luo et al., 2017). У зв'язку з цим наукові дослідження в галузі управління запасами корисних копалин, технологічними комплексами для побудови оптимальної автоматизованої системи управління процесами видобування та переробки руди є актуальними.

Наукові та практичні результати отримані під час виконання науково-дослідних робіт (науковий керівник – В.І. Ляшенко) за темою «Дослідження та розробка інструкції щодо нормування запасів руд, підготовлених та готових до виїмки на шахті ДП «СхідГЗК» (номер державної реєстрації 0109U007701). Означена робота є продовженням досліджень, основні наукові та практичні результати яких найбільш повно наведені у роботах (Ляшенко та ін., 2007а, 2007б, 2024).

Світові тенденції вирішення поставлених завдань. У практиці роботи шахт нормування запасів руд за рівнем підготовленості посідає особливе місце серед науково-технічних досліджень. Найбільш ґрунтовними є праці М.В. Мельникова, М.І. Агошкова, І.А. Букліна, С.М. Гаркаві, Н.В. Дронова, В.Д. Титова, С.Л. Йофіна, А.І. Стешенка, С.Г. Борисенка, Н.П. Тихомирової, І.І. Безсонова, Н.Х. Загірова, В.В. Чемезова, В.А. Шестакова, Б.О. Повного, О.С. Мечікова, В.І. Ляшенка та ін. (Сердюк та ін., 2011; Рудько та ін., 2012); методичні вказівки АТ «ВНДМІ», АТ «ВІОГЕМ», АТ «ВНДІцвітмет», АТ «Іргіредмет», АТ «Гіпроруда», Кольського наукового центру РАН, ТОВ «НВПпромтехнології», Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», ДП «НДГРІ», ДП «УкрНДПІпромтехнології», Криворізького національного університету та ін. (Hollis et al., 2017; Ganapathy et al., 2020). Необхідно окремо виділити роботи Я.М. Адігамова та Н.Х. Загірова, які мають велике практичне та теоретичне значення (Ghorbani et al., 2016; Farlin et al., 2019).

Суттєвим фактором складних виробничих процесів є випадковість значень технологічних параметрів функціонування, яку пропонується враховувати в працях Б.І. Мокіна, О.М. Марюти, Ю.Г. Качана, В.О. Бунька та ін. Суміщення технологічних пристроїв з приладами вимірювання технологічних параметрів, вибору оптимальних установок регуляторів технологічних параметрів висвітлено у роботах Є.В. Кочури, адаптивне управління процесів подрібнення і класифікації руд – у публікаціях В.С. Моркуна, розвиток імітаційних моделей процесів збагачення – у працях В.П. Хорольського. Виконані дослідження спираються також на результати робіт у галузі проектування та нормалізації об'єктно-орієнтованих баз даних вітчизняних науковців В.М. Курейчика, Б.К. Лебедева, В.В. Курейчика, С.Д. Кузнєцова, А.В. Замуліна, М.М. Гриньова, а також зарубіжних вчених E.F. Codd, G. Jaeschke, H.J. Schek, M. Berler, J. Eastman, C. Russell, T. Stanienda, T. Kvatrani, Z. Meral Ozsoyoglu, L.Y. Yuan, M.A. Roth, H.F. Korth, T.W. Ling, L.L. Yan, V.M. Markowitz, J. Rumbaugh, M. Blaha, W. Premerlani, F. Eddy, W. Lorensen, Z. Tari, J. Stokes, S. Spaccapietra, W. Ambler, A. Formica, H.D. Groger, M. Missikoff, S. Ghosh, T. Dinh-Trong та ін. (Alakangas et al., 2020; Elshkaki et al., 2017).

Мета роботи – дослідження та оцінка запасів корисних копалин на основі автоматизованого геоінформаційного системного забезпечення на прикладі Новоколятинівського родовища урану. Це забезпечить створення баз даних гірничо-геологічних та гірничотехнологічних умов ведення гірничих робіт із використанням засобів машинної графіки, що дозволяють деталізувати контур рудного тіла шляхом каротажу віялів геологорозвідувальних та буровибухових шпурів і свердловин. Дозволить також визначати, оптимізувати та контролювати втрати та розубожіння руди і металу в ній та ефективно керувати запасами руд, підготовленими та готовими до виїмки під час розробки родовищ складної структури.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- дослідити шляхи мінімізації впливу гірничо-геологічних і техногенних факторів, що постійно змінюються, під час видобування руд;
- обґрунтувати шляхи раціонального використання та охорони надр під час підземної розробки рудних родовищ складної структури;
- випробувати нові дозиметри-радіометри з оперативним запам'ятовуючим пристроєм (ОЗП) для спеціальних програм типу Surfer, ГІС K-MINE®, ВЕНТСИМ тощо.

Завдання вирішували на підставі вивчення та оцінки матеріалів звітів геологічних та геолого-маркшейдерських служб шахт, складання відповідних таблиць та побудови карток за обраними даними. Під час побудови карток застосовували різні методи інтерполяції. Найбільш практичними вважають методи зворотних зважених відстаней, спайн, тренд, крикінг тощо (Zhan et al., 2018; Hebblewhite, 2020).

Методика дослідження

При відбійці рудного масиву складної морфології за допомогою буровибухових робіт (БВР) був досягнутий високий рівень вилучення корисних копалин із надр, але при цьому зросло розубожіння руди. Низьке розубожіння руди передбачає значне збільшення витрат на її видобування. Нормування витрат та розубожіння руди в камері забезпечуються встановленням оптимального контура відбивання руди. Для вирішення поставленого завдання аналізувалися дані про експлуатаційні блоки і гірничі виробки, в яких визначалися повнота та якість виїмки запасів із надр за окремими джерелами їх утворення по площинах віялів гірничовибухових свердловин, на яких визначалися контури рудного тіла, межі відбійки руди, втрати невідбитих руд і прирізка вмичуючих порід. Результат витрат і розубожіння руди по блоку обчислювався як середньозважене значення за кожною площиною віял гірничовибухових свердловин. Технологічні дослідження доповнювалися натурними спостереженнями та вимірами, що уточнюють фактичні зони виробленого простору.

На геологічних розрізах виділяли контур рудного тіла та приконтурну зону. Зовнішня її межа відповідає контуру відбійки, що виключає втрати $P = 0$ при максимальному розубожінні руди $P = \max$, а внутрішня – відповідає контуру відбійки, при якому, навпаки, $P = \max$ і $P = 0$. Були виміряні: протяжність рудного тіла падіння (H), м; площа балансової руди (S_g) за геологічним контуром, м²; площа приконтурної зони S_p , м²; ширина приконтурної зони (d_i), м у кожному перетині; вміст корисного компонента в надрах (C), у руді, що втрачається (C_g), в розубожених породах (B) і руді, що відбивається із приконтурних зон (C_{np}), частки од. Оптимальний контур виїмки визначали техніко-економічним розрахунком на основі загальноприйнятого економічного критерію – максимального прибутку на 1 т погашених балансових запасів або мінімальної сумарної шкоди

(економічні наслідки), завданої 1 т втраченої руди Y_n і примішаних розубожених порід Y_p , коли ціни встановлені на рівні замикаючих витрат відповідно до виразу:

$$\alpha_m Y_n + \alpha_g Y_p \rightarrow \min,$$

де α_m , α_g – частини площ приконтурної зони руди і відповідно розубожених порід, частки од.

Сутність економічних наслідків полягає в недоотриманому прибутку від втраченої руди і від зменшення кількості корисного компонента в готовій продукції внаслідок втрати якості в видобутій рудній масі за рахунок примішування до неї порожніх порід, бідних і позабалансових руд.

Чисельні значення Y_n та Y_p визначаються з урахуванням витрат на амортизацію гірничого комплексу та відповідно на «погашення гірничопідготовчих робіт», встановленої ціни одиниці металу в готовій продукції (гранично допустима та відпускна), повних витрат на видобування, транспортування та переробку руди, собівартості одиниці металу в готовій продукції, вилучення корисного компонента в готову продукцію при переробці відповідно руди, що втрачається у видобутій гірничорудній масі та розубожених порід, недоотриманого прибутку від витрат корисного компонента в невідбитій руді від зменшення корисного компонента і переробки розубожених порід, вартості корисного компонента у відпускних цінах готової продукції з 1 т порід. При відборі даних для створення математичних моделей було використано класичні методи кластеризації, а саме: методи математичної статистики, кореляційні методи, визначення різницевої рівнянь із застосуванням рівняння Вінера–Хопфа, класичні та нові методи багатов'язкових систем за участю авторів.

Метод зворотних зважених відстаней передбачає, що кожна вхідна точка впливає на розрахункову величину залежно від відстані. При цьому для розрахункового значення може використовуватися задане число найближчих точок або всі точки в межах заданої відстані. Розрахунок здійснюється способом ковзного вікна.

Сплайн-метод використовує умову мінімальної кривизни поверхні, проведеної через вхідні точки. Цей метод добре працює для плавно мінливих поверхонь і не застосовується при різких змінах значень аплікат на короткому інтервалі.

Тренд підбирає математичну функцію (поліном заданого порядку) для всіх вхідних точок таким чином, щоб сумарна різниця між реальними та роз-

рахунковими значеннями по всій поверхні була мінімальною. Найчастіше для аналізу використовується тренд першого порядку. Результуюча поверхня в цьому випадку є площиною, кут і азимут ухилу якої відображають загальну тенденцію.

Крикінг – це особливий метод інтерполяції, який ґрунтується на припущенні, що відстань або напрямок між тестовими точками вказує на просторову кореляцію, яка сприяє опису поверхні. Цей тип інтерполяції ефективний, коли наперед відомо, що зміна значень аплікату не випадкова, а підпорядковується будь-якій закономірності (Ayvaz et al., 2018; Lin et al., 2019).

Приладове забезпечення. Деталізацію контура рудного тіла проводили шляхом каротажу віялів свердловин з інтервалом 10 см радіометрами-дозиметрами із ОЗП на 1000 вимірів та прив'язкою до географічних координат, занесенням цих даних у ПК для побудови рудного контура за спеціальними програмами типу Surfer або ГІС K-MINE®. Зокрема, радіометр-дозиметр ДКС-96К застосовується в геологічній розвідці для непрямих вимірювань радіоактивності гірських порід, руд та рідин з гамма-випромінювання при каротажі свердловин, шпурів та суспензій. Він виготовляється на підприємствах та приватних фірмах (м. Жовті Води, Україна), які мають великий науковий та практичний досвід створення радіометричної, геофізичної та дозиметричної апаратури. Дозиметр-радіометр залежно від набору блоків детектування додатково вирішує такі завдання: визначення ступеня поверхневої альфа- та бета-забрудненості, потужності дози гамма, рентгенівського та нейтронного випромінювань, зокрема у полях імпульсного випромінювання.

Застосовується також для пошуку місцезнаходження джерел іонізуючого випромінювання у вантажах та важкодоступних місцях транспортних засобів, локальних джерел забруднень, радіометричної гамма-зйомки місцевості тощо.

Прилад радіометричний ОХРА-1М призначений для визначення вмісту природних радіоактивних речовин під час геологічної розвідки в гірничорудній промисловості, забруднення місцевості шляхом вимірювання потужності експозиційної дози гамма-випромінювання від 0 до 100 000 мкР/год. Застосовується для гамма-каротажу шпурів (блок БДЛ) свердловин глибиною до 25 м (блоки БДЛГ-К-1, БДЛГ-К-06Д), свердловин глибиною до 100 м (блок БДЛГ-К-1Д) та гамма-випробування гірничих виробок (блок спрямованого прийому БДЛГ-Н-03Д). Забезпечує автоматичний запис службової інформації та даних вимірювань в енергонезалежний «Flash» – накопичувач інформації обсягом 32 Кб реєстратора РПГ-05 та виведення записаної інформації на комп'ютер за інтерфейсом RS-232. Вибір та введення службової інформації у діалоговому режимі здійснюються за допомогою 16 функціональних кнопок. Відградуєвано по радіонуклідну дозу радій-226 експозиційної дози в діапазоні 0–100 000 мкР/год без розбивки на піддіапазони. Забезпечено автоматичний контроль джерел живлення. Розробник та виробник приладу – науково-виробничий комплекс «Автоматика та машинобудування» (м. Жовті Води, Україна).

Об'єкт дослідження. Промислове освоєння Новокостянтинівського родовища урану складної структури ДП «Східний ГЗК» (Україна) за гірничо-геологічними та гірничотехнічними особливостями (рис. 1).

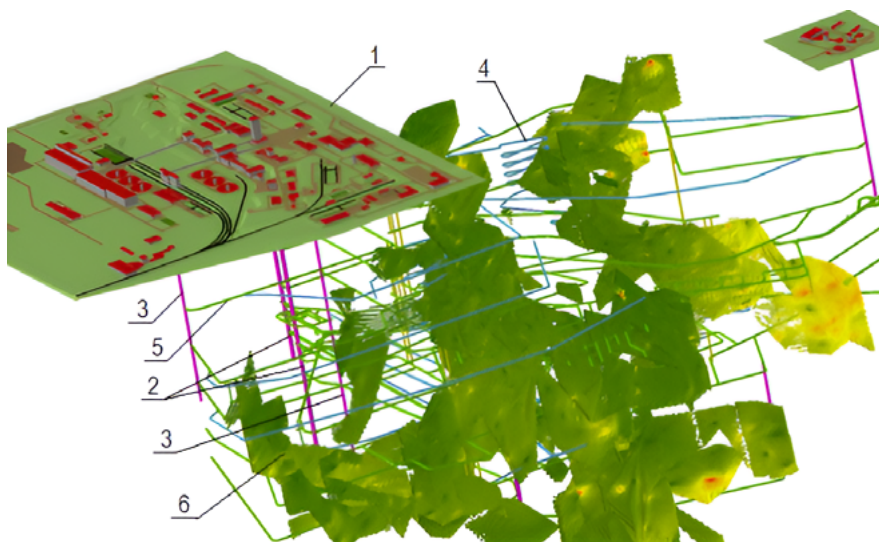


Рис. 1. Суміщена тривимірна модель Новокостянтинівського родовища урану (Новоукраїнський район, Кіровоградська обл., Україна): 1 – поверхневий технологічний комплекс шахти «Новокостянтинівська»; 2 – центральний вертикальний ствол; 3 – флангові вертикальні виробки; 4 – спіральний з'їзд; 5 – горизонтальні виробки; 6 – рудні поклади

Fig. 1. Combined three-dimensional model Novokostyantynivska uranium deposit (Novoukrainsky district, Kirovohrad region, Ukraine): 1 – superficial technological complex of the Novokostyantynivska mine; 2 – central vertical barrel; 3 – flanking vertical products; 4 – spiral descent; 5 – horizontal products; 6 – ore deposits

Родовище відноситься до I групи за таких умов:

- стійкі міцні рудовмісні породи та руди;
- прості заходи щодо захисту навколишнього середовища;
- слабе проникнення хімічно неактивних газів;
- кристалічні породи не змінюють своїх фізико-механічних властивостей при впливі води та кисню повітря;
- рудні поклади та рудовмісний масив представлені скельними породами – гранітами, альбітитами, сієнітами, гнейсами, що мають опір стиску від 40,9 до 221,1 МПа;
- виробки зберігають свою форму і лише в місцях широких з'єднань та перетинів ослаблених тектонічних зон потрібне зміцнювальне штангове кріплення із затяжкою покрівлі металеву сіткою;
- у поодиноких випадках з'являється необхідність застосування підтримуючого кріплення із суцільною затяжкою покрівлі та стінок виробок;
- коефіцієнт розпушування скельних порід, що впливає на технологію та якість БВР.

Гірничо-геологічні, геомеханічні, гідрогеологічні та гірничотехнічні умови сприятливі для відпрацювання рудних покладів підземним способом. Зокрема, передбачається здійснити видобування руди системами із заповненням техногенних порожнин твердіючою сумішшю різного складу і міцності. На технологічних процесах використовуються різні типи самохідної бурової, вантажно-доставкової, транспортної та допоміжної техніки вітчизняного та зарубіжного виробництва.

В результаті аналізу переваг та недоліків комплексів провідних фірм світу можна їх оцінити так:

- високі ергономічні якості вантажно-доставкових машин та самоскидів фірми «Atlas Copco» є пріоритетними порівняно з такими фірми «Tamrock»;
- продуктивність Boomer 281(282), ST 3,5 фірми «Atlas Copco» на прохідницьких роботах удвічі вища за таку комплексу Мінібур 1Ф, TORO 151 фірми «Tamrock» при однакових відстанях транспортування гірської маси;
- річна продуктивність вантажно-доставкових машин ST 3,5 вдвічі вища за таку TORO 151;
- підвищується ефективність відпрацювання родовища з одиниці його площі за рахунок збільшення річної продуктивності видобутку металу з експлуатаційного блоку незалежно від системи розробки при застосуванні комплексів

самохідної техніки з більш високою продуктивністю;

- для механізації процесу заряджання шпурів та свердловин доцільно використовувати самохідну зарядну установку з дизельним приводом фірми-постачальника основного комплексу.

Застосування нових самохідних комплексів внесе корективи в конструкції систем розробки, що спричинить зміну валового принципу видобування руди на селективне високоякісне вилучення балансових запасів із мінімальним вантажопотоком порожніх порід на поверхню.

Гірнична технологія. На рудних родовищах складної структури ДП «Східний ГЗК» (Україна) застосовуються різні варіанти камерних систем із закладкою виробленого простору твердіючою сумішшю (Добыча..., 2001; Ляшенко та ін., 2024). Вони мають загальні і відмінні ознаки та використовуються для виїмки різних за геоморфологічними ознаками та рудоносністю покладів. Так як при камерних системах підповерхових штреків (ортів) після виїмки руд очисний простір заповнюють твердіючою сумішшю, при цьому експлуатаційні блоки відпрацьовують по простяганню у 2 черги, а вхрест простягання в 3–4 черги, то необхідно залишення рудних міжкамерних і міжповерхневих ціликів. Залежно від потужності рудного тіла (М) крутопадаючі рудні тіла (кут нахилу понад 50°) відпрацьовуються системою підповерхових штреків (М = 3–20 м) або системою підповерхових ортів (М > 20 м) із закладкою (рис. 2).

Руда і породи, що вміщують гірський масив, стійкі, з коефіцієнтом міцності за шкалою проф. М.М. Протодьяконова не менше 12. Параметри блоку при розташуванні камер ухрест простягання (м): висота 60–120, довжина 20–60, ширина 15–20. При розташуванні камер по простяганню рудних покладів ширина камер дорівнює потужності рудного тіла. Висота поверху сягає до 15 м (у виняткових випадках – до 17–18 м); висота днища – 8–11 м (максимум 13 м з горизонтом вторинного дроблення); відстань між випускними дучками – 8–10 м.

У процесі понад 50-річного відпрацювання родовища камерна система розробки з відбійною руди з підповерхових штреків (ортів) і закладкою сумішами, що твердіють, добре освоєна, має високу продуктивність праці, порівняно низьку собівартість продукції і найголовніше – високу інтенсивність. Це дуже важливо при залученні в експлуатацію покладів Новокостянтинівського родовища.

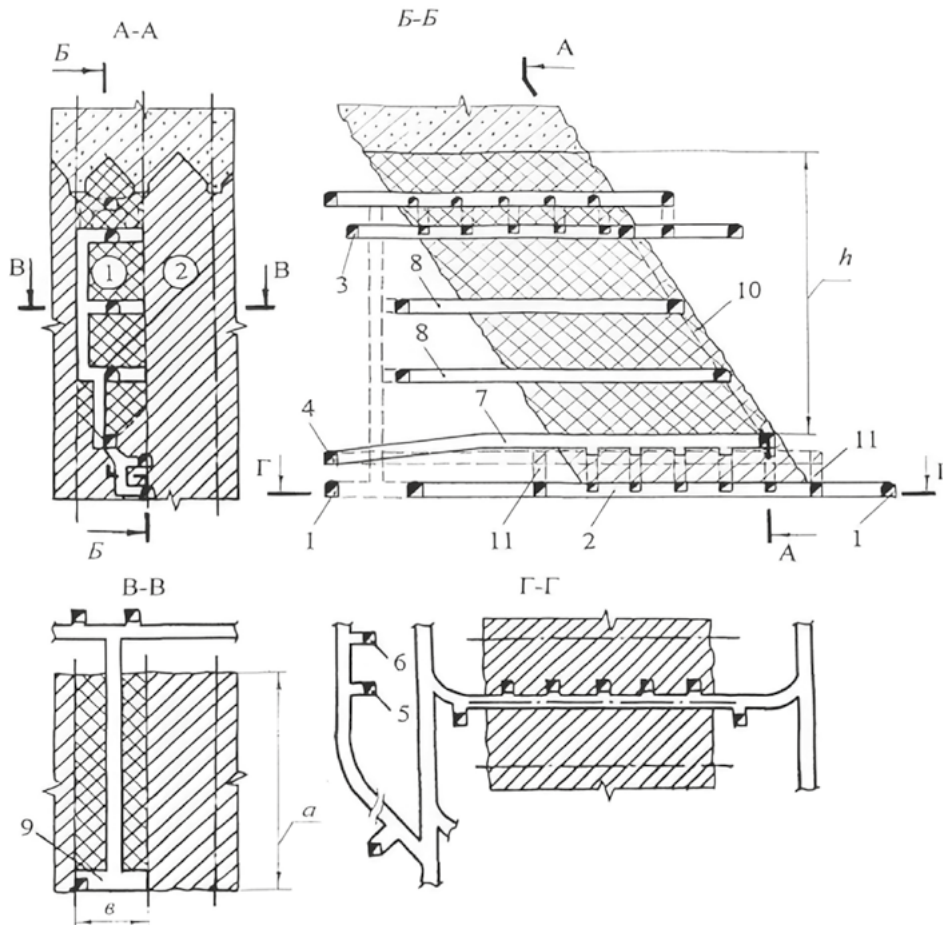


Рис. 2. Система розробки підповерховими ортами із закладкою виробленого простору твердіючою сумішшю: гірничопідготовчі виробки: 1 – штрек відкатний; 2 – квершлаг блоковий; 3 – штрек вентиляційний; 4 – колектор; 5 – блоковий повстаючий; 6 – рудоспуск; нарізні виробки: 7 – орт підсічний, 8 – орт підповерховий; 9 – захід відрізний; 10 – повстаючий відрізний; 11 – ходок вентиляційний; *j, k* – камери першої та другої черги, відповідно; *a, b, h* – відповідно довжина, ширина та висота експлуатаційного блоку

Fig. 2. The system of development of underground orths with paving of the created space with a hardening mixture: mining and preparatory works: 1 – roll-back stretch; 2 – crossbar block; 3 – ventilation duct; 4 – collector; 5 – block rebel; 6 – ore launch; threaded products; 7 – subcut ort; 8 – underground room; 9 – the event is cut off; 10 – rising cut-off; 11 – ventilation walker; *j, k* – cameras of the first and, respectively, the second stage; *a, b, h* – length, width and height of the operating unit, respectively

Системи розробки виконуються у двох варіантах, що відрізняються дном блоку та обладнанням на випуску руди – через дучки віброжівильника ПВГ-1,2/3,1 або ПВГ-1,3/7,0 до вагонів ВГ-4М. Застосовувався також торцевий випуск або через випускні виробки вантажно-доставковими машинами з ручним та дистанційним керуванням МПДН-1 та МПДН-1М вітчизняного виробництва.

Гірничопідготовчі роботи полягають у проведенні рудних та польових штреків (ортів) на відкатувальному та вентиляційному горизонтах, вентиляційному колекторі, блокових повстаючих та рудоспуску. Причому за умови застосування централізованої (групової) підготовки блокові вертикальні виробки та рудоспуски відпрацьовують на групу блоків. Є варіанти підготовки з проходкою з'їздів для доставки по похилих виробленнях машин, обладнання, матеріалів, подачі свіжого повітря до вибою та ін.

Нарізні роботи включають проведення підсічних та підповерхових штреків (ортів), відрізних західок та вертикальних, випускних дучок, збоїв.

Очисне вилучення запасів камер починається з утворення відрізних щілин. Відбійку запасів камер чергують з випуском руди в транспортні

засоби на горизонт відкатування, лінія забою ступінчаста або близька до вертикальної. Відбиті руди випускаються з камер послідовно через одну, дві, три та більше дучок залежно від довжини. Камери, розташовані в потужних рудних тілах значного простягання (200–300 м), відпрацьовують запаси в 2, 3 і більше черги, а виїмка запасів камер, розташованих по простягання, здійснюється у 2 черги. Гірничі роботи виконують на глибині від 40 до 350 м. Камери відпрацьовують під поверхами висотою 10–15 м. Відбійку руди здійснюють свердловинними зарядами діаметром 57 і 65 мм. Свердловини бурять верстатами НТ-2, «Норіт» та ПК-75.

Паралельні низхідні свердловини діаметром 85 та 105 мм для утворення відрізних щілин бурять верстатами НКР-100 М (Україна). Застосовується також самохідне бурове обладнання вітчизняного виробництва для прохідницьких та очисних робіт: установка бурова БУ-85С; колонка для буріння шпурів ручним перфоратором ЛКР-МН; установка бурильна шахтна УБШ-201; установка бурильна шахтна УБШ-203; електрогідролічна вантажно-транспортна машина ПТ-2ЕШ-М. Крім того, використовується обладнання зарубіжних фірм «Atlas Copco» (бурові установки

Boomer 281, Boomer S1D; вантажно-доставкова машина Wagner ST-3,5; «Tamrock» тощо) (Maldaner et al., 2018; Шумлянська та ін., 2024).

Після випуску гірської маси з камери йде підготовка до закладки за допомогою ізоляції очисного простору перемичками на всіх поверхах і в днищі (Stupnik et al., 2018). На закладку очисного простору і твердіння штучного масиву потрібен певний час. Причому нормативна міцність закладки, що твердіє, в залежності від черговості відпрацювання камери різна (Stupnik et al., 2022). Тому запаси камер других та наступних черг відпрацьовуються не раніше, ніж через 6–8 місяців. Це той час, через який дозволяється ведення очисних робіт у камері, суміжній із закладеною камерою.

Аналіз показує, що збільшення питомої витрати вибухової речовини (ВР) вище за граничне значення $q = 3,0 \text{ кг/м}^3$ не призводить до значного поліпшення якості дроблення. Наслідком зростання значення q до $5,0 \text{ кг/м}^3$ є посилення дроблення руди та збільшення виходу дуже дрібних фракцій. Відбійка зарядами свердловинами діаметром 85 і 100 мм характеризується практично такими ж показниками гранулометричного складу, що і відбійка зарядами діаметром 67 мм. Однак питома витрата ВР при використанні свердловин більшого діаметра значно менше. Виходячи з цього, для родовища складної структури можна рекомендувати перехід на розбурювання рудного масиву буровими свердловинами діаметром 85 мм.

Результати та їх обговорення

Геолого-маркшейдерське забезпечення гірничих робіт. Одним із важливих показників, що впливають на величину підготовленості запасів руди до підземного видобування, є підтвердженість надр за кількістю та якістю мінеральної сировини, що визначається зіставленням рудних контурів та запасів блоків до та після видобування руди. Встановлюється також, яка частина рудної площі підтвердилася або з'явилася нова (приріст запасів), наскільки збільшилися при цьому обсяги гірничопідготовчих, нарізних, експлуатаційно-розвідувальних виробок, свердловин та тривалість їх виконання.

Технологія встановлення контурів запасів балансових руд. Детальна розвідка рудних родовищ складної структури здійснюється колонковими свердловинами, пробуреними з поверхні мережі $50 \times 50 \text{ м}$. Запаси підраховані за

коефіцієнтом рудоносності без оконтурювання конкретних рудних тіл. Досвід проведення підготовчих та очисних робіт показав, що всі поклади мають складну морфологічну будову, а оцінка параметрів зруденіння (потужність і протяжність покладів по простяганню, вміст корисного компонента та ін.) за вказаною мережею свердловин не дає надійних результатів блоків. Тому мережа розвідувальних свердловин, порядок проходження виробок під час розкриття нових горизонтів та підготовки блоків на рудних родовищах буде проводитися в такій послідовності.

На першому етапі здійснюється розбурювання проміжних віял розвідувальних свердловин через 25 м із відкатних виробок вищого горизонту. Основною умовою є випередження проходки гірничих виробок та буріння розвідувальних свердловин на відкатувальному та буровому горизонтах по відношенню до підповерхових виробок.

Другий етап відбувається після проходження підповерхових бурових виробок і полягає в бурінні контрольних віялів свердловин безпосередньо по рудному тілу в кожному блоці. Відстань між віялами контрольних свердловин 5–6 м, вибирається кратною лінії найменшого опору. У цьому випадку свердловини контрольних віял можуть бути використані для відбивання руди під час очисних робіт. У контрольному віялі приймається 4–6 свердловин (рис. 3).

Третій етап – це буріння вибухових свердловин для відбивання руди, виходячи з прийнятих параметрів БВР по сітці $W \times a$, де $W = 1,2\text{--}1,5$ – відстань між віялами свердловин (лінія найменшого опору), м; $a = 2,2\text{--}3,0$ – відстань між кінцями свердловин у віялі, м.

Завдання зниження втрат і розубожіння руди по кожному геологічному розрізу і блоку загалом зводиться до точної відбійки руди за нормативним контуром, оптимально встановленим у приконтурній зоні, оскільки ці показники мають превалююче значення і становлять 60–70 % від загальних величин (див. рис. 3). Відбійка руди за нормативним контуром забезпечується набійкою інертними матеріалами інтервалів свердловин, що виходять за оптимізований нормативний контур відбійки руди, контролюється комплексом буропідричних робіт, а за наявності маркшейдерських приладів – інструментальною зйомкою меж очисних камер. За результатами геофізичного випробування свердловин визначається рудний контур у блоці та виконується остаточний підрахунок запасів.

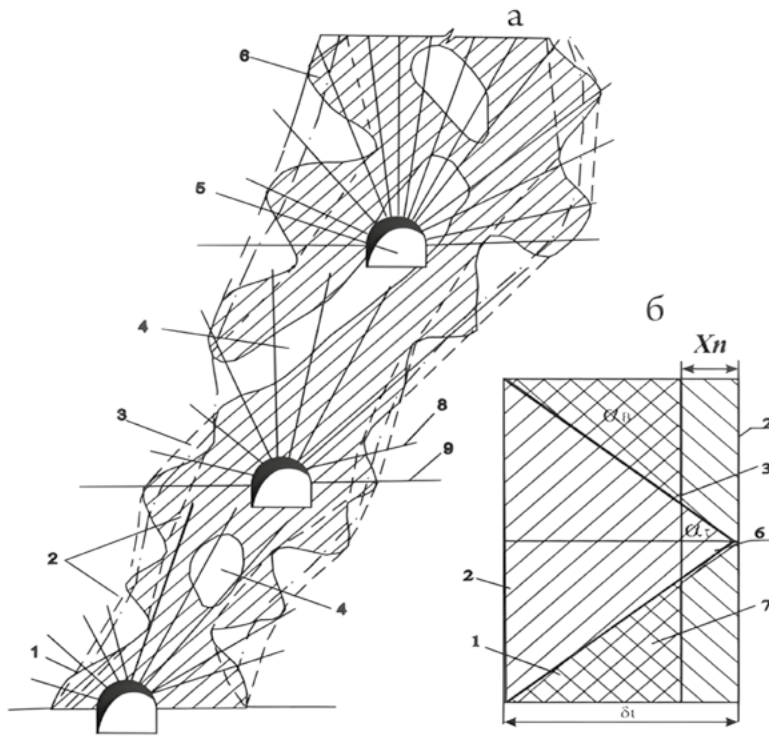


Рис. 3. Геологічний розріз рудного покладу експлуатаційного блоку по віялах розвідувальних та вибухових свердловин: а – розріз; б – елементарні осередки приконтурної зони (схема): 1 – геологічний контур балансової руди; 2 – межі приконтурної зони; 3 – нормативний контур відбійки руди; 4 – включення порід та позабалансових руд; 5 – підповерхова виробка; 6 – втрати руди; 7 – прирізка розубожених порід; 8, 9 – свердловини вибухові та розвідувальні; α_m , α_s – частини площ приконтурної зони руди, що втрачається, і відповідно розубожених порід, частки од.; $l_n = X_n \times d$ – відстань від зовнішньої межі приконтурної зони до нормативного контура відбійки руди, м; X_n – розмір втраченої частини руди у приконтурній зоні (d), м

Fig. 3. Geological cross-section of the ore deposit of the production block along the fans of exploration and blast wells; a – cut; b – elementary cells of the contour zone (diagram): 1 – geological contour of the balance ore; 2 – boundaries of the contour zone; 3 – regulatory outline of ore removal; 4 – inclusion of rocks and off-balance ores; 5 – underground production; 6 – loss of ore; 7 – cutting of impoverishing rocks; 8, 9 – explosive and exploratory wells; α_m , α_s – part of the area of the contour zone of ore that is lost and, accordingly, depleting rocks, parts of units; $l_n = X_n \times d$ – distance from the outer boundary of the contour zone to the regulatory contour of ore removal, m; X_n – the size of the lost part of the ore in the near-contour zone (d), m

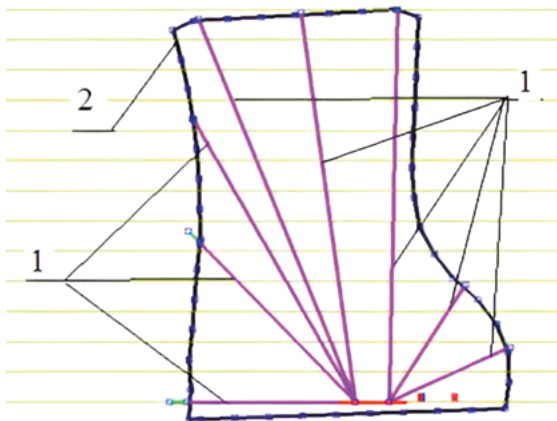


Рис. 4. Оконтурювання рудного покладу експлуатаційного блоку Новокосянтинівського родовища за даними всіх груп свердловин на базі програмного забезпечення типу ГІС K-MINE® (віяло № 10): 1 – геологорозвідувальні свердловини; 2 – контур рудного тіла

Fig. 4. Contouring of the ore deposit of the operational block of the Novokostiantyniv deposit according to the data of all groups of wells on the basis of the type K-MINE® GIS software (fan No. 10): 1 – geological and exploratory wells; 2 – contour of the ore body

Деталізацію контура рудного тіла автори пропонують проводити шляхом каротажу віялів свердловин з інтервалом 10 см за спеціальною програмою Surfer або ГІС K-MINE® (рис. 4). Розробником програмного забезпечення є ТОВ «Науково-виробниче підприємство КАІ» (м. Кривий Ріг, Україна) (Li et al., 2019; Sebutsoe et al., 2017).

Технологія створення цифрових моделей родовищ уранових руд.

ГІС має у своєму складі спеціалізований модуль геометричного моделювання родовищ корисних копалин, який може бути використаний для виконання робіт із моделювання під час їх розробки. Блок-схема визначення геологічних параметрів довільної точки інформаційного простору за даними цифрового математичного моделювання показана на рис. 5.

Процес моделювання передбачає виконання таких етапів:

- розробку структури таблиць бази даних свердловин геологічного випробування, створення реляційних зв'язків між ними (зв'язування, індексування тощо);
- ведення первинних даних для свердловин;
- виділення первинних інтервалів за бортовим вмістом корисного компонента і навіть «ураганних» проб, розрахунок усереднених показників якості;
- побудову свердловин у просторі моделі із усередненими рудними інтервалами;
- первинний аналіз даних випробування, визначення меж рудних інтервалів у розвідувальних перетинах, поєднання рудних інтервалів, формування усереднених інтервалів;
- об'єднання свердловин у групи (ряди, розрізи, віяла);

- оконтурювання рудного тіла в межах груп свердловин;
- формування каркасної моделі та блокової структури родовища (експлуатаційного блоку);
- розрахунок якісних показників блокової моделі за даними розвідувальних свердловин.

Як початкові вихідні дані для виконання розрахунків (блок 1) слугують координати X, Y, Z точки центра елементарного блоку інформаційного простору, для якої необхідно отримати вектор властивостей (блок 2).

Блок 3 призначений для прямого доступу до бази геологорозвідувальних даних та збору початкової інформації про якісні показники проб.

Блок 4 застосовується для визначення параметрів еліпсоїда запиту під час розрахунку параметрів якості для точки, що шукається. Визначення параметрів еліпсоїда виконується на підставі даних варіограми, отриманих для даної ділянки родовища.

Блок 5 призначений для визначення загальної кількості проб, що потрапляють всередину еліпсоїда запиту, з можливістю їх фільтрації за видами корисних копалин.

Блок 6 – розрахунок середньозважених значень показників якості в точці, що шукається, методом крайгінгу.

Блок 7 використовується для формування кінцевого вектора властивостей для точки, що шукається, і видачі результатів у викликаючу програму. Після обробки одного елементарного блоку виконується розрахунок якісних показників інших. Процес продовжується доти, доки всі блоки у структурі не будуть оброблені.

Наведено приклад даних первинного випробування для першої геологорозвідувальної свердловини, горизонту 412 м, 9-го віяла свердловин; координати точки центра елементарного блоку інформаційного простору $X = 12155,2$; $Y = 8333$; $Z = -239$; горизонтальний кут дорівнює $294,7^\circ$, зенітний кут сягає 0 (табл. 1).

Для виконання оконтурювання рудного тіла виконується відображення групи свердловин, об'єднаних в окремий шар, а потім оконтурювання з урахуванням точок об'єктної прив'язки інтервалів у свердловинах. Основою для функціонування зазначеного модуля є побудована тривимірна геологічна модель родовища. Ця модель включає: ведення журналів випробування родовища, оперативне ведення суміщених погоризонтних планів та розрізів, моделювання контурів поширення гірських порід

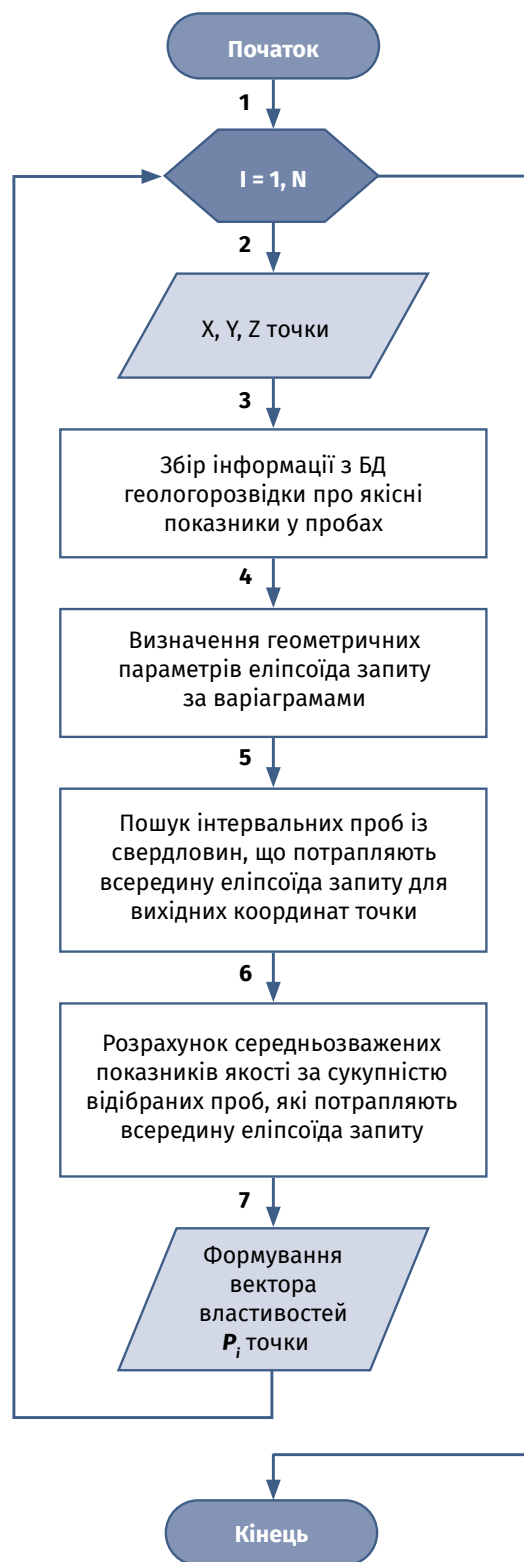


Рис. 5. Алгоритм визначення геологічних параметрів довільної точки інформаційного простору за даними цифрового математичного моделювання (блок-схема): 1-7 – номер розрахункового блоку; N – кількість розрахункових точок; X, Y, Z – координати точки центра елементарного блоку інформаційного простору; $БД$ – база даних

Fig. 5. Algorithm for determining the geological parameters of an arbitrary point of the information space based on the data of digital mathematical modeling (block diagram): 1-7 – number of the calculation block; N – number of calculation points; X, Y, Z – coordinates of the center point of the elementary block of the information space; DB – data base

Таблиця 1. Дані первинного випробування для першої свердловини

Глибина свердловини, м	Діапазон виміру, од.	Значення, од.	Вміст металу у руді, ум. од.
0,0	2	900	1,8
0,5	2	1200	2,4
1,0	1	600	0,6
1,5	2	1500	3
2,0	2	975	1,95
2,5	2	1275	2,55
3,0	2	1875	3,75
3,5	1	600	0,6
4,0	1	450	0,45
4,5	1	750	0,75
5,0	2	870	1,74
5,5	2	1350	2,7
6,0	2	1875	3,75
6,5	2	3750	7,5
7,0	2	1875	3,75
7,5	2	1275	2,55
8,0	2	1800	3,6
8,5	1	600	0,6
9,0	1	600	0,6

на відпрацьованих ділянках, розрахунок якісних та кількісних показників у довільних контурах, побудову суміщених геолого-маркшейдерських розрізів у довільному напрямку, ведення статистичної та звітної документації тощо (Fang et al., 2018).

Розрахунок підтверджуваності запасів руди та металу в ній за даними геолого-маркшейдерського, методичного та приладного забезпечення із урахуванням відпрацювання аналогічних рудних родовищ наведено у табл. 2.

Середню підтверджуваність запасів руди (частки од.) ($P_{з.ср}$) та металу (частки од.) ($P_{с.ср}$) в i -му експлуатаційному блоці обчислювали відповідно за формулами (1) та (2):

$$P_{з.ср} = \frac{\sum_{i=1}^{n=10} P_{з.i}}{n} = \frac{1,05+0,92+0,92+1,10+1,00+1,06+1,00+1,07+0,93+1,11}{10} = 1,02 \quad (1);$$

$$P_{с.ср} = \frac{\sum_{i=1}^{n=10} P_{с.i}}{n} = \frac{0,86+1,00+0,90+1,00+1,17+0,82+0,88+1,00+0,89+0,75}{10} = 0,93 \quad (2),$$

де n – кількість експлуатаційних блоків (камер, шарів), що знаходяться одночасно в очисній виїмці (од.).

Таблиця 2. Підтверджуваність запасів руди та металу в ній (частки од.)

Найменування показників	Розрахункові формули
Підтверджуваність запасів руди ($P_{зi}$) та металу ($P_{сi}$) i -го експлуатаційного блоку	$P_{з.i} = \frac{B_{ф.i}}{B_i} = \frac{59,0}{56,0} = 1,05$ $P_{с.i} = \frac{C_{ф.i}}{C_i} = \frac{0,06}{0,07} = 0,86$
Центрована підтверджуваність запасів руди ($P_{з.ср}$) та металу ($P_{с.ср}$) i -го експлуатаційного блоку	$P_{з.i} - P_{з.ср} = 1,05 - 1,02 = 0,03$ $P_{с.i} - P_{с.ср} = 0,86 - 0,93 = -0,07$
Дисперсія підтверджуваності запасів руди та металу i -го експлуатаційного блоку	$(P_{з.i} - P_{з.ср})^2 = 0,03^2 = 0,0009$ $(P_{с.i} - P_{с.ср})^2 = (-0,07)^2 = 0,0049$
Коефіцієнт резерву, що враховує підтверджуваність запасів руди ($K_{р.з}$) та металу ($K_{р.с}$)	$K_{р.з} = P_{з.ср} + \sigma_z = 1,02 + 0,077 = 1,10$ $K_{р.с} = P_{с.ср} + \sigma_c = 0,93 + 0,119 = 1,05$
Загальний коефіцієнт резерву, що враховує технологічну надійність роботи шахти з видобутку руди та металу в ній ($K_{р.м}$), а також підтверджуваність запасів руди ($K_{р.з}$) і металу ($K_{р.с}$)	$K_p = K_{р.м} \cdot K_{р.з} \cdot K_{р.с} = 1,16 \times 1,10 \times 1,05 = 1,34$

Примітка: $B_{фi}$, B_i – балансовий запас руди i -го експлуатаційного блоку, фактичний (видобутий) та початковий, тис. т; C_f , C_i – відповідно вміст металу в балансових запасах i -го експлуатаційного блоку, фактичний (видобутий) та початковий, %.

Середньоквадратичне відхилення окремих показників підтвердженості запасів руди (частки од.) (δ_3) і металу (частки од.) (δ_c) експлуатаційного блоку від середнього його значення обчислювали відповідно за формулами (3) та (4):

$$\sigma_3 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{3,i} - P_{3,CP})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,0009+0,0100+0,0100+0,0064+0,0004+0,0016+0,0004+0,0025+0,0081+0,0144}{10-1}} = 0,077 \quad (3);$$

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{c,i} - P_{c,CP})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,0049+0,0049+0,0009+0,0049+0,0576+0,0121+0,0025+0,0049+0,0016+0,0324}{10-1}} = 0,119 \quad (4).$$

Геолого-економічна оцінка корисних копалин. Модуль геолого-економічної оцінки (ГЕО) – K-MINE–GeoExpert (Україна) – дозволяє автоматизувати процеси оцінки запасів родовищ різних генетичних типів для різних корисних копалин. Тривимірна модель визначення запасів корисних копалин та вмщуючих порід показана на рис. 6. Модуль входить до складу ГІС K-MINE®, яка є складовою частиною автоматизованої системи геолого-економічної оцінки запасів (АС ГЕО). Система АС ГЕО дозволяє насамперед виконувати оперативну-автоматизований збір, обробку, збереження та передачу всієї первинної геологічної, геофізичної, маркшейдерської, гірничотехнічної, технологічної, гідрогеологічної, екологічної, економічної та іншої інформації, що була отримана у процесі виконання

геологорозвідувальних робіт або експлуатації родовища корисних копалин та ін.

Структурну схему автоматизованої системи (АС) ведення гірничих робіт на шахтах ДП «Східний ГЗК» наведено на рис. 7. На основі існуючої графічної інформації для гірничих підприємств створюється єдиний масив геопросторових даних, що описує структури виробок, тривимірну каркасну модель покладів, схеми комунікацій (залізничні колії, трубопроводи водо- та газопостачання, кабельні, дренажні та вентиляційні мережі тощо) та інша інформація. Створена в такий спосіб модель зберігається на сервері бази даних (БД) і файловому сервері, може використовуватися різними службами гірничого підприємства.

Геологічна та маркшейдерська служби підприємства є основними споживачами геопросторової інформації. Тобто, цифрова модель має щодня поповнюватися. Для автоматизації процесу поповнення вихідної інформації про структуру підземних шахтних виробок, а також для виконання розмічувальних та розбивальних робіт під час нарізання нових вибоїв, визначенні напрямків проходки, місць перетинів та інших маркшейдерських робіт доцільно використовувати електронні тахеометри.

Український ринок на сьогоднішній день широко представлений електронними тахеометрами, а також радіометричними та геофізичними приладами провідних виробників типу Sokkia, Trimble, Topcon, Nikon, Leica, OXPRA-1M тощо. Їх використання спрощує вирішення прикладних завдань, дозволяє значно прискорити виконання зйомок, уточнення контурів рудних покладів,

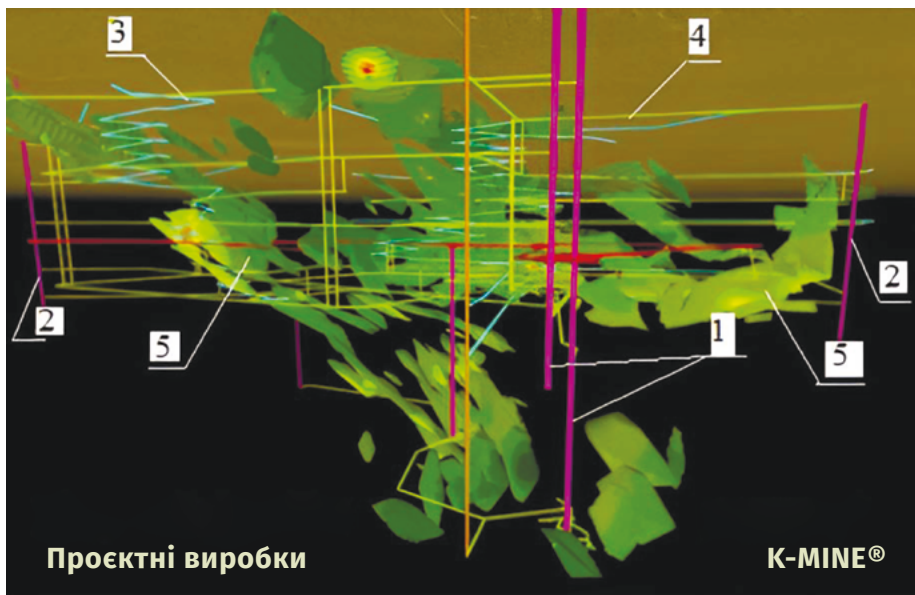


Рис. 6. Проект розтину запасів Новокостянтинівського родовища складної структури гірничо-капітальними виробками: 1 – центральний вертикальний ствол; 2 – флангові вертикальні виробки; 3 – спіральний з’їзд; 4 – горизонтальні виробки; 5 – рудні поклади

Fig. 6. Project for the growth of reserves of the Novokostyantyniv deposit of a folding structure with mining and capital workings: 1 – central vertical trunk; 2 – flank vertical workings; 3 – spiral con-volution; 4 – horizontal workings; 5 – ore deposits

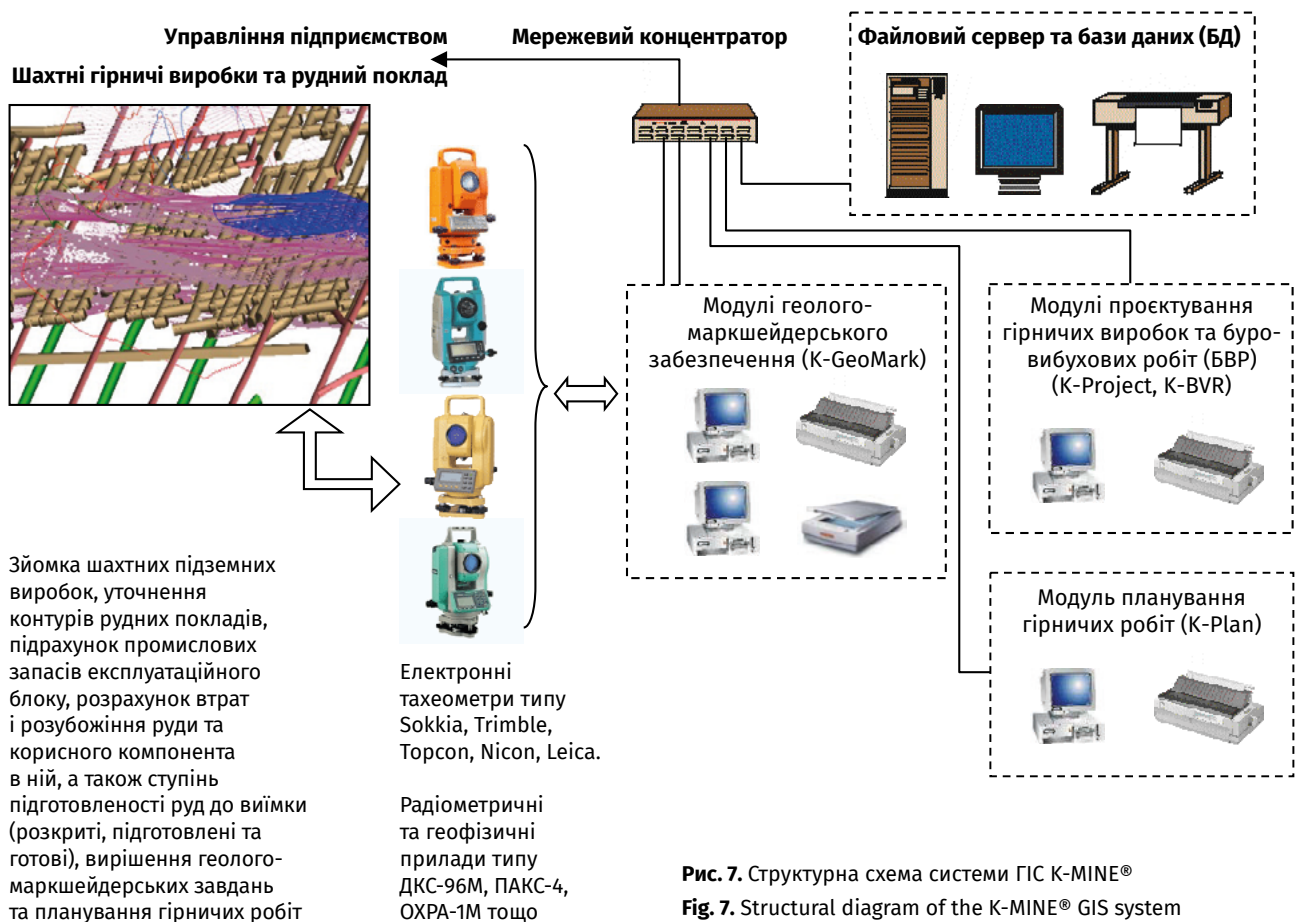


Рис. 7. Структурна схема системи ГІС K-MINE®
Fig. 7. Structural diagram of the K-MINE® GIS system

підрахунок промислових запасів експлуатаційного блоку, розрахунок втрат і розубожіння та корисного компонента в ній, зйомку шахтних підземних виробок, уточнення контурів рудних покладів, підрахунок промислових запасів експлуатаційного блоку, розрахунок втрат і розубожіння руди та корисного компонента в ній, а також ступінь підготовленості руд до виїмки (розкриті, підготовлені та готові), вирішення геолого-маркшейдерських завдань та планування гірничих робіт. Запропоновані відповідні методи та засоби дозволяють також підвищити їх якість та прискорити процес обробки зйомок і щодобового поповнення вихідними даними моделей.

Найбільша ефективність системи досягається при її використанні у процесах проектування та планування гірничих робіт. Тому доцільним є застосування модулів планування та проектування у технічному та проектному відділах шахти. Для забезпечення інформаційного обміну між елементами системи використовують локальну мережу. Таким чином, існує можливість підвищити якість відпрацювання уранових родовищ, ефективність планування гірничих робіт, їхню рентабельність, що є важливим фактором існування підприємства в умовах ринку.

Основними носіями деталізованих, проміжних та фінальних результатів (запаси, кондиції, економічна оцінка, стратегія відпрацювання), а водночас середовищем взаємодії різнорідних моделей є каркасно-блокова модель обсягу. В ній весь простір, що включає об'єкт оцінки, представлений як динамічний масив блоків прямокутної форми, кожен з яких містить вектор параметрів (кількісних, якісних, умовно-імовірнісних). Інші моделі так чи інакше «проектуються» на вищезгадані та у такий спосіб описують всі властивості обсягу, починаючи з геології та закінчуючи стратегією відпрацювання. В основу технології ГЕО покладено інформацію про дані випробування, в результаті чого створюється первинна модель передобробки, яка дозволяє побудувати точкову та інтервальну модель випробування, моделі розрізів, що перетинаються, і поверхонь з урахуванням просторової мінливості геологічних характеристик. Твердотільна блокова та каркасна моделі обсягу з використанням економічних показників забезпечують багатоваріантні розрахунки з обґрунтуванням моделі запасів, а також економічні моделі. Завершальними моделями є моделі проекту відпрацювання та економічна модель (Рудько та ін., 2015; Назаренко, 2016).

Моделювання та оцінка ресурсів. Означене дозволяє виконувати такі роботи: створення 3D моделей родовищ – аналіз наявних результатів виконаних геологорозвідувальних та дослідницьких робіт на ділянці родовища та оцінка перспектив розвідки та приросту запасів; створення баз даних за наявними результатами геологорозвідувальних робіт; експертиза та складання проєктів геологорозвідувальних робіт; техніко-економічне обґрунтування кондицій з ГЕО запасів та ресурсів родовищ та захистом їх у кортикостероїдах; оцінка запасів/ресурсів мінеральної сировини за міжнародними стандартами (CRIRSCO, JORC, NI 43-101, PERC та ін.); надання консультаційних послуг у галузі надрокористування (технічний супровід реєстрації робіт, пов'язаних з геологічним вивченням надр у ДНВП «Геоінформ України»); підготовка пакету геологічної документації для отримання спеціального дозволу на користування надрами та ін.

Тривимірна модель родовища дозволила використати геоінформаційну систему типу ГІС K-MINE® при створенні геологічної моделі Новокожантинівського родовища урану складної

структури (Україна). У найближчій перспективі розглядається питання можливості створення детальної моделі тектонічних порушень по означеному родовищу. Створення такої моделі вимагатиме внесення до БД даних про тектоніку по свердловинах. У результаті буде реалізована можливість підвищити якість проєктування гірничих та буропідливних робіт, а також уточнити простягання рудних покладів на глибоких горизонтах (Рудько та ін., 2018).

Оцінка одержаних результатів. Враховуючи обмеженість інформації, що характеризує рудні тіла, а також з метою скорочення витрат інженерної праці, трудомісткості розрахунків та їх оперативності, як приклад, результати нормованих показників для уранового родовища з урахуванням $\alpha_m = 0,038$; $\alpha_g = 0,264$; $X_n = 0,27$ наведені у табл. 3.

Для раціонального використання та охорони надр, підвищення ефективності роботи гірничодобувних підприємств та безпечного ведення гірничих робіт під час відпрацювання крутопохилих покладів складної структури камерними системами із закладкою (до 80 %), а при куті падіння

Таблиця 3. Нормативи розубожіння при відбійці руди по системі розробки під поверховими штреками із закладкою виробленого простору сумішню, що твердіє

Потужність рудних покладів, м	Показник складності приконтурної зони*, ум. од.	Розубожіння руди, %				
		При відбійці	Самообвалення під час випуску	До РКС**	Відсортування на РКС	Після РКС
3-4	2	43,8	2,0	44,9	8,5	39,8
3-4	1,5	38,6	2,2	40,0	8,0	34,8
3-4	1	32,5	2,4	34,1	7,5	28,8
3-4	0,9	31,6	2,6	33,4	7,0	28,4
4-6	0,85	31,4	2,8	33,3	6,6	28,6
4-6	0,8	31,1	3,0	33,2	6,2	28,7
4-6	0,75	30,9	3,2	33,1	5,8	29,0
4-6	0,7	30,5	3,4	32,8	5,4	29,0
6-8	0,65	30,3	3,6	32,8	5,0	29,3
6-8	0,6	30,0	3,8	32,7	4,6	29,4
6-8	0,55	29,7	4,0	32,5	4,2	29,6
6-8	0,5	29,4	4,2	32,4	3,9	29,6
8-11	0,45	29,1	4,4	32,2	3,5	29,8
8-11	0,4	28,7	4,6	32,0	3,1	29,9
8-11	0,35	28,5	4,8	31,9	2,7	30,0
8-11	0,3	28,4	5,0	32,0	2,3	30,4
8-11	0,25	27,9	5,2	31,6	2,0	30,2
11-15	0,2	27,5	5,4	31,4	1,6	30,4
11-15	0,15	27,2	5,6	31,3	1,2	30,4
11-15	0,1	26,9	5,8	31,2	0,8	30,6

* Показник складності приконтурної зони β , який дорівнює відношенню площ приконтурної зони S_a до балансової руди S_b , виміряні по геологічному контуру рудного тіла відповідно до виразу: $\beta = S_a \times S_b^{-1}$.
 ** РКС – рудоконтрольна станція.

менше 40–45° – шаровими системами виїмки руди у висхідному порядку із закладкою (до 20 %) спеціалістами ДП «УкрНДППромтехнології» (м. Жовті Води, Україна) розроблено та узгоджено з Держгірпромнаглядом «Інструкцію із нормування запасів руд, підготовлених та готових до виїмки на шахті «Новокосянтинівська» ДП «Східний ГЗК» (науковий керівник – В.І. Ляшенко). Розрахунок нормативних показників підготовленості до виїмки запасів руд та вмісту металу в них здійснено із урахуванням техніко-економічного обґрунтування «Технології відпрацювання Новокосянтинівського рудного родовища самохідною технікою» (табл. 4).

Ефективність від впровадження ГІС K-MINE®. Застосування ГІС K-MINE® дає можливість здійснювати: багатоваріантне моделювання, планування, проектування, прогнозування та аналіз ведення гірничих робіт; оперативний та перспективний підрахунок та перерахунок запасів, кон-

троль їх руху; отримання необхідних розрахункових даних та графічного матеріалу для подання їх у ДКЗ. Зокрема, затвердження кондицій та запасів родовищ; перерахунок запасів корисних копалин; списання запасів корисних копалин; виконання ГЕО запасів всього родовища та його окремих ділянок. Максимальна ефективність використання системи може бути досягнута при спільному використанні її модулів різними службами підприємства (Ляшенко та ін., 2007 а, б).

Перспективні напрями досліджень. Автори вважають за доцільне використовувати практичний досвід проведення дистанційного навчання фахівців при роботі з ГІС. За наявності в системі мультимовного інтерфейсу з'являється можливість підключення відповідних мовних словників зробити її зрозумілою для іноземних фахівців. Це дозволить суттєво підвищити кількість навчених фахівців у всьому світі, що особливо актуально під час пандемій типу COVID-19 та інших обмежень.

Таблиця 4. Показники підготовленості до вилучення запасів руд і металу

Найменування показників		Символи	За системами розробки		Загальні показники по шахті	
			Камерна із закладкою $j = 1$	Шарові із закладкою $j = 2$		
Нормативні запаси руди до виїмки	Готові:	тис. т	Q_2	600,0	47,0	647,0
		місячні норми видобутку	T_2	3,58	1,11	4,69
	Підготовлені:	тис. т	Q_n	3600,0	987,0	4587,0
		місячні норми видобутку	T_n	21,48	23,31	44,79
Нормативні запаси металу до виїмки	Готові:	т	Q'_2	473,0	42,6	515,6
		місячні норми видобутку	T'_2	3,6	1,12	4,72
	Підготовлені:	т	Q'_n	2838,0	894,6	3732,6
		місячні норми видобутку	T'_n	21,6	23,52	45,12
Співвідношення підготовлених та готових до виїмки запасів руд, од.		$\frac{Q_n}{Q_2}$	6,0	21,0	9,55	
		$\frac{T_n}{T_2}$	6,0	21,0	9,55	
Питома вага системи розробки з видобутку руди, частки од.			τ_j	0,80	0,20	1,00
Питома вага системи розробки з видобутку металу, частки од.			τ'_j	0,77	0,23	1,00
Річний плановий обсяг видобутку руди, тис. т			A_2	2000,0	500,0	2500,0
Річний плановий обсяг видобутку металу, т			A'_2	1560,0	456,0	2016,0
Місячний плановий обсяг видобутку руди, тис. т			A_m	168,0	42,0	210,0
Місячний плановий обсяг видобутку металу, т			A'_m	130,0	38,0	168,0

В цілому, в роботі авторами наведено системний аналіз матеріалу, який присвячено актуальній проблемі підвищення еколого-геологічної безпеки та еколого-технологічної ефективності видобутку урановорудної сировини родовищ Придніпров'я, які мають складні гірничотехнологічні умови та масштабні порушення геотехнічної стійкості геологічного середовища. Виконаний аналіз можливих змін еколого-геологічних параметрів і економічних показників безпечної розробки уранового рудопородного масиву має достатню актуальність та наукову новизну. Одержані результати досліджень дозволяють визначати, оптимізувати та контролювати втрати та розубожіння руди і металу в ній за рахунок встановлення оптимального контура відбивання руди у приконтурній зоні, а також ефективно керувати запасами руд, підготовленими та готовими до виїмки під час розробки родовищ складної структури.

На нашу думку, заслуговують на увагу такі нові науково-методичні положення:

- Відмічено, що для родовищ складної структури, якими є родовища урану, потрібно враховувати та деталізувати контур рудного тіла шляхом комплексного каротажу віялів геологорозвідувальних та буровибухових шпурів і свердловин.
- Запропоновано визначати оптимальний контур виїмки руди техніко-економічним розрахунком на основі загальноприйнятого економічного критерію – максимального прибутку на 1 т погашених балансових запасів або мінімальної сумарної шкоди (економічні наслідки), завданої 1 т втраченої руди Y_n і примішаних розубожених порід Y_p , коли ціни встановлені на рівні замикаючих витрат відповідно до виразу: $\alpha_m Y_n + \alpha_g Y_p \rightarrow \min$, де α_m , α_g – частини площ приконтурної зони руди і відповідно розубожених порід.
- Рекомендовано враховувати підтвердженість не лише запасів руди, але також і металу в ній за даними геолого-маркшейдерського, методичного та приладного забезпечення з урахуванням практичного досвіду відпрацювання аналогічних рудних родовищ.
- Методами математичної статистики удосконалена оцінка залежності загального коефіцієнта резерву (його величина знаходиться в межах 1,30–1,45) для ефективного керування запасами руд, підготовленими та готовими до виїмки під час розробки родовищ складної

структури. Він має враховувати не лише технологічну надійність роботи шахти з видобування руди та металу в ній, а також і надійність підтверджуваності запасів надр.

Висновки

Показано, що управління вилученням запасів та досягнення нормативів відпрацювання надр забезпечується геологічною, маркшейдерською та технологічною службами гірничих підприємств шляхом якісної випереджувальної розвідки (розбурювання проміжних віял геологорозвідувальних свердловин здійснюється через 25 м, контрольних свердловин – через 5–10 м та буровибухових шпурів і свердловин – через 1,2–1,5 м) та побудови рудних контурів із використанням дозиметрів-радіометрів з ОЗП та занесенням цих даних до комп'ютера.

Відмічено, що український ринок на сьогоднішній день широко представлений електронними тахеометрами, а також радіометричними та геофізичними приладами провідних виробників типу Sokkia, Trimble, Topcon, Nicon, Leica, ДКС-96М тощо. Геофізичні прилади та системи із ОЗП типу ОХРА-1М спрощують занесення даних до бази комп'ютера за спеціальними програмами типу Surfer або ГІС K-MINE®, ВЕНТСИМ тощо. Їх реалізація за допомогою АС ГЕО типу ГІС K-MINE® сприяє вирішенню прикладних питань ГЕО запасів родовищ корисних копалин.

Враховуючи обмеженість інформації, що характеризує рудні тіла складної структури, а також із метою скорочення витрат інженерної праці, трудомісткості розрахунків та їх оперативності, результати нормованих показників розубожіння при відбійці руди по системі розробки під поверховими штреками із закладкою виробленого простору сумішшю, що твердіє, для уранового родовища рекомендовано відповідні розрахунки виконувати з урахуванням установлених показників $\alpha_m = 0,038$; $\alpha_g = 0,264$; $X_n = 0,27$, а також потужності рудних покладів, складності приконтурної зони під час відбійки, самообвалення при випуску гірничорудної маси під час її випуску та доставки до рудоконтрольної станції (РКС), її відсортування на РКС та після РКС. Доведено, що у приконтурній зоні камери коефіцієнти розубожіння руди досягають 60–70 % від загальних величин, а в середньому по експлуатаційному блоку сягають 29–32 %. Встановлені також коефіцієнти резерву, що враховують підтвердженість запасів руди (становить 1,10) та металу в ній (сягає 1,05).

Наведені значення підготовленості запасів до видобування, визначені по руді, відрізняються на 10–15 % від аналогічних значень по металу, а показники вилучення корисних копалин із надр – від характеристики елементів залягання рудних покладів (коефіцієнти втрат і розубожіння по металу становлять близько 75 % аналогічних показників, визначених за рудою).

Складено альбоми-каталоги, методики до них, розроблено спеціалізовані комп'ютерні модулі на базі ГІС K-MINE®. Запропоновані графоаналітичні, табличні та комп'ютерні методи розрахунку спрощують керування та контролювання вилучення запасів корисних копалин із надр. Розроблено та узгоджено з Держгірпромнаглядом «Інструкцію із нормування запасів руд, підготовлених та готових до виїмки на шахті «Новокосятинівська» ДП «Східний ГЗК».

Сучасний напрям розвитку методів управління запасами надр базується на широко-масштабному використанні обчислювальної техніки (персональних комп'ютерів – ПК) та проведенні експерименту, що забезпечує імітацію

динаміки гірничих робіт на основі створення автоматизованих баз даних з гірничо-геологічних та гірничотехнологічних умов ведення гірничих робіт із використанням засобів машинної графіки. Означене дозволить деталізувати контур рудного тіла шляхом каротажу віялів вибухових свердловин та занесення цих даних у ПК, визначати, оптимізувати та контролювати втрати і розубожіння руди, а також раціонально використовувати та охороняти надра.

Подяки. Автори висловлюють велику вдячність за цінні і конструктивні зауваження і рекомендації спеціалістам та викладачам кафедр «Автоматизовані електромеханічні системи у промисловості і транспорті», «Комп'ютерні системи і мережі», «Охорони праці та цивільної безпеки» Криворізького національного університету (Україна) М.В. Назаренку, Н.В. Назаренко, С.А. Хоменку, С.С. Барановському та ін., а також фахівцям ТОВ «Науково-промислове підприємство КАІ» (Україна), ДП «УкрНДППромтехнології» (Україна), ДП «СхідГЗК» (Україна) та ін. Окрема подяка рецензентам статті.

Наведено наукові і практичні результати дослідження та оцінки запасів корисних копалин на основі автоматизованого геоінформаційного системного забезпечення на прикладі Новокосятинівського родовища урану. Це забезпечить створення баз даних гірничо-геологічних та гірничотехнологічних умов ведення гірничих робіт із використанням засобів машинної графіки, що дозволить деталізувати контур рудного тіла шляхом каротажу віялів розвідувальних та вибухових свердловин. Полегшить також управляти підготовленістю запасами руди та металу в ній до виїмки. В ході дослідження використано дані літературних джерел та документації в галузі підземної розробки рудних родовищ складної структури. При відборі даних було задіяно класичні методи кластеризації. Найбільш практичними вважаються метод зворотних зважень відстаней, спайн, тренд, крикінг тощо. При створенні моделей використано методи математичної статистики, кореляційні методи, визначення різницевого рівнянь із застосуванням рівняння Вінера–Хопфа, класичні та нові методи багатозв'язкових систем за участю авторів. Доведено, що у приконтурній зоні камери коефіцієнти розубожіння руди досягають 60–70 % від загальних величин, а в середньому по експлуатаційному блоку становлять 29–32 %. Запропоновано визначати оптимальний контур виїмки руди техніко-економічним розрахунком на основі загальноприйнятого економічного критерію – максимального прибутку на 1 т погашених балансових запасів або мінімальної сумарної шкоди (економічні наслідки), завдані 1 т втраченої руди і примішаних розубожених порід, коли ціни встановлені на рівні замикаючих витрат. Встановлено коефіцієнти резерву, що враховують підтвердженість запасів руди (сягає 1,10) та металу в ній (дорівнює 1,05). Обґрунтовано загальний коефіцієнт резерву (його величина знаходиться в межах 1,30–1,45) для раціонального використання та охорони надр під час розробки родовищ складної структури. Показано, що загальний коефіцієнт резерву має враховувати не лише технологічну надійність роботи шахти з видобутку руди та металу в ній, а також підтвердженість запасів надр. Зокрема, значення підготовленості запасів до видобутку, визначені по руді, відрізняються на 10–15 % від аналогічних значень по металу, а показники вилучення корисних копалин із надр – від характеристики елементів залягання рудних покладів (коефіцієнти втрат і розубожіння по металу становлять близько 75 % аналогічних показників, визначених за рудою). На основі отриманих даних складено альбоми-каталоги, методики до них, розроблено спеціалізовані комп'ютерні модулі на базі ГІС K-MINE®. Запропоновані графоаналітичні, табличні та комп'ютерні методи розрахунку спрощують керування та контролювання вилучення запасів корисних копалин із надр. Розроблено та узгоджено з Держгірпромнаглядом «Інструкцію із нормування запасів руд, підготовлених та готових до виїмки на шахті «Новокосятинівська» ДП «Східний ГЗК». Геофізичні прилади та системи з ОЗП спрощують занесення даних до бази комп'ютера за спеціальними програмами типу Surfer або ГІС K-MINE®, ВЕНТСИМ тощо. Їх реалізація за допомогою автоматизованої системи геолого-економічної оцінки типу ГІС K-MINE® полегшує вирішення прикладних питань ГЕО запасів родовищ корисних копалин. Одержані результати досліджень дозволяють визначати, оптимізувати та контролювати втрати і розубожіння руди та металу в ній за рахунок встановлення оптимального контура відбивання руди у приконтурній зоні, а також ефективно керувати запасами руд, підготовленими та готовими до виїмки під час розробки родовищ складної структури, якими є, зокрема, родовища урану. Сучасний напрям розвитку методів управління запасами підготовленості до виїмки базується на широко-масштабному використанні обчислювальної техніки (персональних комп'ютерів ПК) та проведенні експерименту, що забезпечує імітацію динаміки гірничих робіт на основі створення автоматизованих баз даних з гірничо-геологічних та гірничотехнологічних умов ведення гірничих робіт з використанням засобів машинної графіки.

Список літератури

- Добыча и переработка урановых руд в Украине: Чернов А.П. (ред.). Киев: АДЕФ, 2001. 238 с.
- Ляшенко В.І., Назаренко В.М., Назаренко М.В. Охороні надр – надійне інженерне та системне забезпечення. *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*. 2007а. № 4. С. 5–21.
- Ляшенко В.І., Назаренко В.М., Назаренко М.В. Рациональному використанню надр уранових родовищ надійне геолого-маркшейдерське та приладове забезпечення. *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*. 2007б. № 6. С. 5–19.
- Ляшенко В.І., Дудар Т.В., Стусь В.П., Шаповалов В.А. Обґрунтування ефективності та охорони надр при підземній розробці рудних родовищ традиційними технологіями в комбінації із вилуговуванням металів. *Мінер. ресурси України*. 2024. № 2. С. 69–77. <https://doi.org/10.31996/mru.2024.2.69-77>
- Назаренко М.В. Геоінформаційна система K-MINE: сьогодення та майбутнє. Використання геоінформаційної системи K-MINE у різних сферах діяльності: Зб. доп. III Міжнар. наук.-практ. семінару “SVIT GIS-2016”. Кривий Ріг: ФОП Чернявський Д.А., 2016. 280 с. ISBN: 978-617-7250-56-1.
- Рудько Г.І., Нецький О.В., Назаренко М.В., Хоменко С.А. Національні та міжнародні системи класифікації запасів і ресурсів корисних копалин: стан та перспективи гармонізації. Київ; Чернівці: Букрек, 2012. 240 с.
- Рудько Г.І., Ловинюков В.І. Національна класифікація запасів і ресурсів в контексті основних класифікацій світу. *Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування*: Матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф. Трускавець, 2015. С. 82–91.
- Рудько Г.І., Нецький О.В., Назаренко М.В. Геоінформаційні технології при геолого-економічному оцінюванні родовищ корисних копалин (на прикладі ГІС K-MINE®). *Geoinformatika*. 2018. № 3 (67). С. 14–24.
- Сердюк А.М., Стусь В.П., Ляшенко В.І. Екологія довкілля та безпека життєдіяльності населення у промислових регіонах України. Дніпропетровськ: Пороги, 2011. 486 с.
- Шумлянська Л., Пігулевський П., Віларраса В. Тривимірний модель густини під Українським щитом. *Науковий вісник національного гірничого університету*. 2024. № 2. С. 12–18. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-2/012>
- Apollaro C., Buccianti A., Vespasiano G., Vardè M., Fuoco I., Barca D., Bloise A., Miriello D., Cofone F., Servidio A., De Rosa R. Comparative geochemical study between the tap waters and the bottled mineral waters in Calabria (Southern Italy) by compositional data analysis (CoDA) developments. *Applied Geochemistry*. 2019. Vol. 107. P. 19–33.
- Alakangas L.J., Mathurin F.A., Åström M.E. Diverse fractionation patterns of Rare Earth Elements in deep fracture groundwater in the Baltic Shield – Progress from utilisation of Diffusive Gradients in Thin-films (DGT) at the Äspö Hard Rock Laboratory. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2020. Vol. 69. No. 269. P. 15–38.
- Ayuz M.T., Elçi A. Identification of the optimum groundwater quality monitoring network using a genetic algorithm based optimization approach. *Journal of Hydrology*. 2018. Vol. 563. P. 1078–1091.
- De Oliveira D.M., Sobral L.G.S., Olson G.J., Olson S.B. Acid leaching of a copper ore by sulphur-oxidizing microorganisms. *Hydrometallurgy*. 2014. Vol. 147–148. P. 223–227.
- Elskhaki A., ReckB.K., Graedel T.E. Anthropogenic nickel supply, demand, and associated energy and water use. *Resources, Conservation and Recycling*. 2017. Vol. 125. P. 300–307.
- Farlin J., Gallé T., Pittois D., Bayerle M., Schaul T. Groundwater quality monitoring network design and optimisation based on measured contaminant concentration and taking solute transit time into account. *Journal of Hydrology*. 2019. Vol. 573. P. 516–523.
- Fang H., Zhu J. Simulation of groundwater exchange between an unconfined aquifer and a discrete fracture network with laminar and turbulent flows. *Journal of Hydrology*. 2018. Vol. 562. P. 468–476.
- Ganapathy G.P., Zaalishvili V.B., Chandrasekaran S.S., Melkov D.A. Integrated monitoring of slope process in India and Russia. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2020. No. 12 (4). P. 572–581.
- Ghorbani Y., Franzidis J., Petersen P., Heap J. Leaching Technology – Current State, Innovations, and Future Directions. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2016. Vol. 37, No. 2. P. 73–119.
- Hebblewhite B. Fracturing, caving propagation and influence of mining on groundwater above longwall panels – a review of predictive models. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020. Vol. 30. P. 49–54.
- Hollis S.P., Mole D.R., Gillespie P., Barnes S.J., Cas R.A.F., Hildrew C., Pumphrey A., Goodz M. D., Caruso S., Yeats C.J., Verbeeten A., Belford S.M., Wyche S., Martin L.A.J. Ga plume associated VHMS mineralization in the Eastern Goldfields Superterrane, Yilgarn Craton: Insights from the low temperature and shallow water, Ag-Zn-(Au) Nimbus deposit. *Precambrian Research*. 2017. Vol. 291. P. 119–142.
- Jgamadzea A., Gabechavaa J., Gvakhariaa V., Sozashvilia D., Lebanidze B., Jebashvilia T., Maglakelidze A. Assessment of exploitation reserves of Nabeghlavi mineral water deposit. *Annals of Agrarian Science*. 2018. Vol. 16. P. 352–356.
- Luo Lu, Pang Z., Liu J., Hu Sh., Rao S., Li Y., Lu L. Determining the recharge sources and circulation depth of thermal waters in Xianyang geothermal field in Guanzhong Basin: The controlling role of Weibei Fault. *Geothermics*. 2017. Vol. 69. P. 55–64.
- Lin Mi, Biswas A., Bennett E.M. Identifying hotspots and representative monitoring area of groundwater changes with time stability analysis. *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 667. P. 419–426.
- Li H., Gu J., Hanif A., Dhanasekar A., Carlson K. Quantitative decision making for a groundwater monitoring and subsurface contamination early warning network. *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 683. P. 498–507.
- Maldaner C.H., Quinn P.M., Cherry J.A., Parker B.L. Improving estimates of groundwater velocity in a fractured rock borehole using hydraulic and tracer dilution methods. *Journal of Contaminant Hydrology*. 2018. Vol. 214. P. 75–86.
- Sebutsoe T.C., Musingwini C. Characterizing a mining production system for decision-making purposes in a platinum mine. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2017. Vol. 117. P. 199–206.
- Stupnik M., Kalinichenko O., Kalinichenko V., Pysmennyi S., Morhun O. Choice and substantiation of stable crown shapes in deep-level iron ore mining. *Mining of Mineral Deposits*. 2018. No. 12 (4). P. 56–62. <https://doi.org/10.15407/mining12.04.056.26>
- Stupnik M., Kalinichenko V., Fedko M., Pysmennyi S., Kalinichenko O., Pochtarev A. Methodology enhancement for determining parameters of room systems when mining uranium ore in the SE “SkhidGZK” underground mines, Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*. 2022. No. 16 (2). P. 33–41. <https://doi.org/10.33271/mining16.02>
- Zhan Sh., Wang T., Jeng F. Fracture characterization using hydrogeological approaches and measures taken for groundwater inrush mitigation in shaft excavation. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2018. Vol. 82. P. 554–567.

References

- Alakangas L.J., Mathurin F.A., Åström M.E. 2020. Diverse fractionation patterns of Rare Earth Elements in deep fracture groundwater in the Baltic Shield – Progress from utilisation of Diffusive Gradients in Thin-films (DGT) at the Äspö Hard Rock Laboratory. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 269: 15–38.
- Apollaro C., Buccianti A., Vespasiano G., Vardè M., Fuoco I., Barca D., Bloise A., Miriello D., Cofone F., Servidio A., De Rosa R. 2019. Comparative geochemical study between the tap waters and the bottled mineral waters in Calabria (Southern Italy)

- by compositional data analysis (CoDA) developments. *Applied Geochemistry*, 107: 19–33.
- Ayvaz M.T., Elçi A. 2018. Identification of the optimum groundwater quality monitoring network using a genetic algorithm based optimization approach. *Journal of Hydrology*, 563: 1078–1091.
- Chernov A.P. (Ed.). 2001. Mining and processing of uranium ores in Ukraine. Kyiv: ADEF (in Ukrainian).
- De Oliveira D.M., Sobral L.G.S., Olson G.J., Olson S.B. 2014. Acid leaching of a copper ore by sulphur-oxidizing microorganisms. *Hydrometallurgy*, 147–148: 223–227.
- Elshkaki A., Reck B.K., Graedel T.E. 2017. Anthropogenic nickel supply, demand, and associated energy and water use. *Resources, Conservation and Recycling*, 125: 300–307.
- Fang H., Zhu J. 2018. Simulation of groundwater exchange between an unconfined aquifer and a discrete fracture network with laminar and turbulent flows. *Journal of Hydrology*, 562: 468–476.
- Farlin J., Gallé T., Pittois D., Bayerle M., Schaul T. 2019. Groundwater quality monitoring network design and optimisation based on measured contaminant concentration and taking solute transit time into account. *Journal of Hydrology*, 573: 516–523.
- Ganapathy G.P., Zaalishvili V.B., Chandrasekaran S.S., Melkov D.A. 2020. Integrated monitoring of slope process in India and Russia. *Sustainable Development of Mountain Territories*, 12 (4): 572–581.
- Ghorbani Y., Franzidis J., Petersen P., Heap J. 2016. Leaching Technology – Current State, Innovations and Future Directions. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 37, 2: 73–119.
- Hebblewhite B. 2020. Fracturing, caving propagation and influence of mining on groundwater above longwall panels – a review of predictive models. *International Journal of Mining Science and Technology*, 30: 49–54.
- Hollis S.P., Mole D.R., Gillespie P., Barnes S.J., Cas R.A.F., Hildrew C., Pumphrey A., Goodz M.D., Caruso S., Yeats C.J., Verbeeten A., Belford S.M., Wyche S., Martin L.A.J. 2017. Ga plume associated VHMS mineralization in the Eastern Goldfields Superterrane, Yilgarn Craton: Insights from the low temperature and shallow water, Ag-Zn-(Au) Nimbus deposit. *Precambrian Research*, 291: 119–142.
- Jgamadzea A., Gabechavaa J., Gvakhariaa V., Sozashvilia D., Lebnidzea B., Jebashvilia T., Maglakelidzea A. 2018. Assessment of exploitation reserves of Nabeghlavi mineral water deposit. *Annals of Agrarian Science*, 16: 352–356.
- Li H., Gu J., Hanif A., Dhanasekar A., Carlson K. 2019. Quantitative decision making for a groundwater monitoring and subsurface contamination early warning network. *Science of the Total Environment*, 683: 498–507.
- Lin Mi, Biswas A., Bennett E.M. 2019. Identifying hotspots and representative monitoring area of groundwater changes with time stability analysis. *Science of the Total Environment*, 667: 419–426.
- Luo Lu, Pang Z., Liu J., Hu Sh., Rao S., Li Y., Lu L. 2017. Determining the recharge sources and circulation depth of thermal waters in Xianyang geothermal field in Guanzhong Basin: The controlling role of Weibei Fault. *Geothermics*, 69: 55–64.
- Lyashenko V.I., Dudar T.V., Stus V.P., Shapovalov V.A. 2024. Justification of the efficiency and protection of the subsoil during the underground development of ore deposits using traditional technologies in combination with metal leaching. *Mineral resources of Ukraine*, 2: 69–77. <https://doi.org/10.31996/mru.2024.2.69-77> (in Ukrainian).
- Lyashenko V.I., Nazarenko V.M., Nazarenko M.V. 2007a. Subsurface protection – reliable engineering and system support. *Environmental ecology and life safety*, 4: 5–21 (in Ukrainian).
- Lyashenko V.I., Nazarenko V.M., Nazarenko M.V. 2007b. Reliable geological surveying and instrument support for the rational use of uranium deposits. *Environmental ecology and life safety*, 6: 5–19 (in Ukrainian).
- Maldaner C.H., Quinn P.M., Cherry J.A., Parker B.L. 2018. Improving estimates of groundwater velocity in a fractured rock borehole using hydraulic and tracer dilution methods. *Journal of Contaminant Hydrology*, 214: 75–86.
- Nazarenko M.V. 2016. Geoinformation system K-MINE: present and future. Use of geoinformation system K-MINE in various spheres of activity: Collection of reports of the 3rd International Scientific and Practical Seminar “SVIT GIS-2016”. Kryvyi Rih: D.A. Chernyavskiy Publishing House, 2016. ISBN: 978-617-7250-56-1 (in Ukrainian).
- Rudko G.I., Lovinyukov V.I. 2015. National classification of reserves and resources in the context of the main classifications of the world. *Nadrokoristuvannya in Ukraine. Investment prospects: Materials of the 2nd International Scientific and Practical Conference*. Truskavets, pp. 82–91 (in Ukrainian).
- Rudko G.I., Netskiy O.V., Nazarenko M.V. 2018. Geoinformation technologies for geological and economic assessment of genus of bark copalina (using GIS K-MINE®). *Geoinformatika*, 3 (67): 14–24 (in Ukrainian).
- Rudko G.I., Netskiy O.V., Nazarenko M.V., Khomenko S.A. 2012. National and international systems for the classification of reserves and mineral resources: the state and prospects of harmonization: monograph. Kyiv; Chernivtsi: Bukrek (in Ukrainian).
- Shumlianska L., Pigulevskiy P., Vilarrasa V.(2024). THREE-DIMENSIONAL DENSITY MODEL OF THE MANTLE BENEATH THE UKRAINIAN SHIELD. *Naukovi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu* (2). 12–18. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-2/012>
- Sebutsoe T.C., Musingwini C. 2017. Characterizing a mining production system for decision-making purposes in a platinum mine. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 117: 199–206.
- Serdyuk A.M., Stus V.P., Lyashenko V.I. 2011. Ecology and livelihoods of the population in the industrial regions of Ukraine. Dnipropetrovsk: Porohy (in Ukrainian).
- Shumlianska L., Pigulevskiy P., Vilarrasa V.(2024). Three-dimensional density model of the mantle beneath the ukrainian shield. *Naukovi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2): 12–18. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-2/012>
- Stupnik M., Kalinichenko O., Kalinichenko V., Pysmennyi S., Morhun O. 2018. Choice and substantiation of stable crown shapes in deep-level iron ore mining. *Mining of Mineral Deposits*, 12 (4): 56–62. <https://doi.org/10.15407/mining12.04.056.26>
- Stupnik M., Kalinichenko V., Fedko M., Pysmennyi S., Kalinichenko O., Pochtarev A. 2022. Methodology enhancement for determining parameters of room systems when mining uranium ore in the SE “SkhidGZK” underground mines, Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 16 (2): 33–41. <https://doi.org/10.33271/mining16.02>
- Zhan Sh., Wang T., Jeng F. 2018. Fracture characterization using hydrogeological approaches and measures taken for groundwater inrush mitigation in shaft excavation. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 82: 554–567.

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.3.284381>

УДК 528.952:553.3/4 (477)

E-mail: svilya@ukr.net,
<https://orcid.org/0000-0003-3936-9561>;
vnn@hneu.net,
<https://orcid.org/0000-0002-1354-4838>;
geology7@ukr.net,
<https://orcid.org/0000-0002-6430-4148>;
elena.titania2305@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-1955-1270>

*Corresponding author /
Автор для кореспонденції:
T.V. Okholina, svilya@ukr.net

Received / Надійшла до редакції:
11.07.2023

Received in revised form /
Надійшла у ревізованій формі:
30.08.2024

Accepted / Прийнято:
30.08.2024

Keywords: Ti-Zr placer; integral indicator; priority area; titanium; ilmenite; vertical reserve, ArcGIS.

Ключові слова: титано-цирконієвий розсип; інтегральний показник; пріоритетна ділянка; титан; ільменіт; вертикальний запас; ArcGIS.

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2024. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2024. This is an Open Access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Використання інтегрального показника для визначення пріоритетних ділянок титано-цирконієвих розсипів

T.V. Okholina^{1*}, N.M. Vnukova^{2,3}, G.O. Kuzmanenko¹, O.O. Remezova^{1,4}

¹Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна; ²Харківський національний економічний університет ім. Семена Кузнеця, Харків, Україна; ³Науково-дослідний інститут правового забезпечення інноваційного розвитку Національної академії правових наук України, Харків, Україна; ⁴Державний університет «Житомирська політехніка», Житомир, Україна

Using the integral indicator to determine Ti-Zr priority areas of placers

T.V. Okholina^{1*}, N.M. Vnukova^{2,3}, H.O. Kuzmanenko¹, O.O. Remezova^{1,4}

¹Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine; ²Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine; ³Scientific and Research Institute of Providing Legal Framework for the Innovative Development of the National Academy of Law Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine; ⁴Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine

The article presents the author's method of selection of priority areas of Ti-Zr placers using an integral indicator. As you know, the integral indicator is the ratio of the total beneficial effect from the development of the deposit to the total costs of operation, it is calculated as the difference between the value of conventional ilmenite (according to the US Geological Survey) (Mineral Commodity..., 2023) and the cost of obtaining overburden and processing the productive layer.

Based on the methodology developed and presented in the article, an experiment was conducted on the data of one of the placer deposits located within the Ukrainian placer sub-province. It is proposed to develop it in small blocks that ensure high productivity, minimal impact on the environment and allow replenishment the mineral and raw material base of the titanium industry of Ukraine.

This technique can be used at any deposit of titanium-zirconium ores both in Ukraine and abroad.

Цитування: Охоліна Т.В., Внукова Н.М., Кузьманенко Г.О., Ремезова О.О. Використання інтегрального показника для визначення пріоритетних ділянок титано-цирконієвих розсипів. *Геологічний журнал*. 2024. № 3 (388). С. 79–88. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.3.284381>

Citation: Okholina T.V., Vnukova N.M., Kuzmanenko H.O., Remezova O.O. 2024. Using the integral indicator to determine Ti-Zr priority areas of spreads. *Geologichnij zhurnal*, 3 (388): 79–88. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.3.284381>

Вступ

Руди титану, як зазначено у Загальнодержавній програмі розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 р. (Про затвердження..., 2011), віднесено до стратегічних видів мінеральної сировини. Військовий стан з 2022 р. суттєво вплинув на розвиток мінерально-сировинної бази України. Незважаючи на наявність потужної сировинної бази, титанова галузь перебуває у глибокій кризі.

Розвиток титанової промисловості є одним із шляхів повоєнного відновлення економіки України (Геєць, 2023; Шехунова, 2023). Ця стратегічно важлива галузь забезпечить створення конкурентоспроможної продукції, захоплення цільового сегменту на світовому ринку та визначатиме місце України в міжнародних рейтингах.

Ресурсна база титану України представлена корінними, залишковими і розсипними типами. Видобувні потужності титанової промисловості України пов'язані з розсипами, з яких видобувають ільменітові, рутилові та лейкоксенові руди. З огляду на те, що розсипи поступово виснажуються, нові детально не вивчені, а існуючі мають короткий термін експлуатації 10–15 років, об'єкти титанових руд потребують комплексного підходу до оцінки родовищ та їх розробки для забезпечення їх конкурентоспроможності та інвестиційної привабливості.

Мета роботи полягає у визначенні пріоритетних площ першочергового освоєння в межах титано-цирконієвих розсипів із застосуванням інтегрального показника.

Завданням дослідження є:

- розробка комплексного підходу до оцінки родовищ та їх освоєння з використанням системи Arc GIS для забезпечення їх конкурентоспроможності та інвестиційної привабливості;
- застосування геолого-структурного та геолого-економічного моделювання титан-цирконієвих розсипів для прогнозування та пошуків перспективних ділянок.

Аналіз попередніх досліджень

Засоби картування та просторового статистичного аналізу даних, зокрема такі як програмні продукти Esri, вже кілька десятиліть застосовуються при обробці масивів геологічної інформації для вирішення широкого спектру задач. Серед них побудова геологічних моделей осадових формацій та їх аналіз для визначення

ділянок з певним комплексом характеристик (до прикладу, Шехунова, Лобасов 2001; Гребеніков, Лобасов, 2003; Шехунова та ін., 2006, 2015; Костріков, 2009; Лобасов та ін., 2010; Сюмар, 2011 та ін.), прогнозування та оцінка ризиків проявів небезпечних геологічних процесів (Khadka et al., 2018; Kril, Shekhunova, 2019; Shekhunova et al., 2019, 2020, 2022; Lombardo et al., 2021 та ін.).

У багатьох наукових працях наведено приклади побудови моделей різних геологічних об'єктів з використанням програмного забезпечення на базі ArcGIS (Долинський, 2014; Ma, Fan, 2018; Chen, Hurter, 2019). У монографії (Хрущов та ін., 2017) подано методику побудови цифрових структурно-літологічних моделей з використанням ArcGIS, а також представлено моделі титанових і титано-цирконієвих розсипів України. Подальше моделювання титано-цирконієвих розсипів було зосереджено на виявленні закономірностей накопичення ільменіту та інших корисних мінералів, характеристик середовища, в якому відбувалося транспортування і перевідкладення мінералів, а також формування пасток. Дещо модифікований підхід до моделювання розсипних родовищ запропоновано в роботі (Remezova et al., 2021). Автори проаналізували особливості моделювання різних розсипних об'єктів: розсипів важких мінералів (ільменіту, каситериту, золота), мінералів рідкісних металів та бурштину. Методичний комплекс робіт розділений на два блоки: прогнозно-палеорекоструктивна ретроспективна статична модель та комплексна еколого-геологічна модель локального геологічного об'єкта. Остання включає субмоделі підпорядкованих рангів, зокрема структурно-літологічну субмодель. У монографії (Хрущов та ін., 2017) в методологію побудови таких моделей введено поняття системи формація-речовина розсипоутворення. На її основі розроблено схему осадконакопичення у басейні Субпаратетису у середньо-новопетрівський період (основний етап розсипоутворення).

В роботі (Крошко, 2016) враховано подібність геологічної будови та палеогеоморфологічних умов формування ільменітових розсипів нижньої крейди Іршанського та Новомиргородського розсипних полів. Зроблено висновок, що перспективними для подальшого розвитку є розсипи, пов'язані з Лебедин-Балакліївською палеодолиною. За допомогою ГІС-технологій побудовано структурно-літологічні цифрові моделі, які виявили зв'язок концентрацій ільменіту

з виділеними мікро- та літофаціями, які пов'язані з палеорельєфом, а також проаналізовано розподіл товщини ільменітвміщуючих відкладів у межах розсипів.

Іншим напрямом моделювання є розробка систем управління якістю ільменітової сировини, що включає такі аспекти: геолого-маркшейдерське забезпечення управління якістю руд; геолого-технологічне картування (геометризація) руд; рудопідготовка (просіювання, сортування та сепарація руд). Такий підхід запропоновано на Лемненському родовищі (Левицький, Чайковський, 2016).

Оскільки розсипні родовища мають нерівномірний розподіл корисних копалин, який залежить від багатьох факторів, невіршеним залишається питання виділення пріоритетних ділянок з найбільш сприятливими показниками для видобування корисних копалин. Подібний підхід до вибору найбільш привабливих ділянок на основі геолого-економічних показників застосований на родовищі ільменіту Gondicum в Австралії. Залежно від літологічних відмінностей порід і типу пасток виділені ділянки з різним вмістом ільменіту (Tear et al., 2014). Аналогічні дослідження проводилися в Туреччині, де вивчалися комплексні розсипи (аланіт, шевкініт, титаніт, бетафіт, циркон, магнетит), сформовані в результаті вивітрювання та ерозії туфів. Родовище Аксу-Діамас є типовим для інших родовищ рідкісноземельних елементів як з геологічної точки зору, так і щодо ймовірних методів видобування. Тому для моделі розробки цього родовища використані гірничотехнічні рішення для аналогічних розсипів, які відомі в Австралії. Ділянки обрано з різною кількістю ресурсів та геологічними умовами видобування (Sides, 2011).

Матеріали і методи досліджень

Враховуючи наявний міжнародний досвід побудови моделей родовищ та власний доробок авторів цього дослідження, методика побудови моделі розсипного родовища складається з кількох етапів.

На першому етапі нами обрано геологічний об'єкт шляхом рейтингової порівняльної геолого-економічної оцінки. Ранжування проведено за геологічними (товщина продуктивної товщі, коефіцієнт розкриття та складність геологічної будови), якісними (вміст ільменіту в пісках, шкідливі домішки і зміненість ільменіту) та економічними показниками (термін окупнос-

ті, коефіцієнт розкриття, складність геологічної будови, промислове значення об'єктів). Ця методика детально описана у роботі (Охолона, Кузьманенко, 2023). Використання бальної шкали дає змогу порівнювати об'єкти з різним ступенем вивченості і може застосовуватись для визначення перспективності будь-якого родовища серед низки об'єктів, навіть за обмеженої інформації.

Наступним етапом є визначення в обраному об'єкті ділянок першочергового освоєння. Авторами розроблено структуру бази даних по обраному родовищу та здійснено її наповнення необхідними для моделювання показниками. Вихідними матеріалами є результати геолого-розвідувального буріння, які включають дані випробування свердловин.

Проводилось коригування координат свердловин з метою достовірної оцінки параметрів родовища. На цій основі побудовано серію карт родовища за обраними показниками (ільменіт, рутит, циркон, дистен+силіманіт та ін.).

Важливим завданням для моделювання розсипів на цьому етапі є визначення певних критеріїв для відбору найбільш сприятливих ділянок. Для цього запропоновано інтегральний показник. Він розраховується як різниця між вартістю умовного ільменіту (за даними Геологічної служби США) (Mineral Commodity..., 2022) та вартістю виймання розкритих порід і переробки продуктивного пласта. Для побудови геолого-економічних моделей також запропоновано поняття «вертикальний запас», який характеризує багатство родовища на метал (у нашому випадку ільменіт, лейкоксен, рутит – мінерали титану) на окремих його ділянках. Середній вертикальний запас для будь-якої ділянки дорівнює загальній кількості видобутого з неї ільменіту, поділеній на площу. Являючи собою добуток потужності рудоносною товщі на вміст металу в ній, вертикальний запас враховує зміни обох величин (Билибин, 1955).

Алгоритм визначення першочергових ділянок для відпрацювання титано-цирконієвих розсипів надано в таблиці.

Аналогічну методологію використано для побудови геолого-економічної моделі Торчинського залишкового родовища ільменіту. Елементами моделі були карти вертикального розподілу запасів, товщини рудного пласта і розкритих порід, а також розподілу інтегрального показника. На основі аналізу моделі

Таблиця. Алгоритм визначення найбільш перспективних ділянок для відпрацювання титано-цирконієвих розсипів

Table. Algorithm for identifications of the most promising areas for the development of titanium-zirconium placers

Етап	Сутність дій	Результат
Перший	Вибір геологічного об'єкта за рейтинговою порівняльною геолого-економічною оцінкою	Обрання для оцінки (експерименту) геологічного об'єкта
Другий	Створення бази геологічних даних обраного об'єкта та перевірка даних у ГІС	Відображення фактичних параметрів родовища
Третій	Побудова картографічних шарів розподілу корисних компонентів у межах об'єкта по горизонтальних площинах	Візуалізація розподілу корисного компонента(ів) у межах об'єкта
Четвертий	Побудова електронних карт розподілу вертикального запасу та інтегрального показника корисних компонентів	Кarti вертикального запасу, який визначає просторовий розподіл корисної копалини, та карти інтегрального показника, який відповідає за фінансову частину в межах родовища
П'ятий	Побудова класифікацій значень основних параметрів для відображення їх розподілу по шарах карти	Класифікація для розподілу ділянок за перспективністю
Шостий	Виділення перспективних ділянок за класифікованими основними значеннями в межах родовища	Виділені в межах родовища перспективні ділянки
Сьомий	Виділення першочергових ділянок шляхом ранжування перспективних ділянок для встановлення послідовності розробки частин родовища	Обрання першочергових ділянок, відпрацювання яких є найбільш вигідним

родовище поділено на блоки залежно від рентабельності видобутку. Запропоновано послідовну розробку окремих відносно невеликих кар'єрів замість одного великого кар'єру, що оптимізує вплив на навколишнє середовище (Яременко, 2016).

Результати досліджень

Геологічна будова родовища. Умовне розсипне родовище ільменіт-рутил-цирконієвих руд розташоване в межах Української розсипної субпровінції, на північно-східному схилі Українського щита. Промислові концентрації титан-цирконієвих руд приурочені до піщаних відкладів новопетрівської світи міоцену. Продуктивний пласт має субширотне простягання довжиною до 25 км, шириною 10–12 км.

У розрізі розсип розділяється на два пласти, які в південно-західній частині зливаються в один, що робить це родовище складним за геологічною будовою. Верхній пласт є основним промисловим рудним тілом, у ньому зосереджено до 90 % мінералів важкої фракції. Товщина пласта коливається від 2,0 до 20,7 м, площа його поширення – 78,5 км². Товщина розкривних порід варіює від 1,5 до 52,4 м. Нижній пласт залягає глибше на 0,2–11,0 м від верхнього. Його товщина змінюється від 0,1 до 8 м (у середньому 5,69 м), а товщина проміжних розкривних порід – до 11,0 м.

Характер шаруватості, ступінь сортування й обкатаність зерен, присутність збагачених рудними мінералами шарів свідчать про накопичення товщі пісків у прибережній зоні. Піски середньої пачки новопетрівської світи поширені майже по всій площі її розвитку. Товщина їх становить 5,0–10,0 м, а місцями збільшується до 20,0–25,0 м.

Для обраного об'єкта створено просторову базу даних, в яку увійшли результати аналізів вмісту ільменіту, рутилу, циркону, дистен+силіманіту, ставроліту у породах пласта, параметри покладу корисної копалини (абсолютні відмітки поверхні та підшови, абсолютні відмітки устя свердловин, товщина покладу) тощо. Приклад бази геологічних даних зображено на рис. 1.

Наступним кроком була перевірка даних для відхилення свердловин, які були помилковими, або перевірка статистичних даних (див. рис. 1), для відображення фактичних параметрів родовища.

Після перевірки даних створено цифрові карти, що складаються з шарів за заданими параметрами. Якщо в межах об'єкта є тільки один корисний компонент, створюється один шар, а якщо їх декілька, то для кожного корисного компонента створюється окремий шар. На рис. 2 показано створення шарів одного з розсипних родовищ титано-цирконієвих руд, яке є комплексним, тобто в межах родовища присутні такі корисні компоненти, як ільменіт, рутил, циркон, дистен+силіманіт та ін.

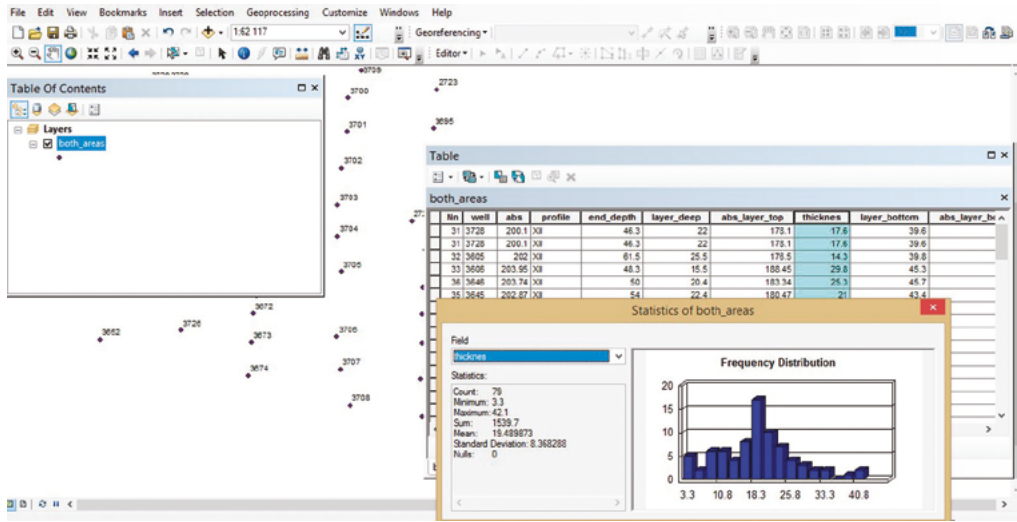


Рис. 1. Приклад бази геологічних даних обраного об'єкта та перевірки даних у програмному забезпеченні ArcGIS 10.2

Fig. 1. An example of the geological database of a selected object and data verification in ArcGIS 10.2 software

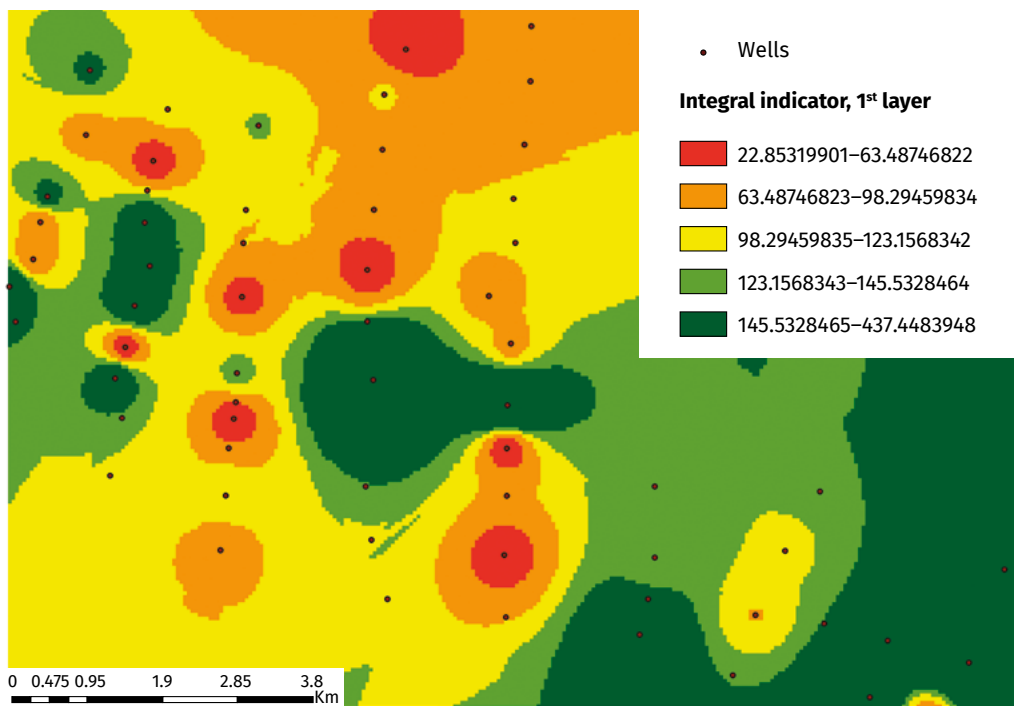


Рис. 2. Побудова шарів розподілу корисного навантаження. 2D вид

Fig. 2. Construction of payload distribution layers. 2D view

Для аналізу отриманих шарів обрано кольорову гаму, в якій зеленим кольором зображено найбільш перспективні ділянки, червоним – ділянки із найгіршими показниками. Такі ж кольори використано при створенні карт розподілу вертикального запасу та інтегрального показника. Приклад розрахунку вертикального запасу та інтегрального показника зображено на рис. 3.

Встановлення першочергових ділянок для відпрацювання з економічно обґрунтованими характеристиками здійснено шляхом побудови геоінформаційних моделей у програмному забезпеченні ArcGIS. Одним з елементів створеної нами моделі є розподіл значень вертикального запасу ільменіту на родовищі.

Система ArcGIS дає можливість візуалізувати об'єкт у 2D та 3D моделях. Спочатку отримуємо чорно-білий малюнок (рис. 4), який можна змінювати у будь-якій кольоровій градації. Як зазначалося вище, ми обираємо п'ять кольорів. Блоки з максимальною рентабельністю видобутку комплексних руд вказують на можливість отримання прибутку під час розробки у межах тієї чи іншої ділянки. На моделях вони зображені зеленим кольором. Найгірші показники відмічені червоним кольором, який показує від'ємний прибуток на даній ділянці родовища.

На горизонтальній осі показано значення в дол. США, а на вертикальній – кількість точок даних із цим значенням. Інтервали були розділені таким чином, щоб отримане зображення представляло дані якомога повніше.

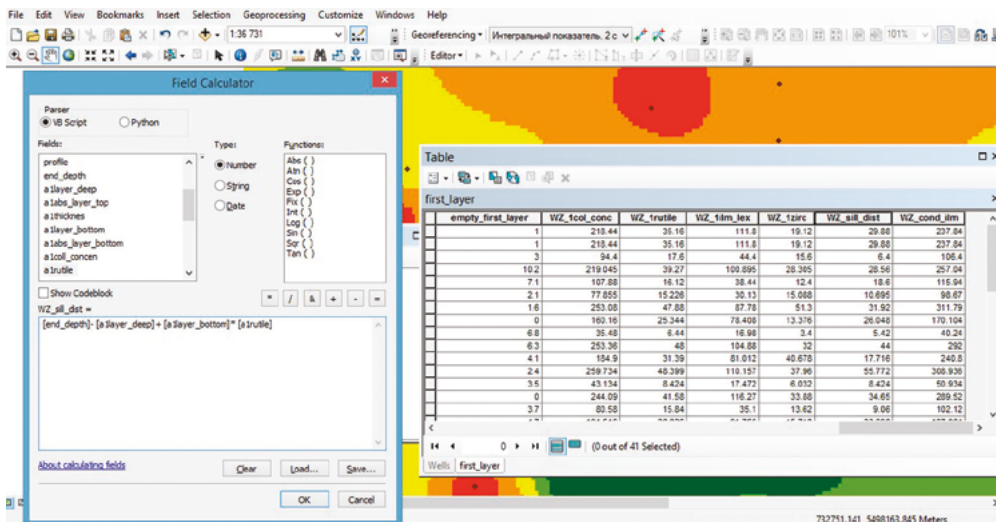


Рис. 3. Приклад розрахунку параметрів вертикального запасу та інтегрального показника. 2D вид

Fig. 3. An example of vertical stock parameters and integral indicator calculation. 2D view

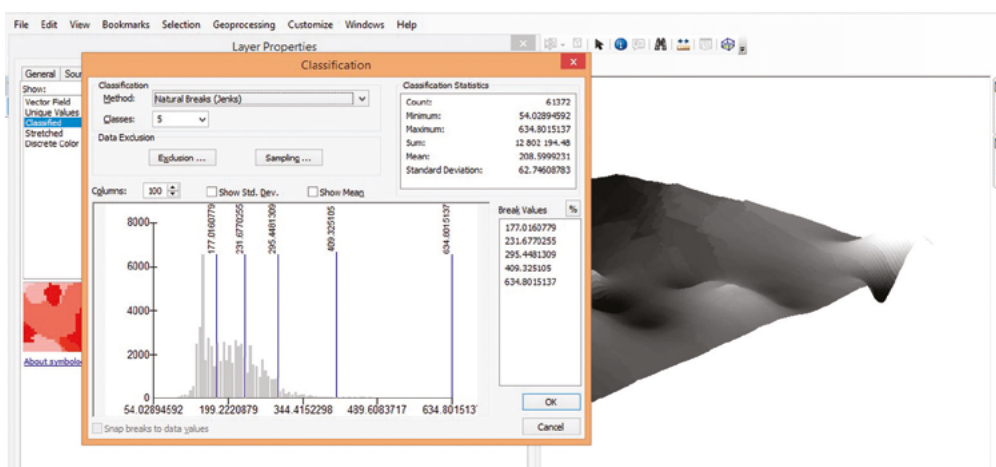


Рис. 4. Побудова класифікації для відображення шарів. 3D перегляд

Fig. 4. Construction of classifications for displaying layers. 3D viewing

Вертикальні лінії з цифрами позначають межі, які розбиті на зони так, щоб вони були максимально наближені до чисел, отриманих при розв'язанні задачі. Іншими словами, все це розподіляється навколо відбору найбільш перспективних, малоперспективних і неперспективних ділянок. На рис. 5 наведено приклад перспективної площі, яка візуалізована у зелених та салатових кольорах.

На обраному об'єкті виділено три першочергові для відпрацювання площі (рис. 6). Перша перспективна площа розташована в північно-західній частині родовища і складається з двох ділянок. Друга перспективна ділянка знаходиться в центральній частині, а третя – в південно-східній.

На рис. 6 показано модель розподілу інтегрального показника обраного родовища (виражений в дол. США на сьогоднішній день), на якій виділено три першочергові площі для відпрацювання. Ділянки, зображені червоним кольором, мають низький прибуток, який складає еквівалент 54–134 дол. США із 1 м². Такі ділянки в межах родовища розташовані локально. Області по-

ранчевого кольору мають більший прибуток на 1 м², що дорівнює еквіваленту 134–174 дол. США. Така ділянка знаходиться на півночі родовища у вигляді суцільного шару.

У межах об'єкта виділено дві ділянки, які позначено жовтим кольором. Ця кольорова гама відображає ділянки із середнім прибутком, що складає 174–217 дол. США. Перша ділянка розташована в західній частині родовища та простягається майже суцільною смугою з півночі на південь, друга ділянка зосереджена в південно-східній частині родовища. Між цими двома ділянками знаходяться салатові та зелені ділянки. Всього цих ділянок у межах родовища три. Перша ділянка в крайній західній частині родовища, друга ділянка – в центральній частині, третя ділянка – в крайній східній частині родовища. Ділянки, позначені салатовим кольором, мають високі показники прибутковості в еквіваленті 217–242 дол. США на 1 м², а ділянки із темно-зеленим кольором – найвищий прибуток, який сягає в еквіваленті від 242 до 634 дол. США на 1 м².

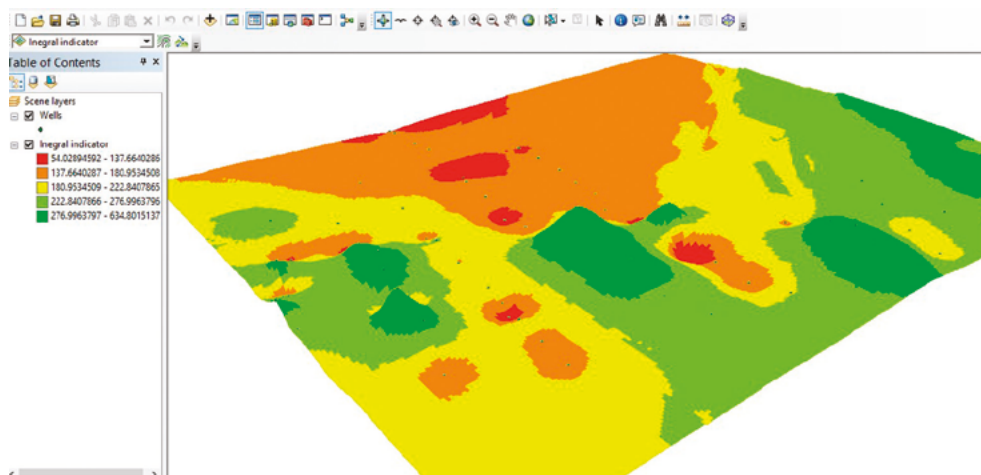


Рис. 5. Приклад перспективної площі. 3D перегляд
 Fig. 5. An example of a promising area. 3D viewing

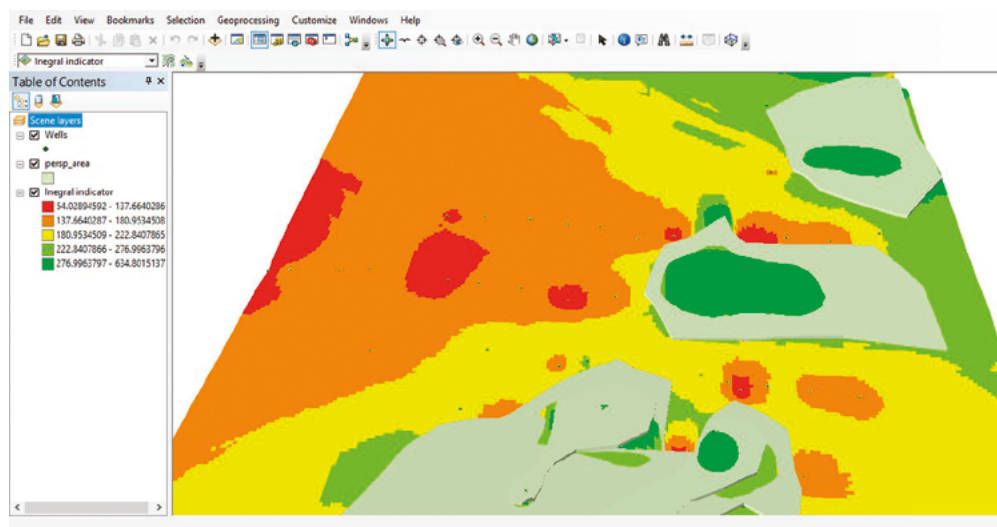


Рис. 6. Виділення перспективних ділянок на площі. 3D перегляд
 Fig. 6. Selection of promising sites in the area. 3D viewing

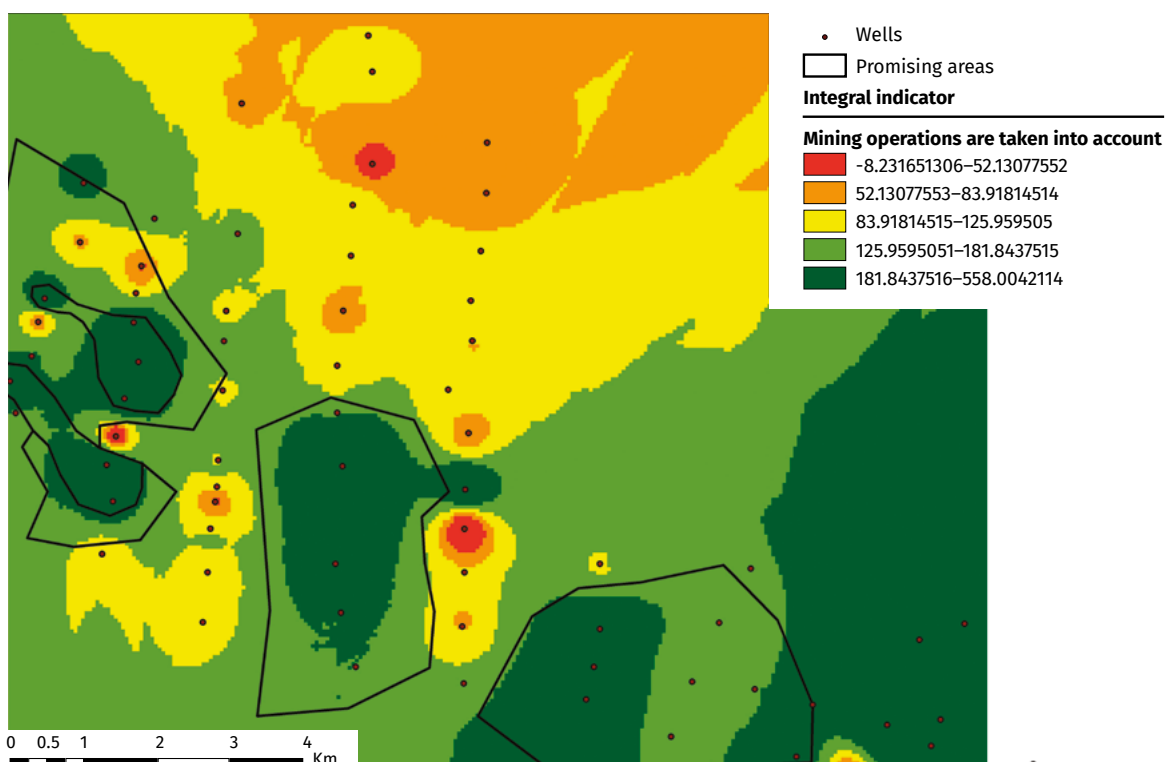


Рис. 7. Виділення першочергових ділянок для відпрацювання. 2D вид
 Fig. 7. Selection of priority sites for development. 2D view

На рис. 7 зображено контури першочергових ділянок для освоєння. Рекомендовані ділянки виділено із застосуванням інтегрального показника, який враховує такі геологічні та економічні параметри: коефіцієнт розкриття, середній вміст корисного компонента, потужність рудного пласта, вартість експлуатації цих ділянок, термін окупності кожної окремої ділянки тощо.

Висновки

Проведено оконтурення пріоритетних ділянок у межах умовного родовища з найбільш сприятливими показниками для видобування корисних копалин, оскільки розсіпні родовища мають нерівномірний розподіл корисного компонента. В результаті виділено три ділянки, які за економічними розрахунками є найбільш привабливими. Одна ділянка, що розташована в західній частині родовища, умовно поділена ще на дві підділянки. Друга ділянка знаходиться в центральній частині родовища, а третя ділянка – в південно-східній його частині. Кожна першочергова ділянка для відпрацювання має для зручності власну назву, щоб інвестор міг знати, які площі мають певні параметри.

Застосована методика дозволяє провести попередню оцінку родовища і площ в його межах без додаткових бурових робіт, що є економічно вигідним. Розробка родовища невеликими площами дозволяє оптимізувати вплив на навколишнє середовище за рахунок зменшення об'єму кар'єру, що зараз розробляється.

Запропонований підхід і проведені розрахунки щодо визначення першочергових ділянок для відпрацювання титано-цирконієвих розсіпів вимагають подальшого створення економічних передумов, особливо в умовах післявоєнної економіки, для пошуку шляхів їх реалізації, де інструментом технічної підтримки фахівці НБУ вважають фінансовий лізинг. Для технічного супроводження видобутку та інших робіт у добувній промисловості науковці теж пропонують розширити використання фінансового лізингу. В роботі (Vnukova et al., 2022) доводиться необхідність та доцільність використання фінансового лізингу підприємствами видобувної промисловості для мінімізації витрат на придбання, використання, обслуговування обладнання та збереження виробничих потужностей. Використання фінансового лізингу підприємствами добувної промисловості додатково дозволить розширити існуюче виробництво, запровадити новітні технології, зокрема у сфері нематеріальних активів, інтелектуальних систем.

Робота профінансована за програмою «Наукові та науково-технічні (експериментальні) роботи за пріоритетним напрямком «Технології пошуку, видобутку, переробки та використання критичних корисних копалин, проблеми оцінки, збереження та післявоєнного відновлення навколишнього середовища» на 2023–2024 роки «Стратегічні мінерально-сировинні ресурси для відновлення економіки України: аналіз ресурсів і запасів, розробка критеріїв пошуку для розширення їх мінерально-сировинної бази». Номер державної реєстрації 0123U100855.

Наведено авторську методику виділення пріоритетних площ титано-цирконієвих розсіпів із застосуванням інтегрального показника. Як відомо, інтегральний показник є відношенням сумарного корисного ефекту від розробки родовища до сумарних витрат на експлуатацію. Він розраховується як різниця між вартістю умовного ільменіту (за даними Геологічної служби США) (Mineral Commodity..., 2023) та вартістю виймання розкритих порід і переробки продуктивного пласта.

На основі розробленої та представленої в статті методики проведено експеримент за даними одного з розсіпних родовищ, розташованого в межах Української розсіпної субпровінції. Запропоновано розробляти його невеликими блоками, що забезпечить високу продуктивність, мінімальний вплив на навколишнє середовище і дозволить поповнити мінерально-сировинну базу титанової промисловості України.

Дана методика може бути використана на будь-якому родовищі титано-цирконієвих руд як в Україні, так і за кордоном.

Список літератури

- Билибин Ю.А. Основы геологии россыпей. Москва: Изд-во АН СССР, 1955.
- Геєць В.М. Формування профілю стратегічно важливих видів промислової діяльності в Україні (погляд на перспективу). *Економіка України*. 2023. № 9. С. 03–29. <https://doi.org/10.15407/economyukr.2023.09.003>
- Гребенніков С.Є., Лобасов О.П. Моделювання будови басейнів в середовищі ArcView. *Мінер. ресурси України*. 2003. № 4. С. 25–31.
- Долинський І.П. Апробація комплексу програм 3D регіонального моделювання на прикладі геологічних об'єктів Дніпровсько-Донецької западини. *Геоінформатика*. 2014. № 4. С. 37–47.
- Костріков С.В. Досвід ГІС-моделювання і візуалізації системи свердловин та геологічного середовища (на прикладі Грем'ячинського родовища калійних солей). *Геоінформатика*. 2009. № 2. С. 64–70.
- Крошко Ю.В. Цифрові структурно-літологічні моделі нижньокрейдяних континентальних розсипів ільменіту у верхній палеотечії Лебедин-Балакліївської палеодолини (центральна частина Українського щита). *Геоінформатика*. 2016. № 3. С. 49–57.
- Левицький В.Г., Чайковський Д.О. Геоінформаційні методи управління якістю ільменітової сировини на основі геометризації родовища. 2016. <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2016/06/162-1.pdf>
- Лобасов О.П., Сюмар Н.П., Шехунова С.Б. Побудова та аналіз літологічної моделі нижньопермської соленосної формації Дніпровсько-Донецької западини засобами ГІС. *Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України*. 2010. № 3. С. 294–305. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2010.150809>
- Охолона Т., Кузьманенко Г. Порівняльна геолого-економічна оцінка родовищ титану України на прикладі Новомиргородського розсипного району. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія: Геологія*. 2023. № 3 (102). С. 69–73.
- Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року: Закон України від 21 квітня 2011 року в редакції від 12.04.2024 р. № 3268-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3268-17#Text>
- Сюмар Н.П. Методика застосування ArcView для побудови та аналізу соленосної формації галотектокінетичного типу. *Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України*. 2011. Вип. 4. С. 160–164. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2011.15>
- Хрущев Д.П., Ковальчук М.С., Ремезова Е.А., Лаломов А.В., Цымбал С.Н., Бесевская Л.П., Лобасов А.П., Ганжа Е.А., Дудченко Ю.В., Крошко Ю.В. Структурно-литологическое моделирование осадочных формаций. Киев: Изд. «Интерсервис», 2017.
- Шехунова С.Б., Алексеевкова М.В., Стадніченко С.М., Сюмар Н.П. Інтегральна геологічна модель Солотвинської структури як інструмент оцінки геоecологічного стану Солотвинського родовища кам'яної солі. *Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України*. 2015. № 8. С. 233–250. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2015.146791>
- Шехунова С.Б. Критична та стратегічна мінеральна сировина для економічної безпеки та повоєнного розвитку України. *Вісник Національної академії наук України*. 2023. № 5. С. 25–30. <https://doi.org/10.15407/vsn2023.05.025>
- Шехунова С.Б., Лобасов О.П. Просторовий статистичний аналіз систем тектонічних порушень Дніпровсько-Донецької западини та його застосування. *Геологія і геохімія горючих копалин*. 2001. № 1. С. 73–79.
- Шехунова С.Б., Лобасов О.П., Сухомлин Н.П. Побудова та аналіз літологічної моделі верхньоюрської соленосної формації Переддобрудзького прогину засобами ГІС. Сучасні напрямки української геологічної науки. *Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України*. 2006. С. 62–72.
- Шехунова С.Б., Сюмар Н.П., Лобасов О.П., Стадніченко С.М. Аналіз просторових закономірностей поширення зсувів у межах Закарпатської області засобами ГІС. *Український географічний журнал*. 2022. № 1. С. 11–20. <https://doi.org/10.15407/ugz2022.03.011>
- Яременко О.В. Геологічні умови формування й комплексне освоєння Торчинського апатит-ільменітового родовища. *Мінер. ресурси України*. 2016. № 4. С. 20–24. <https://mru-journal.com.ua/index.php/mru/article/view/166>
- Chen G., Hurter S. (2019). Automatic 3D geological modeling with ArcGIS Engine: A new approach for surface and subsurface data integration. UQ Center for Natural Gas Annual Research Review. University of Queensland. [PDF]. URL: <https://natural-gas.centre.uq.edu.au/files/9691/Research%20Review%202019%20-%20Poster%20P%20-%20Chen%2C%20Guo%201.pdf> (accessed 22 December 2022).
- Khadka A., Dhakal S., Budha P. (2018). GIS Based Landslide Susceptibility Mapping along the Road Section from Bandeu to Barahabise, Sindhupal Chowk District of Nepal. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 7, 465–471.
- Kril T., Shekhunova S. (2019). Terrain elevation changes by radar satellite images interpretation as a component of geo-environmental monitoring. *3th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Monitoring*. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903176>
- Lombardo L., Tanyas H., Huser R., Guzzetti F., Castro-Camilo D. 2021. Landslide size matters: A new data-driven, spatial prototype. *Engineering Geology*. Vol. 293. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106288>
- Mineral Commodity Summaries. (2022). URL: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022.pdf> (accessed February 20, 2023).
- Ma M., Fan S. 2018. Research on 3D Geological Modeling Based on ArcGIS and Borehole Data. *7th International Conference on Energy, Environment and Sustainable Development. Advances in Engineering Research*. Vol. 163. P. 487–491.
- Remezova O.O., Khrushchov D.P., Vasylenko S.P., Yaremenko O.V. (2021). Innovative approaches to information modeling of placer deposits. *European Association of Geoscientists & Engineers. Conference Proceedings, Geoinformatics*. Vol. 2021. P. 1–6. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521100>
- Shekhunova S.B., Siumar S.P., Lobasov O.P., Yakovlev E.O., Meijer S., Stadnichenko S.M. (2019). GIS tools application for landslides formation factors analysis (Transcarpathian region). *First EAGE Workshop on assessment of landslide and debris flows hazards in the Carpathians*. 17–20 June 2019, Lviv, Ukraine. – L-05. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902160>
- Shekhunova S. B., Aleksieienkova M. V., Kril T. V., Stadnichenko S. M., & Siumar N.P. (2020). Natural and man-induced landslides formation factors within the Tysa-Apshytsia interfluve (Transcarpathia, Ukraine) / *Second EAGE Workshop on assessment of landslide hazards and impact on communities, 8–9 September 2020, Kyiv, Ukraine*. L-2020-01-18. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202055018>
- Sides E. Technical Report on the Aksu Diamas Rare Earth Element Project. *Isparta district, Turkey. NI 43-101 Technical Report*. Vancouver, AMR Mineral Metal Inc., 2011.
- Tear S., Lee G., Desoe Ch. Resource Estimation of the Goondicum Ilmenite Deposit. *SE Queensland, Australia*. H&S Consultants Pty. Ltd, 2014.
- Vnukova N., Tokhtamysh T., Hranko K., Sokol S. 2022. Financial leasing for the extractive industry: status and trends. *IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing*. Vol. 970(1). P. 012036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/970/1/012036>

References

- Bilybyn Yu.A. 1955. Fundamentals of placer geology. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR (in Russian)
- Chen G., Hurter S. 2019. Automatic 3D geological modeling with ArcGIS Engine: A new approach for surface and subsurface data integration. UQ Center for Natural Gas Annual Research Review. University of Queensland. [PDF]. URL: <https://natural-gas.centre.uq.edu.au/files/9691/Research%20Review%202019%20-%20Poster%20P%20-%20Chen%2C%20Guoxu%201.pdf> (accessed 22 December 2022).
- Dolynskiy I.P. 2014. Approbation of a complex of 3D regional modeling programs on the example of geological objects of the Donetsk-Dnipro depression. *Geoinformatics*, 4: 37–47 (in Ukrainian).
- Geets V.M. 2023. Formation of the profile of strategically important types of industrial activity in Ukraine (perspective view). *Economy of Ukraine*, No. 9: 03–29. <https://doi.org/10.15407/economyukr.2023.09.003> (in Ukrainian).
- Grebennikov S.E., Lobasov O.P. 2003. Modeling the structure of pools in the ArcView environment. *Miner. resources of Ukraine*, 4: 25–31 (in Ukrainian).
- Khadka A., Dhakal S., & Budha P. 2018. GIS Based Landslide Susceptibility Mapping along the Road Section from Bandeu to Barahabise, Sindhupal Chowk District of Nepal. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 7: 465–471.
- Khrushchov D.P., Kovalchuk M.S., Remezova E.A., Lalomov A.V., Tsybal S.N., Bosevskaya L.P., Lobasov A.P., Ganja E.A., Dudchenko Yu.V., Kroshko Y.V. 2017. Structural and lithological modeling of sedimentary formations. Kyiv: Interservice (in Ukrainian).
- Kostrikov S.V. 2009. Experience of GIS modeling and visualization of the well system and geological environment (on the example of the Gremyachynske potassium salt deposit). *Geoinformatics*, 2: 64–70 (in Ukrainian).
- Kril T., Shekhunova S. 2019. Terrain elevation changes by radar satellite images interpretation as a component of geo-environmental monitoring. *3th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Monitoring*, pp. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903176>
- Kroshko Yu.V. 2016. Digital structural and lithological models of Lower Cretaceous continental ilmenite placers in the upper paleocurrent of the Lebedyn-Balakliiv paleovalley (central part of the Ukrainian Shield). *Geoinformatics*, 3: 49–57 (in Ukrainian).
- Levitsky V.G., Tchaikovskiy D.O. 2016. Geoinformation methods of ilmenite raw material quality management based on deposit geometrization. [PDF]. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2016/06/162-1.pdf> (accessed 2 February 2023) (in Ukrainian).
- Lobasov O.P., Siumar N.P., Shekhunova S.B. 2010. Developing and analysis of Dnipro-Donets depression Lower Permian salt formation lithological model by means of GIS. *Collection of Scientific works of the Institute of Geological Sciences NAS of Ukraine*, 3: 294–305. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2010.150809> (in Ukrainian).
- Lombardo L., Tanyas H., Huser R., Guzzetti F., Castro-Camilo D. 2021. Landslide size matters: A new data-driven, spatial prototype. *Engineering Geology*, 293. <https://doi.org/10.1016/j.eng-geo.2021.106288>
- Mineral Commodity Summaries. 2022. URL: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022.pdf> (accessed February 20, 2023).
- Ma M., Fan S. 2018. Research on 3D Geological Modeling Based on ArcGIS and Borehole Data. *7th International Conference on Energy, Environment and Sustainable Development. Advances in Engineering Research*, 163: 487–491.
- Okholina T., Kuzmanenko H. 2023. Comparative geological and economic assessment of the titanium deposits of Ukraine using the example of the Novomyrhorod placers district. *Bulletin of Taras Shevchenko Kyiv National University. Series: Geology*. 3 (102): 69–73 (in Ukrainian).
- On the approval of the State-wide program for the development of the mineral and raw material base of Ukraine for the period until 2030: Law of Ukraine dated April 21, 2011, revised 12.04.2024. № 3268-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3268-17#Text> (in Ukrainian).
- Remezova O.O., Khrushchov D.P., Vasylenko S.P., Yaremenko O.V. 2021. Innovative approaches to information modeling of placer deposits. European Association of Geoscientists & Engineers. Conference Proceedings, *Geoinformatics*, pp. 1–6. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521100>
- Shekhunova S.B. 2023. Critical and strategic mineral raw materials for the economic security and post-war development of Ukraine. *Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 5: 25–30. <https://doi.org/10.15407/visn2023.05.025> (in Ukrainian).
- Shekhunova S.B. and Lobasov O.P. 2001. Spatial statistical analysis of the Dnipro-Donets Basin tectonic disturbances systems and their application. *Geology and geochemistry of combustible minerals*, 1: 73–79 (in Ukrainian).
- Shekhunova S.B., Lobasov O.P., Sukhomlyn N.P. 2006. Upper Jurassic rock salt formation model in the Dobrogean foredeep: An analysis and interpretation using GIS technology. *Modern directions of Ukrainian geological science: Collection of Scientific works of the Institute of Geological Sciences NAS of Ukraine: Contemporary trends in Ukrainian geological science*, pp. 62–72 (in Ukrainian).
- Shekhunova S.B., Siumar S.P., Lobasov O.P., Yakovlev E.O., Meijer S., Stadnichenko S.M. 2019. GIS tools application for landslides formation factors analysis (Transcarpathian region). *First EAGE Workshop on assessment of landslide and debris flows hazards in the Carpathians*, 17–20 June 2019, Lviv, Ukraine. – L-05. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902160>
- Shekhunova S.B., Aleksieienkova M.V., Kril T.V., Stadnichenko S.M., Siumar N.P. 2020. Natural and man-induced landslides formation factors within the Tysa-Apshytsia interfluvium (Transcarpathia, Ukraine) / Second EAGE Workshop on assessment of landslide hazards and impact on communities, 8–9 September 2020, Kyiv, Ukraine. L-2020-01-18. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202055018>
- Shekhunova S.B., Siumar N.P., Lobasov O.P., & Stadnichenko S.M. 2022. Analysis of Spatial Patterns of Landslide Formation with GIS Tools (Zakarpatska Oblast). *Ukrainian Geographical Journal*, 1: 11–20. <https://doi.org/10.15407/ugz2022.03.011> (in Ukrainian).
- Shekhunova S.B., Aleksieienkova M.V., Stadnichenko S.M., Siumar N.P. 2015. The integrated geological model of Solotvyno structure as a tool to assess geocological sustainability of Solotvyno rock-salt deposit. *Collection of Scientific Works of the Institute of Geological Sciences NAS of Ukraine*, 8: 233–250. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2015.146791> (in Ukrainian).
- Sides E. 2011. Technical Report on the Aksu Diamas Rare Earth Element Project. Isparta district, Turkey. NI 43-101 *Technical Report*. Vancouver, AMR Mineral Metal Inc.
- Siumar N.P. 2011. GIS Methodology used for developing and analysis of the halotectokinetic type saliferous formations geological features. *Collection of Scientific works of the Institute of Geological Sciences NAS of Ukraine*. 4: 160–164. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2011.153040> (in Ukrainian).
- Tear S., Lee G., Desoe Ch. 2014. Resource Estimation of the Goondicum Ilmenite Deposit. *SE Queensland, Australia. H&S Consultants Pty. Ltd*
- Vnuкова N., Tokhtamysh T., Hranko K., Sokol S. 2022. Financial leasing for the extractive industry: status and trends. *IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing*, 970 (1): 012036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/970/1/012036>
- Yaremenko O.V. 2016. Geological conditions of the formation and complex development of the Torchynsky apatite-ilmenite deposit. *Miner. resources of Ukraine*, 4: 20–24. <https://mru-journal.com.ua/index.php/mru/article/view/166> (in Ukrainian).

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.3.310169>

УДК 55(092)

E-mail: akiyo99@ukr.net,
<https://orcid.org/0009-0002-4250-4787>;
olga.anistrat@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-5270-7900>;
july.vern@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0001-6532-8451>

*Corresponding author /
Автор для кореспонденції:
O.Yu. Anistratenko, olga.anistrat@gmail.com

Received / Надійшла до редакції:
18.07.2024

Received in revised form /
Надійшла у ревізованій формі:
30.08.2024

Accepted / Прийнята:
09.09.2024

Keywords: biography; Cenozoic deposits;
stratigraphy; paleontological collections;
inventory.

Ключові слова: біографія;
кайнозойські відклади; стратиграфія;
палеонтологічні колекції;
інвентаризація.

© Видавець Інститут геологічних наук
НАН України, 2024. Стаття опублікована за
умовами відкритого доступу за ліцензією
CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher Institute of Geological Sciences
of the National Academy of Sciences of
Ukraine, 2024. This is an Open Access article
under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Наукова спадщина та палеонтологічна колекція члена-кореспондента НАН України Володимира Миколайовича Семененка (до 90-річчя з дня народження)

Д.В. Іванов¹, О.Ю. Аністратенко^{1,2*}, Ю.В. Вернигорова^{1,2}

¹Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна; ²Інститут зоології НАН України
ім. І.І. Шмальгаузена, Київ, Україна

Scientific heritage and paleontological collection of Corresponding Member of the NAS of Ukraine Volodymyr M. Semenenko (to the 90th anniversary of birthday)

D.V. Ivanov¹, O.Yu. Anistratenko^{1,2*}, Yu.V. Vernyhorova^{1,2}

¹Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine; ²I.I. Schmalhausen Institute of
Zoology of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

A brief overview of the scientific heritage of the outstanding figure of Ukrainian geological science – stratigrapher, paleontologist and field researcher Volodymyr M. Semenenko. The most important points of his contribution to the development of the stratigraphy of the Eastern Paratethys are formulated and general information about the paleontological collection kept in the department of stratigraphy and paleontology of Cenozoic deposits of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine is provided.

Цитування: Іванов Д.В., Аністратенко О.Ю., Вернигорова Ю.В. Наукова спадщина та палеонтологічна колекція члена-кореспондента НАН України Володимира Миколайовича Семененка (до 90-річчя з дня народження). *Геологічний журнал*. 2024. № 3 (388). С. 89–95. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.3.310169>

Citation: Ivanov D.V., Anistratenko O.Yu., Vernyhorova Yu.V. 2024. Scientific heritage and paleontological collection of Corresponding Member of the NAS of Ukraine Volodymyr M. Semenenko (to the 90th anniversary of birthday). *Geologichnyy zhurnal*, 3 (388): 89–95. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.3.310169>

Цього літа ми відмічаємо 90-річчя з дня народження видатного вченого, палеонтолога і стратиграфа, дослідника кайнозою Паратетису, а також багаторічного завідувача відділу стратиграфії та палеонтології кайнозойських відкладів, члена-кореспондента НАН України Володимира Миколайовича Семененка (18 липня 1934 – 24 січня 2012).

Все своє наукове життя В.М. Семененко присвятив вирішенню проблем кореляції неогенових відкладів Паратетису, Тетису (Середземномор'я) і Світового океану.

З 1956 р. після закінчення геологічного факультету Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка шість років працював у польових геолого-знімальних партіях Укргеолуправління. В 1962 р. вступив в очну аспірантуру у відділ кайнозою Інституту геологічних наук АН УРСР. Ще зовсім молодою людиною, але вже досвідченим дослідником В.М. Семененко взяв участь у підготовці видання «Геология СССР. Т. 5. Украинская ССР и Молдавская ССР», а саме написав розділи «Азово-Кубанский железорудный бассейн», «Присивашье» та «Железорудные отложения Северного Приазовья» до третьої частини цього тому (Геология СССР..., 1963).

На основі узагальнення зібраних під час геологічної зйомки матеріалів В.М. Семененко у 1966 р. захистив кандидатську дисертацію «Геология и стратиграфия киммерийских и кувальничких отложений Северного Приазовья УССР»,

в якій представив результати стратиграфічних досліджень кімерійських відкладів Приазов'я та вніс суттєві корективи до Уніфікованої схеми неогену півдня СРСР 1959 р., зокрема до кореляції пліоцену Чорноморського та Каспійського басейнів (Семененко, 1966а).

В 1972 р. Володимира Миколайовича окремим рішенням Неогенової комісії МСК СРСР було включено до Міжнародної групи з неогену Паратетису Регіонального комітету зі стратиграфії Середземноморського Паратетису (РКССН). У складі цієї Міжнародної групи протягом 1973–1983 рр. він був відповідальним виконавцем ряду першочергових тем проекту № 25 Міжнародної програми геологічної кореляції ЮНЕСКО «Стратиграфічна кореляція неогену Тетису і Паратетису».

Одночасно з розробкою стратиграфії неогену всі ці роки вчений веде великі госпдоговорні роботи з організаціями Міністерства геології УРСР.

У 1984 р. Володимир Миколайович захистив у Московському держуніверситеті докторську дисертацію, яку незабаром опублікував як монографію «Стратиграфическая корреляция верхнего миоцена и плиоцена Восточного Паратетиса и Тетиса» (Семененко, 1987).

Багато років В.М. Семененко був неодмінним учасником та доповідачем на конгресах РКССН, неодноразово обирався до складу бюро виконкому РКССН, а з 1990 р. був членом підкомісії зі Світового неогену Міжнародного Союзу Геологічних наук. Крім того, він сумлінно працював у складі Стратиграфічної комісії Карпато-Балканської геологічної асоціації та брав участь

у складі Стратиграфічної комісії Карпато-Балканської геологічної асоціації та брав участь



Володимир Миколайович Семененко, ІГН АН УРСР, м. Київ, 1989 р. Архів відділу

Volodymyr M. Semenenko, IGS AS of the Ukrainian SSR, Kyiv, 1989. Department archive



В.М. Семененко на польовій екскурсії. Напис на звороті: «с. Симеонино в долине Дуная, верхний сармат (нижнехерсонские отложения с *Maetra balcica*)». Архів відділу. Без дати

V.M. Semenenko on a field trip. Inscription on the back: «Simeonino village in the Danube valley, Upper Sarmatian (Lower Khersonian beds with *Maetra balcica*)». Department archive. No date

В.М. Семененко на польовій екскурсії. Напис на звороті: «Керч[енский] п-ов. Українско-грузинская экспедиция. Слева направо: проф. И.Г. Тактакишвили, его аспирант Дато, водитель Али». В.М. Семененко другий зліва, далі на фото О.А. Сіренко, О.Д. Моськіна, В.М. Мацуй. Архів відділу. Без дати



V.M. Semenenko on a field trip. Inscription on the back: «Kerch peninsula. Ukrainian-Georgian expedition. From left to right: prof. I.G. Taktakishvili, his graduate student Dato, driver Ali». V.M. Semenenko is the second from the left, next in the photo are O.A. Sirenko, O.D. Moskina, V.M. Matsui. Department archive. No date

у кількох її конгресах; був головою Національного комітету України з Міжнародної програми геологічної кореляції ЮНЕСКО.

Коротко висвітливо деякі складові наукової спадщини, що залишив нам Володимир Миколайович.

В.М. Семененком, на підставі власних детальних досліджень молюсків, а також аналізу даних з розподілу остракод (дані В.Г. Шеремети) та дрібних ссавців (дані Т.Г. Шевченко та Е.О. Вангенгейм), деталізовано стратиграфію пізнього міоцену–квартеру півдня України. А саме: здійснено кореляцію кімерійських відкладів Північного Приазов'я зі стратотиповими розрізами кімерію на Керченському півострові (Семененко, 1966а, б, 1987; Семененко, Мацуй, 1977); досліджено куюльницькі відклади Північного Причорномор'я та Північного Приазов'я, які також зіставлено з одновіковими відкладами Грузії (Семененко, 1960; Семененко, Шеремета, 1963, 1965; Семененко, Новодран, Люльєв, 1966); детально проаналізовано стратиграфію та вік гурійських відкладів півдня України (Семененко, 2005). Вперше, поєднавши дані за молюсками (як власні, так й інших дослідників), нанопланктоном (дані С.А. Люльєвої) та палеомагнітним датуванням (дані групи М.А. Певзнера), отримано вік понтичних, кімерійських, куюльницьких та гурійських відкладів Керченського півострова (рис. 1), проведено їх кореляцію з одновіковими відкладами Каспійського басейну, а також отримано міжрегіональну кореляцію пізньокайнозойських відкладів Чорноморського басейну з одновіковими відкладами Середземномор'я (рис. 2) (Семененко, Люльєва, 1978; Семененко, Певзнер, 1979).

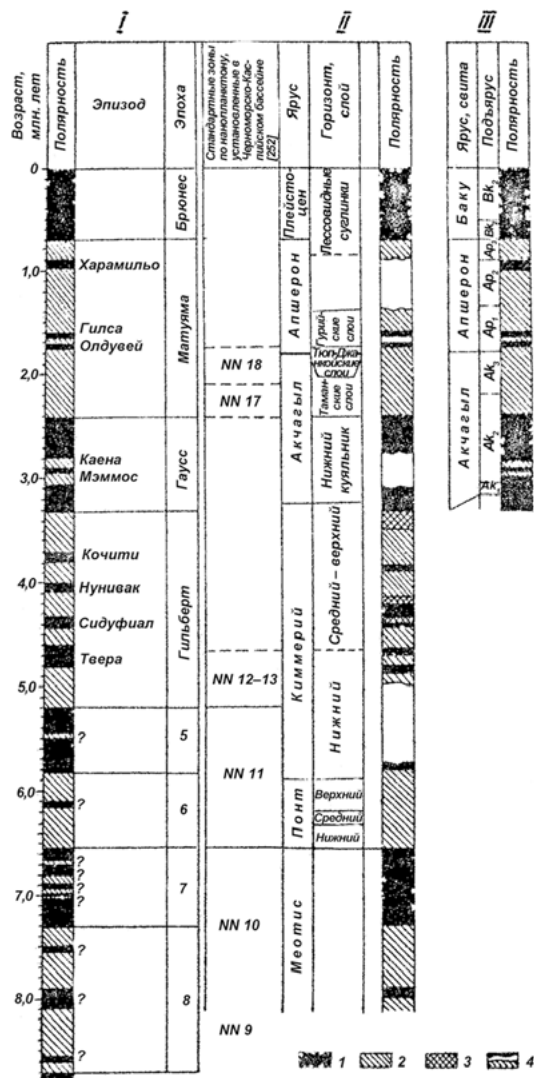


Рис. 1. Кореляція верхньокайнозойських відкладів Чорноморського та Каспійського басейнів за палеомагнітними та біостратиграфічними даними (Семененко, Певзнер, 1979). Умовні позначення: I – палеомагнітна шкала Кокса, II – Каспійський басейн, III – Керченський півострів

Fig. 1. Correlation of Upper Cenozoic deposits of the Black Sea and Caspian basins according to paleomagnetic and biostratigraphic data (Semenenko, Pevzner, 1979). Symbols: I – Cox paleomagnetic scale, II – Caspian basin, III – Kerch Peninsula

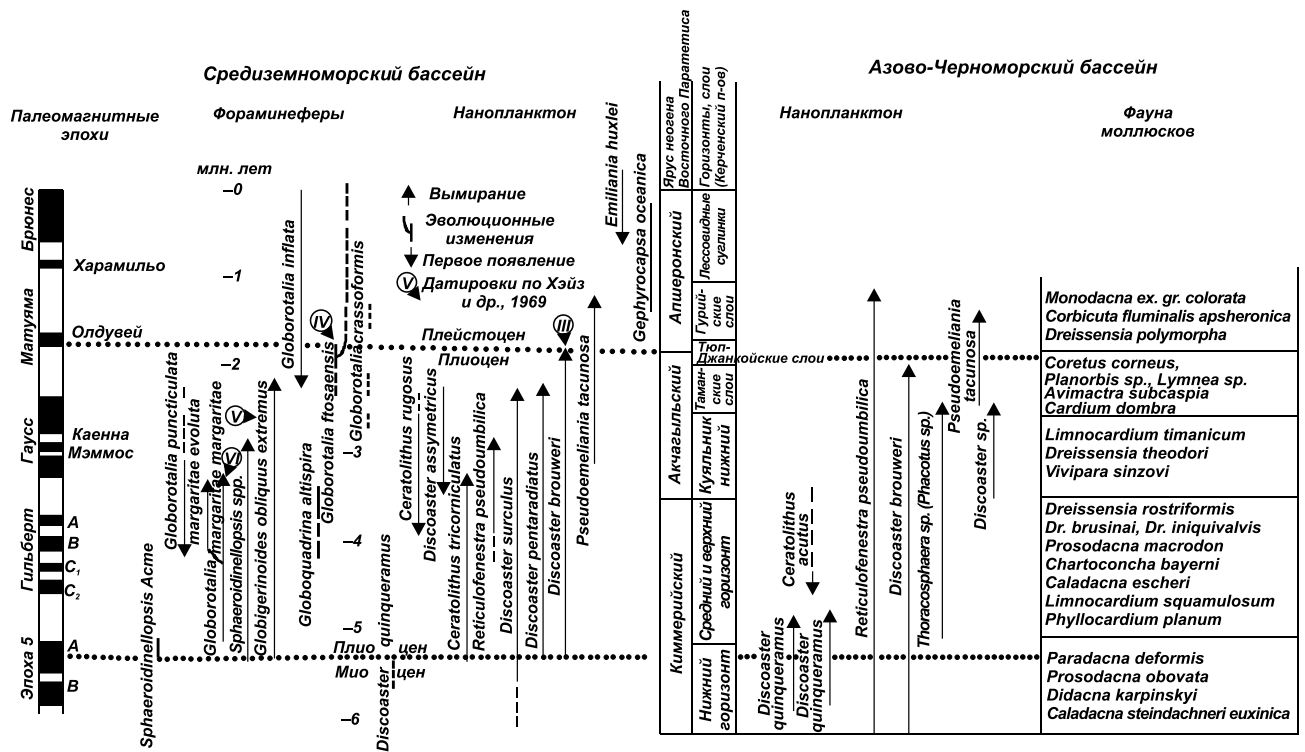


Рис. 2. Кореляція глибоководних верхньокайнозойських відкладів Середземного моря з верхньокайнозойськими відкладами Чорноморського басейну (Керченський стратотиповий район), прив'язаних до палеомагнітної часової шкали (Семененко, 1987)
Fig. 2. Correlation of deep-water Upper Cenozoic sediments of the Mediterranean Sea with Upper Cenozoic sediments of the Black Sea Basin (Kerch stratotype area) related to the paleomagnetic time scale (Semenenko, 1987)

Вже на початку 2000-х років В.М. Семененко першим в Україні розпочав дослідження з цикло-стратиграфії: проаналізував циклічну ритмічність у понтичних та кімерійських відкладах декількох розрізів Східного Паратетису (рис. 3) та, припустивши, що вона є проявом астрономічних факторів, зіставив її з циклічністю, визначеною

для одновікових відкладів Середземномор'я (Семененко, 2007). На жаль, йому не вистачило часу та здоров'я отримати фундаментальні результати за даним науковим напрямом. Вчений є автором та співавтором понад 150 наукових праць, серед яких фундаментальні колективні монографії зі стратиграфії неогену.

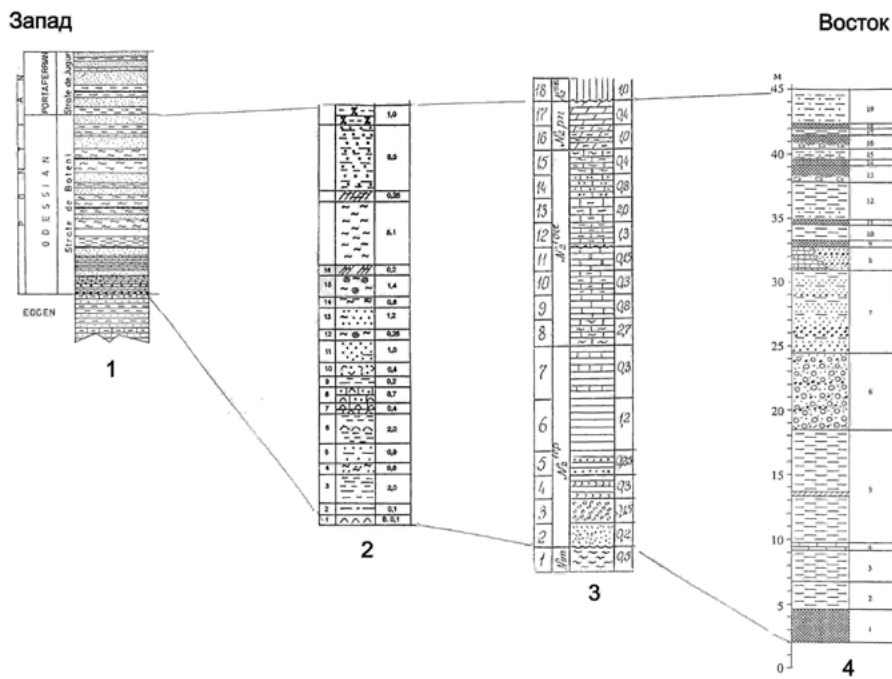


Рис. 3. Циклічна ритмічність в понтичних і кімерійських осадах Причорномор'я як прояв астрономічних факторів. Розрізи ранньопонтичних відкладів Східного Паратетису (Семененко, 2007). Умовні позначення: 1 – Дакійський басейн (за І. Андреєску), 2 – с. Виноградівка (за В.А. Коваленком), 3 – м. Одеса (за К.К. Проніним), 4 – с. Любимівка (за М.А. Певзнером)
Fig. 3. Cyclic rhythmicity in Pontic and Cimmerian sediments of the Black Sea as a manifestation of astronomical factors. Cross-sections of the Early Pontic deposits of the Eastern Paratethys (Semenenko, 2007). Symbols: 1 – Dacian basin (after I. Andreescu), 2 – Vynogradivka village (after V.A. Kovalenko), 3 – Odessa city (after K.K. Pronin), 4 – Liubymivka village (after M.A. Pevzner)

Палеонтологічна колекція, залишена в спадок Володимиром Миколайовичем Семененком очолюваному ним тривалий час відділу кайнозою, має вирішальне значення для розуміння його стратиграфічних побудов та для сучасних наукових досліджень, що оперують суттєво розширеними методами видобутку інформації. Адже місцезнаходження викопних решток з різних причин вже стали недоступними для збору нових зразків. Інвентаризація, впорядкування і каталогізація цього та інших історичних зібрань є одним з важливих аспектів діяльності науковців відділу.

В основу колекції В.М. Семененка покладено насамперед його збори з відслонень і свердловин Приазов'я й Азовського моря та інших районів Східного Паратетису починаючи з 1950–1960-х років. Ці збори є матеріальним підґрунтям його теоретичних розробок зі стратиграфії Паратетису, втілених у численних наукових працях, у тому числі великих узагальнюючих монографіях.

Робота з упорядкування колекції В.М. Семененка наразі триває. Попередньо опрацьовано понад

230 лотів, що належать до 45 свердловин. Більшість лотів являють собою коробки з відібраними та визначеними черепашками двостулкових та червононогих молюсків (рис. 4). В цілому в нашому каталозі вже зареєстровано матеріали для більше ніж 60 видів. Хоча дослідник не описував нових таксонів, його колекція має важливе дидактичне значення як зібрання визначених до виду черепашок (так звана еталонна колекція), що дозволяє бачити розуміння Володимиром Миколайовичем цих видів. Документовані зразки по-різному: частина лотів має власну детальну етикетку з інформацією від номера свердловини до латинських назв визначених таксонів; окремо бачимо ящики з нумерованими зразками та паперовим каталогом з розшифруванням цих номерів. Крім того, частина зразків являє собою первинний (камінний) матеріал зі свердловин та відслонень, придатний до подальшого літологічного та палеонтологічного дослідження. Наявні також матеріали первинного відбору, без визначення, але з прив'язкою до зразків.



Рис. 4. Загальний вигляд та деякі зразки із зібрання черепашок неогенових молюсків В.М. Семененка
Fig. 4. General view and some samples from the collection of Neogene mollusk shells by V.M. Semenenko

Невід'ємною складовою колекції В.М. Семененка також є його польові книжки. Вони наразі попередньо оцифровані та будуть розшифровані і співвіднесені з матеріальними лотами.

Після попередньої інвентаризації планується упорядкування та каталогізація колекції. Наразі наше повідомлення є попереднім і призване ознайомити палеонтологів з поточною роботою з інвентаризації колекційних матеріалів. За результатами цієї роботи буде створена база даних у середовищі Microsoft Access.

Microsoft Access – це система управління базами даних, яка має велику кількість функцій, включаючи зв'язані запити, сортування по різних полях, зв'язок із зовнішніми таблицями і базами даних. Це дозволить в подальшому швидко знаходити інформацію за кожним елементом колекції та місцезнаходженням свердловини, відповідно швидко знаходити та сортувати необхідну інформацію та зв'язок по кожній позиції бази даних.

Лоти колекції В.М. Семененка були занесені в базу даних за такими параметрами: порядковий номер, за яким занесено лот у таблицю; код, який визначається за номерами свердловини та зразка; номер свердловини або назва відслонення; номер зразка; глибина; дата збору; місцезнаходження; геологічний вік; форма зберігання; кількість екземплярів у лоті; номер елемента зразка колекції; назва виду латиною; хто визначив; примітки, для додаткової інформації.

За кожним з даних параметрів можна проводити швидкий пошук, вибірку та сортування. Наприклад, можна відсортувати за алфавітом елементи поля «Назва виду». В результаті отримаємо відсортовану таблицю за назвою виду.

За допомогою конструктора запитів можна виводити інформацію за окремо заданими параметрами, наприклад, лише за фрагментом видової назви. За допомогою конструктора форм можна створити зручний інтерфейс для перегляду інформації за окремою позицією таблиці.

Таким чином, після завершення інвентаризації колекція неогенових молюсків В.М. Семененка буде готовою для роботи таксономістів та стратиграфів.

Статтю підготовлено в рамках виконання теми «Розробка та апробація стратиграфічної моделі осадових басейнів палеогену, неогену та квартеру України», державний реєстраційний номер 0122U001698 (КПКВК 6541030).

Автори щиро вдячні редакції «Геологічного журналу» за увагу до авторської думки, професійне ставлення до якості ілюстративних матеріалів, а також особисто Ніні Іванівні Дугіній за дбайливе ставлення до тексту під час літературного редагування.

Короткий огляд наукової спадщини видатного діяча української геологічної науки – стратиграфа, палеонтолога та польового дослідника Володимира Миколайовича Семененка. Сформульовано найголовніші положення його внеску у розвиток стратиграфії Східного Паратетису. Надано загальні відомості про палеонтологічну колекцію, що зберігається у відділі стратиграфії та палеонтології кайнозойських відкладів Інституту геологічних наук НАН України.

Список літератури

- Геология СССР. Т. 5. Украинская ССР и Молдавская ССР: Антропов П.Я. (гл. ред.). Москва : Госгеолтехиздат, 1963. 943 с.
- Семененко В.Н. О куяльницких отложениях Северного Приазовья. *Геол. журн.* 1960. Т. 20, вып. 6 (75). С. 90–94.
- Семененко В.Н. Геология и стратиграфия киммерийских и куяльницких отложений Северного Приазовья УССР: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Одесса, 1966а. 23 с.
- Семененко В.М. Про кореляцію пліоцену Чорноморського і Каспійського басейнів у зв'язку зі знахідкою акчагильської фауни молюсків у куяльницьких відкладах Північного Приазов'я. *Геол. журн.* 1966б. Т. 26, вип. 5 (110). С. 99–100.
- Семененко В.Н. Стратиграфическая корреляция верхнего миоцена и плиоцена Восточного Паратетиса и Тетиса. Киев: Наукова думка, 1987. 232 с.
- Семененко В.Н. Гурийский этап развития Азово-Черноморского бассейна. *Геол. журн.* 2005. № 2 (312). С. 7–22.
- Семененко В.Н. Циклическая ритмичность в понтических и киммерийских осадках Причерноморья как проявление астрономических факторов. *Геол. журн.* 2007. № 3 (320). С. 7–19.
- Семененко В.Н., Люльева С.А. Опыт прямой корреляции мио-плиоцена Восточного Паратетиса и Тетиса. *Стратиграфия кайнозоя Северного Причерноморья и Крыма.* Днепропетровск, 1978. Вып. 2. С. 95–105.
- Семененко В.Н., Мацуй В.М. Новые находки акчагильской фауны моллюсков в куяльницких отложениях Северного Приазовья. *Докл. АН УССР. Сер. Б.* 1977. № 2. С.116–118.
- Семененко В.Н., Новодран В.С., Люльев Ю.Б. Новая находка отложений куяльницкого яруса в северо-западном Причерноморье. *Докл. АН УССР. Сер. Б.* 1966. № 2. С. 256–259.
- Семененко В.Н., Певзнер М.А. Корреляция миоцена и плиоцена Понто-Каспия по биостратиграфическим и палеомагнитным данным. *Изв. АН СССР. Сер. геол.* 1979. № 1. С. 5–15.
- Семененко В.М., Шеремета В.Г. Нові дані про час утворення пліоценових відкладів на півдні України. *Геол. журн.* 1963. Т. 23, вип. 5 (94). С. 80–85.
- Семененко В.Н., Шеремета В.Г. Ostracoda куяльницкого яруса Черноморского бассейна. *Докл. АН УССР.* 1965. № 5. С. 637–640.

References

- Geology of the USSR. 5. Ukrainian SSR and Moldavian SSR. (Chief-Ed. P.Ya. Antropov). Moscow : Gosgeoltekhizdat, 1963. 943 p. (in Russian).
- Semenenko V.N. 1960. About the Kuyalnykian deposits of the Northern Azov region. *Geologičnij žurnal*, 20, 6 (75): 90–94 (in Russian).
- Semenenko V.N. 1966a. Geology and stratigraphy of the Cimmerian and the Kuyalnik deposits of Northern Azov of the UkrSSR. Abstract of dissertation Cand. Geol.-Mineral. Sci. Odessa, 23 p. (in Russian).
- Semenenko V.M. 1966b. About the correlation of the Pliocene of Black Sea and Caspian Sea basins due to the finding of the Akchahylian fauna molluscs in the Kuyalnykian deposits in Northern Azov. *Geologičnij žurnal*, 26, 5 (110): 99–100 (in Ukrainian).
- Semenenko V.N. 1987. Stratigraphic correlation of the upper Miocene and the Pliocene of the Eastern Paratethys and Tethys. Kyiv: Naukova Dumka, 232 p. (in Russian).
- Semenenko V.N. 2005. The Gurian stage of development of the Azov-Black Sea basin. *Geologičnij žurnal*, 2 (312): 7–22 (in Russian).
- Semenenko V.N. 2007. Cyclic rhythmicity in Pontic and Cimmerian sediments of the Black Sea region as a manifestation of astronomic factors. *Geologičnij žurnal*, 3 (320): 7–19 (in Russian).
- Semenenko V.N., Lyuleva S.A. 1978. Experience of the direct correlation of the Miocene–Pliocene of the Eastern Paratethys Tethys. *Cenozoic Stratigraphy of the Northern Black sea region and the Crimea*. Dnepropetrovsk. Iss. 2, pp. 95–105 (in Russian).
- Semenenko V.N., Matsui V.M. 1977. New findings of the Akchagylian molluscs fauna in the Kuyalnikian deposits of the Northern Azov. *Reports of the Academy of Sciences of the UkrSSR. Serie B*, 2: 116–118 (in Russian).
- Semenenko V.N., Novodran V.S., Lyulev Yu.B. 1966. A new discovery of Kuyalnikian stage deposits in the northwestern Black Sea Region. *Reports of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. Series B*, 2: 256–259 (in Russian).
- Semenenko V.N., Pevzner M.A. 1979. Correlation of the Miocene and Pliocene of the Ponto-Caspian Sea based on biostratigraphic and paleomagnetic data [Korrelyaciya miocena i pliocena Ponto-Kaspija po biostratigraficheskim i paleomagnitnym dannym]. *Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Geological series*, 1: 5–15 (in Russian).
- Semenenko V.N., Sheremeta V.G. 1963. New data about of the Pliocene formation in the Southern Ukraine. *Geologičnij žurnal*, 23, 5 (92): 80–85 (in Ukrainian).
- Semenenko V.N., Sheremeta V.G. 1965. Ostracoda of the Kuyalnikian Stage of the Black Sea Basin. *Reports of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR*, 5: 637–640 (in Russian).

GEOLOGIČNIJ ŽURNAL

The Journal covers the entire range of disciplines of geological science and practice and aims to publish high-quality scientific works including original research, reviews, short scientific communications, news of scientific life, biographical materials, and more. The focus is on geological studies relevant to Ukraine and other Eastern European regions, but studies of other regions of the world are also encouraged if they are of international scientific interest.

The journal is aimed to a wide range of scholars of geological disciplines, practitioners, lecturers, engineers, and graduate students.

The Journal provides open access to the articles and does not charge any article processing fee.

→ Founders:

- Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine;
- National Academy of Sciences of Ukraine.

→ Issued quarterly.

→ Languages: Ukrainian, English.

→ The journal is indexed / abstracted:

ELSEVIER Scopus; CrossRef; OpenAIRE; Index Copernicus; Google Scholar; WorldCat; Vernadsky National Library of Ukraine; Scientific electronic library of periodicals of the National Academy of Sciences of Ukraine; BASE.

→ The journal is listed as a scientific professional edition of Ukraine (category “B”), specialties 04 – “Geological Sciences” and 103 – “Earth Sciences” (Ministry of Education and Science of Ukraine 02.07.2020 No. 886).

Индекс 74114

