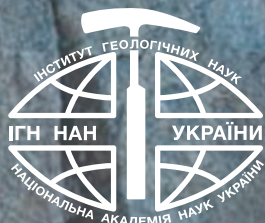


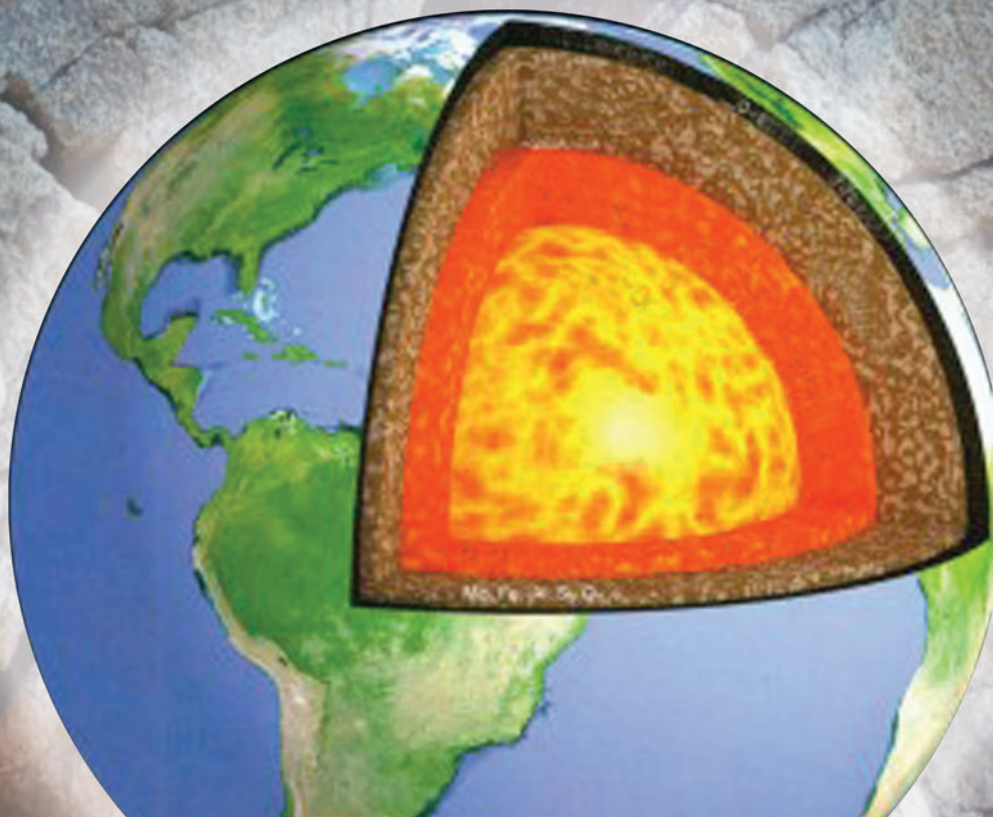
ISSN 1025-6814 (Print)  
ISSN 2522-4107 (Online)

# ГЕОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ



## GEOLOGIČNÍJ ŽURNAL

**4** (385)  
**2023**





**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)

ГІНТОВ О.Б. (Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна  
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 ПІТЕР (Відділ гідрогеології та геотермальної  
енергії Геологічної служби Словачької Республіки,  
Братислава, Словачька 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)

**ШЕСТОПАЛОВ В.М.** (Інститут геологічних наук  
НАН України, Київ, Україна)

**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. (Haceteppe University, Ankara, Turkey)

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

GINTOV O.B. (S.I. Subbotin Institute of Geophysics 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)

**SHESTOPALOV V.M.** (Institute of Geological Sciences of  
NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації  
серія КВ № 13744-2718 ПР від 28.02.2008 р.

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



## GEOLOGIČNĪ ŽURNAL

4 (385)  
2023

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

### ЗМІСТ

#### Дослідницькі та оглядові статті

Дикань Н.І., Даниєл Т. Нові дані з систематичного вивчення сучасних остракод роду *Ambostroacon* Hazel 1962 (Hemicytheridae, Podocopida) Південної Африки. . . . . 3

Кулянда М.Й. Про вік і умови утворення поляницької світи за результатами вивчення форамініфер (нижній міоцен, Бориславсько-Покутський покрив, Українські Карпати) . . . . . 20

Бучинська І.В., Матрофайло М.М., Побережський А.В., Ступка О.О., Лазар Г.І. Поширення германію у вугіллі Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну . . . . . 35

Наседкін Є.І., Ольштинська О.П., Пермяков В.В., Довбиш С.М., Іванова Г.М., Митрофанова О.А., Федосєєнков С.Г. Особливості утворення, надходження і розподілу залізовмісної складової у водній зависі р. Дніпро в межах Запоріжжя. . . . . 50

Лялько В.І., Дугін С.С., Сибірцева О.М., Дорофей Є.М., Голубов С.І., Орленко Т.А. Про можливість визначення ознак торфовищ з використанням даних дистанційного зондування Землі. . . . . 61

Шехунова С.Б., Негода Ю.О., Стадніченко С.М., Шестопалов В.М., Руденко Ю.Ф., Сюмар Н.П. Гідродинамічна модель Солотвинського родовища кам'яної солі. . . . . 79

#### Із історії науки

Старостенко В.І., Коболєв В.П. До 60 річчя Відділення наук про Землю НАН України. Частина 1. Історичний нарис розвитку природничих наук від заснування Академії наук України до створення Відділу наук про Землю і Космос АН УРСР (1918–1962 рр.). . . . . 97

Показчик статей за 2023 р. . . . . 122

### CONTENTS

#### Research and Review Papers

Dykan N.I., Daniel T. New data on the systematics of Recent Ostracoda of the genus *Ambostroacon* Hazel 1962 (Hemicytheridae, Podocopida) from South Africa . . . . . 3

Kulyanda M.J. On the age and conditions of the formation of the Polyanytska Suite according to the foraminifera study results (Lower Miocene, Boryslav-Pokuttya Nappe, Ukrainian Carpathians) . . . . . 20

Buchynska I.V., Matrofailo M.M., Stupka O.O., Poberezhskyy A.V., Lazar H.I. Distribution of germanium in the coal of the Lviv-Volyn Basin. . . . . 35

Nasedkin Ye.I., Olshtynska O.P., Permyakov V.V., Dovbysh S.M., Ivanova G.M., Mytrofanova O.A., Fedoseenkov S.G. Features of the formation, intake and distribution of the iron-containing component in the water suspension of the Dnieper river within Zaporizhzhia city . . . . . 50

Lyalko V.I., Dugin S.S., Sybirtseva O.M., Dorofey Ye.M., Golubov S.I., Orlenko T.A. On the possibility of identifying peatland features using remote sensing data . . . . . 61

Shekhunova S.B., Negoda Y.O., Stadnichenko S.M., Shestopalov V.M., Rudenko Y.F., Siumar N.P. Hydrodynamic Model of Solotvyn Rock Salt Deposit . . . . . 79

#### From the history of science

Starostenko V.I., Kobolev V.P. To the 60th anniversary of the Department of Earth Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine. Part 1. Historical outline of the development of natural sciences from the founding of the Academy of Sciences of Ukraine to the establishment of the Department of Earth and Space Sciences of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR (1918–1962) . . . . . 97

Index of published articles 2023 . . . . . 122

(88)  
2023

# ІНСТИТУТ ГЕОЛОГІЧНИХ НАУК НАН УКРАЇНИ



**Адреса редакції:**

01601 Київ-54, вул. О. Гончара, 55-6  
Інститут геологічних наук НАН України  
Тел: 486-38-76  
E-mail: geojournal@igs-nas.org.ua

Відповідальний секретар *Н.І. Дугіна*  
Редактор *І.І. Сміль*

Технічний редактор *С.О. Шадріна*  
Комп'ютерна верстка *Н.К. Резнік*

Підп. до друку 29.12.2023 р. Формат 60 × 84/8.  
Гарн. Minion Pro. Ум. друк. арк. 14,42. Обл.-вид. арк. 17,07.  
Тираж 50 пр. Зам. № 7167

---

Віддруковано ВД «Академперіодика» НАН України  
вул. Терещенківська, 4, м. Київ, 01024, Україна  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів  
видавничої справи серії ДК № 544 від 27.07.2001



<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.4.279470>  
UDC 565.33:579.8 (916)

## New data on the systematics of Recent Ostracoda of the genus *Ambostracon* Hazel 1962 (Hemicytheridae, Podocopida) from South Africa

N.I. Dykan<sup>1\*</sup>, T. Daniel<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
E-mail: natalidykan@gmail.com

<sup>2</sup> Institute of Geosciences, University of Jena, Germany  
E-mail : thomas.daniel@hotmail.de

\*Corresponding author

The study provides a revision of the taxonomic composition (subgenera, species) of the genus *Ambostracon* Hazel 1962 and a monographic description of the fossil (Holocene) and Recent marine ostracods of the genus *Ambostracon* of South and South-Eastern Africa. The material examined comes from geological stations on the shelf, continental slope and deep-water depression (32–3059 m water depth) of three areas (from the southern coast Mossel Bay to the eastern coast south of Durban, the outer part of Maputo Bay and the eastern coast of South Africa) and surface sediment samples from lagoons, estuaries and coastal lakes of the eastern coast of the South East Africa (Wilderness area, 0.2–1000 m water depth) (R/V METEOR M123-2016). The validity of the selection of the subgenus *Ambostracon* *Patagonacythere* is discussed. Two species (*Ambostracon keeleri*, *A. flabellucostata*) and one new species (*Ambostracon frenzeli* sp. nov.) were described. The systematic section provides data about synonymy (compiled on the results of a revision of the species volume), holotype (paratypes, syntypes), material, diagnosis, description, dimensions (linear, relative), sexual dimorphism, individual and geographic variability (fixation of the manifestations and the range of the variability of the morphological elements of the shell), comparison, remarks, localities, stratigraphical position, geographical distribution, environmental conditions of the site (for recent species), palaeoecology (for fossil species), zoogeography. SEM-images of external and internal structures of the carapace (macro- and mesosculpture, central muscle scar field, hinge, normal pore canals) are provided.

**Keywords:** Crustacea; Ostracoda; Taxonomy; South Africa.

Citation: Dykan N.I., Daniel T. 2023. New data in the systematics of Recent Ostracoda of the genus *Ambostracon* Hazel 1962 (Hemicytheridae, Podocopida) from South Africa. *Geologičnij žurnal*, 4 (385): 3–19. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.4.279470>

Цитування: Дикань Н.І., Даніель Т. Нові дані з систематичного вивчення сучасних остракод роду *Ambostracon* Hazel 1962 (Hemicytheridae, Podocopida) Південної Африки. *Геологічний журнал*. 2023. № 4 (385). С. 3–19. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.4.279470>

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2023. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, 2023. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

## 1 Introduction

Recent marine *ostracods* of the genus *Ambostracon* Hazel 1962 (Hemicytheridae, Cytheroidea, Podocopida) are distributed along the continental margins of the northern and southern hemispheres: the near-shore littoral zone of the Pacific coasts of North America, California (McKenzie & Swain, 1967; Swain 1969) and South America, southern Patagonia of Chile (Hartmann, 1962; Rossi de Garcia, 1970; Valicenti, 1977), and in the Indian Ocean (South Africa) (Brady, 1881; Keeler, 1981; Boomer, 1985; Dingle, 1992–1995) Western Africa, the barrier reef of Kenya (Jellinek, 1993). The distribution areas of the fossil representatives of the genus *Ambostracon* partially coincide with the areas of the Recent species. Fossil species of *Ambostracon* are known from Paleogene deposits of South Africa (Valicenti, 1977; Frewin, 1987), from Miocene deposits of South-East Australia (McDonald & Warne, 2022), from Miocene deposits of Argentina (Rossi de Garcia, 1970), from Upper Pliocene deposits of northwest France (Maybury & Whatley, 1986), from Quaternary deposits of South Africa (Dingle, 1992–1995), from Lower Pleistocene deposits of North America, California (Hazel, 1962), from Holocene deposits of South Africa (Conway-Physick, 1995). In total 32 species of the genus *Ambostracon* have been described yet (Kempf, 1986).

The study of ostracods of the genus *Ambostracon* began in 1880 with the description of the female of *Cythere flabellucostata* n. sp. (syn. *Ambostracon* (A.) *flabellucostatum*; amended by R. Dingle (1992) by the English micropaleontologist George S. Brady from surface sediment of False Bay, South Africa). Brady documented the dimensions of the female shell, a brief comparative description of the male shell and their images. In 1962, Joseph E. Hazel identified the new genus *Ambostracon* n. gen. (type species *Ambostracon costatum* n. sp., Hazel, 1962, p. 822–824, text-figs. 1a, 2a, 3a-c) from the Lower Pleistocene deposits of California. Diagnosis of the genus *Ambostracon* Hazel 1962 by Hazel (1962): “This genus is characterized by its subquadrate lateral outline, robust ribbed ornamentation and holamphidont hinge, where the RV anterior tooth and socket are located on a “spatulate platform”. Based on the results of studying about 50 representatives of the genus *Ambostracon* Hazel 1962 (<https://www.marinespecies.org/ostracoda>),

the diagnosis of the genus has been expanded to include features of the macrosculpture, lock and central muscular field of the shell (Maybury & Whatley, 1986, c. 77): “...prominent costae, well developed intercostate pore conuli and weakly developed reticulation. The posterodorsal costa is curved and terminates below and just behind the eye tubercle. The anterodorsal costa is submarginal and extends from the mid-dorsal area of the valve through the eye tubercle to mid-anterior. The median costa is bifurcate anteriorly and interrupted anteromedianly by an irregularly-shaped tubercle. The ventral costa is gently curved and parallel to the median costa. Anteriorly and caudally there is a narrow, frill-like flang. Marginal pore canals are numerous, simple, straight and entire. Hinge holamphidont. Central muscle scars anteromedian in position, comprising a near vertical row of four adductors with the dorsomedian scars divided and three subcircular frontal scars in a slightly curved row. There are three dorsal scars close to the anterior section of the hinge's median elements and a suboval fulcral point situated above and between the adductor and frontal scar rows”.

In the same year, Gerd Hartmann described the new genus *Patagonacythere* n. gen. (type species *Patagonacythere tricostata* n. sp., Hartmann-Schröder & Hartmann, 1962; cited by Frewin, 1987, p. 37) from modern deposits of the Pacific coast of Chile and the coast of southern Patagonia. In 1977, V. Valicenti studied the fossil ostracods of the genera *Ambostracon* and *Patagonacythere* from the Oligocene-Eocene deposits of Patagonia (Argentina) and reclassified the two genera as two subgenera within the genus *Ambostracon*. There are *Ambostracon* (*Ambostracon*) (Hazel, 1962) and *Ambostracon* (*Patagonacythere*) (Hartmann, 1962). Valicenti (1977) defined the macrosculpture of the first order in the anterodorsal part of the shell (the degree of the development of the eye ridge) as a taxonomic sign of subgeneric rank. There is a weakly developed eye ridge in *Ambostracon* (*Ambostracon*) and a well-developed eye ridge of varying length in *Ambostracon* (*Patagonacythere*) (Frewin, 1987).

The results of a systematic study of Recent ostracods of the genus *Ambostracon* of South Africa (Meteor expedition M123, 2016, Institute of Geosciences, Jena, Germany) and analysis of literature sources showed that the ocular ridge has a significant range of variability in the degree of develop-



ment from a weakly to strongly developed ridge, of the size of the ridge (high or low, narrow or wide, short or long), a different position of the ridge on the valve surface (anterodorsal, dorsal), a different relation of the ocular ridge to the eye tubercle (connected with the eye tubercle or not), to the marginal anterior ridge (connects with anterior ridge or not) and the ventral ridge (isolated or not). The geographical variability of these morphological characters has not been recorded. Taxonomic characters of the subgenus in the hierarchical series “species-order” of ostracods of the order Podocopida are the details of the overlap of the valves, the type of meso-sculpture, the width of the duplicature at the anterior end (Dykan, 2006, 2016, 2022). Some of them have a significant range of variability or coincidence of qualitative and quantitative parameters and are diagnostic characters of the subgenus only within the fixed limits of this range and in combination with other subgeneric characters. In addition, the taxonomic weight of the individual characters in the different groups of ostracods partially does not coincide, i.e., there are taxonomic characters of a certain rank in one family which have a different rank in another family. According, each family and its lower taxa (subfamily, genus, subgenus, species) has its own system of taxonomic characters. Therefore, the question of the legitimacy of the selection of subgenera within the genus *Ambostracon* and the determination of morphological characters diagnostic for subgenera of the genus *Ambostracon* requires further systematic study of this group of ostracods.

The purpose of this study is a revision of the taxonomic composition and a monographic description of Recent species of the genus *Ambostracon* Hazel 1962 of South Africa from the collection M123-2016 of the Institute of Geosciences, Micropalaeontology Working Group, Friedrich-Schiller University of Jena, Germany, and a synthesis of the taxonomic literature of this genus.

## 2 Materials and methods

The material studied was sampled during the scientific research voyage R/V METEOR M123 (2016) at the southern and eastern coast of South Africa. Further taxonomic material originates from sampling campaigns within the RAIN program covering estuarine systems of South Africa.

Samples for microfaunistic analysis (ostracods) are from modern deposits on the shelf and continental slope of South and South-Eastern Africa from 25 stations from the eulittoral to 3060 m water depth of three main areas: from the southern coast near Mossel Bay to the eastern coast south of Durban and from the outer part of Maputo Bay and one station off the eastern coast of South Africa (Fig. 1). The additional material for taxonomic comparisons originates from surface sediment samples of lagoons, estuaries and coastal lakes in the Wilderness area in South Africa. Locations of the stations on the shelf were documented using ship acoustic systems along more than 900 nm profile lines. The sediment samples were washed on sieves dividing them into the fractions of 0.1–0.25 mm, 0.25–0.50 mm, 0.50–1.0 mm, 1.0–2.0 mm. The sieve residues were examined under a Stemi-305 ZEISS binocular microscope. The ostracods valves were collected using a fine wet brush and transferred to micropalaeontological collection cells. The morphology of the external and internal structure of a shell was studied by SEM and light microscopy images using a Philips XL30 ESEM and a Digital Microscope Keyence VHX-6000 (Institute of Zoology and Institute of Geosciences, Friedrich-Schiller-University Jena, Germany).

The description of ostracods was based on the principles and rules of the systematic study of fossil ostracods determined by the first author and tested on her own actual material (Dykan, 2006, 2016, 2020, 2021, 2022), which is important for a comprehensive characterization of the species and their revision. We give a detailed description of the morphological elements of the external and internal structure of the shell, use a unified terminology for the description of morphological elements, determine the numerical parameters for morphological elements with numerical characteristics, formalize the qualitative morphological characters, and determine the range of variability of the morphological elements. The description of ostracods is made in accordance with the International Code of Zoological Nomenclature (1999). The material investigated, including the types, is stored in the collection of the Micropalaeontology working group of the Institute of Geosciences, University of Jena, Germany, but will be transferred to the collection of the Iziko South African Museum in Cape Town in the near future.

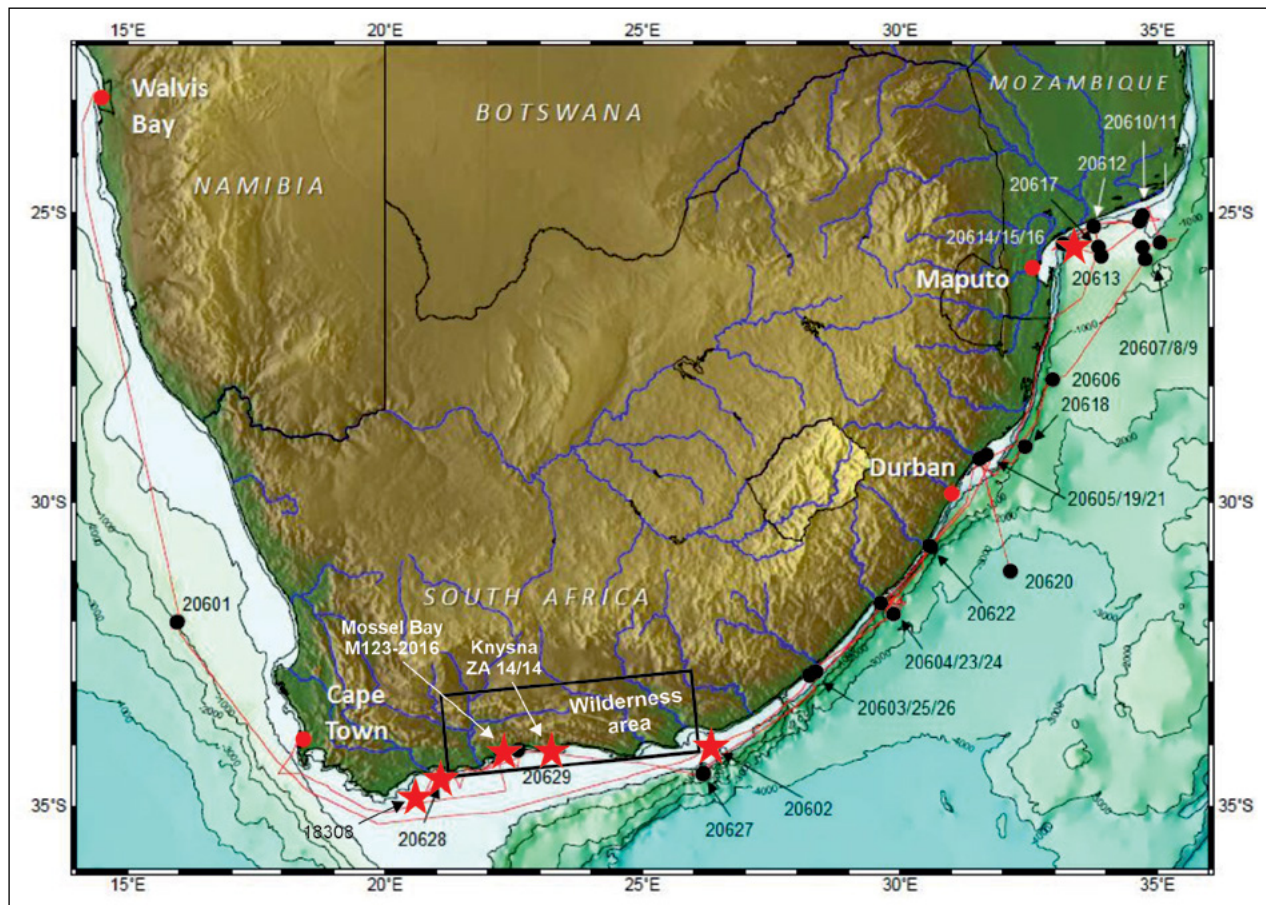


Fig. 1. Research area and the location of the sampling sites (R/V METEOR M123, 2016) (from Zabel 2017, modified). The red asterisks mark the locations of *Ambostracon* species

### 3 Abbreviations

H, height; L, length; L/H, degree ratio of elongation; C, carapace; V, valve; RV, right valve; LV, left valve; ♀, female; ♂, male; A, adult; J/early or last stages, juvenile stage of development; SEM/DM ZZZ-0, collection number of a specimen from collection M123-2016; PSU – Practical Salinity Units, 1 PSU corresponds to 1 ‰ (part per thousand) and 1 g/l (gram per litre); MWG – Micropalaentology working group of the Institute of Geosciences, Jena, Germany.

### 4 Results

#### Systematic paleontology

Phylum	Arthropoda von Siebold 1848
Subphylum	Crustacea Brünnich 1772
Class	Ostracoda Latreille 1802
Subclass	Podocopa G.O. Sars 1866

Order	Podocopa G.O. Sars 1866
Suborder	Cytherocopina Baird 1850
Superfamily	Cytheroidea Baird 1850
Family	Hemicytheridae Puri 1953
Genus	<b><i>Ambostracon</i> Hazel 1962</b>

#### *Ambostracon flabellicostatum* (Brady 1880)

Fig. 2, photo 1, 2, 3, 4, 5, 5a  
*Cythere flabellicostata* n. sp.: Brady, 1881: 88–89, pl. XIII, figs. 6 a-h.  
*Ambostracon* sp.: Keeler, 1981: 113–118, pl. 6, figs. 9–10, 13–14 (cited by Dingle, 1992).  
*Ambostracon* sp.: Boomer, 1985: 45–46, pl. 4, figs. 62 (cited by Dingle, 1992).  
*Ambostracon (Patagonacythere)* sp. A 468: Frewin, 1987: 40, pl. 13A, Fig. 2.9 (B).  
*Ambostracon (Ambostracon) flabellicostata*: Dingle, 1992: 43, 46, Fig. 28 A, B, C, D; 29 C, F; Dingle, 1994, Fig. 3 L; Conway-Physick, 1995: 30–31, Fig. 4.24, pl. 6 E, F, G, H; pl. 7 A, B.



**Holotype.** *Cythere flabellcostata* (Brady, 1881, p. 88–89, pl. XIII, figs. 6a–d, female, LV, external, x 60, L = 1–50<sup>th</sup> of an inch (5 mm); pl. XIII, fig. 6 e–h, male, LV, external, x 60, South Western Africa, Simon Bay, Challenger Station 140, 18.3–36.6 m depth water, Recent. The exact location of the holotype is unknown.

**Type series** (coll. M123-2016). SEM 20628-1 MA-1, station GeoB20628-1, A, ♀, LV; SEM OF-B-P34/3, station GeoB 20615-1, A, ♀, RV; DM OF-H-P11-002, station GeoB20602-1, A, ♀, RV; SEM ZA14/14-1, sample ZA14/14, A, ♂, LV; SEM ZA14/14-2, sample ZA14/14, A, ♂, LV.

**Material.** 3 valves of females (adult), 2 valves of males (adult).

**Diagnosis** by G.S. Brady (1881, p. 88–89): “...anterior extremity broad and obliquely rounded, posterior truncated, produced below the middle and slightly emarginated above; dorsal margin gibbous in front thence sloping with a slight convexity backwards, and ending a sharp angle; the sides are gently curved, converging gradually towards the front and more suddenly behind. The surface of the valves is marked throughout with large, irregularly-shape, angular cavities, separated from each other by sharply-cut ridge, which on the hinder half assume a radiating or fan-like arrangement. The shell of the male presents the assume elongated, compressed and angular form”.

**Diagnosis** by present authors: valve small, maximum convexity in median part. Surface with rugged sculpture, cellular-ribbed; ridges high and broadly rounded; cells small to large with wide muri. Loop-shaped ridge well expressed, elongated, high, narrow, with longitudinal ridge and large cells inside. Ocular ridge well expressed, long, high, broadly rounded, runs through large smooth eye tubercle, connects with ventral ridge. Ventral ridge long, high, sinuous, broadly rounded, runs from the top of the caudal process to anterior third. Marginal, high, broadly rounded ridge runs along the perimeter of the shell except for the posteroventral part. Marginal large tooth in posteroventral part. Hinge holamphydont, left-bared; terminal teeth are not bifid, high, tuberos; the median part is represented by a smooth bar.

**Description.** Shell of the female subrectangular, small (L = 0,56–0,59 mm, coll. M123-2016; LV, L = 0,51 mm) (Frewin, 1987), moderately elongate (L/H = 1,87–1,97). Maximum height in anterior third. Maximum convexity in the median part of the shell.

Wide flat flange posteroventrally. Dorsal margin inclined to posterior end (LV). Cardinal angles indistinct, rounded (RV). Ventral margin widely concaves in anterior third. Anterior end higher than posterior, rounded. Posterior end significantly concaves in the upper part and posterodorsally. Caudal process located at the lower of the longitudinal axis, rounded in the posteroventral part, well-expressed on the right valve. Surface with rugged sculpture, cellular-ribbed; large and distinctively reticulated in the central part of the valve but less distinctively in the marginal parts. The small to average cells are round, oval, and irregular in shape with wide flattened muri in anterior part and with high, rounded muri in posterior part. Ridges well developed, high, broadly rounded. Loop-shaped ridge well-expressed, high, elongated, narrow, located subdiagonally in the posterodorsal, posteromedian and anterior-median parts (RV), with well-expressed longitudinal ridge and large fossae inside. A short ridge extends from the apex of the loop-shaped ridge to the posterior cardinal angle. Ocular ridge long, high, broadly rounded, runs through the large, smooth eye tubercle to the anteroventral part where it bends almost at a right angle; connects with ventral ridge. Ventral ridge long, high, broadly rounded, sinuous; runs from the top of the caudal process in posterior part to anterior third. Marginal, high, broadly rounded ridge runs along the perimeter of the valve except for the posteroventral part; most developed at the anterior end. One marginal large tooth in posteroventral part. Hinge holamphydont, left-bared; terminal teeth are not bifid, high, tuberos; the median part is represented by a smooth bar. Central muscle scar field in the anteromedian part, well expressed outside (RV). Muscle scars bilinear: two large scars (upper scar elongated, lower scar rounded) in the right row and three vertical round scars in the left one.

**Dimensions.** SEM 20628-1 MA-1, A, ♀, LV, L = 0,59 mm, H = 0,33 mm, L/H = 1,79; SEM OF-B-P34/3, A, ♀, RV, L = 0,54 mm, H = 0,30 mm, L/H = 1,8; DM OF-H-P11, A, ♀, RV, L = 0,54 mm, H = 0,29 mm, L/H = 1,86; SEM ZA14/14-1, A, ♂, LV, L = 0,58 mm, H = 0,30 mm, L/H = 1,93; SEM ZA14/14-2, A, ♂, LV, L = 0,59 mm, H = 0,30 mm, L/H = 1,97.

**Sexual dimorphism.** Sexual dimorphism expressed. Manifested in size of the valve: female smaller than male (“female L = 1–50<sup>th</sup> of an inch (5 mm), male presents the assume elongated”, Brady, 1880, p. 88, fig. 6 a, e; female, LV, L = 0,51 mm,

Frewin, 1987; female, RV, L = 0.56–0.59 mm, male, LV, L = 0.58–0.59 mm, MWG, coll. M123-2016); in shape of the valve (“...the shell of the female quadrangular, dorsal margin gibbous in front thence sloping with a slight convexity backwards, the shell of the male elongated, compressed and angular form”, LV, Brady, 1881; Conway-Physick, 1995; subquadrate with straight dorsal margin in female, LV, Frewin, 1987; subrectangular with dorsal margin straight in female, RV, MWG, coll. M123-2016); in degree of elongation: male more than female (female from short-cut to moderately elongated: LV, L/H = 1.71–1.84; RV, L/H = 1.79–2.0; male elongated: LV, L/H = 1.93–2.06; RV, L/H = 2.24, Brady, 1880; Frewin, 1987; Dingle, 1992; Conway-Physick, 1995; MWG, coll. M123-2016).

**Variability.** Manifested slightly in size of the shell (L = 0.51–0.56 mm, Frewin, 1987; MWG, coll. M123-2016); in degree of elongation of female from short-cut (L/H = 1.04, Frewin, 1987) to moderately elongated (L/H = 1.71–1.87, Brady, 1880; Dingle, 1992; Conway-Physick, 1995; MWG, coll. M123-2016); in shape of female (subrectangular, Dingle, 1992; Conway-Physick, 1995; MWG, coll. M123-2016; subquadrate, Brady, 1880; Frewin, 1987; Dingle, 1992; Conway-Physick, 1995); in degree of development of the ocular ridge (one well expressed high, connects with eye tubercle, Brady, 1880; Frewin, 1987; Dingle, 1992; MWG, coll. M123-2016; one weakly expressed, Dingle, 1992; Conway-Physick, 1995); in degree of development of ventral ridge (well expressed, Brady, 1880; Dingle, 1992; Conway-Physick, 1995; MWG, coll. M123-2016; dominates among sculptural elements, Frewin, 1987).

**Comparison.** *Ambostracon flabellicostatum* (Brady, 1880) differs from *Ambostracon (A.) keeleri* (Dingle, 1992, p. 46–50, Fig. 34D–F, 35A–B, Quaternary, South West Africa; MWG, coll. M123-2016, Fig. 2, 6–8; Recent, South West Africa) by smaller size of the valves; rugged sculpture, better developed high, broadly rounded ridges and wide muri between cells; better developed loop-shaped ridge, its shape (high, elongated) and presence of internal longitudinal ridge inside; well expressed high ocular ridge and more developed and shorter ventral ridge; well-developed marginal ridge along the perimeter of the valve; sizes and smaller number of marginal teeth posteroventrally. It differs from *Ambostracon frenzeli* sp. nov. (MWG, coll. M123-2016, Figs. 3, 1–4; Figs. 4, 1–5; Recent,

South West Africa) by location of maximum convexity in the median part of the valve, rugged sculpture, well-developed ocular ridge, morphology of the ventral ridge, sizes and smaller number of marginal teeth posteroventrally.

**Localities.** Recent: Indian Ocean, continental shelf of the eastern coast of South Africa, southwest of Durban, station GeoB 20602, lat. 34° 2.241'S, long. 26°20.301'E, surface sediment (0–5 cm; here and on – depth of sampling), 117 m water depth, sandy mud substrate; continental shelf off the eastern coast of South Africa, Maputo Bay, station GeoB 20615, lat. 25°33.073' S, long. 33°12.181' E, surface sediment (0–5 cm), 200 m water depth, brown organic mud with low proportion of detritus and high proportion of organic material substrate; continental shelf off the southern coast of South Africa, Mossel Bay, station GeoB-20628, lat. 34°33.880' S, long. 21°05.670' E, Early Holocene, sediment depth 261.5 cm, 71 m water depth (inner shelf); Wilderness area of the eastern coast of South Africa (Knysna estuary, Thesen Island, sample ZA 14/14, lat. 34°03.666', long. 23°02.727', surface sediment (0–3 cm), 3 m water depth, muddy sand substrate, Fig. 1.

**Stratigraphical position.** Lower Palaeocene–Upper Eocene: continental shelf of South Africa, Agulhas Bank (Frewin, 1987). Miocene: Argentina (Rossi de Garcia, 1970; cited by Dingle, 1992). Quaternary: South-West Africa (Dingle, 1992). Holocene: continental shelf of South Africa (Conway-Physick, 1995), South-West Africa (Boomer, 1985). Recent: continental shelf of South Africa (Brady, 1880; Keeler, 1981), South-West Africa (Boomer, 1985; Dingle, 1992) and South-East Africa (Keeler, 1981), continental shelf of the eastern, southern and western coast of South Africa, estuaries and lagoons of the eastern coast (Wilderness area) (MWG, coll. M123-2016).

**Geographical distribution.** Recent. South-West Africa: continental shelf (Boomer 1985), Simon Bay (Brady, 1881), continental shelf between Kunene River and Cape Agulhas, lat. 20–34°S, long. 13–25' E (Dingle, 1992). South Africa: continental shelf from Cape Agulhas to Port Elizabeth, lat. 33–37°S, long. 19–27°E (Conway-Physick, 1995); continental shelf of the southern coast, Mossel Bay, lat. 34°33.880' S, long. 21°05.670' E (MWG, coll. M123-2016). South-East Africa: continental shelf southwest of Durban, lat. 34°2.241'S, long. 26°20.301'E; estuaries and lagoons of the southern



coast (Wilderness area) (MWG, coll. M123-2016); continental shelf up to the south Cape Agulhas and Reunion Island east of Madagascar (Keeler 1981). Fossil populations of the species *A. flabelllicostatum*: Lower Palaeocene-Upper Eocene, East Agulhas Bank shelf, South Africa (Frewin, 1987); Quaternary, zone between latitude 20.43°S and the eastern Agulhas Bank (Dingle, 1992).

**Habitat conditions.** In the collection M123-2016, the species *A. flabelllicostatum* is represented by single valves of adults and may have an allochthonous type of burial. Marine species. *A. flabelllicostatum* is abundant and widespread over the entire broad Agulhas Bank including the coral reefs, lat. 34.77°S (Conway-Physick, 1995); on the south-western shelf off Cape Peninsula to Saldanha Bay, lat. 33.16°S (Dingle, 1992); in estuaries of the eastern coast (Knysna estuary, MWG, coll. M123-2016). It exists at depths of 15–200 m (Brady, 1880; Dingle, 1992; Conway-Physick, 1995; MWG, coll. M123-2016), with a water temperature of +12,26 to +18,8°C and salinity of 35 PSU, but has a wider range of tolerance to temperature, salinity and dissolved oxygen (Conway-Physick, 1995; MWG, coll. M123-2016). *A. flabelllicostatum* was found on the Agulhas Bank in water depths of 30–200 m, in water temperature of +12,26°C and marine water of 35 PSU (Conway-Physick, 1995); on the south-western shelf in water depths of 15–131 m (Dingle, 1992) and on the eastern shelf in a water depth of 117 m (MWG, coll. M123-2016); in shallow habitats of the southern coast (Mossel Bay) in 71 m water depth; in Simon Bay in a water depth of 18,3–36,6 m (Brady, 1881); in Knysna estuary in a water depth of 3 m, at water temperature of +18,8°C, in saline water of 34,1 PSU and at pH of 8,22, on muddy sandy substrate (MWG, coll. M123-2016).

**Palaeoecology.** In the Quaternary *A. flabelllicostatum* existed in the narrow coastal zone of the southern-western shelf of the Cape Peninsula between latitude 20.43°S and the eastern coast of Cape Agulhas; upper depth threshold ranged from 31–40 m (Luderitz, south-western Cape) to 142–158 m (Walvis Bay, Orange Banks), lower depth threshold was 184–223 m; maximum abundance of *A. flabelllicostatum* was at depths of 40 m and 130–200 m (southern Namaqualand, south-western Cape, Walvis Bay), its minimum number was at a depth of 70–90 m (south-western Cape) (Dingle, 1992).

**Zoogeography.** Indo-Pacific species (Dykan, 2020).

### *Ambostracon keeleri* (Dingle 1992)

Fig. 2, photo. 6–8

*Ambostracon* sp.: Keeler, 1981: 115–120, pl. 6, figs. 11–12, 15–19 (cited for Dingle, 1992); Boomer, 1985: 45–46, pl. 4, figs. 67–69 (cited by Dingle, 1992).

*Ambostracon (Ambostracon) keeleri* sp. nov.: Dingle, 1992: 46–50, figs. 29 A, D, G, 34 D, E, F, 35 A–B; Dingle, 1994, Fig. 4, C; Dingle, 1995, pl. 1, fig. 9; Conway-Physick, 1995: 31, Fig. 4.25, pl. 7, figs. C, D.

*Ambostracon (Patagonacythere)* sp. 3556: Dingle, 1993: 98, Fig. 54 C, D.

**Holotype.** *Ambostracon (Ambostracon) keeleri* (Dingle, 1992, p. 46–50), fig. 34 D, LV, external, x 100, L = 0.70 mm, H = 0.38 mm, L/H = 1.84; continental shelf of south-western Africa between the Kunene River and Cape Peninsula, lat. 34°09' S, long. 18°22' E; SAM-PQ-MF-0551, TBD 6823, collection no. SEM 2529; 120 m water depth, sandy substrate, Recent. South African Museum (Cape Town, South Africa).

**Type series** (coll. M123-2016). DM OF-H-P13, station GeoB 20602-1, A, ♀, LV; DM OF-H-P12, station GeoB 20602-1, A, ♂, RV; DM OF-H-P7, station GeoB 20602-1, A, J/last stages, ♀, LV; DM OF-H-P8, station GeoB 20602-1, A, J/last stages, ♀, RV.

**Material.** 1 valve of female (adult), 1 valve of male (adult), 2 valves of females (juveniles).

**Diagnosis** by Dingle (1992, p. 47): "...species with a strong ocular ridge that runs anterior to the eye tubercle, and is not continuous with the ventrolateral ridge. Ridges radiate centrally from the subcentral tubercle".

**Diagnosis** by present authors: valve middle size, maximum convexity in median part. Surface with fine sculpture, cellular-ribbed; ridges high and low, narrow and wide; cells average to large with thin muri. Loop-shaped ridge weakly expressed, low, short, with fuzzy cells inside. Ocular ridge weakly expressed, low, narrow, short, connects with spheric, large, smooth eye tubercle. Anterior ridge runs behind the eye tubercle and connects with the ventral ridge. Ventral ridge wide, rounded, runs from the top of the caudal process to the anterior ridge. Numerous very small teeth are located along the anterior end, three to four teeth developed posteroventrally. Hinge holamphydont, left-bared; terminal teeth are not bifid, high, tuberos; median part is represented by a smooth bar.

**Description.** Shell subrectangular, medium size (L = 0.66–0.69 mm), moderately elongate (L/H = 1.74–1.97). Maximum height in anterior third. Maximum convexity in median part of the shell. Dorsal margin straight and inclined to posterior end. Posterior cardinal angle well-expressed, rounded (RV). Ventral margin widely concaves in anterior third. Anterior end higher than posterior, rounded. The posterior end is nearly vertical beveled and concave posterodorsally. Caudal process located at the level of the longitudinal axis, well-expressed on the right valve, rounded posteroventrally. Surface with fine sculpture, cellular-ribbed. Cells average to large in size, of various shapes (round, three-pentagonal angular, irregular), with low thin muri. Ridges wide in posteromedian part, thin in posterior part; low, flat and narrowly rounded; diverge radially from the subcentral tubercle in the median part. Loop-shaped ridge located in the posterodorsal, middle-dorsal and median-dorsal parts; weakly expressed, low, short, with fuzzy cells inside. Ocular ridge located in the anterodorsal part of the valve and connects with eye tubercle; weakly expressed, low, narrow, short. Anterior ridge runs behind the eye tubercle and does not cross it, connects with the ventral ridge. Ventral ridge wide, rounded, runs from the top of the caudal process to the anterior ridge. Eye tubercle is of spheric shape, large and smooth. In juveniles an eye tubercle connects with the subcentral tubercle by a short-curved ridge (Dingle, 1922, p. 48). Numerous very small teeth are located along the anterior end, three to four teeth developed posteroventrally. Duplicature width, at the anterior end 2.5 times wider than at the posterior end. Zone of the marginal pore canals is wide at the anterior end. Marginal pore canals are numerous (about 50, MWG, coll. M123-2016; near 30, Dingle 1992), simple, single-tier, unevenly located, single and grouped in two, long and short, straight narrow and ampoule-shaped in the anterior end. Hinge holamphydont, left-bared. Terminal teeth are not bifid, high, tuberos; the median part is represented by a smooth bar. Anterior terminal elements of the right valve are represented by a high, smooth tooth and a deep narrow pit; the posterior terminal element is represented by a low tooth weakly crenulated in two parts; the median part is represented by a narrow groove. Anterior terminal elements of the left valve are represented by a large deep pit and a small tuberos tooth on the inside; the posterior element is represented by a large deep pit; the median

part is represented by a smooth bar (Dingle, 1992, p. 48, 52, Fig. 35 A; B). The central muscle scar field has the shape of a smooth weakly concave tubercle in the anteromedian part on the outside of the valve, muscle scars could not be observed. Dingle (1992, p. 48, Fig. 29 D, E, F) remarked too that «muscle scars could not be clearly seen, despite the large number of specimens available», and mentions «...a total of six scars» of the adductor group located bilinear and noted that adductor scars of the species *Ambostracon (A.) keeleri* «...appear to be simpler than those in *A. flabellcostata* and *A. levezovi*». Anterior ridge is well-expressed, short, curved in larvae of last stages.

**Dimensions.** DM OF-H-P13, A, ♀, LV, L = 0.66 mm, H = 0.38 mm, L/H = 1.74; DM OF-H-P12, A, ♂, RV, L = 0.69 mm, H = 0.35 mm, L/H = 1.97; OF-H-P7, J/last stages, ♀, LV, L = 0.57 mm, H = 0.32 mm, L/H = 1.78; OF-H-P8, J/last stages, ♀, RV, L = 0.58 mm, H = 0.32 mm, L/H = 1.81.

**Sexual dimorphism.** Weakly expressed. Manifested in size of the valve (females, L = 0.66–0.70 mm, MWG, coll. M123-2016; L = 0.77–0.80 mm, Dingle, 1993; slightly larger than males, L = 0.68–0.69 mm, Dingle, 1992), in degree of elongation (males, L/H = 1.97–2.06, longer than females, L/H = 1.74–2.0), in degree of expression of the caudal process (in males well expressed, in females weakly expressed).

**Remarks.** In the description of the species *Ambostracon (A.) keeleri* sp. nov. Dingle (1992, p. 48) noted that «...males more elongate than females, but he did not indicate the sex of the specimens on the palaeontological tables. Figs. 34 D, 35 B (L = 0.70 mm, L/H = 1.84; L = 0.69 mm, L/H = 1.84, Dingle, 1992), fig. 4 C (Dingle, 1994), pl. 1, fig. 9 (Dingle, 1995) show left valve of females; on figs. 34 E, 35 A (L = 0.8 mm, L/H = 1.94–2.06, Dingle, 1992) show a right valve of a male. Conway-Physick (1995) shows the left and right valves of females on pl. 7, fig. C, D (L/H = 1.77–1.81).

**Variability.** Manifested slightly in size of the valve (L = 0.66–0.69 mm, MWG, coll. M123-2016; L = 0.68–0.73 mm, Dingle, 1992), in degree of elongation of the valve (L/H = 1.74–1.97, MWG, coll. M123-2016; L/H = 1.82–2.06, Dingle 1992; L/H = 1.84–1.86, Conway-Physick 1995); in degree of expression of the ocular ridge (very weakly expressed, MWG, coll. M123-2016; from strong to weakly expressed, more strongly developed on the right valve, Dingle, 1992, pl. 34 D, E); in degree of

expression (clear, weakly expressed) and slightly in size (length and width) of loop-shaped ridge; in internal surface sculpture (cellular or absent); in morphology of anterior ridge which is well-expressed in females of last stages larvae.

**Geographical variability.** According to Conway-Physick (1995), populations of *A. keeleri* in the biotopes of the Agulhas Bank have a more strongly developed anterior ridge than representatives of this species on the west coast of South Africa.

**Comparison.** *Ambostracon keeleri* Dingle 1992 (p. 46–50, 34 D–F, 35 A–B, Quaternary, South West Africa) differs from *A. frenzeli* sp. nov. by larger size of the shell, less convexity of the shell in their median part, smoothly rounded caudal process, size of loop-shaped ridge (wider and shorter), location of the anterior ridge relative to the eye tubercle (behind the eye tubercle), weakly developed (short, low) ocular ridge; structure of the hinge (hinge holamphydont with terminal high and not bifid teeth and smooth bars in the median part in *A. keeleri*; hinge paramphydont with crenulated terminal teeth and fine-crenulated groove in the median part in *A. frenzeli* sp. nov.). *A. keeleri* Dingle 1992 differs from *A. flabellicostata* (Brady 1880) (Dingle, 1992, p. 43, 46, Figs. 28 A–D, 29 C, F, Quaternary, South Africa; MWG, coll. M123-2016, Figs. 2, 1–5, Recent, South Africa) by larger size of the shell, thin-celled sculpture (cells with thin muri); weakly developed loop-shaped ridge and its shape (low, short); weakly developed short (reaches eye tubercle) ocular ridge and its isolation from anterior ridge; location of the anterior ridge behind eye tubercle; absence of peripheral ridge along the edge of the valves; numerous marginal teeth on the anterior end and posteroventrally.

**Localities.** Recent: Indian Ocean, continental shelf of the east coast of South Africa, southwest of Durban, sample GeoB 20602-1, lat. 34°2.241', long. 26°20.301', surface sediment (0–5 cm), 117 m water depth, sandy mud substrate.

**Stratigraphical position.** Quaternary: continental shelf of south-western Africa (Dingle, 1992, 1994). Holocene: continental shelf of South Africa (Conway-Physick, 1995) and South-West Africa (Boomer, 1985). Recent: continental shelf of South Africa (Keeler, 1981), South-West Africa (Boomer, 1985; Dingle, 1992) and South-East Africa (Keeler, 1981); continental shelf of the eastern, southern and western coast of South Africa (MWG, coll. M123-2016).

**Geographical distribution.** *Ambostracon keeleri* Dingle 1992 is rare, it occurs only on the South African shelf of the Atlantic and Indian Oceans. South-West Africa, continental shelf (Boomer, 1985), continental shelf between Kunene River and Cape Agulhas, lat. 34°09' S, long. 18°22' E (Dingle 1992, 1994). South Africa, the nearshore zone of the south-western Cape Peninsula between St Helena Bay, lat. 32.68°S and Cape Agulhas, lat. 34.77°S (Dingle, 1992); the continental shelf from Cape Agulhas to Port Elizabeth, lat. 33–37°S, long. 19–27°E (Conway-Physick, 1995). South-East Africa: continental shelf southwest of Durban, lat. 34°2.241'S, long. 26°20.301'E (MWG, coll. M123-2016), continental shelf between Cape Agulhas and Reunion Island east of Madagascar (Keeler, 1981).

**Habitat conditions.** Marine species. *Ambostracon keeleri* is widespread on the continental shelf of the south-western coasts of South Africa from Cape Peninsula to north-west (Dingle, 1992, 1994; Conway-Physick, 1995). Psammophile (85.2 % of individuals were found on sandy substrate; Conway-Physick, 1995). The distribution of this species is limited by nearshore sites of the south-western part of the Cape between St Helena Bay (32.68°S, 18 m water depth) and Cape Agulhas (34.77°S, 73 m water depth); it is widespread in Hout Bay on Cape Peninsula from 15 m to 140 m water depths. It exists in the broad shallow shelf of the Agulhas Bank at depths of 15–200 m and has a high population density at depths of 95–140 m (maximum in mid-shelf zone, near 120 m), in average water temperature of +11.6 to +12.7 C and a salinity of 35 PSU (Dingle, 1992). The distribution of the species *A. keeleri* on the continental shelf of South-West Africa from Cape Peninsula to the North is limited by the low water temperature of the Benguela current (Dingle, 1992; Conway-Physick, 1995).

**Palaeoecology.** In the Quaternary *A. keeleri* was widespread in the narrow coastal zone of the southern to western shelf of Cape Peninsula between latitude 20.43°S and the eastern coast of Cape Agulhas with the Walvis Shelf populations being relatively sparse. A narrow zone of high population density was found on the Walvis shelf (from latitude 20.43°S to 23.43°S) and from the south-western Cape Peninsula to Luderitz (on the mid-shelf with water depths of about 120 m). Upper depth threshold ranged from 15 m (south-western Cape) and 31 m (Luderitz) to 158 m



(Orange Banks) and 160 m (Walvis Bay). Lower depth threshold ranged from 200 m (Walvis Shelf) to 252-303 m (all the southern areas). Maximum abundance of *A. keeleri* was found at water depths of 90-160 m in the south-western Cape Peninsula (Dingle, 1992).

**Zoogeography.** Indo-Pacific species (Dykan, 2020).

***Ambostracon frenzeli* sp. nov.**

Fig. 3, photo 1, 2, 3, 3a, 3c, 3d, 3k, 4, 4a, 4b;

Fig. 4, photo 1, 2, 2a, 2b, 3, 3a, 3b, 4, 5

**Etymology.** Named after Peter Frenzel (Jena), in recognition of his contribution to the study of ostracods.

**Holotype.** *Ambostracon frenzeli* sp. nov. (Fig. 3, 1 – adult, female, RV, external,  $\times 210$ , SEM DN-4, station GeoB 20615, L = 0.48 mm, H = 0.28 mm, L/H = 1.71; Fig. 3, 2 – adult, male, LV, external, SEM OF-E-014, station GeoB 20615, L = 0.53 mm, H = 0.28 mm, L/H = 1.89. South Africa, Maputo Bay, lat. 25°33.073'S, long. 33°12.181'E, 200 m water depth, int. 0-5 cm, mud substrate, Recent. Collection M123-2016, Institute of Geosciences (University of Jena, Germany). LSID urn: lsid:zoobank.org:pub:F5A34CEF-E3F9-472B-A7F6-66974A362ADE

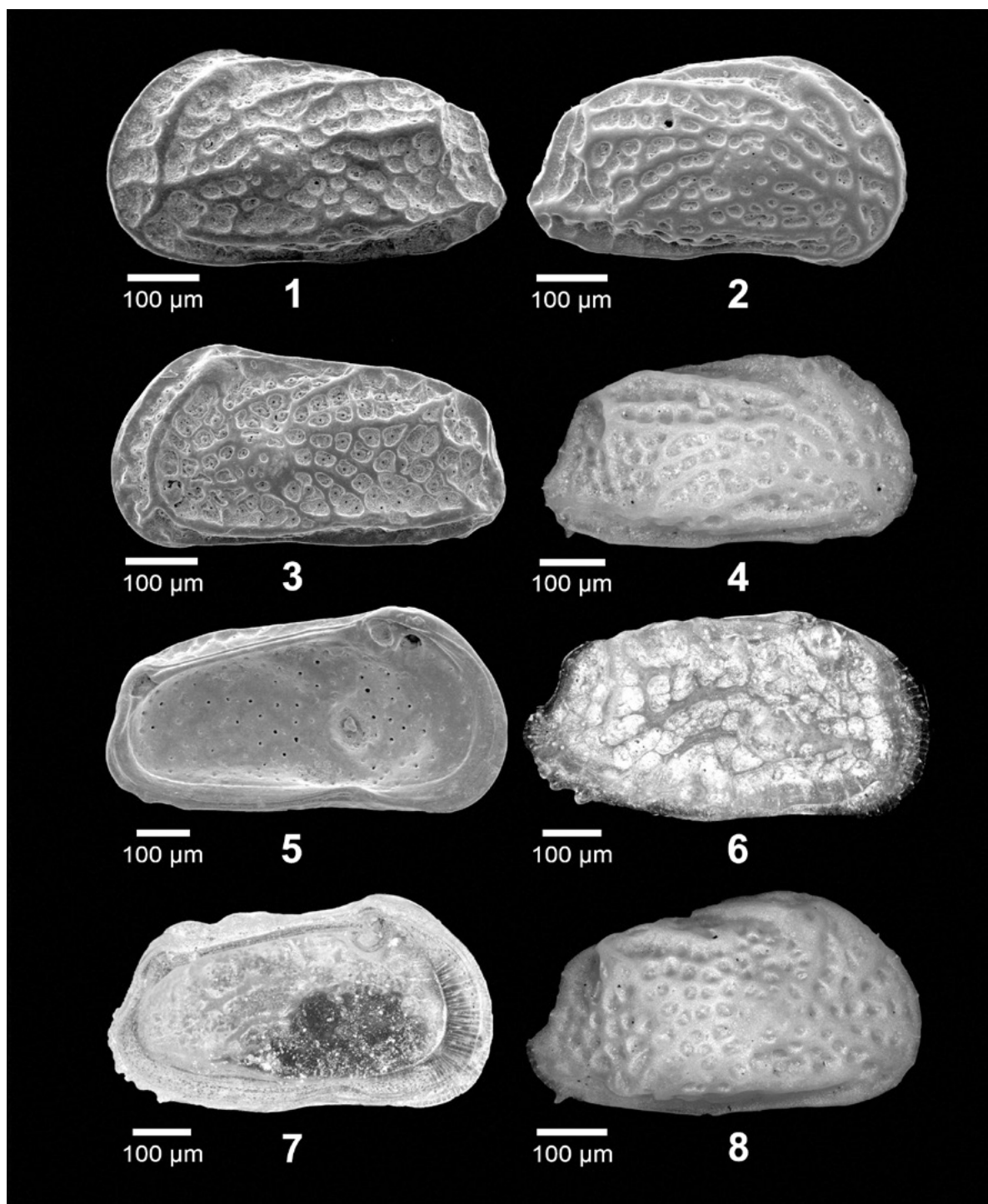
**Paratypes** (coll. M123-2016). DM DN-8, station GeoB 18308-1, A, ♀, RV; DM DN-6, sample GeoB 18308, ♀, LV; SEM OF-B-P35, station GeoB 20615, A, ♀, RV; SEM OF-E-014, station GeoB 20615-1, A, ♂, LV; SEM OF-E-007, station GeoB 20615-1, A, ♂, RV; DM OF-E-P7, station GeoB 20615-1, A, ♂, RV; SEM OF-B-P34/1, station GeoB 20615-1, A, ♂, RV; DM DN-7, station GeoB 18308-1, A, ♂, LV; ZA14/14-3, sample ZA14/14, juv., ♀, LV; SEM ZA14/14-4, sample ZA14/14, juv., ♀, RV; DM DN-3, station GeoB 20615, J/last stages, ♀, LV.

**Material.** 4 valves of females (adult), 7 valves of males (adult), 3 valves of juveniles.

**Diagnosis:** Shell is small, maximum convexity in the medianventral and posteromedian parts. Valves finely sculptured, cellular-ribbed; ridges high and narrow; cells average to large with fuzzy muri. Loop-shaped ridge well expressed, elongated, high, with longitudinal ridge inside. Ocular ridge well expressed, long, low, narrow, runs through smooth, flattened, average size eye tubercle, isolated from ventral ridge. There are

two ventral ridges in the ventral part of the valve. High narrow ridges run along the anterior end and anteroventral part of the valve. Numerous very small teeth are located along anterior end. One to two marginal teeth developed posteroventrally. Surface pore canals well expressed. Hinge paramphidont, terminal teeth are crenulated, low, long; median part is represented by fine-crenulated groove (RV).

**Description.** Shell subtrapezoid (female) and subrectangular (male), small (L = 0.48-0.58 mm), moderately elongate (L/H = 1.70-2.04), moderately wide (L/W = 2.43). Maximum height in anterior third. Maximum convexity in median-ventral and posteromedian parts. Wide flat flange in posteroventral position. Dorsal margin straight and inclined to posterior end. Anterior cardinal angle weakly distinct or indistinct, posterior cardinal angle well expressed, rounded. Ventral margin widely concaves in anterior third. Contact well-expressed and high tuberos knob-stop is in middle-ventral part. Anterior end higher than posterior, rounded. Posterior end significantly concave posterodorsally. Well-expressed caudal process located at the level of the longitudinal axis, has the form of a straight bevelled ledge with a rounded or sharp top. Valve surface finely sculptured, cellular-ribbed. Cells are of various shapes (round, three-pentagonal angular, irregular), average to large (size of the cells increases from the center to the margins of the valve), muri thin, low, weakly expressed. Ridges high, narrowly rounded, diverge radially from the muscular field in the central part of the valve. Loop-shaped ridge located in the posterodorsal, posteromedian and median-dorsal parts (RV); it is well expressed, high, elongated, diagonally located in the posterodorsal, posteromedian and anterior-median parts of the left valve, with well-expressed longitudinal ridge and reticulated surface inside. A well-defined short ridge extends from the apex of the loop-shaped ridge to the posterior cardinal angle. Ocular ridge weakly expressed, low, narrow, short; connects with eye tubercle on the left valve and isolated from ventral ridge on LV, connects with it on LV. There are two ventral ridges. A high, narrow, lamellar ridge runs from top of the caudal process to middle part of the valve; a low, narrow, short ridge runs from middle part of the valve to ante-



**Fig. 2.** *Ambostracon flabellucostata* (Brady, 1880): 1 – SEM 20628-1 MA-1 (paratype), A, ♀, LV, external, South Africa, Mossel Bay, station GeoB20628, 71 m water depth, surface sediment 261.5 cm, Recent. 2 – SEM OF-B-P34/3 (paratype), A, ♀, RV, external, South Africa, Maputo Bay, station GeoB 20615, 200 m water depth, surface sediment (0–5 cm), Recent. 3 – SEM ZA14/14-1 (paratype), A, ♂, LV, external, South Africa, Knysna estuary (Thesen Island), sample ZA14/14, 3 m water depth, surface sediment (0–3 cm), Recent. 4 – DM OF-H-P11-002 (paratype), A, ♀, RV, external, South Africa (southwest of Durban), station GeoB20602, 117 m water depth, surface sediment (0–5 cm), Recent. 5 – SEM ZA14/14-2 (paratype), A, ♂, LV, internal, South Africa, Knysna estuary (Thesen Island), sample ZA14/14, 3 m water depth, surface sediment (0–3 cm), Recent. 5a – hinge. *Ambostracon keeleri* (Dingle, 1992): 6 – DM OF-H-P12 (paratype), A, ♂, RV, external, South Africa (the southwest of Durban), sample GeoB 20602, 117 m water depth, surface sediment (0–5 cm), Recent. 7 – DM OF-H-P13 (paratype), A, ♀, LV, internal, South Africa (the southwest of Durban), sample GeoB 20602, 117 m water depth, surface sediment (0–5 cm), Recent. 8 – DM OF-H-P8 (paratype), J/last stages, ♀, RV, external, South Africa (southwest of Durban), station GeoB 20602, 117 m water depth, surface sediment (0–5 cm), Recent

rior third of the valve. A high, narrow and rounded ridge runs along the periphery of the anterior end. Eye tubercle is of average size, smooth, flattened. Numerous very small teeth are located along the anterior end. One to two marginal teeth developed in the posteroventral part. Duplication narrow at the anterior and posterior ends. Normal pore canals unevenly located, opened, have the form of a convex high tubercle with a raised rounded osculum without a rim (larvae of the last stages). Hinge paramphidont, left-bared. Anterior terminal element of the right valve is represented by a low, long tooth, notched into ten parts (denticle's size decrease inwards); posterior terminal element is represented by a higher and shorter tooth, crenulated into six to seven parts; median part is represented by a narrow fine-crenulated groove. Central muscle scar field is well expressed on the inside of the carapace, located in the antero-median part of the right valve and in the median one in the left valve. The type of adductor muscle scars is bilinear (three scars in each row), upper scar is rounded, lower scars are elongated. Two frontal rounded scars are in front and above the adductor muscles.

In larvae the maximum convexity is located in mid-dorsal part of the valve, caudal process is below the longitudinal axis, anterior and ventral ridges are well expressed, posterodorsal loop-shaped ridge is low, cells located concentrically with respect to the muscular field.

**Dimensions.** SEM DN-4 (holotype), A, ♀, RV, L = 0.48 mm, H = 0.28 mm, L/H = 1.71; SEM OF-E-014 (holotype), A, ♂, LV, L = 0.53 mm, H = 0.28 mm, L/H = 1.89; SEM DM DN-6 (paratype), A, ♀, LV, L = 0.50 mm, H = 0.26 mm, L/H = 1.92; DM DN-8 (paratype), A, ♀, RV, L = 0.51 mm, H = 0.30 mm, L/H = 1.70; SEM OF-E-006 (paratype), A, ♂, LV, L = 0.58 mm, H = 0.30 mm, L/H = 1.93; SEM OF-E-007 (paratype), A, ♂, RV, L = 0.56 mm, H = 0.29 mm, L/H = 1.93; SEM DN-7 (paratype), A, ♂, LV, L = 0.51 mm, H = 0.25 mm, L/H = 2.04; DM OF-E-P7 (paratype), A, ♂, RV, L = 0.56 mm, H = 0.28 mm, L/H = 1.93; SEM OF-B-P34/1 (paratype), A, ♂, RV, L = 0.58 mm, H = 0.30 mm, L/H = 1.93; DM DN-3, J/last stages, ♀, LV, L = 0.45 mm, H = 0.25 mm, L/H = 1.8; SEM DN-1, J/early stages, ♀, LV, L = 0.35 mm, H = 0.21 mm, L/H = 1.65; SEM DN-2, J/early stages, ♀, RV, L = 0.35 mm, H = 0.21 mm, L/H = 1.65.

**Sexual dimorphism.** Strongly expressed. Manifested in shape of the shell (irregularly subtrapezoid in female; irregularly subrectangular in male), in size of the shell (male, L = 0.51–0.58 mm, larger than female, L = 0.48–0.53 mm), in degree of elongation of the shell (male, L/H = 1.93–2.04, more than female, L/H = 1.89–1.92), in degree of concavity of the ventral margin (in male less than in female), in development of reticulation sculpture (the cells are larger and the muri of the cells are low and wide in female; the cells are less expressed, small or of an average size, the muri are low or smooth in males), in development of the ridges (anterior and ventral ridges are more expressed, high and wide, without a net of ridges in the central part of the shell in female; the diagonal and longitudinal, short and long, narrow ridges in the median part of the shell, a short high ridge in the middle of the loop-shaped ridge in male), in degree of expression of the posterodorsal loop-shaped ridge (strongly expressed in female, less expressed in male), in the number of marginal teeth in the posteroventral part (three to four teeth in females, one tooth in males), in degree of expression of the muscular field (clear from the outside and inside, rounded, large, convex, smooth in females; slightly expressed, fuzzy in male).

**Variability.** Manifested in size of the shell (L = 0.48–0.58 mm), in expression of the anterior cardinal angle (unexpressed to weakly expressed; rounded, rectangular shape); in degree of inclination of dorsal margin to posterior end in male (from strongly to slightly); in size (narrow or wide, short or long, low or high top) and sculpture (well expressed longitudinal ridge, one or two small transverse ridges, only cells inside) of loop-shaped ridge; in the size, shape and number of marginal teeth in the posteroventral part (one large tooth with a wide base and a rounded tip at the border of the posterior and middle ventral parts; three to four low rounded teeth in the posteroventral part; three teeth on top of the caudal process of which the middle tooth is large); in male in degree of development of the caudal process (weak or well expressed) and degree expressed of the ridges on LV (from strongly expressed to rare weakly expressed); in female in more developed ridges and cells on the right valve.



**Remarks.** The type of the hinge (general features of the structure of the middle and marginal parts of the hinge) is a diagnostic generic character of marine ostracods. The details of the hinge structure (more stable middle part and variable terminal elements) are taxonomic characters of the species (e.g., shape and size of teeth in *Leptocythere*, Dykan, 2006). The hinge of the genus *Ambostracon* Hazel 1962 (*Ambostracon europea* Maybury & Whatley, 1986, p. 77–80, figs. 1a–b; Upper Pliocene, NW France; *A. costaforva* Whatley & Maybury 1986, there only p. 81–84, figs. 1, 3, 4a–b; *A. delicata* Whatley & Maybury 1986, there only p. 85–88, figs. 2a–b, 3a–b; *A. (A.) keeleri*, Dingle, 1992, fig. 35A–B, Quaternary, South Africa) is amphidont of the holamphidont subtype: terminal anterior smooth high tuberos tooth, posterior smooth or weakly crenulated tuberos tooth and smooth bars in the median part. The hinge of the of species *A. (A.) frenzeli* sp. nov. is of the paramphidontic subtype with crenulated median part and terminal elements (long, low, anterior and posterior teeth).

**Comparison.** *Ambostracon frenzeli* sp. nov. (MWG, coll. M123-2016, Recent, South Africa) differs from *A. europea* Maybury & Whatley 1986 (Maybury & Whatley, 1986, p. 77–80, pl. 13, 78, figs. 1a,b, 3a,b; pl. 13, 80, figs. 1a,b, 3a,b, 4a,b; Upper Pliocene, NW France) by location of the loop-shaped ridge on the surface of the valve, clear reticulation of surface, absence of diagonal ridges in the anteroventral part and frill-like flange anteriorly and caudally, structure of the anterior marginal element of the hinge (long, low and crenulated teeth). *A. frenzeli* sp. nov. differs from *A. keeleri* Dingle 1992 by smaller size of the shell (*A. frenzeli* sp. nov.: L = 0,48–0,58 mm, MWG, coll. M123-2016, Recent, South Africa; *A. keeleri*: L = 0,66–0,73 mm, Dingle 1992, Quaternary, South West Africa); well expressed caudal process on LV; strongly convex valve in posterior and posteromedian part; well expressed high, diagonally located loop-shaped ridge and sculpture (ridges, cells) inside; well expressed long ocular ridge which runs through eye tubercle; well expressed ventral ridge passing along limit of maximum convexity of the shell; the structure of the hinge (paramphidont with crenulated terminal teeth and fine-crenulated groove in the median part in *A. frenzeli*; holamphidont with anteriorly not bifid, high, tuberos teeth and a smooth bar in the median part in *A. keeleri*). *A. frenzeli* sp. nov. dif-

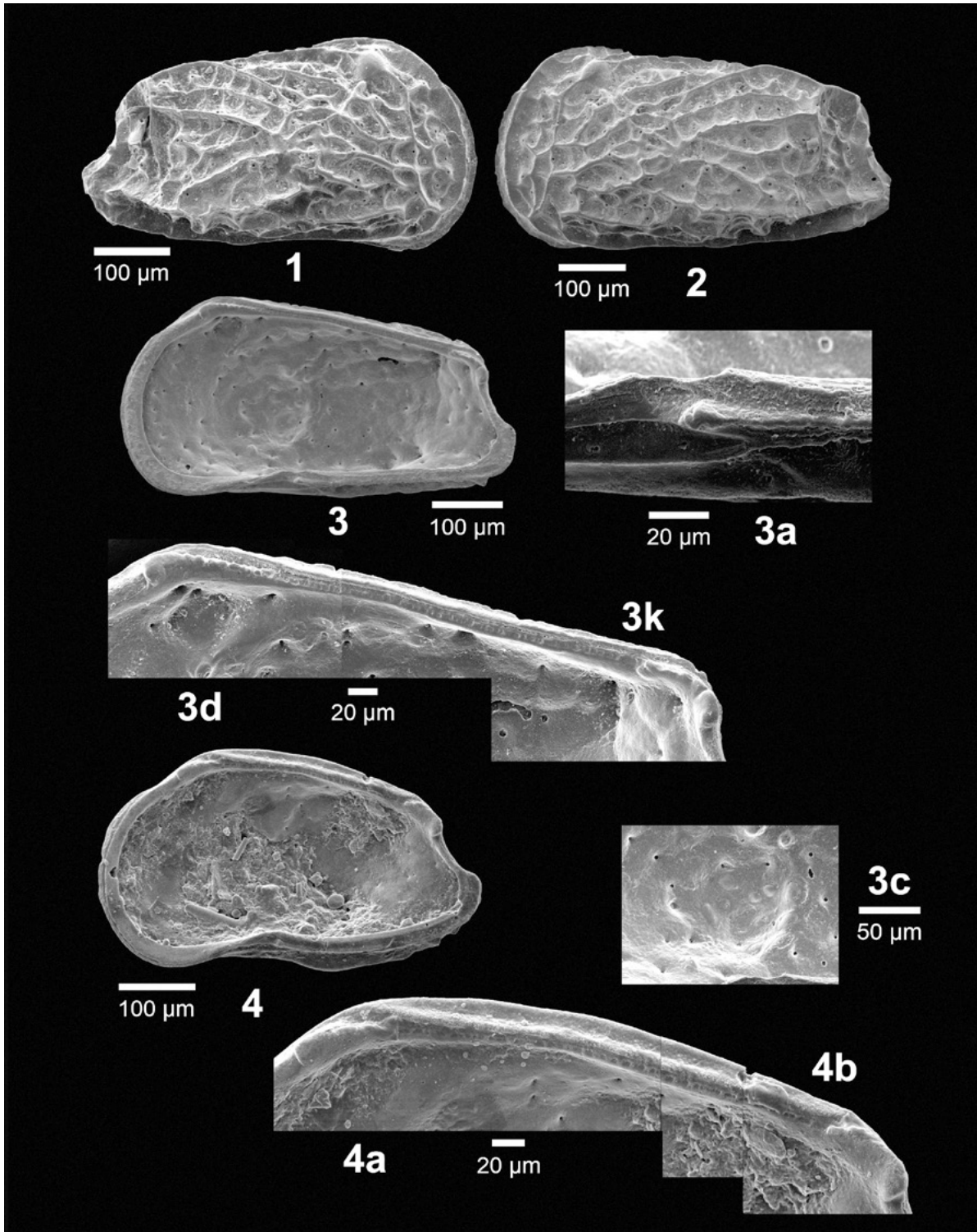
fers from *A. flabellcostata* (Brady 1880) by location of maximum convexity of the valve in the median-ventral and posteromedian parts; finely sculpted surface (narrow ridges with weakly expressed muri between them); smaller width of ocular ridge, narrow high peripheral ridge along anterior end, morphology of ventral ridges, greater number and size of marginal teeth.

**Locality.** Recent: Indian Ocean, continental shelf of the eastern coast of South Africa, southwest of Durban, station GeoB 20602, lat. 34°2.241' S, long. 26°20.301' E, surface sediment (0–5 cm), 117 m water depth, on sandy mud substrate; 200 m water depth, on organic mud substrate; continental shelf off the eastern coast of South Africa, Maputo Bay, station GeoB 20615, lat. 25°33.073' S, long. 33°12.181' E, surface sediment (0–5 cm), 200 m water depth, substrate: brown organic mud with low proportion of detritus and high proportion of organic material; continental shelf off the southern coast of South Africa, Mossel Bay, station GeoB 18308, lat. 34°22'23,34" S, long. 21°55'44,8212" E; surface sediment (0–2 cm), 39.8 m water depth, muddy substrate; estuaries and lagoons of the eastern coast (Wilderness area, Knysna estuary).

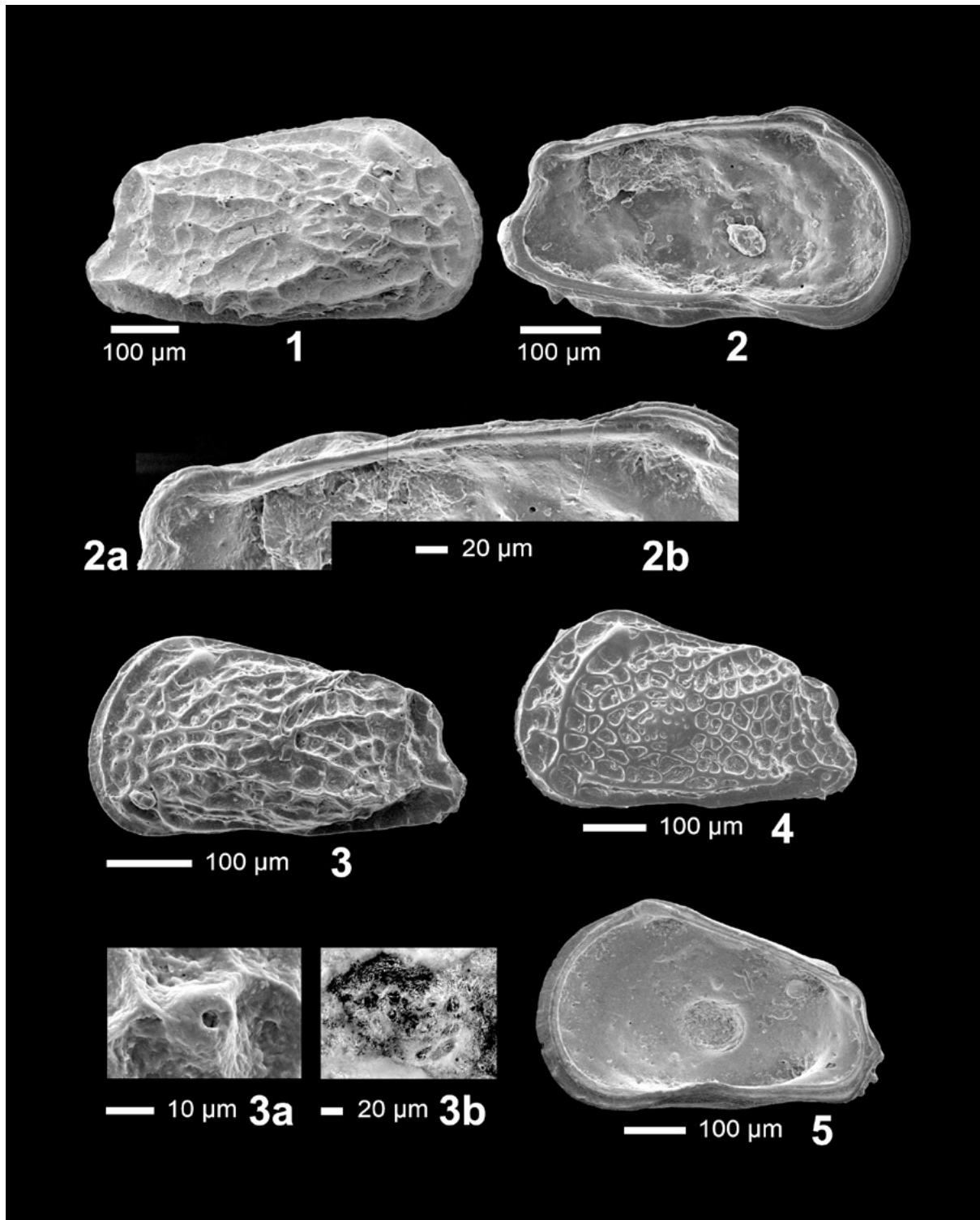
**Stratigraphical position.** Recent: continental shelf of East and South Africa, estuaries and lagoons of the eastern coast of South Africa (Wilderness area, Knysna estuary) (coll. M123-2016).

**Geographical distribution.** South-East Africa: continental shelf of Maputo Bay (lat. 25°33.073' S, long. 33°12.181' E) to southwest of Durban (lat. 34°2.241' S, long. 26°20.301' E), estuaries and lagoons of the eastern coast (Wilderness area). South Africa: continental shelf of the southern coast, Mossel Bay, lat. 34°22'23,34" S, long. 21°55'44,8212" E (MWG, coll. M123-2016).

**Habitat conditions.** Marine species. *Ambostracon frenzeli* sp. nov. has a regional distribution on the continental shelf of the east of South Africa including estuaries and lagoons. It exists in habitats of the continental shelf of the eastern coast from Maputo Bay to southwest of Durban on sandy and organic mud in 117–200 m water depth; in shallow habitats of the southern coast (Mossel Bay) in 39.8 m water depth, on muddy substrate; in Knysna estuary it exists on muddy sand substrate in a water depth of 3 m at a water temperature of +18.8°C, in saline water of 34.1 PSU and pH of 8.22. Pelophilic, populations are small (MWG, coll. M123-2016).



**Fig. 3. SEM photographs of the valves of *Ambostracon frenzeli* sp. nov.:** **1** – SEM DN-4 (holotype), A, ♀, RV, external, South Africa, Maputo Bay, station GeoB 20615, 200 m water depth, surface sediment (0–5 cm), Recent. **2** – SEM OF-E-014 (holotype), A, ♂, LV, external, South Africa, Maputo Bay, station GeoB 20615, 200 m water depth, surface sediment (0–5 cm), Recent. **3** – SEM OF-E-007 (paratype), A, ♂, RV, internal, South Africa, Maputo Bay, station GeoB 20615, 200 m water depth, surface sediment (0–5 cm), Recent. **3a** – contact tuberous knob-stop; **3c** – central muscle scar field; **3d** – anterior terminal element of hinge; **3k** – posterior terminal element of hinge. **4** – SEM DN-8 (paratype), A, ♀, RV, internal. South Africa, Mossel Bay, sample GeoB 18308, 39.8 m water depth, surface sediment (0–2 cm), Recent; **4a** – anterior terminal element of hinge; **4b** – posterior terminal element of hinge



**Fig. 4.** *Ambostracon frenzeli* sp. nov.: 1 – SEM OF-B-P34/1 (paratype), A, ♂, RV, external, South Africa, Maputo Bay, station GeoB 20615, 200 m water depth, surface sample (0–5 cm), Recent. 2 – SEM DN-7 (paratype), A, ♂, LV, internal, South Africa, Mossel Bay, station GeoB 18308, 39.8 m water depth, surface sample (0–2 cm), Recent; 2a – posterior terminal element of hinge; 2b – anterior terminal element of hinge. 3 – SEM DN-3 (paratype), J/last stages, LV, external, South Africa, Maruto Bay, station GeoB 20615, 200 m water depth, surface sample (0–5 cm); 3a – normal pore canal; 3b – adductor and frontal scars, sample DM OF-E-P7. 4 – SEM ZA14/14-3 (paratype), J/early stages, ♀, LV, external, South Africa, Knysna estuary (Thesen Island), sample ZA14/14, 3 m water depth, surface sediment (0–3 cm), Recent. 5 – SEM ZA14/14-4 (paratype), J/early stages, ♀, RV, internal, RV, internal, South Africa, Knysna estuary (Thesen Island), sample ZA14/14, 3 m water depth, surface sediment (0–3 cm), Recent



## 5 Conclusions

For the first time, a complete monographic description of the ostracods of the genus *Ambostracon* Hazel 1962 (*Ambostracon keeleri*, *A. flabellucostata*, *A. frenzeli* sp. nov) of the South Africa has been compiled. New data on morphology, adaptive variability and sexual dimorphism were obtained, and data on ecology, stratigraphic position and geographical distribution of these species were clarified. The taxonomic revision of the subgenera of the genus *Ambostracon* was carried out. The results of the systematic study of the South African ostracods are the informational and analytical basis for paleogeographic reconstructions of the marine and coastal ecosystems of the Indo-Atlantic coast of the South Africa.

## 6 Acknowledgements

The authors would like to thank Prof. Dr. Peter Frenzel (University Jena, Institute of Geosciences) for providing the South African ostracod collection

for systematic study and comprehensive assistance during directing work with the collection material. Lukas Gander is thanked for processing and picking the fresh sediment samples on board of RV Meteor, selected images and the comprehensive documentation of samples in his Master thesis. Stefanie and Sascha Fürstenberg (University of Jena) collected and documented the material in the Knysna estuary, South Africa.

## 7 Authors contributions

Natalia Dykan conducted a study of ostracod valves (morphology, size measurements, statistical analysis, species identification, SEM photography of valves), made a taxonomic revision and monographic description of ostracods, compiled palaeontological tables and a map of actual material. Thomas Daniel processed samples of material from South Africa as part of the project in 2018, made light microscope images of the ostracods, provided help with the compilation of the palaeontological tables and the map of actual material.

## REFERENCES

- Bate R., Horne D., Neale J., Siveter D. (Eds.). 1986. Stereo-Atlas of Ostracod Shells, British Micropalaeontology Society, London, 13, part 2: 1–148.
- Boomer I.D. 1985. A reconnaissance survey of Recent and Holocene Ostracoda from the continental shelf of South West Africa. Unpublished M.Sc. thesis, *University College London*.
- Brady G.S. 1881. Report on the Ostracoda dredged by H.M.S. Challenger during the Years 1873–1876. Report on the Scientific Results of the Voyage of H.M.S. Challenger during the years 1873–76. *Zoology*. 1 (part 3): 1–184.
- Conway-Physick J. 1995. The Holocene ostracods of the Agulhas Bank, South Africa: their classification, distribution and ecology. Unpublished M. Sc. thesis, *University of Cape Town*: 1–69.
- Dingle R.V. 1992. Quaternary ostracods from the continental margin off south-western Africa. Part I. Dominant taxa. *Annals of the South African Museum*, 102 (1): 1–89.
- Dingle R.V. 1993. Quaternary ostracods from the continental margin off south-western Africa. Part II. Minor taxa. *Annals of the South African Museum*, 103 (1): 1–165.
- Dingle R.V. 1994. Quaternary ostracods from the continental margin of south-western Africa. Part III. *Annals of the South African Museum*, 103 (7): 383–441.
- Dingle R.V. 1995. Continental shelf upwelling and benthic Ostracoda in the Benguela System (Southeastern Atlantic Ocean). *Marine Geology*, 122: 207–225.
- Dingle R.V., Giraudeau J. 1993. Benthic Ostracoda in the Benguela System (SE Atlantic): A multivariate analysis. *Marine Micropaleontology*, 22: 71–92.
- Dykan N. 2006. Systematization of Quaternary Ostracoda of Ukraine (a reference-book). – Kyiv: IGS of NAS of Ukraine: 1–430 (in Ukrainian with English abstract).
- Dykan N. 2016. Neogene–Quaternary ostracodes of the northern part of the Black Sea. Kyiv: *Chetverta Hvylya*, 272 p. (in Russian with English abstract).
- Dykan N. 2020. Quaternary and Recent ostracodes of the Tyrrhenian and the Red Seas. Kyiv: *Chetverta Hvylya*: 1–148 (in Ukrainian with English abstract).
- Dykan N. 2021. Some theoretical aspects of the systematic study of fossil ostracods (Arthropoda, Crustacea, Ostracoda) in the context of species problems in palaeontology. *Novitates Theriologicae*, 12: 127–139 (in Ukrainian with English abstract).
- Dykan N. 2022. The principle of determining taxonomic features in the fossil Ostracoda. *Abstract book*. ISO 19. Lyon, France: 13.

- Frewin J. 1987. Palaeogene ostracods from the South African continental shelf. Unpublished M. Sc. thesis, *University of Cape Town*: 1–121.
- Hartmann-Schröder G., Hartmann G. 1962. On the knowledge of the eulitoral of the Chilean Pacific coast and the coast of southern Patagonia – with special reference to the polychaetes and ostracods. *Communications from the Hamburg Zoological Museum and Institute*, supplementary volume: 169–270 (in German with English abstract).
- Hazel J.E. 1962. Two new Hemicysterid ostracods from the Lower Pleistocene of California. *Journal of Paleontology*, 36 (4): 822–826.
- International Code of Zoological Nomenclature*. 1999. Natural History Museum, London: 1–306.
- Jellinek T., 1993: On the ecology and systematics of recent ostracods from the area of the Kenyan barrier reef. *Senckenbergiana lethaea*, 73 (1): 83–225 (in German with English abstract).
- Keeler N.P. 1981. Recent Podocopid Ostracoda from Agulhas Bank, South African continental margin and Reunion Island, southern Indian Ocean. Unpublished M.Sc. thesis, *University College Aberystwyth, University of Wales*.
- Kempff E.K. 1986. Index and Bibliography of Marine Ostracoda. *Geological Institute of the University of Cologne*, special publications, 50 (1A): 1–762; 51 (2B): 1–712 (German with English abstract).
- Maybury C.A., Whatley R.C. 1986. On *Ambostracon* european Maybury & Whatley sp. nov. In *Stereo-Atlas of Ostracod Shells. British Micropalaeontology Society*, London / Ed. R. Bate, D. Horne, J. Neale, D. Siveter, 13, part 2: 77–80.
- McDonald A.P., Warne M. 2022. Latest Miocene Ostracoda from the Bookpurnong Formation, Murrey Basin, southeastern Australia: shallow marine migrants into an epicontinental sea. *Abstract book. ISO 19*. Lion: 36.
- McKenzie K.G., Swain F.M. 1967. Recent Ostracoda from Scammon Lagoon, Baja California. *Journal of Palaeontology*, 41 (2): 281–305.
- Rossi de Garcia E. 1970. Ostracodes du Miocene de la Republique Argentine (Entrerriense' de la Peninsule Valdez). *Proceedings of the 4th African Micropaleontological Colloquium*, Abidjan, 1970: 391–417.
- Swain F.M. 1967. Ostracoda from the Gulf of California. *Memoirs of the Geological Society of America*. New York: 1–101.
- Swain F.M. 1969. Taxonomy and ecology of near-shore Ostracoda from the Pacific coast of North and Central America. In: Neale J.W. (Ed.). *Taxonomy, morphology and ecology of Recent Ostracoda*. Oliver & Boyd, Edinburgh: 423–487.
- Valicenti V.H. 1977. Some Hemicysterinae from the Tertiary of Patagonia (Argentina). Their morphological relationships and stratigraphical distribution. In: Löffler H., Danielopol D. (Eds.), *Aspects of Ecology and Zoogeography of Recent and Fossil Ostracoda*. Proceedings of the 6th International Symposium on Ostracoda, Saalfelden (Salzburg) August 1976: 93–107.
- Zabel M. 2017. Climate Archives in Coastal Waters of Southern Africa Cruise No. M123. Cruise report, *University of Bremen*: 25–38.

Received 17.05.2023

Received in revised form 05.10.2023

Accepted 26.11.2023

## Нові дані з систематичного вивчення сучасних остракод роду *Ambostracon* Hazel 1962 (Hemicysteridae, Podocorida) Південної Африки

Н.І. Дукань<sup>1</sup>, Т. Данієл<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна  
E-mail: natalidykan@gmail.com

<sup>2</sup> Інститут Наук про Землю, Єнський університет, Німеччина  
E-mail: thomas.daniel@hotmail.de

\*Автор для кореспонденції

Стаття присвячена ревізії таксономічного складу (підродів, видів) роду *Ambostracon* Hazel 1962 (Hartmann, 1962) і монографічному опису викопних (голоценових) і сучасних морських остракод роду *Ambostracon* Hazel 1962 Південної і Південно-Східної Африки. Фактичний матеріал відібрано з геологічних станцій на шельфі, континентальному схилі та глибоководній западині (гл. 32–3059 м) у трьох районах (від південного узбережжя затоки Моссел до східного узбережжя на південь від Дурбану; зовнішня частина затоки Мапуту; східне узбережжя Південної Африки) і донних відкладів з лагун, естуаріїв і прибережних озер східного узбережжя Південно-Східної Африки (Wilderness, гл. 0,2–1000 м) (R/V METEOR M123-2016). Обговорюється валідність виділення підроду *Ambostracon* (*Patagonacythere*) (Hartmann, 1962). Описано два види (*Ambostracon keeleri*, *A. flabellucostata*) та один новий вид (*Ambostracon frenzeli* sp. nov.). Систематична частина включає синоніміку (складена за результатами ревізії виду), голотип (паратипи, типова серія), матеріал, діагноз, опис, розміри (лінійні, відносні), статевий диморфізм, індивідуальну та географічну мінливість, порівняння, зауваження, місцезнаходження, стратиграфічне положення, географічне поширення, екологію (для сучасних видів), палеоєкологію (для викопних видів), зоогеографію. SEM-зображення зовнішньої та внутрішньої будови черепашки (макро- та мезоскульптури, центрального м'язевого поля, замка, поверхневих порових каналів).

**Ключові слова:** Crustacea; Ostracoda; Таксономія; Південна Африка.

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.4.286149>  
УДК 551.782:563.12(477.8)

## Про вік і умови утворення поляницької світи за результатами вивчення форамініфер (нижній міоцен, Бориславсько-Покутський покрив, Українські Карпати)

М.Й. Кулянда

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна  
E-mail: mariakulyanda@icloud.com

### On the age and conditions of the formation of the Polyanytska Suite according to the foraminifera study results (Lower Miocene, Boryslav-Pokuttya Nappe, Ukrainian Carpathians)

M.J. Kulyanda

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine  
E-mail: mariakulyanda@icloud.com

*Neogene deposits of the Polyanytska Suite were exposed by the South Boryslav-1 well within the eastern block of the South Boryslav structure of the Boryslav oil and gas condensate field of the Outer Carpathians. The studied sediments of the Polyanytska Suite belong to the complex zone of planktonic foraminifers Globigerina pseudoedita with a characteristic association: Globigerina pseudoedita, Globoquadrina dehiscens, Dentoglobigerina langhiana, Trilobatus trilobus, Tenuitella brevispira, Tenuitella denseconnexa, Globorotalia tetracamerata, Globigerinella evoluta, Globigerinella obesa, Chiloguembelina gracillima. The Globigerina pseudoedita zone of planktonic foraminifera correlates with the zonal interval of nannoplankton NN2-NN3 of the Central Paratethys, which covers the upper part Eggerian, Eggenburgian, and the lowest part Ottnangian of the Central Paratethys and is compared with the upper Aquitan – the lower part of the Burdigal of the lower Miocene of the Neogene of the International Chronostratigraphic Scale.*

*The sediments of the Polyanytska Suite were formed in a normally saline sea basin, with depths from the middle to the inner shelf. The medium shelf conditions (intervals 1812–1805 m; 1684–1645 m and 1546–1485 m in the the South Boryslav-1 well) are indicated by a relatively high percentage content and morphology of the shells of planktonic foraminifera, the taxonomic composition of calcareous benthic foraminifera. The presence of plankton indicates normal water salinity. Analysis of foraminifera in the interval 1395–1365 m indicates the depths of the inner shelf. The identified redeposited foraminifera of the Paleocene-Lower Oligocene testify to the erosion and demolition of clastic material from the uplifted part of the Carpathians.*

**Keywords:** planktonic and benthic foraminifera; Polyanytska Suite; Lower Miocene; Eger; Egenbur; Ottnang; Boryslav Pokuttya Nappe; Outer Carpathians; Ukraine.

Цитування: Кулянда М.Й. Про вік і умови утворення поляницької світи за результатами вивчення форамініфер (нижній міоцен, Бориславсько-Покутський покрив, Українські Карпати). *Геологічний журнал*. 2023. № 4 (385). С. 20–34. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.4.286149>

Citation: Kulyanda M.J. 2023. On the age and conditions of the formation of the Polyanytska Suite according to the foraminifera study results (Lower Miocene, Boryslav-Pokuttya Nappe, Ukrainian Carpathian). *Geologičnij žurnal*, 4 (385): 20–34. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.4.286149>

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2023. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, 2023. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

## Вступ

У другій половині ХХ ст. з'явилися перші регіональні стратиграфічні схеми неогенових відкладів Передкарпаття (Вялов, 1965; Буров та ін., 1966), які стали результатом досліджень нафтопромислових свердловин і відслонених розрізів, проведених ще на початку століття. У 60-90-х роках минулого століття органічні рештки, зокрема форамініфери, у неогенових відкладах Передкарпаття вивчали І.В. Венглінський, А.Д. Грузман, Н.М. Субботіна, Л.С. Пішванова, Н.А. Трофимович. Дані їх досліджень були відображені у схемі стратиграфії неогену Передкарпаття (Андреева-Григорович та ін., 1995). У 2000-х роках з'явилися біо- і літостратиграфічні дані (Andreyeva-Grigorovich et al., 2008), які дозволили уточнити вік неогенових стратонів Передкарпаття. Результати досліджень увійшли у стратиграфічну схему (Андреева-Григорович та ін., 2011).

Меншою мірою проводили палеоекологічні дослідження для даної території. Раніше такі дослідження в Українському Передкарпатті виконували Л.С. Пішванова, О.Ф. Ткаченко, І.В. Венглінський (Пішванова, Ткаченко, 1974; Венглінський, 1975). Дослідники на основі аналізу таксономічного складу мікрофауни сходились на думці, що міоценові відклади регіону формувались загалом у мілководному басейні.

Актуальною проблемою залишилось вивчення недосліджених розрізів свердловин, зокрема пробурених на нафту і газ. По сьогодні потребують уточнення палеоекологічні реконструкції із застосуванням сучасних методик.

Метою роботи є визначення віку поляницької світи за форамініферами на раніше недослідженій ділянці східного блоку Південнобориславської структури Бориславського нафтогазоконденсатного родовища Українських Карпат та відтворення палеобатиметрії басейну накопичення цих відкладів.

## Геологічні особливості району досліджень та стратиграфічне розчленування поляницької світи за форамініферами

Об'єктом наших досліджень є відклади поляницької світи, розкриті свердловиною Південнобориславська-1, яка пробурює східний блок

Південнобориславської структури Бориславського нафтогазоконденсатного родовища (географічні координати: широта – 49°14'; довгота – 23°23'). За адміністративним поділом ділянка розташована у Дрогобицькому районі Львівської області на віддалі 5 км на південь від центра м. Борислав, на схід від сел. Мражниця в межах крутої гори Верхи та її схилів, з заходу та півдня огинається р. Тисмениця (рис. 1).



Рис. 1. Район досліджень

Fig. 1. Research area

Південнобориславська структура є однією з глибинних складок Бориславсько-Покутського покриву, який в цьому районі розташований під Скибовим покривом. Бориславсько-Покутський покрив є передовим тектонічним елементом насупної споруди Зовнішніх Карпат, що насунений на міоценові відклади Передкарпатського прогину (Гнилко, 2012). Розріз Бориславсько-Покутського покриву складають: стрийська світа (сенон-даній); ямненська світа (середній-верхній палеоцен); манявська і вигодська світи (нижній-середній еоцен); бистрицька світа (середній-верхній еоцен); менілітова, поляницька і воротиченська світи (олігоцен-нижній міоцен). Нафтогазонасними на родовищі є пісковики та алевроліти від воротиченської до стрийської світи включно. Південнобориславська структура розбита поперечними структурними порушеннями на два окремих блоки: західний і східний. На відміну від західного блоку, східний блок через складні рельєфні умови залишився невивченим. Зважаючи на великі запаси вуглеводнів Бориславського родовища, ця площа давно викликала інтерес геологів-нафтовиків, у зв'язку з чим у 2013 р. ТОВ «Перша українська газонафтова компанія» пробуриває свердловину Південнобориславська-1.



Таблиця 1. Біостратиграфія поляницької світи Українських Карпат за форамініферами у працях різних дослідників

Table 1. Biostratigraphy of the Polyanytska Suite of the Ukrainian Carpathians according to foraminifera in the works of various researchers

О.В. Мятлюк, 1950;1970			Н.М. Субботіна, Л.С. Пішванова, Л.В. Іванова, 1960; Н.М. Субботіна, 1960				Н.І. Маслакова, 1955			Л.С. Пішванова, А.Д. Грузман, 1980			А.Д. Грузман, Н.А. Трофимович, 1995		
Світа	Вік	Зона	Світа	Вік	Зона	Підзона	Світа	Вік	Форамініфери	Світа	Вік	Зона	Світа	Вік	Зона
Поляницька			Поляницька	Пізній олігоцен	Зона дрібнорослих планктонних форамініфер	Globigerina pseudoedita	Поляницька	Пізній олігоцен - ранній міоцен	Boilvina dilatata Reuss, B. spatulata (Williamson), Cassidulina chipolensis Cushman et Ponton, Chiloguembelina gracillima, Globigerina danvilensis Howe et Wallace, G. postoretacea Mjatljuk	Поляницька	Ранній міоцен	Globigerina pseudoedita	Поляницька	Ранній міоцен	Globigerina pseudoedita

У статті представлені результати мікропалеонтологічного дослідження порід поляницької світи неогену, розкритих свердловиною Південнобориславська-1 в інтервалі 1812–1365 м.

Поляницька світа виділена Р. Зубером у 1918 р. (Венглінский, Горецкий, 1979 і посилання там). Вона переважно згідно, іноді з локальним розмивом залягає на менілітовій світі і перекривається воротисенською і в той же час частково заміщується цими світами. Межі поляницької світи є діахронними. Поляницька світа складена попелясто-сірими аргілітоподібними глинами, алевролітами, пісковиками, що перешаровуються між собою та подекуди містять лінзи конгломератів в основі. Найкраще відслонені відклади світи у Покутських Карпатах по ріках Пістинка, Рибниця, Вижниця, Черемош та їхніх притоках. Внаслідок фаціальних заміщень потужність поляницької сві-

ти дуже мінлива і коливається від десятків до сотень метрів, досягаючи 1000 м (Ващенко, Гнілко, 2003).

Форамініфери поляницької світи Українського Передкарпаття вивчали О.В. Мятлюк, Н.І. Маслакова, Н.М. Субботіна, Л.С. Пішванова, Л.В. Іванова, А.Д. Грузман, Н.А. Трофимович (табл. 1). О.В. Мятлюк виділила у поляницькій світі зону Gumbelina і Globigerina (верхній олігоцен) на підставі поширення у сірих аргілітах світи дрібнорослих форамініфер з гладкою і тонкостінною черепашкою (Мятлюк, 1950). Пізніше Н.М. Субботіна встановила зону з дрібними планктонними форамініферами (верхній олігоцен) для поляницької світи і воротисенської підсвіти (Субботіна, 1960). На її погляд, поляницькій світі відповідають підзони Globigerina pseudoedita і Globigerina denseconnexa.

Вік світи на основі форамініфер визначали як пізній олігоцен (Мятлюк, 1950, 1970; Субботина, 1960; Субботина и др., 1960), або як пізній олігоцен–ранній міоцен (Маслакова, 1955). Л.С. Пишванова та А.Д. Грузман вважали, що виділення двох підзон у розрізі поляницької світи було недостатньо обґрунтованим, оскільки склад планктону мало змінювався від її підосви до покрівлі. Вони поширили назву нижньої підзони *Globigerina pseudoedita* на всю поляницьку світу. Вік світи вважали ранньоміоценовим (Пишванова, Грузман, 1980). А.Д. Грузман і Н.А. Трофимович (Грузман, Трофимович, 1995) приймали за вік світи пізній егенбург, якому відповідає зона *Globigerina pseudoedita*. Комплекс планктонних форамініфер зони *Globigerina pseudoedita* був визначений у верхньомелітовій підсвіті, поляницькій і воротищенській світах (поширених у Скибовому і Бориславсько-Покутському покривах) та у верхній частині кросненської світи (розвиненій у Скибовому та Сілезькому покривах) (Андреева-Григорович та ін., 2011).

Згідно з останньою регіональною стратиграфічною схемою, вік поляницької світи визначено як ранній міоцен, від рубежу олігоцену–міоцену до отнангу–карпату (Андреева-Григорович та ін., 2011). Значна частина розрізу поляницької світи належить до зони *Globigerina pseudoedita*. Ця зона встановлена в розрізі міоцену Українських Карпат і співвідноситься із зональним інтервалом нанопланктону NN2–NN3 Центрального Паратетису та охоплює верхню частину егерію, егенбург і найнижчу частину отнангу Центрального Паратетису (Андреева-Григорович та ін., 2011). Згідно з (Raffi et al., 2020), зональний інтервал NN2–NN3 відповідає верхній частині аквітану–нижній частині бурдигалу.

## Матеріали і методи

Проходження свердловини контролювалось геофізичними і мікрофауністичними дослідженнями. Для уточнення віку відкладів були відібрані проби на мікрофауну з флішевих відкладів палеогену і частково неогену. Палеогенові відклади за мікропалеонтологічними даними зіставлені з нижнім еоценом–верхнім олігоценом (Гнилко та ін., 2019). Відклади неогенової моласи відбирали в інтервалі від 1812

до 1365 м глибини свердловини і за геофізичними даними були віднесені до поляницької світи нижнього міоцену Бориславсько-Покутського покриву.

Дослідження зразків виконано в мікропалеонтологічній лабораторії Інституту геології і геохімії горючих копалин НАН України. Опрацьовано 16 проб глинисто-мергелистих порід, відібраних зі шламового матеріалу. Зразки дезінтегрувалися під спеціальним пресом, просівались через сито (розмір комірки 2 мм), відмивались у мішках з технічного капрону. Відбір мікрофауни здійснювався під біноклярним мікроскопом. Після опрацювання наявного матеріалу було визначено 61 вид форамініфер, серед яких 27 видів відносяться до планктону, 34 – до бентосу. Для таксономічних визначень планктонних форамініфер використано атлас олігоцен–ранньоміоценових планктонних форамініфер Світу (Wade et al., 2018), атлас характерної неогенової фауни Польщі (Olszewska et al., 1996), атлас олігоцен–міоценових форамініфер Центрального Паратетису (Cicha et al., 1998), а також публікації (Субботина, 1960; Пишванова, 1972). Класифікацію бентосних форамініфер виконано у відповідності до таксономії (Olszewska et al., 1996) з доповненням згідно з атласом (Cicha et al., 1998) та роботами (Субботина, 1960; Пишванова, 1972; Мятлюк, 1950; Маслакова, 1955).

Дані про вивчення форамініфер поляницької світи (вік, характерні комплекси) попередніми дослідниками наведено в табл. 1.

Досліджені відклади зіставлено з Регіональною стратиграфічною схемою неогенових відкладів Зовнішніх Карпат, Передкарпатського прогину та південно-західної окраїни платформи (Андреева-Григорович та ін., 2011). Поляницьку світу за матеріалами попередніх дослідників і власними даними зіставлено з підрозділами міжнародної геохронологічної шкали (Raffi et al., 2020).

При реконструкції умов осадконакопичення басейну за форамініферами було використано методіку палеоекологічної інтерпретації, що ґрунтується на принципі актуалізму і була застосована до давніх, в тому числі неогенових відкладів (Саидова, 1961, 1976; Дидковский и др., 1977; Murray, 1976, 1991; Corliss, Chen, 1988; Горбачик и др., 1996; Ujetz, 1996; Valchev, 2003; Russo et al., 2007; Peryt, 2013; Peryt et al., 2014).

У ній важливим є співвідношення екологічних груп бентосних і планктонних форамініфер, їх склад та кількість родів і видів у зразку, морфологічні ознаки черепашок. Видове розмаїття планктонних форамініфер зростає при збільшенні глибин басейну від субліторальних до батіальних. В напрямку від берега відбувається збільшення числа родів і видового розмаїття секреційних бентосних форамініфер (Саидова, 1961; Murray, 1976, 1991; Дидковский и др., 1977; Горбачик и др., 1996; Ujetz, 1996). Дрібні, тонкостінні, слабоскульптуровані черепашки планктонних форамініфер з камерами у формі кульок переважно заселяють область неритової зони над внутрішнім шельфом. Поєднання останніх з таксонами більшого розміру характерно для області середнього шельфу (Murray, 1976).

Пониження температури створює умови для існування тонкостінних черепашок, пов'язаних з недонасиченістю вод карбонатом кальцію. Спостерігається тенденція до зменшення розміру і пористості черепашки (Ujetz, 1996; Russo et al., 2007). *Glomospirella*, *Glomospira*, *Haplophragmoides*, *Eponides*, *Cibicides*, *Bulimina*, *Heterolepa*, *Hansenisca*, *Florilus*, *Pullenia* надають перевагу холодним температурам (Саидова, 1976; Murray, 1991; Russo et al., 2007). Вид *Globigerina praebulloides* є холодно температурним індикатором (Peryt et al., 2013).

В нормальносолоних водах широко розвинені *Bulimina*, *Bolivina*, *Caucasina*, *Cassidulina*, *Pullenia*, *Hansenisca*, *Cibicides* (Valchev, 2003; Russo et al., 2007).

При добрій аерації вод переважають форамініфери округло-трохоспіральної (*Hansenisca*), плоскоопукло-трохоспіральної (*Cibicides*, *Lobatula*), двоопукло-трохоспіральної (*Eponides*, *Oridorsalis*) форми, у низьконасичених киснем водах домінують форамініфери округло-планоспіральної (*Elphidium*, *Nonion*, *Florilus*), конусовидної і циліндричної (*Bulimina*, *Uvigerina*), плоскоовальної (*Cassidulina*), сферичної (*Pullenia*) і плоскоконічної (*Bolivina*) форми (Corliss, Chen, 1988; Valchev, 2003; Russo et al., 2007; Peryt, 2013; Peryt et al., 2014).

Згідно з методикою (Горбачик и др., 1996), у відкладах внутрішнього шельфу (20–60 м) планктонні форамініфери складають до 20 % від загальної кількості черепашок форамініфер. Розмаїття бентосу переважно налічує 10–25 видів і 5–15 родів. Найбільш типовими

є *Ammonia*, *Elphidium*. Аглютиновані форамініфери складають 10–25 % форамініферових решток бентосу. В осадах середнього шельфу (60–100 м) на планктонні форамініфери припадає 10–60 %. Розмаїття бентосних форамініфер налічує 30–40 видів і 20–30 родів. Найбільш часто трапляються *Cassidulina*, *Cibicides*, *Florilus*, *Uvigerina*, *Bolivina*, *Bulimina*, *Hansenisca*, *Heterolepa*. Аглютиновані форми не перевищують 5 % бентосної асоціації.

## Результати досліджень форамініфер поляницької світи у свердловині Південнобориславська-1

Відклади поляницької світи у свердловині Південнобориславська-1 загалом представлені перешаруванням сірих і чорних листкуватих, грудкуватих або грудкувато-листуватих аргілітів, слабо зцементованих, потужністю близько 400 м. Наводимо опис поширення форамініфер у відкладах світи (знизу вгору) (табл. 2).

У нижній частині розрізу свердловини в пачці тонкого перешарування темно-сірих і чорних аргілітів (інтервал 1812–1805 м) виявлено *Globigerina pseudoedita*, віковий діапазон якої егер, егенбург, початок отнангу (Cicha et al., 1998), *Paragloborotalia nana*, відома в Центральному Паратетісі з пізнього еоцену до егенбургу (Cicha et al., 1998), *Dentoglobigerina langhiana*, масово поширена в Центральному Паратетісі з кінця пізнього егеру до початку отнангу (Cicha et al., 1998), види *Globigerina droogeri*, *Globorotalia minutissima*, *Tenuitella brevispira*, *Tenuitella denseconnexa*, *Globorotalia tetracamerata* олігоцену–раннього міоцену та *Globigerina praebulloides* пізнього еоцену–міоцену. В складі асоціації присутні бентосні форамініфери із вапняковим типом черепашки *Cibicides borislavensis*, *Nonion tumidulus*, *Florilus boueanus*, *Buliminella cf. rara*, *Caucasina tenebricosa*, *Bolivina cf. subdilatata*, характерні (Субботина и др., 1960; Пишванова, 1972; Olszewska et al., 1996; Cicha et al., 1998) для міоцену Центрального Паратетісу. Форамініфери з аглютинованим типом черепашки відсутні. В комплексі присутні перевідкладені олігоценові форамініфери *Tenuitella liverovskae* (Букова), *Turborotalia ampliapertura* (Bolli), *Eponides binominatus* Subbotina, *Cibicides amphisyliensis* (Andreae), *Cassigerinella globolocula* Ivanova та піритизовані паличковидні утворення.

Таблиця 2. Розподіл форамініфер у відкладах поляницької світи у свердловині Південнобориславська-1 (Бориславсько-Покутський покрив), за даними автора

Table 2. Distribution of foraminifera in the sediments of the Polyanytska Suite in the South Boryslav-1 well (Boryslav-Pokuttya Nappe), according to the author

Форамініфери	інтервал (м)	Поляницька світа			
		1812-1805	1684-1645	1546-1485	1395-1365
Rhabdammina exilis Myatlyuk					X
Rhabdammina cylindrica Claessner.					X
Hyperammina lineariformis Mjatyuk					X
Ammodiscus aequispiralis Subbotina				X	
Glomospira pileolus Subbotina					X
Glomospira charoides (Parker et Jones)			X		X
Glomospirella gibbosa Subbotina					
Haplophragmoides quinquelocularis Subbotina					X
Spiroplectammina carinata (Orbigny)					X
Trochammina ex. gr. florata Ter-Grigoryans			X		X
Cancris miserandus Subbotina					X
Hansenisca soldanii (Orbigny)			X		
Oridorsalis umbonatus (Reuss)					X
Eponides octocameratus Subbotina					X
Heterolepa dutemplei (Orbigny)					X
Lobatula lobatula (Walker et Jacob)			X	X	
Cibicides lopjanicus Mjatyuk			X		X
Cibicides borislavensis Aistnstat		X		X	X
Cibicides sigmoidalis Subbotina				X	
Cibicides ungerianus (Orbigny)				X	
Nonion tumidulus Pishvanova		X			
Florilus boueanus (Orbigny)		X			X
Ammonia beccarii (Linne)			X		X
Elphidium macellum (Fichtel et Moll)				X	X
Buliminella cf. rara Pishvanova		X			
Bulimina buchiana Orbigny				X	
Bulimina elongata Orbigny				X	
Bulimina pupoides Orbigny				X	
Bulimina subulata (Cushman et Parker)				X	
Caucasina tenebricosa Pishvanova		X		X	
Bolivina aenaerisiformis Mjatyuk				X	
Bolivina cf. subdilata Reuss		X			
Cassidulina globosa Hantken			X		
Pullenia bulloides (Orbigny)				X	X
Globigerina droogeri (Mjatyuk)		X	X		X
Globigerina juvenilis Bolli		X			
Globigerina officinalis Subbotina				X	
Globigerina praebulloides Blow		X			X
Globigerina pseudoedita Subbotina		X		X	
Trilobatus trilobus (Reuss)				X	X
Globigerinoides subquadratus Bronniman		X			
Globoturbotalita owachitaensis (Howe et Wallace)				X	
Globoturbotalita connecta (Jenkins)				X	
Globoquadrina dehiscens (Chap, Parr et Coll)				X	
Globoquadrina off. rohri (Bolli)				X	
Dentoglobigerina langiana (Cita et Gelati)		X		X	
Ciperoella angulioficalis Blow					X
Ciperoella ciperoensis (Bolli)		X		X	
Subbotina trilocularis (Orbigny)		X			
Tenuitella angustiumbilicata (Bolli)		X		X	X
Tenuitella brevispira (Subbotina)		X	X	X	X
Tenuitella denseconnexa (Subbotina)		X		X	
Tenuitella evoluta (Subbotina)					X
Globorotalia minutissima Bolli		X			
Globorotalia tetracamerata Subbotina		X	X		
Paragloborotalia nana (Bolli)		X	X	X	
Globigerinella obesa (Bolli)				X	
Casigerinella globolocula Ivanova				X	
Chiloquembelina cubensis (Palmer)				X	
Chiloquembelina gracilima (Andreae)		X			
Chiloquembelina plana Ivanova		X		X	



В інтервалі 1684–1645 м у світло-сірих щільних, листкуватих аргілітах присутні *Paragloborotalia nana*, планктонні форамініфери олігоцену–раннього міоцену: *Globigerina droogeri*, *Tenuitella brevispira*, *Globorotalia tetracamerata*. Серед бентосних форамініфер визначені олігоцен-міоценові *Hansenisca soldanii*, *Cibicides lorjanicus*, *Lobatula lobatula*, *Ammonia beccarii*, *Cassidulina globosa* та олігоценовий вид *Cibicides amphisyliensis* (Andreae). В асоціації присутні аглютиновані черепашки *Glomospirella gibbosa*, *Trochammina* ex gr. *florata* та піритизовані кульки.

Світло-сірі грудкуваті аргіліти інтервалу 1546–1485 м містять *Globoquadrina dehiscens*, поява якої відмічена в егенбурзі Центрального Паратетису (Olszewska et al., 1996), характерні види міоцену *Dentoglobigerina langhiana*, *Trilobatus trilobus*, *Globoturborotalita connecta*, *Globigerina pseudoedita*. В асоціації присутні *Ciperoella ciperoensis* (середній олігоцен–егер), *Globoquadrina* aff. *rohri*, *Tenuitella denseconnexa*, *Globigerinella obesa*, *Chiloguembelina cubensis* (олігоцен–міоцен), *Paragloborotalia nana*, *Tenuitella brevispira*. Вапнисті бентосні форамініфери представлені видами *Cibicides borislavensis*, *Cibicides sigmoidalis*, *Cibicides ungerianus*, *Lobatula lobatula*, *Bulimina buchiana*, *Bulimina elongata*, *Bulimina pupoides*, *Elphidium macellum*, *Pullenia bulloides*, характерними для нижньоміоценових відкладів Карпат та Передкарпаття (Субботина и др., 1960; Пишванова, 1972). З аглютинованого бентосу присутня одна форма *Ammodiscus aequispiralis*. Виявлено перевідкладені олігоценові форамініфери *Eponides binominatus* Subbotina, *Eponides octocameratus* Subbotina, *Florilus buxsovilianus* (Andreae) та палеоцен-еоценова *Dendrophya robusta* Grzybowski. Є піритизовані паличковидні утворення.

У верхній частині інтервалу свердловини (1395–1365 м) у світло-сірих грудкуватих аргілітах серед планктонних форамініфер виявлено *Ciperoella anguliofficialis*, *Globigerinella evoluta*, остання поява яких відмічена в егенбурзі Центрального Паратетису (Cicha et al., 1998). Присутні планктонні *Globigerina droogeri*, *Globigerina praebulloides*, *Trilobatus trilobus*, *Tenuitella brevispira*. З вапнистого бентосу поширені *Heterolepa dutemplei*, *Cibicides borislavensis*, *Elphidium macellum*, *Ammonia beccarii*, *Flo-*

*rilus boueanus*. Спостерігається збільшення кількості бентосних форамініфер за рахунок аглютинованих видів *Rhabdammina exilis*, *Rhabdammina cylindrica*, *Hyperammia lineariformis*, *Hyperammia intermedia*, *Glomospira charoides*, *Glomospira pileolus*, *Trochammina* ex gr. *florata*, *Haplophragmoides quinquelocularis*, *Spiroplectammina carinata* та ін., які відповідають «зоні кременистих форамініфер» воротиської світи (Пишванова, 1972) нижнього міоцену Передкарпаття. Виявлено також перевідкладені олігоценові *Turborotalia ampliapertura* (Bolli), еоценові *Subbotina varianta* (Subbotina), *Eponides praecinctus* (Karrer), *Dendrophya robusta* Grzybowski та палеоцен-еоценові *Reophax splendilus* Grzybowski, *Glomospira serpens* (Grzybowski), *Hyperammia intermedia* Myatliuk, *Ammodiscus incertus* (Orbigny), форамініфери та піритизовані рештки.

## Біостратиграфія поляницької світи за форамініферами

О.В. Мятлюк (Мятлюк, 1950, 1970) у розрізі поляницької світи виділила зону *Gumbelina* і *Globigerina* з характерним комплексом форамініфер *Globigerina pseudoedita*, *Tenuitella brevispira*, *Tenuitella denseconnexa*, *Globorotalia tetracamerata*, *Chiloguembelina gracillima* (табл. 3). Н.І. Маслакова (Маслакова, 1955) у відкладах світи визначила планктонні форамініфери *Tenuitella danvillensis* (Howe et Wallace), *Globigerina postcretacea* (Мятлюк), *Chiloguembelina gracillima*. Н.М. Субботіна, Л.С. Пішванова і Л.В. Іванова (Субботіна и др., 1960) у поляницькій світі виділили зону дрібних планктонних форамініфер з підзонами *Globigerina pseudoedita* і *Globigerina denseconnexa*, які характеризують: *Globigerina pseudoedita*, *Tenuitella brevispira*, *Tenuitella denseconnexa*, *Globoquadrina* aff. *rohri*, *Globorotalia tetracamerata*, *Chiloguembelina gracillima*, *Chiloguembelina cubensis*. Л.С. Пішванова, А.Д. Грузман і Н.А. Трофимович (Пишванова, Грузман, 1980; Грузман, Трофимович, 1995) представили загальний список характерних планктонних форамініфер поляницької світи: *Globigerina pseudoedita*, *Globigerina droogeri*, *Tenuitella brevispira*, *Dentoglobigerina langhiana*, *Globorotalia tetracamerata*, *Globoturborotalita ovachitaensis*, *Globigerinella obesa*, *Chiloguembelina gracillima*, які входять в комплекс

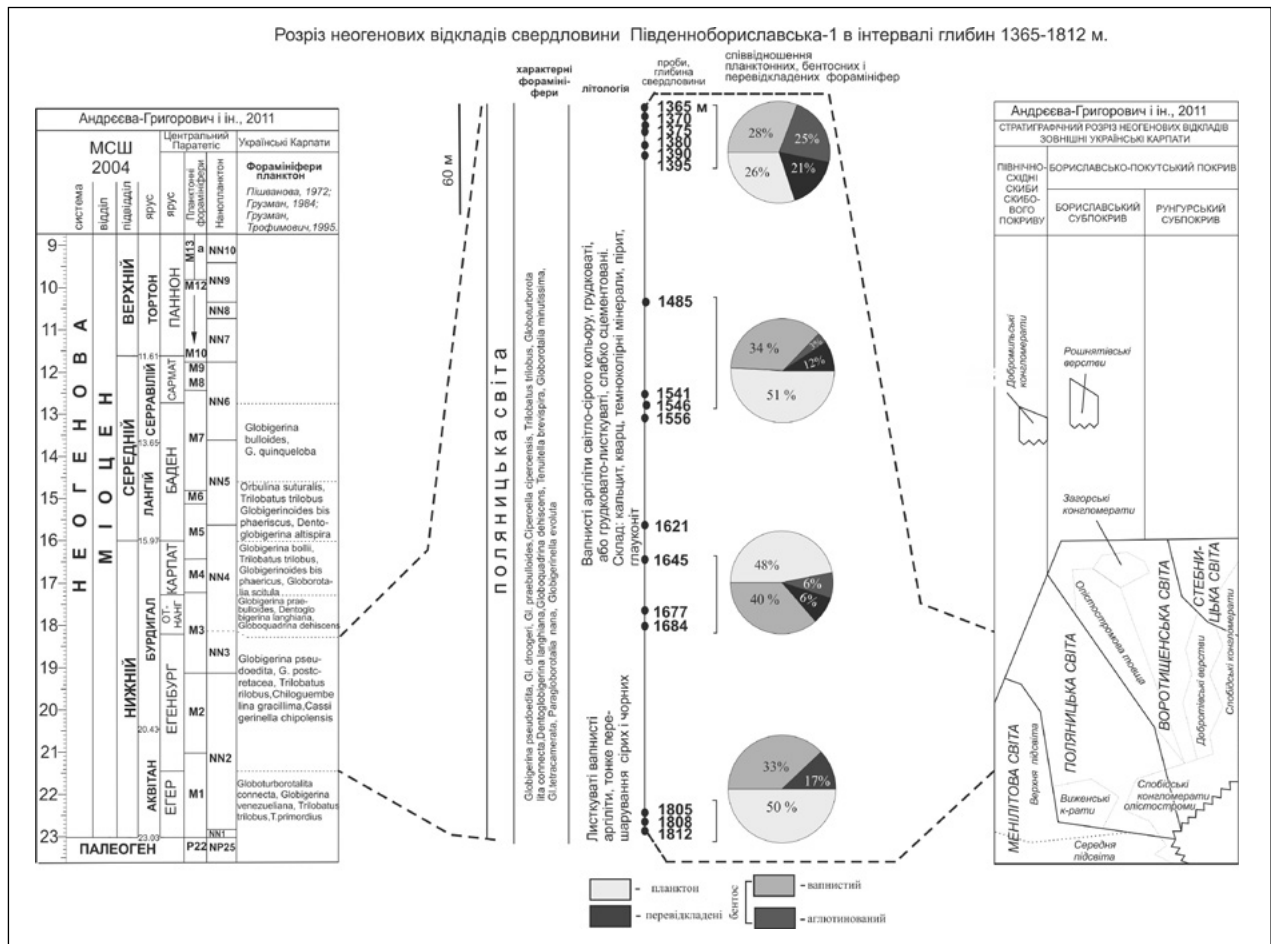
Таблиця 3. Зіставлення комплексу планктонних форамініфер зони *Globigerina pseudoedita* поляницької світи Українського Передкарпаття з біостратиграфічними підрозділами Польщі, Румунії, Австрії, Чехії і Словаччини. Враховано таксономічну ревізію

Table 3. Comparison of the complex of planktonic foraminifera of the *Globigerina pseudoedita* zone of the Polyanytska Suite of the Ukrainian Precarpathian with the biostratigraphic subdivisions of Poland, Romania, Austria, the Czech Republic, and Slovakia. Taxonomic revision is taken into account

МСШ за (Raffi et al., 2020)				Польща		Румунія	Австрія, Чехія, Словаччина	Українські Карпати Поляницька світа												
				Центральний Паратетис		Зони, планктонні форамініфери		Планктонні форамініфери, характерні види			Планктонні форамініфери									
Система	Відділ	Підвідділ	Ярус	Ярус	Планктонні форамініфери	Нанопланктон	Е. Odrzywolska-Biencova, B. Olszewska (1996)		О.В. Мятлюк (1950; 1970)	Н.І. Маслакова (1955)	Н.М. Субботіна, Л.С. Пішванова, Л.В. Іванова (1960)	зона	Характерний комплекс							
												Л.С. Пішванова, А.Д. Грузман (1980)		А.Д. Грузман, Н.А. Трофимович (1995)		М.І. Кулянда (у представлений роботі)				
НЕОГЕНО МІОЦЕН НИЖНІЙ АКВІТАН	ЕОЦЕН БУРДИГАЛ	МІОЦЕН БУРДИГАЛ	Ярус	ОТНАНГ	M4	NN4	Globoquadrina dehiscens, Dentoglobigerina langhiana				Globoquadrina dehiscens, Dentoglobigerina langhiana, Globobulboidea dehiscens		Globoquadrina dehiscens, Dentoglobigerina langhiana, Globobulboidea dehiscens							
				M3	NN3	Globoquadrina dehiscens, Dentoglobigerina langhiana														
				M2	NN2	Trilobatus primordius, Globobulboidea dehiscens, Globobulboidea dehiscens		Paraglobobulboidea inaequiconica												
				M1	NN1	Trilobatus trilobus, Trilobatus quadrilobatus		Paraglobobulboidea optima												
				ЕГЕР	M2	NN2	Trilobatus trilobus, Trilobatus quadrilobatus		Paraglobobulboidea optima											
23	ПАЛЕОГЕН																			

зони *Globigerina pseudoedita*. За нашими даними (див. табл. 2), характерні види дослідженого розрізу світи у свердловині Південнобориславська-1 такі: *Globigerina pseudoedita*, *Globigerina droogeri*, *Ciperoella anguliofficialis*, *Dentoglobigerina langhiana*, *Globoquadrina dehiscens*, *Globoquadrina aff. rohri*, *Trilobatus trilobus*, *Tenuitella brevispira*, *Tenuitella denseconnexa*, *Paraglobobulboidea nana*, *Globoquadrina minutissima*, *Globoquadrina tetracamerala*, *Globoquadrina connecta*, *Globoquadrina evoluta*, *Globoquadrinella obesa*, *Chiloguembelina gracillima*. Планктонні форамініфери поляницької світи виявляють подібність видового складу, попри різні назви виділених різними дослідниками біостратиграфічних підрозділів.

Аналіз літератури (Мятлюк, 1950, 1970; Маслакова, 1955; Субботіна і др., 1960; Пішванова, Грузман, 1980; Грузман, Трофимович, 1995) та отримані дані по свердловині Південнобориславська-1 показують, що комплекс планктонних форамініфер дослідженого розрізу поляницької світи зіставляється з зоною *Globigerina pseudoedita* за видовим складом зональної асоціації (рис. 2, табл. 2). Зона *Globigerina pseudoedita* є комплексною зоною з характерною асоціацією: *Globigerina pseudoedita*, *Globoquadrina dehiscens*, *Dentoglobigerina langhiana*, *Trilobatus trilobus*, *Tenuitella brevispira*, *Tenuitella denseconnexa*, *Globoquadrina tetracamerala*, *Globoquadrinella obesa*, *Chiloguembe-*



**Рис. 2.** Зіставлення інтервалу (1812–1365 м) свердловини Південнобориславська-1 зі стратиграфічною схемою неогенових відкладів Зовнішніх Карпат і Передкарпатського прогину (Андреева-Григорович та ін., 2011). Відсотковий вміст міоценових форамініфер у пробах поляницької світи східного блоку Південнобориславської структури Бориславсько-Покутського покриття

**Fig. 2.** Comparison of the interval (1812–1365 m) of the South Boryslav-1 well with the stratigraphic scheme of the Neogene deposits of the Outer Carpathians and the Carpathian Foredeep (Andreeva-Gryhorovych et al., 2011). The percentage content of Miocene foraminifera in samples of the Polyanytska Suite of the eastern block of the South Boryslav structure Boryslav-Pokuttya Nappe

*lina gracillima* згідно з нашими і літературними даними (див. рис. 2, табл. 3).

Подібний за видовим складом комплекс планктонних форамініфер відмічений в Центральному Паратетісі. В Польських Карпатах відклади егеру охарактеризовані форамініферами: *Tenuitella brevispira*, *Tenuitella inaequiconica* (Subbotina), *Ciperoella ciperoensis*. Відклади егенбургу складають *Tenuitella denseconnexa*, *Globorotalia tetracamerala*, *Trilobatus primordius* Blow et Banner, *Globoquadrina dehiscens*. У відкладах отнангу поширені *Dentoglobigerina langhiana*. В Австрії, Чехії, Словаччині відклади егеру представлені *Ciperoella ciperoensis*, *Globigerina praebulloides*, *Paragloborotalia nana*. Егенбург представлений *Globigerina praebulloi-*

*des*, *Globoquadrina dehiscens*, *Trilobatus primordius*. В Румунії – *Trilobatus trilobus*, *Trilobatus quadrilobatus* (Orbigny). В отнанзі трапляються *Trilobatus trilobus*, *Paragloborotalia mayeri* (Cushman et Ellisor) (Olszewska et al., 1996; Cicha et al., 1998). Подібність наведених форамініферових комплексів дозволяє зіставити поляницьку світу з егером, егенбургом та найнижчою частиною отнангу Центрального Паратетісу (див. табл. 3). У розрізі Українських Карпат зона *Globigerina pseudoedita* планктонних форамініфер співвідноситься із зональним інтервалом нанопланктону NN2-NN3 (Андреева-Григорович та ін., 2011) та корелюється з пізнім аквітаном–раннім бурдигалом МСШ (2020) (Raffi et al., 2020).

## Палеоекологічний аналіз комплексів форамініфер поляницької світи східного блоку Південно-бориславської структури Бориславсько-Покутського покриву

Відсотковий вміст бентосних (аглотинованих і вапнистих), планктонних та перевідкладених форамініфер у дослідженому інтервалі поляницької світи в розрізі свердловини Південно-бориславська-1 Бориславсько-Покутського покриву наведено на рис. 2. Вміст перевідкладених олігоценових, еоценових, палеоцен-еоценових форамініфер є відносно невисоким і складає 6–21 %. На форамініфери егер-егенбург-раннього оттангу припадає 79–94 % асоціацій, що дає можливість їхньої палеоекологічної інтерпретації, де пріоритетом є родовий склад і морфологія.

В інтервалі 1812–1805 м вміст планктонних форамініфер складає 50 % асоціації. Аналіз морфології черепашок планктонних форамініфер, згідно з методикою (Murray, 1976), виявляє поєднання дрібних, тонкостінних, слабокульптурованих черепашок з кулястою формою камер (роди *Globigerina*, *Tenuitella*, *Chiloguembelina*), з таксонами більшого розміру (роди *Globigerinoides*, *Subbotina*, *Globoquadrina*, *Globorotalia*), яке притаманне області неритової зони над середнім шельфом. Вапнисті бентосні форамініфери представлені родами *Cibicides*, *Nonion*, *Florilus*, *Caucasina*, *Bolivina*. Ці таксони здебільшого заселяють середній шельф та верхню частину континентального схилу (Саїдова, 1961; Murray, 1991; Горбачик и др., 1996; Ujetz, 1996, Russo et al., 2007). Розмаїття бентосу невисоке (шість родів та шість видів). Як низьке розмаїття, так і пригнічений вигляд фауни (дрібні з тонкою прозорою стінкою черепашки) в досліджених пробах вказують на несприятливі умови існування в придонних водах. Наявність планктонних форамініфер та присутність бентосних видів з родів *Bolivina*, *Caucasina*, *Florilus*, які надають перевагу нормальносолоним водам (Ujetz, 1996; Valchev, 2003), дозволяють говорити про морські умови басейну. Відсутність аглотинованих форамініфер свідчить (Горбачик и др., 1996) про відносну віддаленість від берега. Перевідкладені олігоценові форамініфери складають 17 % від усього комплексу.

Отримані дані вказують на формування осадків поляницької світи у морському басейні з глибинами середнього шельфу (60–100 м) з нормальною солоністю води та несприятливими придонними умовами, що відобразилось у низькому розмаїтті бентосної фауни форамініфер та її пригніченому стані.

В наступному інтервалі 1684–1645 м відсотковий вміст планктонних форамініфер складає 40 %. Присутні черепашки родів *Globigerina*, *Globorotalia*, *Paragloborotalia*, характерні для області середнього шельфу (Murray, 1976). На бентосні форамініфери з розмаїттям сім родів, сім видів припадає 54 %, з них 48 % належать до вапнистого бентосу, представленого родами *Hansenisca*, *Cibicides*, *Lobatula*, *Ammonia*, *Bulimina*, *Cassidulina*, які заселяють шельфово-батіальні глибини (Саїдова, 1961; Murray, 1991; Горбачик и др., 1996; Ujetz, 1996, Russo et al., 2007). Присутні види *Hansenisca soldanii*, *Lobatula lobatula*, *Ammonia beccarii* надають перевагу насиченим киснем водам, здебільшого приурочені до мілководних піщано-глинистих відкладів і здатні адаптуватися до широкого спектру солоності води (Ujetz, 1996; Russo et al., 2007; Valchev, 2003; Peryt, 2013; Peryt et al., 2014). Аглотинований бентос представлений родами *Glomospira*, *Trochammina* і складає 6 % бентосної асоціації. На перевідкладені черепашки припадає 6 % асоціації.

Дані з цього інтервалу свідчать про нормальносолоний басейн з глибинами середнього шельфу.

В інтервалі 1621–1556 м спостерігаються тільки кородовані черепашки, які не піддаються визначенню.

В інтервалі 1546–1485 м вміст планктонних форамініфер складає 51 %. У планктонному комплексі поєднані форамініфери, які включають як дрібні, тонкостінні черепашки з кулястою формою камер (*Globigerina*, *Globigerinella*, *Chiloguembelina*), так і черепашки більшого розміру (*Globigerinoides*, *Globoquadrina*, *Globorotalia*), що характерно для області середнього шельфу (Murray, 1976). Планктонні форамініфери мають добру збереженість. На відміну від них, бентосні форамініфери збережені гірше. Бентос сягає 34 % комплексу з розмаїттям вісім родів, 13 видів. Черепашки дрібні й тонкостінні. Основний фон бентосної асоціації складають представники родів *Cibicides*,



*Bulimina*, спорадично трапляються *Bolivina*, *Caucasina*, *Pullenia*. На аглютинований бентос припадає 3 %. Відсотковий вміст планктонних форамініфер і таксономічний склад бентосних форамініфер вказують на відносно глибоководні нормальносолоні умови (середній шельф). Низьке розмаїття, дрібні розміри та тонкі стінки черепашок бентосних форамініфер характеризують несприятливі умови на дні басейну, які спричинені, можливо, як холодною температурою води, так і пониженим рівнем кисню, в умовах яких широкого поширення набуває рід *Bulimina* та деякі види з роду *Cibicides* (*Cibicides ungerianus*, *Cibicides sigmoidalis*), *Bolivina*, *Caucasina*, *Pullenia* (Murray, 1991). Перевідкладені олігоценові та палеоцен-еоценіві форамініфери складають 12 % комплексу.

Дані з цього інтервалу вказують на басейн з глибинами середнього шельфу, нормальносолоний, можливо, холодноводний і/або з утрудненим газообміном.

В інтервалі 1395–1365 м зменшується таксономічне розмаїття планктонних форамініфер, а також їх відсотковий вміст, який в середньому складає 26 %. Переважають дрібні черепашки з кулястою формою камер *Globigerina*, *Globigerinella*, *Tenuitella*, характерні для неритової зони над внутрішнім шельфом (Murray, 1976). На бентосні форамініфери припадає 53 %. З них 28 % – вапнисті форамініфери, представлені родами *Cibicides*, *Heterolepa*, *Ammonia*, *Oridorsalis*, *Eponides*, *Elphidium*, *Pullenia*, більшість з яких приурочені до мілководних добре аерованих помірно холодних ділянок (Ujetz, 1996; Valchev, 2003; Russo et al., 2007). Розмаїття бентосу, яке налічує 18 родів, 21 вид, зростає за рахунок збільшення кількості аглютинованих черепашок, які складають 25 %. Бентосні черепашки різною мірою корошовані. На перевідкладені олігоценові та палеоцен-еоценіві форамініфери припадає 21 %.

Аналіз форамініфер в цьому інтервалі вказує на глибини внутрішнього шельфу, умови басейну були нормальносолоні, помірно холодні.

Виявлені перевідкладені форамініфери за видовим складом є характерними (Мятлюк, 1970) для палеоцену–нижнього олігоцену Карпат, що свідчить про розмивання і знесення уламкового матеріалу з піднятої частини орогену.

Отримані дані узгоджуються з результатами аналізу форамініфер поляницької світи, проведеного попередніми дослідниками. Л.С. Пішванова, Н.М. Субботіна і Л.В. Іванова (Пишванова и др., 1960) вказують на значний вміст тонкостінних планктонних форамініфер, поширення бентосу з родів *Bolivina*, *Bulimina*, *Eponides*, *Cibicides*, що, на їхню думку, свідчить про нормальносолоний відносно мілководний морський басейн. Поляницький басейн Передкарпаття в ранньому аквітані мав сполучення з відкритим морем на південному сході з боку Румунії та з Атлантикою на північному заході (Пишванова, Ткаченко, 1974). Подібність форамініферових комплексів егеру–раннього отнангу Польщі, Австрії, Чехії, Словаччини, Румунії і дослідженої мікрофауни зони *Globigerina pseudoedita* вказує на зв'язок поляницького басейну Українських Карпат з морями Центрального Паратетису.

Так як весь розріз поляницької світи, розкритий свердловиною Південнобориславська-1, належить до однієї біозони *Globigerina pseudoedita*, а матеріал зі свердловини не дає можливості визначити нормальне чи перевернуте залягання досліджених відкладів, то неможливо стверджувати про обміління чи коливання глибин поляницького басейну.

## Висновки

Розріз поляницької світи в свердловині Південнобориславська-1 охарактеризовано комплексом планктонних форамініфер зони *Globigerina pseudoedita*. Згідно з нашими і літературними даними, характерну асоціацію комплексної зони *Globigerina pseudoedita* у поляницькій світі Українських Карпат складають: *Globigerina pseudoedita*, *Globoquadrina dehiscentis*, *Dentoglobigerina langhiana*, *Trilobatus trilobus*, *Tenuitella brevispira*, *Tenuitella denseconnexa*, *Globorotalia tetracamerala*, *Globigerinella evoluta*, *Globigerinella obesa*, *Chiloguembelina gracillima*.

Зона *Globigerina pseudoedita* співвідноситься із зональним інтервалом нанопланктону NN2-NN3 Центрального Паратетису, який охоплює верхню частину егерію, егенбург і найнижчу частину отнангу Центрального Паратетису та відповідає верхній частині аквітану–нижній частині бурдигалу МСШ.

Основні результати палеоекологічного аналізу є такими.

Наявність планктонних форамініфер та присутність бентосних видів з родів *Bolivina*, *Bulimina*, *Caucasina*, *Florilus Heterolepa*, *Oridorsalis*, *Eponides Hansenisca*, *Cibicides*, *Pullenia* вказують на нормальносолоний морський Поляницький басейн. Відносно високий вміст планктонних форамініфер, родовий склад і морфологія мікрофауни вказують на глибини внутрішнього та середнього шельфу.

На глибини середнього шельфу (інтервали свердловини 1812–1805, 1684–1645 та 1546–1485 м) вказують: поєднання дрібних, тонкостінних, слабоскульптурованих черепашок з кулястою формою камер (роди *Globigerina*, *Globigerinella*, *Tenuitella*, *Chiloguembelina*) з таксонами більшого розміру (роди *Globigerinoides*, *Subbotina*, *Globoquadrina*, *Globorotalia*) планктонних форамініфер, які складають 40–51 % асоціацій; роди бентосних форамініфер *Cibicides*, *Lobatula*, *Nonion*, *Florilus*, *Caucasina*, *Bolivina*,

*Bulimina*, *Hansenisca*, *Cassidulina*, *Pullenia*. На глибини внутрішнього шельфу (в інтервалі свердловини 1395–1365 м) вказує: переважання дрібних черепашок з кулястою формою камер *Globigerina*, *Globigerinella*, *Tenuitella*, які складають до 26 % асоціацій; роди бентосних форамініфер *Cibicides*, *Heterolepa*, *Ammonia*, *Eponides*, *Elphidium*. Виявлені перевідкладені форамініфери палеоцену–нижнього олігоцену свідчать про розмивання і знесення уламкового матеріалу з піднятої частини Карпат.

Подібність форамініферових комплексів егеру–раннього оттангу Польщі, Австрії, Чехії, Словаччини, Румунії і дослідженої мікрофауни зони *Globigerina pseudoedita* поляницької світи вказує на зв'язок поляницького басейну Українських Карпат з морями Центрального Паратетису.

Автор висловлює щирі подяки за цінні і конструктивні зауваження та рекомендації д-ру геол. наук О.М. Гнилко та рецензентам статті.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Андрєєва-Григорович А.С., Грузман А.Д., Трофимович Н.А., Лозиняк П.Ю. Схема стратиграфії неогенових відкладів Західного (Центрального) Паратетису в межах України. *Палеонтол. зб.* 1995. № 31. С. 8–88.
- Андрєєва-Григорович А.С., Ващенко В.О., Гнилко О.М., Трофимович Н.А. Стратиграфія неогенових відкладів Українських Карпат та Передкарпаття. *Тектоніка і стратиграфія*. 2011. Вип. 28. С. 67–77.
- Буров В.С., Глушко В.В., Пишванова Л.С. Проект унифицированной схемы стратиграфии неогена Западных областей Украины. *Палеонтол. сб.* 1966. № 3. Вып. 1. С. 129–130.
- Ващенко В.О., Гнилко О.М. Про стратиграфію та седиментологічні особливості неогенових молас Бориславсько-Покутського та Самбірського покривів Українського Прикарпаття. *Геологія і геохімія горючих копалин*. 2003. № 1. С. 87–101.
- Венглинский И.В. Фораминиферы и палеоэкологические особенности карпатских миоценовых водоемов. *Тр. Ин-та геологии и геофизики Сиб. отд. АН СССР*. 1975. Вып. 333. С. 116–122.
- Венглинский И.В., Горецкий В.А. Стратотипы миоценовых отложений Вольно-Подольской плиты, Предкарпатского и Закарпатского прогибов. Киев: Наукова думка, 1979. 172 с.
- Вялов О.С. Стратиграфия неогеновых молас Предкарпатского прогиба. Киев: Наукова думка, 1965. 192 с.
- Гнилко О.М. Тектонічне районування Карпат у світлі терейнової тектоніки. Ст. 2. Флішові Карпати – давня акреційна призма. *Геодинаміка*. 2012. № 1 (12). С. 67–78.
- Гнилко С.Р., Кулянда М.Й., Лазарук Я.Г., Лемішко О.Д., Марченко Р.М., Братусь Л.П. Уточнення моделі Південнобориславської структури за даними стратиграфічних досліджень. *Шоста міжнар. наук.-практ. конф. «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування»* (7–11 жовт. 2019 р., м. Трускавець). Київ: ДКЗ, 2019. С. 352–354.
- Горбачик Т.Н., Долицкая И.В., Копаевич Л.Ф. Микрорпалеонтология. Москва: Изд-во МГУ, 1996. 112 с.
- Грузман А.Д., Трофимович Н.А. Форамініфери. *Палеонтол. зб.* 1995. № 31. С. 14–20.
- Дидковский В.Я., Зернецкий Б.Ф., Иваник М.М., Дигас Л.А., Маслун Н.В. Закономерности распространения фораминифер в северной и тропической Атлантике. Киев, 1977. 162 с.
- Маслакова Н.И. Стратиграфия и фауна мелких фораминифер палеогеновых отложений Восточных Карпат. *Материалы по биостратиграфии западных областей УССР*. Москва, 1955. С. 5–97.
- Мятлюк Е.В. Стратиграфия флишевых осадков Северных Карпат в свете данных фауны фораминифер. *Тр. ВНИГРИ*. 1950. Вып. 51. С. 225–302.
- Мятлюк Е.В. Фораминиферы флишевых отложений Восточных Карпат. *Тр. ВНИГРИ*. 1970. Вып. 282. 360 с.
- Пишванова Л.С. Фораминиферы верхнеолигоценых и миоценовых отложений западных областей УССР. *Материалы по палеонтологии и стратиграфии нефтегазоносных районов западных областей УССР*. Москва, 1972. С. 205–284.

- Пишванова Л.С., Ткаченко О.Ф. Палеогеографические карты миоцена западных областей УССР. *Материалы VIII и IX съездов Карпато-Балканской геологической ассоциации*. Киев, 1974. С. 88–104.
- Пишванова Л.С., Грузман А.Д. Планктонные фораминиферы поляницкой свиты Предкарпатского прогиба. *Палеонтолог. сб.* 1980. № 17. С. 27–33.
- Саидова Х.М. Экология фораминифер и палеогеография дальневосточных морей СССР и северо-западной части Тихого океана. Москва: Изд-во АН СССР, 1961. 231 с.
- Саидова Х.М. Бентосные фораминиферы Мирового океана. Москва: Наука, 1976. 159 с.
- Субботина Н.Н. Микрофауна олигоценовых и миоценовых отложений р. Воротыще (Предкарпатье). *Тр. ВНИГРИ*. 1960. Вып. 153. С. 157–265.
- Субботина Н.Н., Пишванова Л.С., Иванова Л.В. Стратиграфия олигоценовых и миоценовых отложений Предкарпатья по фораминиферам. *Тр. ВНИГРИ*. 1960. Вып. 153. С. 5–157.
- Andreyeva-Grigorovich A.S., Oszczypko N., Slaczka A., Oszczypko-Glowes M., Savitskaya N., Trofimovich N. New data on the stratigraphy of the folded Miocene Zone at the front of the Ukrainian Outer Carpathians. *Acta Geol. Polonica*. 2008. Vol. 58, No. 3. P. 325–353.
- Cicha I., Rögl F., Rupp C., Ctyroka J. Oligocene-Miocene foraminifera of the Central Paratethys. *Abhandlungen der Senckenbergischen Naturforschender Gesellschaft*. Frankfurt am Main, 1998. No. 549. 137 p.
- Gorliss B.H., Chen C. Morphotype pattern of Norwegian Sea deep-sea benthic foraminifera and ecological implications. *Department of Geology*. Durham, North Carolina. 1988. Vol. 16. P. 716–719.
- Murray J.W. A method of determining proximity of marginal seas to an ocean. *Marine Geology*. 1976. Iss. 22. P. 256–284.
- Murray J.W. Ecology and paleoecology of benthic foraminifera: Longman Scientific and Technical. Harlow, 1991. 397 p.
- Olszewska B., Odrzywolska-Bieńkowska E., Giel M.D., Pożaryska K., Szczuchura K., Foraminifera Eichwald, 1830. In: *Geology of Poland. Atlas of characteristic fossils. Cenozoik. Tertiary. Neogene*. Vol. 3, part 3a (Eds. Malinowska L. and Piwocki M.): Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa, 1996. P. 490–1074.
- Peryt D. Foraminiferal record of the Middle Miocene climate transition prior to the Badenian salinity crisis in the Polish Carpathian Foredeep Basin (Central Paratethys). *Geological Quarterly*. 2013. Vol. 57 (1). P. 141–164. <http://dx.doi.org/10.7306/gq.1080>
- Peryt D., Gedl P., Peryt T. Foraminiferal and palynological records of the Late Badenian (Middle Miocene) transgression in Podolia (Shchyrets near Lviv, western Ukraine). *Geological Quarterly*, 2014. Vol. 58 (3). P. 465–484. <http://dx.doi.org/10.7306/gq.1195>
- Raffi I., Wade B.S., Pälke H., Beu A.G., Cooper R., Crundwell M.P., Krijgsman W., Moore T., Raine I., Sardella R., Vernyhorova Y.V. Chapter 29 – The Neogene Period (Eds. Felix M. Gradstein, James G. Ogg, Mark D. Schmitz, Gabi M. Ogg). *Geologic Time Scale 2020*. Elsevier, 2020. P. 1141–1215. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824360-2.00029-2>
- Russo B., Curcio E., Iaccarino S. Paleocology and paleoceanography of a Langhian succession (Tremite Islands, southern Adriatic Sea, Italy) based on benthic foraminifera. *Bolletino della Societa Paleontologica Italiana*. 2007. Vol. 46, No. 2–3. P. 107–124.
- Ujetz B. Micropaleontology of paleogene deep water sediments, Haute-Savoie, France. *Publications du Departament de Geologie et Paleontologie Univ. Geneve*. 1996. Vol. 22. P. 1–99.
- Valchev B. On the potential of small benthic foraminifera as paleoecological indicators: recent advances. *Annual*. Vol. 46. Pt. 1, *Geology and Geophysics*. Sofia, 2003. P. 189–194.
- Wade B.S., Olsson R.K., Pearson P.N., Huber B.T. and Berggren W.A. (Eds.). *Atlas of Oligocene Planktonic Foraminifera*. Cushman Foundation of Foraminiferal Research, Special Publication, 46. London. <https://www.ucl.ac.uk/earth-sciences/research/micropalaeontology/research/atlas>. 2018

Надійшла до редакції 21.08.2023

Надійшла у ревізованій формі 06.10.2023

Прийнята 26.11.2023

## REFERENCES

- Andreyeva-Grigorovich A.S., Gruzman A.D., Trofimovich N.A., Lozynyak P.Yu. 1995. Scheme of the stratigraphy of the Neogene deposits of the Western (Central) Paratethys within Ukraine. *Paleont. coll.*, 31: 8–88 ((in Ukrainian).
- Andreyeva-Grigorovich A.S., Oszczypko N., Slaczka A., Oszczypko-Glowes M., Savitskaya N., Trofimovich N. 2008. New data on the stratigraphy of the folded Miocene Zone at the front of the Ukrainian Outer Carpathians. *Acta Geol. Polonica*, 58, 3: 325–353.
- Andreeva-Grigorovich A.S., Vashchenko V.O., Hnylko O.M., Trofimovich N.A. 2011. Stratigraphy of Neogene deposits of the Ukrainian Carpathians and Fore-Carpathians. *Tektonika i Stratigrafiya*, 28: 67–77 (in Ukrainian).
- Burov V.S., Glushko V.V., Pishvanova L.S. 1966. Project of a unified stratigraphy scheme of the Neogene of the Western regions of Ukraine. *Paleontol. coll.*, 3, 1: 129–130 (in Russian).
- Cicha I., Rögl F., Rupp C., Ctyroka J. 1998. Oligocene-Miocene foraminifera of the Central Paratethys. *Abhandlungen der Senckenbergischen Naturforschender Gesellschaft*. Frankfurt am Main. No. 549. 137 p.
- Didkovsky V.J., Zernecky B.F., Ivanik M.M., Dihas L.A., Mashun N.V. 1977. Patterns of distribution of foraminifera in the northern and tropical Atlantic. Kyiv (in Russian).

- Gorliss B.H., Chen C. 1988. Morphotype pattern of Norwegian Sea deep-sea benthic foraminifera and ecological implications. *Department of Geology*. Durham, North Carolina. 16. P. 716–719.
- Gruzman A.D., Trofimovich N.A. 1995. Foraminifera. *Paleont. coll.*, 31: 14–20 (in Ukrainian).
- Hnylko S.R., Kulyanda M.Y., Lazaruk Y.G., Lemishko O.D., Marchenko R.M., Bratus L. 2019. Refinement of the South Boryslav structure model on the basis of stratigraphic studies. *Sixth international scientific and practical conference "Subsoil use in Ukraine Prospects for investment"* (October 7–11, 2019, Truskavets). Kyiv: DKZ, 2019. P. 352–354 (in Ukrainian).
- Hnylko O.M. 2012. Tectonic zoning of the Carpathians in the light of field tectonics. Article 2. The Flysch Carpathians are an ancient accretionary prism. *Geodynamics*, 1 (12): 67–78 (in Ukrainian).
- Horbachyk T.N., Dolickaya I.V., Copevych L.F. 1996. Micropaleontology. Moscow. Izdatelstvo MGU (in Russian).
- Maslakova N.I. 1955. Stratigraphy and fauna of small foraminifers in the Paleogene deposits of the Eastern Carpathians. In: *Materials on the biostratigraphy of the western regions of Ukrainian SSR*. Moscow, 1955. P. 5–97 (in Russian).
- Myatlyuk E.V. 1950. Stratigraphy of flysch sediments in the Northern Carpathians in the light of foraminifera fauna data. *Tr. VNIGRI*, 51: 225–302 (in Russian).
- Myatlyuk E.V. 1970. Foraminifers of flysch deposits of the Eastern Carpathians. Leningrad: Nedra (in Russian).
- Murray J.W. 1976. A method of determining proximity of marginal seas to an ocean. *Marine Geology*, 22: 256–284.
- Murray J.W. 1991. Ecology and paleoecology of benthic foraminifera: Longman Scientific and Technical. Harlow. 397 p.
- Olszewska B., Odrzywolska-Biełkowska E., Giel M.D., Pożaryska K., Szczuchura K. 1996. Foraminifera Eichwald, 1830. In: *Geology of Poland. Atlas of characteristic fossils. Cenozoik. Tertiary. Neogene*. 3, part 3a (Eds. Malinowska L. and Piwocki M.): 490–1074. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Peryt D. 2013. Foraminiferal record of the Middle Miocene climate transition prior to the Badenian salinity crisis in the Polish Carpathian Foredeep Basin (Central Paratethys). *Geological Quarterly*, 57 (1): 141–164. <http://dx.doi.org/10.7306/gq.1080>
- Peryt D., Gedl P., Peryt T. 2014. Foraminiferal and palynological records of the Late Badenian (Middle Miocene) transgression in Podolia (Shchyrets near Lviv, western Ukraine). *Geological Quarterly*, 58 (3): 465–484. <http://dx.doi.org/10.7306/gq.1195>
- Pyshvanova L.S. 1972. Foraminifera of the Upper Oligocene and Miocene sediments of the western regions of the Ukrainian SSR. *Materials on paleontology and stratigraphy of oil and gas-bearing regions of the Ukrainian SSR*. Moscow, p. 295–284 (in Russian).
- Pyshvanova L.S., Tkachenko O.F. 1974. Paleogeographic maps of Miocene of the western areas USSR. *Proceedings of the VIII and IX Congresses CBGA*. Kyiv, p. 88–100 (in Russian).
- Pyshvanova L.S., Grusman A.D. 1980. Planctonic foraminifers of the Polyanytska Suite of the Carpathian Foredeep. *Paleontological collection*, 17: 27–33 (in Russian).
- Saidova H.M. 1961. Ecology of foraminifera and paleogeography of the Long East Sea SSSR and north-western part Pacific Ocean. Moscow: Izdatelstvo AN SSSR, p. 3–231 (in Russian).
- Saidova H.M. 1976. Benthic foraminifera of the world ocean. Moscow: Nauka (in Russian).
- Subbotina N.N. 1960. Microfauna of the Oligocene and Miocene deposits of the Vorotyshche River (Carpathian Foredeep). *Tr. VNIGRI*, 153: 157–265 (in Russian).
- Subbotina N.N., Pishvanova L.S., Ivanova L.V. 1960. Stratigraphy of the Oligocene and Miocene deposits of Carpathian Foredeep according to foraminifers. *Tr. VNIGRI*, 153: 5–157 (in Russian).
- Raffi I., Wade B.S., Pălike H., Beu A.G., Cooper R., Crundwell M.P., Krijgsman W., Moore T., Raine I., Sardella R., Vernyhorova Y.V. 2020. Chapter 29 – The Neogene Period. (Eds. Felix M. Gradstein, James G. Ogg, Mark D. Schmitz, Gabi M. Ogg). *Geologic Time Scale*. Elsevier, p. 1141–1215. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824360-2.00029-2>
- Russo B., Curcio E., Iaccarino S. 2007. Paleoecology and paleoceanography of a Langhian succession (Tremi Islands, southern Adriatic Sea, Italy) based on benthic foraminifera. *Bolletino della Societa Paleontologica Italiana*, 46, 2–3: 107–124.
- Ujetz B. 1996. Micropaleontology of Paleogene deep water sediments, Haute-Savoie, France. *Publications du Departament de Geologie et Paleontologie Univ. Geneve*, 22: 1–99.
- Valchev B. 2003. On the potential of small benthic foraminifera as paleoecological indicators: recent advances. *Annua*, vol. 46, pt. 1, *Geology and Geophysics*. Sofia, p. 189–194.
- Vashchenko V.O., Hnylko O.M. 2003. About stratigraphy and sedimentary features of Neogene molasse of the Boryslav–Pokuttya and Sambir nappes of the Ukrainian Fore-Carpathians. *Geologiya i geokhimiya goryuchykh kopalyn*, 1: 87–101 (in Ukrainian).
- Venglinsky I.V. 1975. Foraminifera and paleoecological features of the Carpathian Miocene reservoirs. *Tr. Institute of Geology and Geophysics, Siberian Dep. AN SSSR*, 333: 116–122 (in Russian).
- Venglinsky I.V., Goretskiy V.A. 1979. Stratotypes of Miocene sediments of the Volyno-Podilsky plate, Precarpathian and Transcarpathian depressions. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
- Vyalov O.S. 1965. Stratigraphy of Neogene molasses of the Carpathian Foredeep. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
- Wade B.S., Olsson R.K., Pearson P.N., Huber B.T. and Berggren W.A. (Eds.). 2018. Atlas of Oligocene Planktonic Foraminifera. Cushman Foundation of Foraminiferal Research, Special Publication, 46. London. <https://www.ucl.ac.uk/earth-sciences/research/micropalaeontology/research/atlas>

Received 21.08.2023

Received in revised form 06.10.2023

Accepted 26.11.2023

Про вік і умови утворення поляницької світи за результатами вивчення форамініфер (нижній міоцен, Бориславсько-Покутський покрив, Українські Карпати)

М.Й. Кулянда

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

E-mail: mariakulyanda@icloud.com

Неогенові відклади поляницької світи розкриті свердловиною Південнобориславська-1 в межах східного блоку Південнобориславської структури Бориславського нафтогазоконденсатного родовища Зовнішніх Карпат. Вивчені відклади поляницької світи відносяться до комплексної зони планктонних форамініфер *Globigerina pseudoedita* з характерною асоціацією: *Globigerina pseudoedita*, *Globoquadrina dehiscens*, *Dentoglobigerina langhiana*, *Trilobatus trilobus*, *Tenuitella brevispira*, *Tenuitella denseconnexa*, *Globorotalia tetracamerata*, *Globigerinella evoluta*, *Globigerinella obesa*, *Chiloguembelina gracillima*. Зона *Globigerina pseudoedita* планктонних форамініфер корелюється із зональним інтервалом нанопланктону NN2-NN3 Центрального Паратетису, який охоплює верхню частину егерію, егенбург і найнижчу частину отнангу Центрального Паратетису і співставляється з верхнім аквітаном–нижньою частиною бурдигалу нижнього міоцену–неогену Міжнародної хроностратиграфічної шкали.

Відклади поляницької світи формувались в нормальносолоному морському басейні, з глибинами від середнього до внутрішнього шельфу. На умови середнього шельфу (інтервали 1812–1805, 1684–1645 та 1546–1485 м у свердловині Південнобориславська-1) вказують відносно високий відсотковий вміст та морфологія черепашок планктонних форамініфер, таксономічний склад вапнистих бентосних форамініфер. Наявність планктону свідчить про нормальну солоність вод. Аналіз форамініфер в інтервалі 1395–1365 м вказує на глибини внутрішнього шельфу. Виявлені перевідкладені форамініфери палеоцену–нижнього олігоцену свідчать про розмивання і знесення уламкового матеріалу з піднятої частини Карпат.

**Ключові слова:** планктонні і бентосні форамініфери; поляницька світа; нижній міоцен; егер; егенбург; отнанг; Бориславсько-Покутський покрив; Зовнішні Карпати; Україна.



<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.4.284910>  
УДК 550.422 (477.83)

## Поширення германію у вугіллі Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну

І.В. Бучинська\*, М.М. Матрофайло, А.В. Побережський, О.О. Ступка, Г.І. Лазар

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна  
E-mail: [ibuchynska@ukr.net](mailto:ibuchynska@ukr.net); [mmatrofaylo@gmail.com](mailto:mmatrofaylo@gmail.com); [andriy.poberezhskyy@gmail.com](mailto:andriy.poberezhskyy@gmail.com); [stupkaoksana@gmail.com](mailto:stupkaoksana@gmail.com); [lazarhalyna@i.ua](mailto:lazarhalyna@i.ua)

\*Автор для кореспонденції

### Distribution of germanium in the coal of the Lviv-Volyn Basin

I. V. Buchynska\*, M. M. Matrofailo, A. V. Poberezhskyy, O. O. Stupka, H. I. Lazar

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

E-mail: [igggk@mail.lviv.ua](mailto:igggk@mail.lviv.ua)

\*Corresponding author

*Germanium – rare element, it is a raw material of multipurpose usage and it is included in the list of “critically important minerals” confirmed by the European Commission. The mineral base of Ukraine is characterized by considerable reserves of accompanying germanium and prospects of its development during the complex mining development of coal deposits. Purpose of the work is to study the origin of germanium in the course of the geological history of the formation of coal-bearing deposits and to establish the law-governed nature of its distribution as the element-admixture in coal of the Lviv-Volyn Basin.*

*Germanium in coal of Lviv-Volyn Basin is present in samples of the coal ash in all coal seams the Lower and Middle Carboniferous. The concentration of germanium for the seams  $v_6$ ,  $n_7$ ,  $n_8$ ,  $n_8^b$ ,  $n_9$  was analyzed in the Chervonohrad geological-industrial region (Mezhyrichanske and Zabuzke fields). The article analyzes and constructs a map of germanium concentrations for coal of the seam  $v_6$  for the Chervonohrad geological-industrial region of Lviv-Volyn Basin. Along the lateral of the seam one can fix the rise in the concentration in the edge zones of paleopeatbog. Such distribution is explained by the mechanism of sorption accumulation of Ge in the organic mass of peats in the areas of increased water-mineral supplying.*

*Data received while executing prospecting in the Lyubelske field of Lviv-Volyn Basin were analyzed. Coal of the seams  $n_7^b$ ,  $n_8^b$ ,  $n_9$ ,  $b_1$  of the Lyubelska-3 site that is planned from burning with the energy purposes, simultaneously may be used as source of germanium.*

*At stratigraphic interval of the upper alluvial-lacustrine-marshy-lagoonal subformation of the Carboniferous formation of the Lviv-Volyn Basin (Bashkirian stages) the coal of the South-Western coal-bearing region (the Lyubelske field) is more germanium-bearing than coal from the Chervonohrad geological-industrial region (Mezhyrichanske and Zabuzke fields).*

*The uneven distribution of germanium concentration is characteristic of the coal seams of the Lviv-Volyn Basin. The wave-like character of the distribution of concentrations is caused by the process of sedimentation which is subordinated to consedimentary movements that influenced the water regime of paleopeatbogs, lithological and facies changing of the coal-bearing deposits as a whole.*

**Keywords:** germanium; concentration; coal; coal seams; Lviv-Volyn Basin.

Цитування: Бучинська І.В., Матрофайло М.М., Побережський А.В., Ступка О.О., Лазар Г.І. Поширення германію у вугіллі Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну. *Геологічний журнал*. 2023. № 4 (385). С. 35–49. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.4.284910>

Citation: Buchynska I.V., Matrofailo M.M., Poberezhskyy A.V., Stupka O.O., Lazar H.I. 2023. Distribution of the germanium in the coal of the Lviv-Volyn Basin, *Geologičnij žurnal*, 4 (385): 35–49. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.4.284910>

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2023. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, 2023. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

## Вступ

В Україні зосереджені поклади корисних копалин, які входять до переліку критичних для ЄС, США та Канади. В липні 2021 р. Україна та Європейський Союз уклали Меморандум про стратегічне партнерство щодо сировинних ресурсів. Ще в 2019 р. Європейською Комісією був затверджений список з 30 сировинних матеріалів, названих «критично-важливими мінералами», який станом на 2023 р. доповнений ще чотирма мінералами. Рідкісні метали та критичні мінерали є фундаментом для нової промислової революції та успішної «зеленої» трансформації економіки Європейського Союзу. В нашій державі наявні 20 критичних копалин, що містяться в переліку критичних для ЄС. Одним з ключових елементів цього списку є германій, основним джерелом можливого отримання якого є вугілля (Перелік..., 2023).

Германій – елемент, який є сировиною багаточисельного використання в промисловості зі значними перспективами щодо розширення напрямів його застосування. Це напівпровідник, який у чистому вигляді проводить струм і є особливо ефективним у випадку високих частот і низьких робочих напруг, є прозорим для частини інфрачервоного спектра як у кристалічному, так і склоподібному стані, має надзвичайно високий показник заломлення та низьку хроматичну дисперсію (Бурлуцький, Курило, 2012). Головні напрями споживання металу виникли й розвиваються завдяки його корисним властивостям, які визначають можливість використання германію в електронних пристроях, сонячних батареях, енергетиці, приладах нічного бачення, оптичних системах лінз і волоконної оптики. Окремо виділяють здатність германію прискорювати процеси полімеризації. Споживання германію у світі останніми роками є стабільним та оцінюється в межах 100–110 т/рік. Ціни на діоксид германію та сам метал зросли на 35–50 % (Бурлуцький, Курило, 2012).

На сьогодні глобальні напрями застосування германію – це волоконна та інфрачервона оптика і каталізatori полімеризації ПЕТ-пластику. Варто зазначити, що в ЄС германій як каталізатор полімеризації ПЕТ-пластику та в електронній промисловості не використовують. За даними практикуму SCREEN, 2019,

споживання германію в ЄС становить 38,7 т/рік, а використання його розподіляється між трьома галузями: інфрачервона оптика (47 %), оптичні волокна (40 %), супутникові сонячні батареї (13 %) (Родовища..., 2021).

Вугілля – найважливіше джерело германію в світі. Мінерально-сировинна база України характеризується значними запасами супутнього германію та перспективами його освоєння під час комплексної розробки вугільних родовищ. За даними ДНВП «Геоінформ», запаси германію в Україні підраховані на 217 шахтних полях та ділянках і оцінюються як великі, з вмістом металу від 0,3–1,3 г/т (в антрацитах) до 3,8–9,2 г/т (у низькометаморфізованому вугіллі). При цьому вважають, що промислове значення має лише коксівне вугілля з середнім вмістом металу 4,5 г/т (Мінеральні..., 2009). Державним балансом України станом на 2012 р. обліковані запаси германію в кам'яному вугіллі Донецького і Львівсько-Волинського басейнів загалом становлять понад 92 880 т (Сивий та ін., 2013).

## Проблеми супутнього вилучення мікрокомпонентів вугілля

Германій як елемент у земній корі загалом є дефіцитним, але не дуже рідкісним (середній вміст германію в корі близько 1,6 г/т). Він характеризується літофільною, халькофільною, сидерофільною та органофільною поведінкою (Höll et al., 2007).

Кам'яне вугілля вважається потенційним джерелом ряду критичних елементів і заслуговує на особливу увагу через підвищений вміст германію, берилію, скандію, кобальту, ванадію, а також молібдену, сурми, галію і лантаноїдів. Питанням про вилучення цих елементів при комплексній розробці вугільних родовищ зацікавилися ще з 60–70-х років ХХ ст. На сьогодні більшість світових технологій вилучення мікрокомпонентів вугілля пов'язана з вугільною золою (coal fly ash – CFA), що утворюється під час спалювання пиловугільного палива на вугільних електростанціях. Це промисловий побічний продукт, який є забруднювачем навколишнього середовища. В різних пробах CFA було ідентифіковано приблизно 316 окремих мінералів і 188 мінеральних груп (Blissett, Rowson, 2012).

В роботі (Alastuey et al., 2001) вказується, що за останнє десятиліття споживання вугілля у світі зросло на 50 %, в основному завдяки економічному зростанню Китаю. Аналіз та актуальна оцінка процесів свідчить, що в усьому світі генерується щороку 750 млн т СФА. Значна частина річного виробництва СФА має бути утилізована. Традиційно це захоронення зазначених відходів у різного типу звалищах. Актуальним у всьому світі є питання відновлення корисних мікрокомпонентів вугілля. Так, в Іспанії ведуться інтенсивні роботи по відновленню германію, галію і ванадію із золи, що утворюється в процесі газифікації вугілля на електростанції комбінованого циклу інтегрованої газифікації (IGCC) Puertollano. Завод Puertollano IGCC потужністю 335 МВт (ISO) є найбільшим у світі діючим заводом газифікації. Вугілля Puertollano є високолетким бітумінозним, при його газифікації утворюється зола з відносно високим вмістом цінних металів (Alastuey, 2001). Це сприяло проведенню досліджень щодо оцінки потенційного процесу вилучення та відновлення германію та галію (Arroyo et al., 2014). Згідно з експериментальними випробуваннями, проведеними у лабораторії та дослідній установці, були підібрані оптимальні умови екстракції германію та досягнуті високі виходи його екстракції (до 77 %) при відносно низьких витратах води та часу.

Вважається, що на сьогодні германій є єдиним рідкісним елементом, який все ще успішно видобувається з вугілля, і більше половини світового споживання германію забезпечується з цього джерела (Seredin, Finkelman, 2012).

## Погляди на походження германію вугільних пластів

Питанню геохімії вугілля, супутніх корисних копалин і компонентів вугільних родовищ присвячена низка робіт (Погребіцкий, 1960; Ломашов, Лосев, 1962; Широков, Седенко, 1965; Сапрыкин, Богданов, 1967; Клер, 1979), в яких викладені методичні рекомендації з проведення промислової оцінки вугільних родовищ. У колі фахівців з геохімії вугілля чільне місце належить Я.Е. Юдовичу. В його працях систематизовано дані про малі, рідкісні й ультрарідкісні елементи-домішки у вугіллі Донбасу та басейнів світу. Детально досліджувалися токсичні еле-

менти, які є небезпечними для довкілля: миш'як, ртуть, берилій, фтор, хлор, селен та ін. (Юдович, 1978; Юдович и др., 1985; Юдович, Кетрис, 2005). Також були розглянуті елементи, які добуваються з вугілля (германій, уран), і ті, які можуть мати економічне застосування в майбутньому (берилій, молібден та ін.). Аналіз розподілу елементів-домішок у вугільному пласті можна використовувати для встановлення області зносу та визначення типу живлення палеоторфовищ. Вирішення цього завдання потребує повного дослідження та аналізу поширення комплексу мікроелементів.

Існує значна кількість чинників, які впливають на вміст германію у вугіллі. Рудоутворення у вугленосних структурах може відбуватися при торфоаккумуляції, діагенезі органічної речовини або епігенезі (Seredin, 2012).

Розподіл елемента між органічною і зольною частинами вугілля пов'язаний з внутрішніми (сорбційними чи біогенними) та зовнішніми (хемогенними, інфільтраційними) чинниками нагромадження. Концентрації та закономірності розподілу германію у вугіллі залежать від петрографічного складу порід областей зносу, розміщення торфовища щодо провінцій живлення та інтенсивності фізичних і хімічних процесів вивітрювання в басейні седиментації (Кулиненко, 1967).

Питання походження германію у вугіллі є дискусійним. Розглянемо основні гіпотези, які частково перекликаються і доповнюють одна одну: германій у вугіллі нагромаджується шляхом привносу рослин («біологічна концентрація»); у період розкладу рослинних чи тваринних решток за рахунок видалення рухомих мінеральних компонентів і концентрації тих елементів, що утворюють нерозчинні метало-органічні сполуки чи оксиди; на стадії вуглефікації внаслідок адсорбції (Манская, Дроздова, 1964; Ратынский, 1965; Кулиненко, 1967; Юдович, 1978; Юдович, Кетрис, 2005).

Германій пов'язаний переважно з органічною частиною вугілля та вуглистих порід. Малозольне вугілля зазвичай найбільше містить германію. Його зв'язок з органічною речовиною є трьох типів: силами сорбції, через функціональні групи органічних речовин вугілля (гумати), у конденсованих структурах вугілля. Германій накопичується внаслідок сорбції органічною речовиною сполук металів

з поверхневих або підземних вод різного походження при седименто- або діагенезі, рідше вторинному окисненні. Встановлено, що зональні і циклічні геохімічні закономірності латерального і вертикального розповсюдження елементів тісно пов'язані з умовами торфо- та осадонакопичення (Юдович и др., 1985).

Багато дослідників (Ратынский, 1965; Юдович, 1978 та ін.) зазначають, що германій концентрується у вітрової частині вугілля, особливо в неокисленій. Найбільш багаті германієм вітвени характеризуються найнижчими сорбційними властивостями. Це факт, який підтверджує те, що нагромадження германію мало б відбуватися на ранній стадії утворення вугілля. У цей період вуглеутворення метал привноситься водними розчинами та зв'язується гуміновими кислотами в дуже стійкі германієорганічні комплекси.

Германій присутній в вугільних пластах усіх вугленосних формацій світу. Наведемо дані по окремих родовищах світу та погляди дослідників на походження германію у вугіллі.

Робота (Mastalerz, Drobniak, 2012) містить дані по двох пенсильванських розрізах високолеткого кам'яного вугілля штату Індіана: Спрінгфілдська вугільна ланка Петербурзької формації (Springfield Coal) та Данвільська вугільна ланка з Даггерської формації (Danville Coal). Діапазони зміни концентрацій германію у вугіллі становлять від 1,54 до 38,0 г/т (середнє 9,40 г/т) для Springfield Coal та від 2,50 до 26,70 г/т (середнє 14,19 г/т) – для Danville Coal. Вказується, що германій демонструє симетричний розподіл із максимальним збагаченням у підшві і покрівлі вугільних пластів. Зроблено висновок, що, імовірно, він пов'язаний з мінеральною речовиною (переважно глинами, іноді з піритом) або з органічною речовиною вугілля.

Родовище германію Lincang (провінція Юньнань, південно-західний Китай) є одним із найбільших родовищ германію у світі, запаси становлять приблизно 1000 т германію із середнім вмістом приблизно 850 г/т (Rui-Zhong Hu et al., 2009). Родовище знаходиться у вугільних пластах міоценової формації Бангмай і пов'язане з гранітним батолітом, розташованим поруч. Формація Бангмай розділена на вісім одиниць, три з яких є вугільними. Вугільні пласти, перешаровані кременистими породами та вапняками, є германієносними, а вугільні

пласти, що не перешаровуються відповідними породами, не містять германію. Максимальна концентрація зазвичай фіксується на перетині розломів, що січуть вугільні пласти в різних напрямках. У збагачених германієм прошарках вугілля знаходиться вкраплений пірит. Германій в основному пов'язаний з органічною речовиною вугілля і зосереджений у верхній і нижній частинах вугільних пластів, на контакті з шаруватими кременистими породами. Автори вважають, що циркулюючі гідротермальні розчини вилугоували велику кількість германію та інших елементів із гранітів у фундаменті. Ці розчини потрапляли у вугільний басейн переважно вздовж розломів. Германієносні поклади утворилися внаслідок взаємодії між германієм з розчинів, що циркулювали розломами, та органікою вугільних пластів.

У роботі (Makowska et al., 2016) проаналізовано проби вугілля різних марок, відібрані з Верхньосілезького вугільного басейну та з однієї шахти Люблінського вугільного басейну Польщі. Дослідження показали, що вміст германію в проаналізованих пробах знаходиться у діапазоні 0,08–1,28 г/т. На підставі аналізів відзначено відсутність зв'язку між вмістом елемента та зольністю досліджуваного вугілля. Для вугілля Верхньосілезького вугільного басейну спостерігається залежність між вмістом германію в золі та глибиною пласта.

Виконані дослідження кам'яного вугілля родовища Богданка, розташованого в межах Люблінського вугільного басейну, показали, що аналізовані елементи (Co, Ga, Ge) характеризуються високою мінливістю (Auguścik et al., 2016). Проведені статистичні дослідження проб, відібраних з трьох пластів. Зафіксовано низький вміст германію. Наводяться такі дані про германій (г/т): мінімум – 0,20, максимум – 2,10, середнє значення – 0,62, стандартне відхилення 0,56. Наголошується на значній змінності елемента – коефіцієнт варіації 90,9 %.

Узагальнюючи, можна сказати, що дослідження показали наявність германію у вугіллі незалежно від марки. Його можна знайти як у торфі, так і в бурому чи кам'яному вугіллі. Вважається, що основним фактором впливу на кількість германію у вугільних пластах є сорбція германію з водних розчинів при торфоутворенні. Припускають, що особливе значення має хімічна сорбція германію гуміновими сполуками.

Відмінності концентрацій германію у вугіллі є наслідком різних умов формування торфу. Підвищений вміст германію в покрівлі та підосві вугільного пласта пояснюють сорбцією елемента з циркулюючих у пласті вод у процесі діagenезу і вуглефікації.

Переважає більшість дослідників вважають, що вугілля містить германій у вугільних мацералах. Його основним носієм у вугіллі є первинно неокислені компоненти органічної частини вугілля (вітрен, ксилен, кsilовітрен). Вміст германію прямо залежить від ступеня геліфікації вугільної речовини та обернено – від зольності вугілля. Не встановлено чіткого зв'язку між вмістом германію у вугіллі та його маркою. Окремі дослідники (Makowska et al., 2016) вважають, що у вільній мінеральній речовині германій пов'язаний перш за все з піритом та з карбонатами кальцію і магнію.

Загалом, германій у вугіллі поширений дуже нерівномірно. Значно відрізняються за середнім вмістом германію окремі пласти і ділянки родовищ, родовища в цілому, басейни і більші регіони.

## Постановка задачі, об'єкт досліджень

Метою роботи є вивчення геохімічних особливостей вугілля Львівсько-Волинського басейну (ЛВБ), встановлення закономірностей розподілу германію як елемента-домішки та його походження в ході геологічної історії формування вугленосних покладів.

Об'єкт досліджень – вугільні пласти Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну, розподіл германію по стратиграфічному розрізу вугленосної площі та по заляганню пластів вугілля. В роботі проаналізовано вміст германію для вугільних пластів  $v_6, n_7, n_8, n_8^B, n_9$  та побудовано карту зміни концентрацій германію для вугілля пласта  $v_6$  Червоноградського геолого-промислового району ЛВБ; проаналізовано дані, отримані при проведенні розвідувальних робіт на вугілля Любельського родовища ЛВБ щодо збагачення вугілля на германій.

У роботі використано спектральні аналізи середньопластових проб, виконані спеціалізованими лабораторіями Львівської геологорозвідувальної експедиції та Інституту геології і геохімії горючих копалин НАН України у 80–90-х роках ХХ ст. Опробування проводили з різною частотою

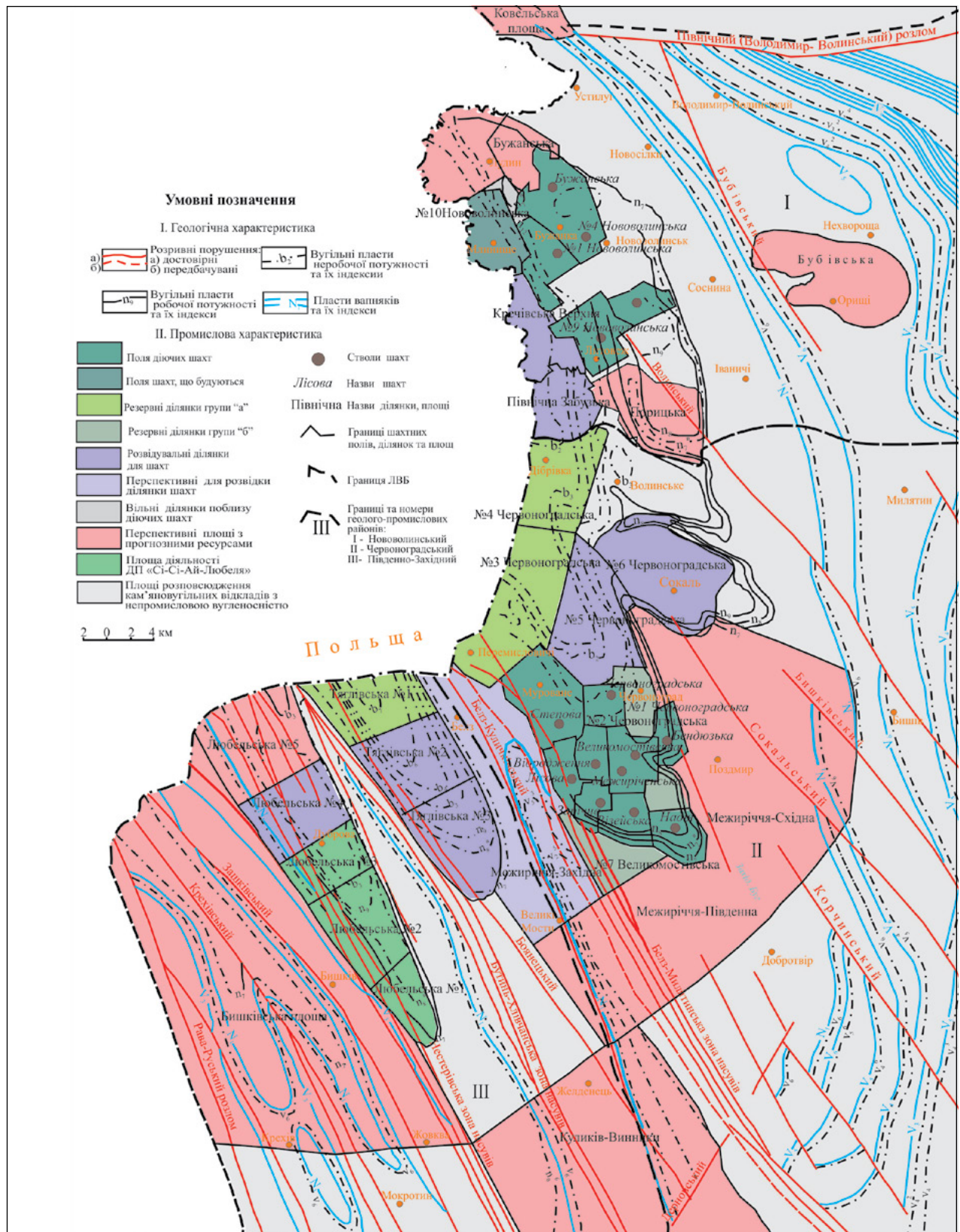
відбору проб, яка була зумовлена промисловою, а не науковою необхідністю. Використання даних аналізів середньопластових пробах не дає можливості прослідкувати зміну кількості металу по товщині пласта та дослідити його максимальний вміст у приконтартових зонах, але дозволяє окреслити основну тенденцію поширення германію по простяганню пластів.

## Поширення германію у вугленосній формації Львівсько-Волинського басейну

Львівсько-Волинський кам'яновугільний басейн – це площа розвитку вугленосних відкладів із пластами вугілля нижнього (візейський та серпуховський яруси – візе, намюр А), а також середнього (низи башкирського ярусу – намюр В, С, низи вестфалу А) карбону, яка розміщена на крайньому заході України у верхній течії р. Західний Буг. Вугленосні відклади утворюють паралічну нижньо-середньокарбонувугленосну формацію. ЛВБ є південно-східним продовженням Люблінського вугільного басейну, який розташований на території Польщі. В сукупності вони утворюють генетично єдиний Львівсько-Люблінський басейн, що знаходиться в межах однойменного тектонічного прогину. Загальна площа басейну на території України становить 11 400 км<sup>2</sup> (включно з Ковельською вугленосною площею), а розвідана та освоєна промисловістю частина басейну – близько 1000 км<sup>2</sup> (Корреляція..., 2007).

До складу басейну входять Волинське, Забузьке, Сокальське, Межирічанське, Тяглівське, Любельське основні родовища та окремо розташоване Бузьке родовище та ряд вугленосних площ і ділянок (рис. 1). Відклади ЛВБ містять близько 99 вугільних пластів і пропластків потужністю від 0,05 до 2,5 м. Поклади вугілля спостерігаються в розрізі всього карбону із збільшенням їх кількості від нижніх горизонтів до верхніх. Глибина залягання пластів робочої потужності (понад 0,6 м) від 250 до 750 м. За марочним складом вугілля басейну належить до довгополуменевого, газового, жирного і коксівного (Павлюк та ін., 2015). У басейні більш низькі (порівняно з Донбасом) і загальні показники якості вугілля, яке характеризується меншою теплотворністю і більш високою зольністю.





**Рис. 1.** Геолого-промислова карта Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну, масштаб 1:200 000 (за матеріалами ДП «Західукргеологія», ДП «Волиньвугілля», ДП «Львіввугілля» (2002), опрацьовано І.В. Бучинською (2023))

**Fig. 1.** Geological and industrial map of the Lviv-Volyn coal basin, scale 1:100,000 (based on the materials of the DHP "Zakhidukrheolohiya", VO "Volynvuhillya", DHP "Lvivvuhillya" (2002), elaborated by I.V. Buchynska (2023))

Шахтами розробляються шість вугільних пластів ( $n_7^H, n_7, n_7^B, n_8, n_8^B$  і  $n_9$ ). Всі вони знаходяться в бужанській світі башкирського ярусу середнього карбону.

На основі комплексного формаційного аналізу загалом ЛВБ розглядається як нижньо-середньокарбонова вугленосна формація паралічного типу, яка утворилась в межах передового прогину Галіцид і західного схилу Українського щита. В її складі виділяють дві підформації: нижня – болотно-морська регресивна і верхня – алювіально-болотно-лагунна регресивно-трансгресивна, границя між якими за новою стратиграфічною схемою кам'яновугільних відкладів Львівського палеозойського прогину відповідає нижній границі бужанської світи і проводиться по покрівлі морських аргілітів (посідонієвий горизонт РШ), які залягають на вапняку  $N_4$ , а за відсутності аргілітів і шару вапняку  $N_4$  – по підшві вугільного пласта  $n_3$  (Корреляція..., 2007; Вдовенко и др., 2013).

Верхня вугленосна підформація охоплює вугленосні відклади нижньої і середньої башкирського ярусу, представлених верхньою частиною любельської, бужанською, морозовичівською, поромівською і кречівською світами (Корреляція..., 2007). Відрізняються від нижньої широким розвитком континенталь-

них і перехідних фацій і вдвічі більшим вмістом вугілля. Найбільш високу промислову вугленосність мають відклади бужанської світи, які включають понад 20 вугільних пластів і прошарків. Робочу потужність на великих площах мають вугільні пласти  $n_7^H, n_7, n_7^B, n_8, n_8^0, n_8^B, n_8^5, n_9, b_1, b_2, b_3, b_4$ , які в різних співвідношеннях є основними промисловими пластами на всіх родовищах ЛВБ.

Германій у вугіллі ЛВБ поширений дуже нерівномірно, але присутній в пробах золи вугілля всіх вугільних пластів нижнього карбону (Бартошинская и др., 1980). Коефіцієнт зустрічальності у вугіллі візейського ярусу коливається від 50 до 100 % і становить у середньому 76 %, у вугіллі серпуховського ярусу – від 32 до 100 %, у середньому – 69 %. Концентрація германію у вугіллі візейського ярусу коливається від десятитисячних до сотих (у середньому тисячні) часток відсотка, у вугіллі серпуховського – від десятитисячних до тисячних (у середньому десятитисячні) часток відсотка. У першому випадку його вміст більший від кларкового, у другому – відповідає кларку. Загалом спостерігається деяка тенденція до зменшення концентрацій та поширення германію знизу догори по розрізу нижнього карбону Червоноградського геолого-промислового району (табл. 1).

Таблиця 1. Германій у вугіллі нижнього карбону Червоноградського геолого-промислового району ЛВБ (Бартошинская и др., 1980)

Table 1. Germanium in Lower Carboniferous coal of the Chervonohrad geological and industrial region of Lviv-Volyn Basin (Bartoshinskaya et al., 1980)

Ярус	Світа	Коефіцієнт зустрічальності, %			Концентрація у вугіллі, %		
		від	до	середнє	від	до	середнє
Башкирський	Бужанська	75	100	69	0	0,001–0,009	< 0,001
	Лишнянська	60	100	93	0	0,001–0,009	< 0,001
Серпуховський	Іваничівська	32	100	74	0	0,001–0,009	< 0,001
	Середнє по ярусу		75			< 0,001	
Візейський	Порицька	50	100	80	0	0,001–0,009	0,001–0,009
	Устилузька	50	100	77	0	0,001–0,009	< 0,001
	Володимирська	75	100	87	–	0,001–0,009	0,001–0,009
	Середнє по ярусу		76			0,001–0,009	

Нами було систематизовано дані про вугільні пласти Червоноградського геолого-промислового району як частини басейну з інтенсивним розвитком вуглевидобувного комплексу і відповідно максимальною кількістю аналізів. Для встановлення вертикальної залежності зміни концентрацій германію по стратиграфічному розрізу були проаналізовані результати спектральних аналізів концентрації германію для пластів  $n_7$ ,  $n_8$ ,  $n_8^a$ ,  $n_9$  (табл. 2). Кількість проб для кожного пласта була досить представницькою і становила 29, 140, 119 і 16 проб, відповідно.

Аналіз змін концентрацій мікроелементів-домішок вугілля (зокрема германію) в межах залягання одного вугільного пласта є науково доцільним. Такі дослідження дають змогу оха-

рактеризувати палеоторфовище певного віку та встановити геологічні передумови утворення вугільних покладів. З такою метою нами вивчалось поширення германію у вугіллі пласта  $v_6$ , який знаходиться у верхній частині іванічівської світи серпуховського ярусу нижнього карбону.

Пласт  $v_6$  є основним промисловим пластом нижньої вугленосної підформації карбонової товщі ЛВБ, що зберігає робочу потужність на значних площах (Корреляція..., 2007; Костик та ін., 2010). Промислове значення пласт  $v_6$  має на окремих полях шахт Забузького, Межирічанського родовищ Червоноградського геолого-промислового району, на Любельському, Тягівському родовищах та ділянці Межиріччя-Західна Південно-Західного вугленосного

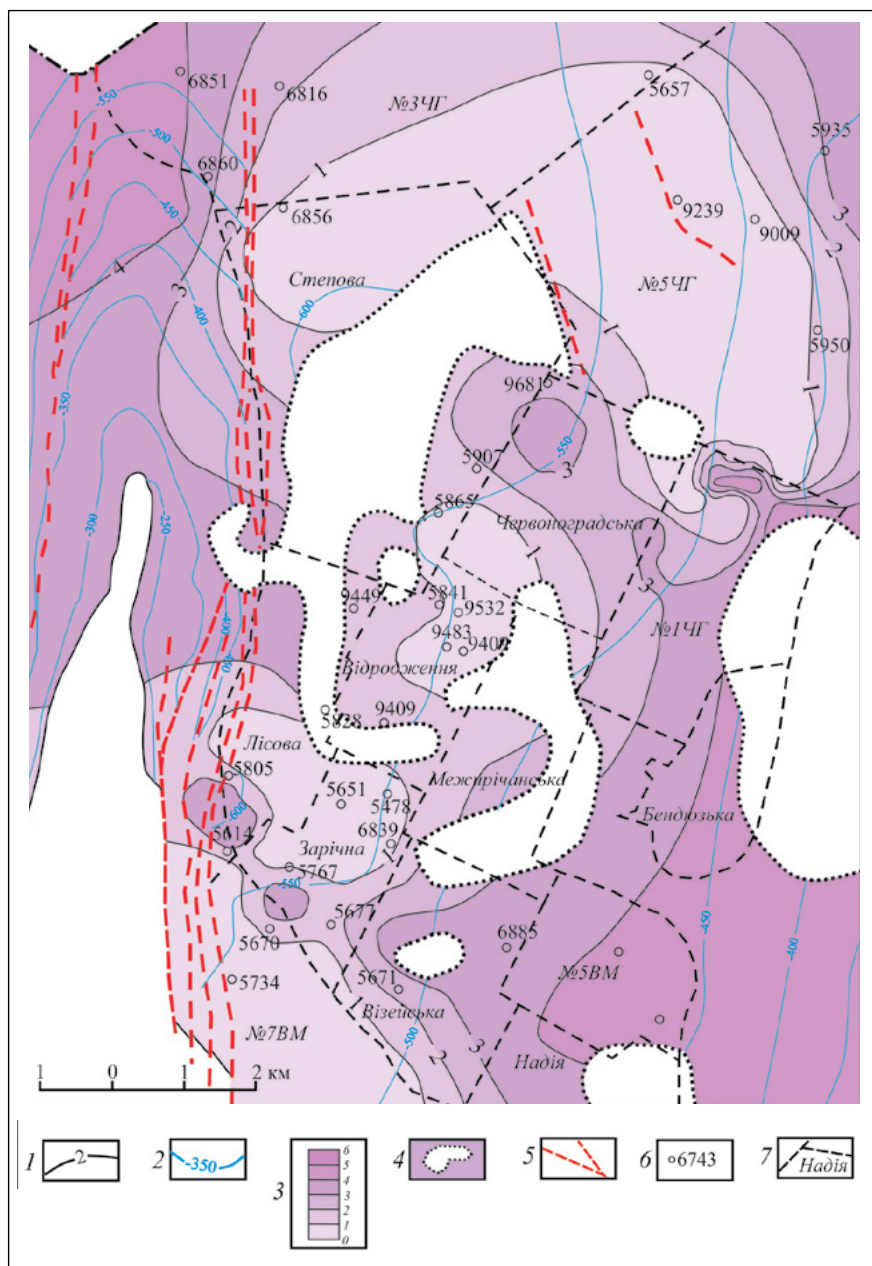
Таблиця 2. Узагальнені результати аналізів вмісту германію вугільних пластів Червоноградського геолого-промислового району ЛВБ

Table 2. Generalized results of analyzes of germanium content of coal seams of the Chervonohrad geological and industrial region of Lviv-Volyn Basin

Шахти, шахтні поля	Пласти вугілля				
	$v_6$	$n_7$	$n_8$	$n_8^a$	$n_9$
Межирічанська, «Надія»	$\frac{1,1-28}{4,8 (14)^*}$	$\frac{0-2,6}{1,3 (2)}$	$\frac{2,1-4,0}{1,9 (3)}$	$\frac{2,0-3,0}{2,46 (3)}$	-
«Відродження»	$\frac{0,97-9,5}{1,4 (19)}$	$\frac{0-6,2}{2,6 (8)}$	$\frac{0-4,0}{0,5 (28)}$	$\frac{0-16}{0,38 (19)}$	-
1ЧГ	$\frac{1-7,8}{1,86 (10)}$	-	$\frac{0-3,23}{0,3 (20)}$	$\frac{0-2,8}{1,14 (13)}$	-
5ЧГ	$\frac{0,92-9,5}{2,1 (9)}$	-	0 (8)	$\frac{0-3,6}{0,4 (8)}$	-
6ЧГ	-	-	-	$\frac{0-7,4}{1,9 (12)}$	$\frac{0-3,5}{1,25 (4)}$
Зарічна	$\frac{1,0-3,8}{0,34 (45)}$	$\frac{0-3,1}{1,15 (16)}$	$\frac{0-2,9}{1,15 (16)}$	$\frac{0-2,8}{1,02 (15)}$	$\frac{0-10}{1,9 (7)}$
Степова	$\frac{0,93-4,7}{2,08 (9)}$	-	$\frac{0-5,0}{1,0 (26)}$	$\frac{0-10}{1,4 (45)}$	$\frac{0-3,8}{1,64 (5)}$
Лісова	$\frac{3,6-8,3}{5,95 (3)}$	-	$\frac{0,46-4,0}{2,2 (4)}$	-	-
Червоноградська	$\frac{1,3-16}{4,1 (7)}$	$\frac{0-5,2}{2,6 (3)}$	0 (5)	$\frac{0-3,9}{1,2 (4)}$	-
4ЧГ	-	-	$\frac{0-8,3}{3,2 (30)}$	-	-
Середнє по пласту	2,82	1,91	1,4	1,34	1,59

\* Тут і в табл. 3 у чисельнику наведено значення «від – до», г/т; у знаменнику – середнє; у круглих дужках – кількість вимірів.





**Рис. 2.** Схема поширення германію по пласту  $v_6$  Червоноградського геолого-промислового району ЛВБ, масштаб 1:100 000 (склали І.В. Бучинська, Г.І. Лазар, 2014): 1 – ізолінії концентрації германію, г/т; 2 – ізолінії глибини залягання пласта  $v_6$ ; 3 – шкала концентрацій, г/т; 4 – розмиви вугільного пласта  $v_6$ ; 5 – тектонічні порушення; 6 – свердловини; 7 – межі шахтних полів Червоноградського геолого-промислового району ЛВБ

**Fig. 2.** Scheme of the distribution of germanium in the  $v_6$  layer Chervonograd geological-industrial district of the Lviv-Volyn coal basin, scale 1:100,000 (compiled by I.V. Buchynska, G. I. Lazar, 2014): 1 – germanium concentration isolines, g/t; 2 – isolines of the depth of the layer  $v_6$ ; 3 – concentration scale, g/t; 4 – erosion of coal seam  $v_6$ ; 5 – tectonic disturbances; 6 – wells; 7 – boundaries of mine fields of the Chervonograd geological-industrial district of Lviv-Volyn Basin

району (Костик та ін., 2010). Їого розробка може продовжити термін експлуатації діючих шахт. Всебічне дослідження пласта і вивчення геохімічних особливостей вугілля є необхідною частиною для окреслення цілісної картини розвитку вугленосного басейну.

Пласт  $v_6$  переважно характеризується паралічним типом осадоагромадження (Корреляція..., 2007), загальна регресивна спрямованість якого призводила до відступу моря в південно-західному напрямку, внаслідок чого поступово поширювалися континентальні умови, сприятливі для формування палеоторфовищ і палеогеографічних систем. Вважається, що найбільш

придатні для формування торфовищ умови були в центральній та південній частинах басейну (Костик та ін., 2010). Пласт  $v_6$  містить кларенове та дюрено-кларенове маловідновне і перехідне за типом відновленості вугілля зі значною перевагою мацералів групи інертиніту над мацералами групи ліптиніту (Узіюк, 2009).

Складена схема поширення германію по пласту  $v_6$  в межах Забузького, Межирічанського родовищ Червоноградського геолого-промислового району (рис. 2). Германій поширений нерівномірно. За даними спектральних аналізів його концентрація змінюється в широких межах від 0 до 28 г/т. Проаналізовано 116 спектральних

аналізів. Мінімальні концентрації металу характерні для центральної частини району, локалізовані в наближенні до розмивів; максимальні концентрації спостерігаються на північному заході і південному сході району.

До південно-східної частини пласта приурочені декілька проб з максимально високими концентраціями елемента. Так, на полі шахти «Надія» зафіксовані значення 28 г/т (св. 9469) і 10 г/т (св. 9503), на полі шахти Червоноградська № 2 – 16 г/т (св. 9641). Середня концентрація германію по пласту – 2,8 г/т (див. табл. 2). По латералі пласта  $v_6$  фіксується тенденція до збільшення його вмісту в крайових зонах палеоторфовища. Це, імовірно, пов'язано зі зміною палеогеографічних і палеотектонічних чинників, що визначали наявність біогеохімічних бар'єрів при формуванні гумусового горизонту палеоторфовища. Такий розподіл металу в межах вугільного пласта пояснюється механізмом сорбційного нагромадження германію в органічній масі торфів на ділянках з посиленням водно-мінеральним живленням, яке виникає в крайових ділянках палеоторфовища.

Любельське родовище Південно-Західного вугленосного району є одним із основних резервів поповнення видобувного шахтного фонду ЛВБ (див. рис. 1). Воно розташовано в південно-західній частині ЛВБ у межах Карівської синклінали і належить до найбільш складних у тектонічному відношенні родовищ ЛВБ, що підтверджено даними сейсморозвідувальних і геологорозвідувальних робіт, які виявили значну кількість розривних

порушень (Бучинська, Матрофайло, 2021; Костик та ін., 2021). В процесі розвідувальних робіт на вугілля, як основного виду сировини, на Любельському родовищі проводилися випробувальні роботи, зосереджені на отриманні даних про збагачення вугілля на германій та інформації про поширення токсичних і потенційно токсичних компонентів.

На основі узагальнення та систематизації матеріалу спектральних аналізів середньопластових проб, виконаних ДП «Сі-Сі-Ай-Любеля» (2016) при проведенні геолого-економічної оцінки запасів кам'яного вугілля родовища, встановлено, що всі вугільні пласти Любельського родовища містять германій (табл. 3). В таблиці наведено вміст германію у вугіллі пластів Любельського родовища ЛВБ (за матеріалами ДП «Сі-Сі-Ай-Любеля», 2016). В інтервалі верхньої алювіально-озерно-болотно-лагунової підформації кам'яновугільної формації ЛВБ (вугільні пласти бужанської та морозовичівської світ) для Любельського родовища спостерігається збільшення германію вгору по стратиграфічному розрізу.

Варто зазначити, що для деяких пластів чи їхніх ділянок характерні промислові концентрації, що визначено за існуючими кондиціями для вугілля Донецького басейну (понад 2,5 г/т вугілля). При аналізі результатів опробувань видно, що більш германієносні вугільні пласти приурочені до верхньої частини розрізу ( $n_8^5$ ,  $b_1$ ,  $b_3$ ). Нижня частина розрізу характеризується нижчими показниками вмісту германію (пласти  $n_7$ ,  $n_7^B$ ,  $n_8$ ,  $n_8^B$ ) (Бучинська, Лазар, 2019).

Таблиця 3. Вміст германію у вугіллі пластів Любельського родовища ЛВБ (за матеріалами ДП «Сі-Сі-Ай-Любеля», 2016)

Table 3. Content of germanium in the coal seams in the Lubelske field of Lviv-Volyn Basin (based on the materials of the SE “C-C-I-Lyubelia”, 2016)

Ділянки родовища	Вугільні пласти							
	$n_7$	$n_7^B$	$n_8$	$n_8^B$	$n_8^5$	$n_9$	$b_1$	$b_3$
	Германій*, г/т вугілля							
Любельська № 1–2	0,60–7,0 2,3 (18)	1,1–6,0 2,54 (20)	1,0–2,7 1,6 (30)	0,7–5,1 2,9 (10)	2,5–4,5 3,5 (2)	0,9–3,9 2,2 (15)	0,4–11,7 3,9 (11)	0,9–6,2 3,63 (8)
Любельська № 3	0,6–4,5 2,0 (26)	1,0–3,5 2,54 (26)	1,0–3,0 1,7 (6)	0,7–5,1 2,9 (15)	2,9–4,5 3,7 (3)	1,2–4,0 2,4 (17)	1,4–11,6 3,9 (18)	0,8–7,2 3,6 (9)



Прикладом нерівномірного хвилеподібного розповсюдження елемента по площі може бути пласт  $n_7$ . За даними ДП «Сі-Сі-Ай-Любеля», в межах ділянки Любельська № 3 пласт умовно можна розділити на дві частини. Такий розподіл корегуються поширенням вугілля певних марок. У західній і південно-західній частинах вміст германію сягає 0,6–1,7 г/т. У межах марки К вміст германію становить 0,8–0,6 г/т. Більші концентрації 2,5 г/т спостерігаються в східному і північно-східному напрямках (площа поширення вугілля марки Ж) і приурочені до зон сингенетичних заміщень вугільного пласта.

Отже, вугілля пластів Любельського родовища ЛВБ германієносне. Середні концентрації германію в промислових вугільних пластах коливаються в межах 2,2–3,9 г/т. При дослідженні ділянки Любельська № 3 за висновками Інституту вугільних енерготехнологій (ІВЕ) НАН України (м. Київ, 2015 р.), вугілля пластів  $n_7^B$ ,  $n_8^B$ ,  $n_9$ ,  $b_1$ , яке планується використовувати для спалювання в енергетичних цілях, попутно може використовуватися як джерело германію. Підраховані запаси германію за фактичним вмістом в енергетичному вугіллі ділянки Любельська № 3 за категорією  $C_2$  становлять 248,41 т.

Систематизація та аналіз даних, наведених у табл. 2 і 3, демонструє зміну концентрацій германію загалом по басейну. Можна говорити, що в стратиграфічному інтервалі верхньої алювіально-озерно-болотно-лагунової підформації вугілля Південно-Західного вугленосного району ЛВБ (Любельське родовище) є більш германієносним, ніж вугілля Червоноградського геолого-промислового району (Межирічанське і Забузьке родовища). За матеріалами ДП «Сі-Сі-Ай-Любеля», германій у вугіллі Любельського родовища може бути пов'язаний з сапропелевим вугіллям і значним вмістом у контактній частині вугільних пластів тонкорозсіяного піриту (Кулиненко, 1967). Дані про германієність вугілля пластів нижньої болотно-морської регресивної підформації Любельського родовища відсутні.

## Висновки

Вугілля Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну характеризується нерівномірним розподілом концентрації германію. Хвилеподібний характер розподілу концентрацій по пластах спричинений процесом седиментації, який підпорядковується конседиментаційним тектонічним рухам, що впливали на водний режим палеоторфовищ, літологічну і фаціальну мінливість вугленосних відкладів у цілому. Різка зміна палеогеографічних умов викликала значні порушення у водоймах газового режиму, а також соленості, що могло сприяти виникненню геохімічних бар'єрів. Часті зміни та нерівномірність розподілу германію свідчать про суттєвий вплив коливальних рухів незначної амплітуди, які загалом не змінювали типу седиментації, а лише диференціювали геохімічну ситуацію (Лелик, Шульга, 1991).

В стратиграфічному інтервалі верхньої алювіально-озерно-болотно-лагунової підформації кам'яновугільної формації ЛВБ (башкирський ярус) вугілля Південно-Західного вугленосного району (Любельське родовище) є більш германієносним, ніж вугілля Червоноградського геолого-промислового району (Межирічанське і Забузьке родовища). Для нижньої болотно-морської регресивної підформації максимально високі концентрації германію встановлені у вугільному пласті  $v_6$  на полі шахти «Надія» (28 г/т) і Червоноградська № 2 (16 г/т) Червоноградського геолого-промислового району.

При проектуванні економічно вигідних технологічних схем вуглевидобутку потрібно враховувати весь комплекс показників щодо освоєння супутніх корисних копалин і компонентів вугілля. Вивчення наявності та розподілу мікроелементів-домішок (зокрема германію) дозволяє розглядати вугілля як полімінеральну сировину. Комплексний підхід до видобування вугілля з вивченням вмісту і поширення мікроелементів у вугіллі та перспективності їх промислового використання дасть можливість досконало оцінити потенціал вугленосної товщі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Бартошинская Е.С., Бык С.И., Казаков С.Б. Геохимическая характеристика углей нижнего карбона Львовско-Волынского бассейна. *Геология и геохимия горючих ископаемых*. 1980. № 54. С. 84–93.
- Biloshapska T.D. (Ed.). 2009. Mineral resources of Ukraine and the world. Kyiv: DNVP “Heoinform Ukrainy” (in Ukrainian).
- Бурлуцький М.С., Курило М.М. Сучасний стан ринку й перспективи розвитку мінерально-сировинної бази германію в Україні. *Мінер. ресурси України*. 2012. № 4. С. 14–18.
- Бучинська І.В., Матрофайло М.М. Перспективи нарощування мінерально-сировинної бази Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну. *Гірнична геологія та геоecологія*. 2021. № 1. С. 5–23. <https://doi.org/10.59911/mgg.2786-7994.2020.1.234260>
- Бучинська І.В., Лазар Г.І. Германієносність вугілля Любельського родовища Львівсько-Волинського басейну. *Здобутки і перспективи розвитку геологічної науки в Україні: зб. тез наук. конф., присвяченої 50-річчю Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка (Київ, 14–16 трав. 2019 р.)*: у 2-х т. Київ: НАН України, ІГМР ім. М.П. Семененка. Т. 2. С. 31–32.
- Вдовенко М.В., Полетаєв В.І., Шульга В.Ф. Стратиграфія карбону Львівського палеозойського прогину. *Стратиграфія верхнього протерозою, палеозою та мезозою України*. Київ: Логос. 2013. Т. 1. С. 316–331.
- Клер В.Р. Изучение сопутствующих полезных ископаемых при разведке угольных месторождений. Москва: Недра, 1979. 272 с.
- Корреляция карбоновых угленосных формаций Львовско-Волынского и Люблинского бассейнов: Радзивилл А.Я. (ред.). Киев: Варта. 2007. 427 с.
- Костик І.О., Бучинська І.В., Побережський А.В. Класифікація запасів вугілля Тяглівського і Любельського родовищ Південно-Західного вугленосного району Львівсько-Волинського басейну за основними природними показниками. *Геол. журн.* 2021. № 1 (374). С. 53–69. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2021.1.214013>
- Костик І., Матрофайло М., Шульга В., Король М. Перспективи промислової вугленосності глибоких горизонтів Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну. Ст. 1. Морфологія серпуховського вугільного пласта  $v_6$  і особливості його утворення. *Геологія і геохімія горючих копалин*. 2010. № 3–4 (152–153). С. 27–45.
- Кулиненко О.Р. К вопросу о происхождении германия в углях. *Изв. АН СССР. Сер. геол.* 1967. № 7. С. 53–65.
- Лелик Б.І., Шульга В.Ф. Особливості розподілу рідких і розсіяних елементів у вугленосній формації Львівсько-Волинського басейну. *Доп. АН УРСР*. 1991. № 1. С. 70–73.
- Ломашов И.П., Лосев Б.И. Германий в ископаемых углях. Москва: Изд-во АН СССР, 1962. 165 с.
- Манская С.М., Дроздова Т.В. Геохимия органического вещества. Москва: Наука, 1964. 315 с.
- Мінеральні ресурси України та світу: Білошапська Т.Д. (ред.). Київ: ДНВП «Геоінформ України», 2009. 602 с.
- Павлюк М.І., Побережський А.В., Бучинська І.В. Перспективи розвитку вуглевидобувного комплексу Львівсько-Волинського басейну (Любельське родовище). *Геологія горючих копалин: досягнення і перспективи*: матеріали міжнар. наук. конф. (Київ, 2–4 верес. 2015 р.). Київ, 2015. С. 61–65.
- Перелік критичної сировини ЄС збільшився – Єврокомісія затвердила проект Регламенту [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – 06.04.2023. – Режим доступу: <https://brdo.com.ua/news/perelik-krytychnoyi-syrovyny-yes-zbilshyvsa-uevrokomisiya-zatverdyla-proyekt-reglamenta/> (дата звернення 30.06.2023).
- Погребницкий Е.О. О некоторых закономерностях распределения германия в углях Донецкого бассейна. Москва: Недра, 1960. 362 с.
- Ратынский В.М. О путях поступления германия в ископаемых углях. *Проблемы геохимии*. Москва: Недра, 1965. С. 298–306.
- Родовища критичної мінеральної сировини України. Стан і перспектив.: Рудько Г. І. (ред.). Київ–Чернівці: Бу-крек, 2021. 248 с.
- Сапрыкин Ф.Я., Богданов В.В. Методическое руководство по изучению и оценке месторождений угля на германий и другие редкие элементы. Москва: Недра, 1967. 312 с.
- Сивий М., Паранько І., Іванов Є. Географія мінеральних ресурсів України. Львів: Простір М, 2013. 683 с.
- Узіюк В.І. Вихідний рослинний матеріал, петрографічний склад, відновлення і відбивна здатність вугілля пласта  $v_6$  Львівсько-Волинського басейну. *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геол.* 2009. Вип. 23. С. 123–140.
- Широков А.З., Седенко С.М. Геология и геохимия твердых горючих ископаемых. Москва: Недра, 1965. 147 с.
- Юдович Я.Э. Геохимия ископаемых углей. Ленинград: Наука, 1978. 262 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 654 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Мерц А.В. Элементы-примеси в ископаемых углях. Ленинград: Наука, 1985. 239 с.
- Alastuey A., Jiménez A., Plana F., Querol X., Suárez-Ruiz I. Geochemistry, mineralogy, and technological properties of the main Stephanian (Carboniferous) coal seams from the Puertollano Basin, Spain. *International Journal of Coal Geology*. 2001. Vol. 45, iss. 4. P. 247–265. [https://doi.org/10.1016/S0166-5162\(00\)00036-7](https://doi.org/10.1016/S0166-5162(00)00036-7)
- Arroyo F., Font O., Chimenos J.-M., Fernández-Pereira C., Querol X., Coca P. IGCC fly ash valorisation. Optimisation of Ge and Ga recovery for an industrial application. *Fuel Processing Technology*. 2014. Vol.124. P. 222–227. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.03.004>

- Auguścik J., Wasilewska-Błaszczak M., Wójtowicz J., Paszek M. Zmienność zawartości pierwiastków krytycznych (Be, Co, Ga, Ge) w węglu kamiennym LZW. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*. 2016. Vol. 466. P. 7–16. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0009.4755>
- Blissett R.S., Rowson N.A. A review of the multi-component utilisation of coal fly ash. *Fuel*. 2012. Vol. 97. P. 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.03.024>
- Höll R., Kling M., Schroll E. Metallogenesis of germanium: A review. *Ore Geology Reviews*. 2007. Vol. 30, iss. 3–4. P. 145–180. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2005.07.034>
- Makowska D., Wierońska F., Strugała A., Kosowska K. Germanium content in Polish hard coals. *E3S Web Conf. 1st International Conference on the Sustainable Energy and Environment Development (SEED 2016)*. 2016, Vol. 10. P. 1–6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20161000121>
- Mastalerz M., Drobnik A. Gallium and germanium in selected Indiana coals. *International Journal of Coal Geology*. 2012. Vol. 94. P. 302–313. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2011.09.007>
- Rui-Zhong Hu, Hua-Wen Qi, Mei-Fu Zhou, Wen-Chao Su, Xian-Wu Bi, Jian-Tang Peng, Hong Zhong. Geological and geochemical constraints on the origin of the giant Lincang coal seam-hosted germanium deposit, Yunnan, SW China: A review. *Ore Geology Reviews*. 2009. Vol. 36, iss. 1–3. P. 221–234. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2009.02.007>
- Seredin V.V. From coal science to metal production and environmental protection: A new story of success. *International Journal of Coal Geology*. 2012. Vol. 90–91. P. 1–3 <https://doi.org/10.1016/j.coal.2011.11.006>
- Seredin V.V., Finkelman R.B. Metalliferous coals: A review of the main genetic and geochemical types. *International Journal of Coal Geology*. 2012. Vol. 76. P. 253–289. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2008.07.016>

Надійшла до редакції 27.07.2023

Надійшла у ревізованій формі 13.10.2023

Прийнята 26.11.2023

## REFERENCES

- Alastuey A., Jiménez A., Plana F., Querol X., Suárez-Ruiz I. 2001. Geochemistry, mineralogy, and technological properties of the main Stephanian (Carboniferous) coal seams from the Puertollano Basin, Spain. *International Journal of Coal Geology*, 45, 4: 247–265. [https://doi.org/10.1016/S0166-5162\(00\)00036-7](https://doi.org/10.1016/S0166-5162(00)00036-7)
- Arroyo F., Font O., Chimenos J.-M., Fernández-Pereira C., Querol X., Coca P. 2014. IGCC fly ash valorisation. Optimisation of Ge and Ga recovery for an industrial application. *Fuel Processing Technology*, 124: 222–227. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.03.004>
- Auguścik J., Wasilewska-Błaszczak M., Wójtowicz J., Paszek M. 2016. Zmienność zawartości pierwiastków krytycznych (Be, Co, Ga, Ge) w węglu kamiennym LZW. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 466: 7–16. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0009.4755>
- Bartoshinskaya Ye.S., Byk S.I., Kazakov S.B. 1980. Geochemical characteristics of coals of the Lower Carboniferous in the Lvov-Volyn basin. *Geologiya i geokhimiya goryuchikh iskopaemikh*, 54: 84–93 (in Russian).
- Biloshapska T.D. (Ed.). 2009. Mineral resources of Ukraine and the world. Kyiv: DNVP “Heoinform Ukrainy” (in Ukrainian).
- Blissett R.S., Rowson N.A. 2012. A review of the multi-component utilisation of coal fly ash. *Fuel*, 97: 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.03.024>
- Buchynska I.V., Matrofailo M.M. 2021. Prospects for expanding the mineral and raw material base of the Lviv-Volyn coal basin. *Hirnycha heolohiia ta heokolohiia*, 1: 5–23. <https://doi.org/10.59911/mgg.2786-7994.2020.1.234260> (in Ukrainian).
- Buchynska I.V., Lazar H.I. 2019. Germanium content of coal from the Lubelskie deposit of the Lviv-Volyn basin. *Achievements and prospects for the development of geological science in Ukraine: a collection of theses of the Scientific Conference dedicated to the 50th anniversary of the Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation named after M.P. Semenenko (Kyiv, May 14–16, 2019): in 2 vols.* Kyiv: NAS of Ukraine, IGMOF named after M.P. Semenenko, 2, pp. 31–32 (in Ukrainian).
- Burlutskyi M.S., Kurylo M.M. 2012. The current state of the market and prospects for the development of the mineral-syrovine base of germanium in Ukraine. *Mineralni resursy Ukrainy*, 4: 14–18 (in Ukrainian).
- Höll R., Kling M., Schroll E. 2007. Metallogenesis of germanium: A review. *Ore Geology Reviews*, 30, 3–4: 145–180. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2005.07.034>
- Kler V.R. 1979. The study of accompanying minerals during the exploration of coal deposits. Moscow: Nedra (in Russian).
- Kostik I., Matrofailo M., Shulga V., Korol M. 2010. Prospects of industrial coal content of deep horizons of the Lviv-Volyn coal basin. Article 1. Morphology of the Serpukhov coal seam  $v_6$  and features of its formation. *Geologiya i geokhimiya goryuchikh kopalyn*, 3–4 (152–153): 27–45 (in Ukrainian).
- Kostyk I.O., Buchynska I.V., Poberezhsky A.V. 2021. Classification of coal reserves at the Tyaglivske and Lyubelske fields of the south-western coal-bearing region of the Lviv-Volyn Basin based on the main natural indicators. *Geolichnij žurnal*, 1 (374): 53–69. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2021.1.214013> (in Ukrainian).
- Kulinenko O.R. 1967. To the question of the origin of germanium in coal. *Izv. AN SSSR. Ser. Geol.*, 7: 53–65 (in Russian).

- Lelyk B.I., Shulha V.F. 1991 Features of the distribution of liquid and scattered elements in the coal-bearing formation of the Lviv-Volyn Basin. *Dop. AN URSSR*, 1: 70–73 (in Ukrainian).
- Lomashov I.P., Losev B.I. 1962. Germanium in fossil coals. Moscow: Publ. AN SSSR (in Russian).
- Makowska D., Wierońska F., Strugała A., Kosowska K. 2016. Germanium content in Polish hard coals. *E3S Web Conf. 1<sup>st</sup> International Conference on the Sustainable Energy and Environment Development (SEED 2016)*, 10:1–6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20161000121>
- Manskaya S.M., Drozdova T.V. 1964. Geochemistry of organic matter. Moscow: Nauka (in Russian).
- Mastalerz M., Drobniak A. 2012. Gallium and germanium in selected Indiana coals. *International Journal of Coal Geology*, 94: 302–313. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2011.09.007>
- Mineral resources of Ukraine and the world. Biloshapska T.D. (Ed.). 2009. Kyiv: DNVP "Heoinform Ukrainy" (in Ukrainian).
- Pavliuk M.I., Poberezhskiy A.V., Buchynska I.V. 2015. Prospects for the development of the coal mining complex of the Lviv-Volyn Basin (Lyubel deposit). *Geology of fossil fuels: achievements and prospects: materials of the International Scientific Conference (Kyiv, September 2–4, 2015)*. Kyiv, pp. 61–65 (in Ukrainian).
- Pogrebitskii Ye.O. 1960. On some patterns of germanium distribution in beehives of the Donetsk Basin. Moscow: Nedra (in Russian).
- Radzivil A.Ya. (Ed.). 2007. Correlation of Carboniferous coal-bearing formations of the Lviv-Volyn and Lublin basins. Kyiv: Varta (in Russian).
- Ratinskii V.M. 1965. On the routes of germanium entry into fossil coals. *Problemi geokhimii*. Moscow: Nedra, pp. 298–306 (in Russian).
- Rudko H I. (Ed.). 2021 Deposits of critical mineral raw materials of Ukraine. Status and prospects. Kyiv–Chernivtsi: Bukrek (in Ukrainian).
- Rui-Zhong Hu, Hua-Wen Qi, Mei-Fu Zhou, Wen-Chao Su, Xian-Wu Bi, Jian-Tang Peng, Hong Zhong. 2009. Geological and geochemical constraints on the origin of the giant Lincang coal seam-hosted germanium deposit, Yunnan, SW China: A review. *Ore Geology Reviews*, 36, 1–3: 221–234. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2009.02.007>
- Saprikin F.Ya., Bogdanov V.V. 1967. Methodological guide for the study and evaluation of coal deposits for germanium and other rare elements. Moscow: Nedra (in Russian).
- Seredin V.V. 2012. From coal science to metal production and environmental protection: A new story of success. *International Journal of Coal Geology*, 90–91: 1–3. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2011.11.006>
- Seredin V.V., Finkelman R.B. 2012. Metalliferous coals: A review of the main genetic and geochemical types. *International Journal of Coal Geology*, 76. 253–289. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2008.07.016>
- Shirokov A.Z., Sedenko S.M. 1965. Geology and geochemistry of solid fossil fuels. Moscow: Nedra (in Russian).
- Syvyi M., Paranko I., Ivanov Ye. 2013. Geography of mineral resources of Ukraine. Lviv: Prostir M (in Ukrainian).
- The list of EU critical raw materials has increased – the European Commission has approved the draft Regulation. <https://brdo.com.ua/news/perelik-krytychnoyi-syrovyny-yes-zbilshyvshya-yevrokomisiya-zatverdyla-proyekt-reglamenta/> (accessed 30.06.2023).
- Uziuk V.I. 2009. Initial plant material, petrographic composition, recovery and reflectivity of coal seam v6 of the Lviv-Volyn basin. *Visn. Lviv. un-tu. Ser. Geol.*, 23: 123–140 (in Ukrainian).
- Vdovenko M.V., Polietaiev V.I., Shulha V.F. 2013. Carboniferous stratigraphy of the Lviv Paleozoic Trough. *Stratigraphy of the Upper Proterozoic, Paleozoic and Mesozoic of Ukraine. Vol. 1*. Kyiv: Logos, pp. 316–331 (in Ukrainian).
- Yudovich Ya.E. 1978. Geochemistry of fossil coals. Leningrad: Nauka (in Russian).
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P. 2005. Toxic elements-impurities in fossil coals. Yekaterinburg: UrO RAN (in Russian).
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P., Merts A.V. 1985. Elements-impurities in fossil hives. Leningrad: Nauka (in Russian).

Received 27.07.2023

Received in revised form 13.10.2023

Accepted 26.11.2023

## Поширення германію у вугіллі Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну

I.В. Бучинська\*, М.М. Матрофайло, А.В. Побережський, О.О. Ступка, Г.І. Лазар

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

E-mail: ibuchynska@ukr.net; mmatrofaylo@gmail.com; andriy.poberezhskyy@gmail.com; stupkaoksana@gmail.com; lazarhalyna@i.ua

\*Автор для кореспонденції

Германій – рідкісний елемент, є сировиною багатоцільового використання та входить до списку «критично-важливих мінералів», затвердженого Європейською Комісією. Мінерально-сировинна база України характеризується значними запасами супутнього германію та перспективами його освоєння під час комплексної розробки вугільних родовищ. Мета роботи – вивчення походження германію в ході геологічної історії формування вугленосних покладів; встановлення закономірностей його розподілу як елемента-домішки у вугіллі Львівсько-Волинського басейну.

Германій у вугіллі названого басейну присутній в пробах золи вугілля всіх вугільних пластів нижнього і середнього карбону. У Червоноградському геолого-промисловому районі (Межирічанське і Забузьке родовища) досліджено вміст германію для пластів  $v_6, n_7, n_8, n_8^B, n_9$ . В статті проаналізовано та побудовано карту концентрацій германію для вугілля пласта  $v_6$  у Червоноградському геолого-промисловому районі Львівсько-Волинського басейну. По латералі пласта фіксується збільшення вмісту в крайових зонах палеоторфовища. Такий розподіл пояснюється механізмом сорбційного нагромадження германію в органічній масі торфів на ділянках з посиленням водно-мінеральним живленням.

Проаналізовано дані, отримані при проведенні розвідувальних робіт на Любельському родовищі Львівсько-Волинського басейну. Вугілля пластів  $n_7^B, n_8^B, n_9, b_1$  ділянки Любельська № 3, що планується спалювати в енергетичних цілях, попутно може використовуватися як джерело германію.

В стратиграфічному інтервалі верхньої алювіально-озерно-болотно-лагунної підформації кам'яновугільної формації Львівсько-Волинського басейну (башкирський ярус) вугілля Південно-Західного вугленосного району (Любельське родовище) є більш германієносним, ніж вугілля Червоноградського геолого-промислового району (Межирічанське і Забузьке родовища).

Вугільним пластам зазначеного басейну властивий нерівномірний розподіл концентрацій германію. Хвилеподібний характер розподілу концентрацій спричинений процесом седиментації, який підпорядковується конседиментаційним тектонічним рухам, що впливали на водний режим палеоторфовищ, літологічну і фаціальну мінливість вугленосних відкладів в цілому.

**Ключові слова:** германій; концентрація; вугілля; вугільні пласти; Львівсько-Волинський басейн.



<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.4.277352>  
UDC 504.3.054(631.11+65.011.55)(477.64)

## Features of the formation, intake and distribution of the iron-containing component in the water suspension of the Dnieper river within Zaporizhzhia city

Ye. I. Nasedkin<sup>1</sup>, O.P. Olshtynska<sup>1</sup>, V.V. Permyakov<sup>1</sup>, S.M. Dovbysh<sup>1</sup>, G.M. Ivanova<sup>1\*</sup>,  
O.A. Mytrofanova<sup>2</sup>, S.G. Fedoseenkov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

E-mail: nasedevg@ukr.net; ol-lesia@ukr.net; permyakov@nas.gov.ua; dovbysh@ukr.net; a\_1207@ukr.net

<sup>2</sup> The State Scientific Institution “The Center for Problems of Marine Geology, Geoecology and Sedimentary Ore Formation of the National Academy of Sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine

E-mail: mitrof\_ol@ukr.net

<sup>3</sup> State Institution “Scientific Hydrophysical Center of the National Academy of Sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine

E-mail: fedoseenkov@nas.gov.ua

\*Corresponding author

*The article presents the results of research devoted to one of the aspects of environmental issues, namely: the determination of the distribution features of the solid component of the river suspension containing iron oxide; investigation of the morphological characteristics of iron-containing particles; and the discovering of their genetic affiliation to various technological processes of metallurgical production.*

*The results of many years of continuous comprehensive research on the distribution of iron in the suspended matter of the Dnieper water within Zaporizhzhia city are presented. Field observations were carried out by scientists of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine (IGS) in cooperation with specialists from the State Institution “Scientific Hydrophysical Center of the National Academy of Sciences of Ukraine” (SHC). Analytical studies of the solid phase of the suspended matter were done in the Center for Collective Use of Scientific Equipment of the National Academy of Sciences of Ukraine and the Educational and Scientific Institute “Institute of Geology” of Taras Shevchenko Kyiv National University.*

*The publication considers the seasonal features of the distribution of the total iron content in suspension and the relationship of its monthly changes with the distribution of concentrations of such heavy metals as copper, chromium, nickel, zinc. Considerable attention is paid to the examination of iron-containing particles present in suspension, their chemical and trace element composition and the allocation of their individual categories in accordance with the technogenic processes during which they were formed.*

*Comprehensive analysis of suspension samples made it possible to identify and classify a group of typical iron-bearing formations that are inherent in the territory of Zaporizhzhia city. Based on a set of characteristics, three main genetic categories have been identified: spherical mineral aggregates represented by iron oxide; clastic fragments of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and aluminosilicate spherules (formation, the main or essential component of which is aluminum oxide with an admixture of iron).*

*The obtained data showed a significant influence of the metallurgical industry on the chemical composition of the Dnieper suspension within Zaporizhzhia. Comparison of iron-containing particles observed in the Dnieper suspended matter with the substance filtered out by gas purification systems of various parts of metallurgical production and slag deposits showed that the most active emission to the environment occurs during the preparation and smelting of iron ore.*

**Keywords:** ecology; river suspension; iron oxides; metallurgy; Zaporizhzhia city; Ukraine.

Citation: Nasedkin Ye.I., Olshtynska O.P., Permyakov V.V., Dovbysh S.M., Ivanova G.M., Mytrofanova O.A., Fedoseenkov S.G. 2023. Features of the formation, intake and distribution of the iron-containing component in the water suspension of the Dnieper river within Zaporizhzhia city. *Geologichnij zhurnal*, 4 (385): 50–60. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.4.277352>

Цитування: Наседкін Є.І., Ольштинська О.П., Пермяков В.В., Довбиш С.М., Іванова Г.М., Митрофанова О.А., Федосєєнков С.Г. Особливості утворення, надходження і розподілу залізовмісної складової у водній зависі р. Дніпро в межах Запоріжжя. *Геологічний журнал*. 2023. № 4 (385). С. 50–60. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.4.277352>

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2023. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, 2023. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

## Introduction

Long-term field observations of the distribution of pollutants in the environment are considered effective mechanisms for obtaining new knowledge in the field of environmental research. Such knowledge provides a reliable environmental monitoring system and allows detecting the appearance of negative changes. A significant number of relevant publications on this subject are devoted to the distribution of metals in the atmospheric environment, surface waters, land soils, bottom sediments, and river suspension (Boboko et al., 2007; Kruopiene, 2007; Ali et al., 2022; Zhang et al., 2022).

Zaporizhzhia city occupies a leading position in Ukraine among industrially loaded metallurgical centers. The city territory can be considered as a full-scale test site for studying the distribution of emissions of the metal-containing component as a result of the corresponding production processes. A significant concentration of enterprises of ferrous, non-ferrous metallurgy and mechanical engineering causes in some areas of the city an intensive emission of a number of microelements into the environment, including iron and heavy metals. The distribution of pollutants depends on a complex of natural factors, such as the strength and direction of winds, the hydrodynamic and hydrochemical regimes of surface watercourses, the features of the local relief, and other indicators.

Taking into account the above natural factors during the research, we can conclude that pollutants belong to certain technological processes, trace the sequence of their distribution in natural conditions, temporal transformation and interaction with natural objects.

The comprehensive studies envisaged by the scientific task included monthly observations of quantitative and qualitative changes in the composition of the river suspension, atmospheric aerosol, the state of land soils and bottom sediments of the Dnieper. The continuity and long period of observations allowed to determine the features of the distribution of ferrous and heavy metals in transit flows of sedimentary matter and in accumulation areas, to discover and evaluate the patterns of redistribution of their forms and concentrations depending on natural and anthropogenic factors (Fig. 1).

The article presents the research results of features of the distribution of the solid component of the river suspension containing iron oxide, the morphological characteristics of these particles and the elucidating of their genetic affiliation to various technological processes of metallurgical production. In the environmental sphere, these works are also important because such particles can be carriers of heavy metals, quite often including significant concentrations of such metals (Glagoleva, 1959; Dobrovol'skiy, 1979; Mitropol'skii et al., 1982).

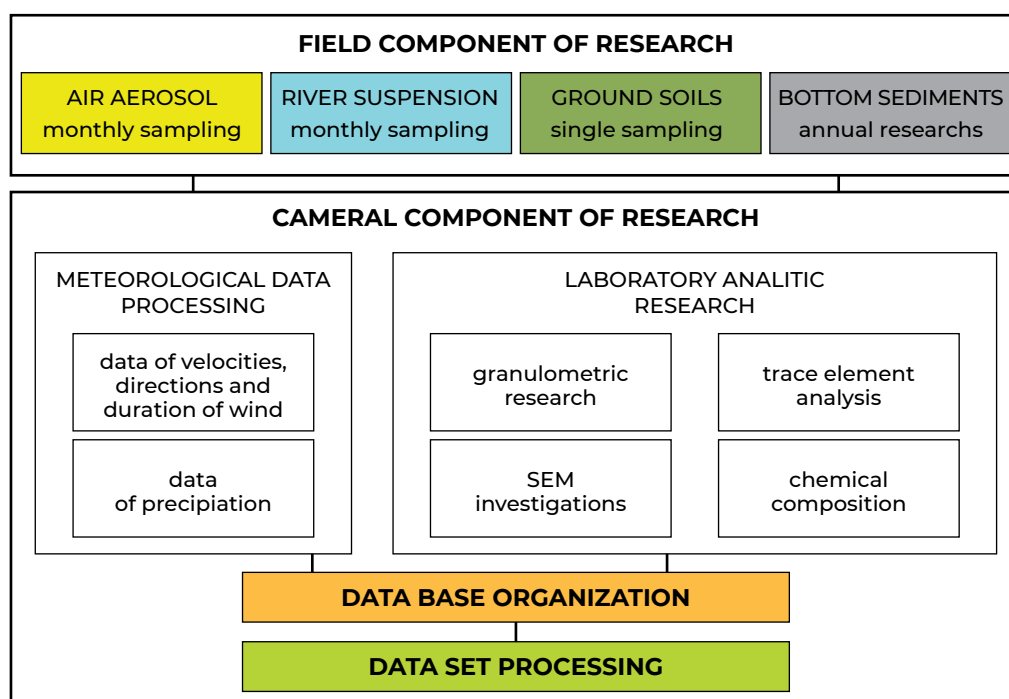


Fig. 1. Block diagram of the components of comprehensive research on quantitative and qualitative changes in the composition of the river suspension, atmospheric aerosol, state of coast soils and bottom sediments of the Dnieper

## Methods

The study of water suspension is one of the reliable tools for studying ecological problems of water bodies, because suspended particles accumulate and store information about the course and intensity of the processes of anthropogenic influence on the water environment (Allan, 1986; Galas et al., 2006; Schubert, 2012). The growing man-made pressing and the expansion of the spectrum of pollutants entering the environment actualize the following areas of research and the development of analytical methods for the study of sedimentary matter and modern sedimentation processes.

Sedimentation traps are the main tools of water suspension research. Conducting field studies of organic, mineral, chemical composition, planar distribution and intensity of suspended matter flows using sedimentation traps is an established practice of researchers (Schloss et al., 1999; Barbizzi et al., 2008; Masson et al., 2018; Kim et al., 2019).

The technique for sampling suspended matter is based both on methodological recommendations (Moroz et al., 1990; Cockburn et al., 1999; Zajączkowski, 2002) and on our own experience gained during such work in marine areas (Nasedkin et al., 2013).

Monitoring observations of the Dnieper suspension were carried out near the berth of the SHC (Zaporizhzhia city, lower reaches of the Dnieper). Observations included continuous accumulation of suspended matter in vertical sedimentation glasses developed in IGS, and monthly sampling of this matter for further laboratory research. The high information content and efficiency of using such sediment traps is confirmed by our many years of practical experience (Nasedkin et al., 2013).

The selected suspension was settled and dried. To study the composition of the suspension, the methods of mineral, granulometric and chemical analyzes were used. The mineral, macro- and microcomponent, chemical composition of the samples of sedimentary matter was determined using electron microscopy, as well as energy and wave dispersive analysis in the Center for Collective Use of Scientific Equipment of the National Academy of Sciences of Ukraine.

## Natural and technogenic conditions within the study area

The total length of the Dnieper river within Zaporizhzhia city is 24.2 km, the average long-term runoff volume is 53 km<sup>3</sup>. Dnieper and Kakhovka reservoirs

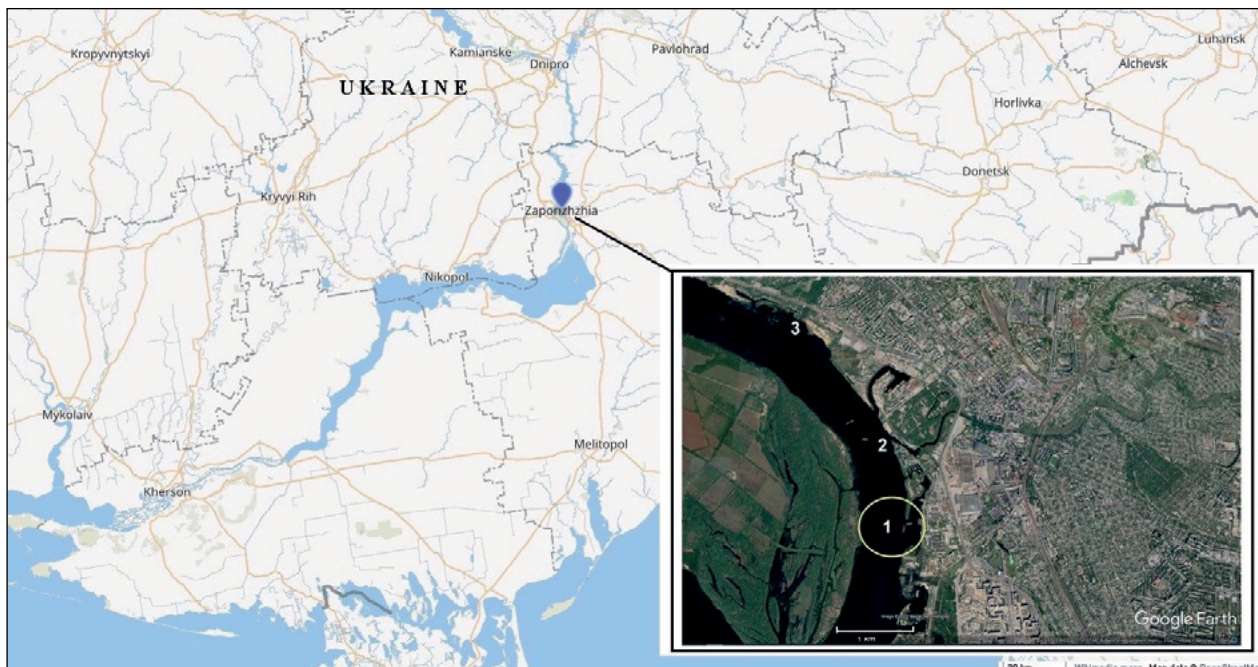


Fig. 2. Research area – 1. The largest tributaries of the Dnieper within the left-bank part of the Zaporizhzhia city and the areas of their confluence of the main channel: Sukha Moskovka river – 2, Mokra Moskovka river – 3

influence on the hydrochemical regime of the city area. The hydrographic network of Zaporizhzhia city includes Dnieper, small rivers, such as Mokra Moskovka, Sukha Moskovka, Verkhnya Khortytsya, Serednya Khortytsya, Nyzhnya Khortytsya, Kabytsya, a lot of streams and arroyos. The total length of small rivers within Zaporizhzhia city is 26 km, streams is 11.5 km, arroyos with watercourses is 22.3 km (Fig. 2).

According to (Regional..., 2018; Strategic..., 2019) the most significant factors that have the greatest impact on the ecological state of water bodies within Zaporizhzhia are:

- discharge of polluted and insufficiently treated return waters due to inefficient operation of treatment facilities or their absence at all;
- flushing of pollutants from urban areas;
- discharges of drainage water when protecting irrigated agricultural land and settlements from flooding;
- violation of the economic activity regime within the coastal and water protective zones.

Outdated treatment technology, deterioration of equipment, untimely repair and overhaul are the main reasons of poor-quality treatment of return and waste water. The largest polluter of water bodies within Zaporizhzhia city is the metallurgical industry, in particular, Zaporizhzhia metallurgical plant PJSC "Zaporizhstal" and a number of other industrial enterprises located in the same area of the city, discharging polluted wastewater into the sludge collector of "Zaporizhstal", such as electrometallurgical plant PJSC "Dniprospetsstal", PJSC "Zaporizhzhia Aluminum Production Plant", PJSC "Zaporizhzhia Steel Rolling Plant", CJSC "Zaporizhzhia Plant of Metal Structures" and some others. The volume of return water discharge from these enterprises reaches almost half of the total volume of water discharge from all enterprises in Zaporizhzhia (Strategic..., 2019), and the percentage of PJSC "Zaporizhstal" in the total volume of discharge of polluted return waters in the whole region is 80,8 % (annually about  $5 \times 10^7 \text{ m}^3$ ) (Regional..., 2018; Strategic..., 2019).

As for pollution from the public utilities sector (volumes of pollution entering water bodies), the storm sewerage of the city, together with rain and melt water, are the main pollutant of the Dnieper, especially during periods of intense precipitation or snowmelt. Pollution significantly increases due to the annual discharge of more than ten million  $\text{m}^3$  of polluted wash water into the Dnieper, which is the result of

natural water treatment at the Dnieper waterworks No. 1 and No. 2. (Regional..., 2018; Strategic..., 2019).

According to the results of monitoring the ecological state of surface waters in the region, carried out by the Zaporizhzhia Regional Department of Water Resources in the upstream and downstream of the Dnieper HPS and outlets of the central treatment facilities, the iron content in water reaches an average of  $0.25 \text{ g/m}^3$ , exceeding the fishery safe exposure levels approximately 2.5 times (Regional..., 2018; Strategic..., 2019).

## **Results and discussion**

The carried out field and analytical studies, as well as the generalization of the information obtained during the observation period, made it possible to identify and evaluate the contribution to the complex composition of suspended matter of the component that with high probability can be considered anthropogenic. Comparison of the total iron content in the composition of the river suspension within experimental site, located 10 km downstream from the area of metallurgical industry concentration, and the corresponding average values for the waters of the Dnieper (Mitropolskii et al., 1982) showed significant excesses of the iron oxide content, reaching 13 % of macrocomponents composition of dry matter of suspension samples. The results of SEM investigations and chemical analysis of samples also indicate a significant role of metal-containing particles (of aleuritic dimension) in the formation of the main phase of the mineral component of suspended matter in the study area. In the conditional distribution of components by volume, the metal-containing component occupies the third place after mixed-layered formations of chlorite-illite-montmorillonite and skeletal remains of siliceous microalgae. Iron is the predominant chemical element in the metal-containing component. According to the results of the analyses the formation of such particles is genetically associated with the technological processes of grinding iron ores and their high-temperature processing.

The seasonal features of the distribution of the iron-containing component in the composition of suspended matter were studied; in addition, we analyzed the influence of hydrometeorological factors on the formation and change in the intensity of flows of metallurgical products within the studied water area. A summary of the data obtained over a five-year research period and averaging the distribution



of the main components of suspended matter by months showed that the second place in the total amount of mineral matter, after silica, is “shared” by iron oxide and calcium oxide (13 % of each in the total content of basic oxides) (Fig. 3). Insignificant fluctuations in the content of the metal-containing component were detected in different periods of natural substance sampling, the minimum was observed in the spring. The correlation of recorded natural and anthropogenic factors with the distribution of iron depends on a significant increase of organic silica content, and to a lesser extent on changes in the intensity of winds from land and the features of the hydrological regime. In turn, the increase of SiO<sub>2</sub> content during spring periods is probably associated with the peak of siliceous phytoplankton productivity (phytoplankton valves present in large numbers in the suspended matter during these periods). Simultaneously with a decrease in the concentration of iron oxide, a reducing the concentrations of alumina and calcium oxides occurs, in other periods of the year their concentrations increase.

At the same time, persistent associations of a number of these components are observed. In particular, the correlation between the time distribution of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reaches 0.75, between Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and MnO exceeds 0.6; a significant negative correlation coefficient is observed between SiO<sub>2</sub> and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (-0.84) and SiO<sub>2</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (-0.77). Perhaps, such ratios should be considered in the context of the distribution of the factors of the anthropogenic component (Fe, Al, Mn) input from the atmospheric environment into surface waters.

The iron-containing components of the river suspended matter can be divided into several categories according to morphological characteristics, the distribution of microelements and the dimension.

Iron in river waters exists in two main forms, soluble and suspended. Soluble forms (components with sizes of up to 0.1 μm; can pass through a membrane filter) consist of a truly soluble form and of highly dispersed aggregates (colloids). The suspended form is iron existence in the composition of solid particles of different genesis and chemical forms found in the aquatic environment. According to (Mitropolskii et al., 1982), in the suspended matter of the Dnieper, as well as all rivers of the basin of the northwestern part of the Black Sea, iron exists mainly in: suspended form (fixed in the clastic component of rocks); an exchange form (hydroxides), and organic form. At the same time, a certain natural geochemical balance is maintained between the distribution of the number of elements in solution and suspended form, which depends on such external factors as the changes in the pH of the environment, the hydrodynamic and hydrochemical regime of the water area, as well as the size, composition and distribution of suspended matter density in the aquatic environment (Krasintseva et al., 1977).

In the analysed samples the main amount of Fe is associated with flows of fine suspension of auleroitic size, consisting of mixed-layered formations of chlorite-illite-montmorillonite and remains of siliceous microalgae. Enrichment of the substance with iron and a number of heavy metals (Zn, Cu, Ni, Pb, etc.) represented by a finely dispersed

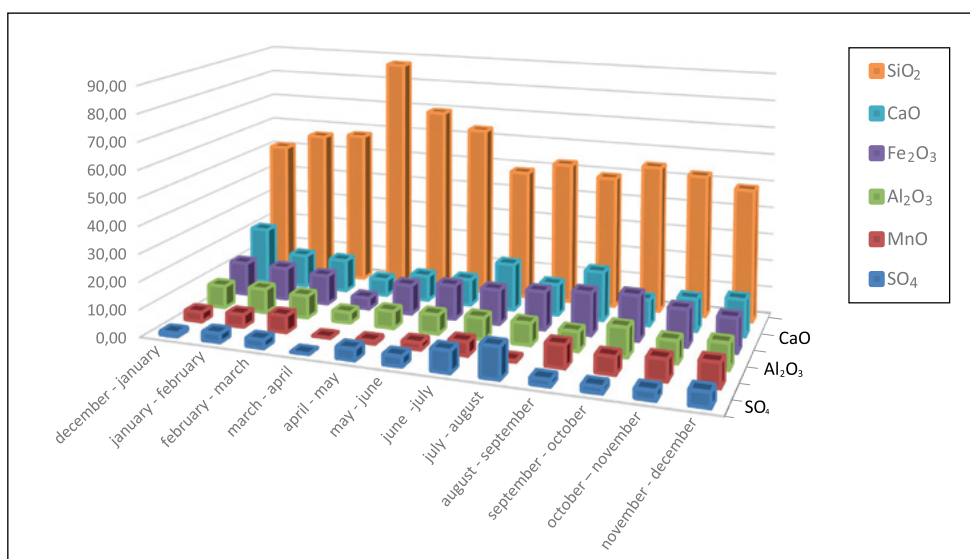
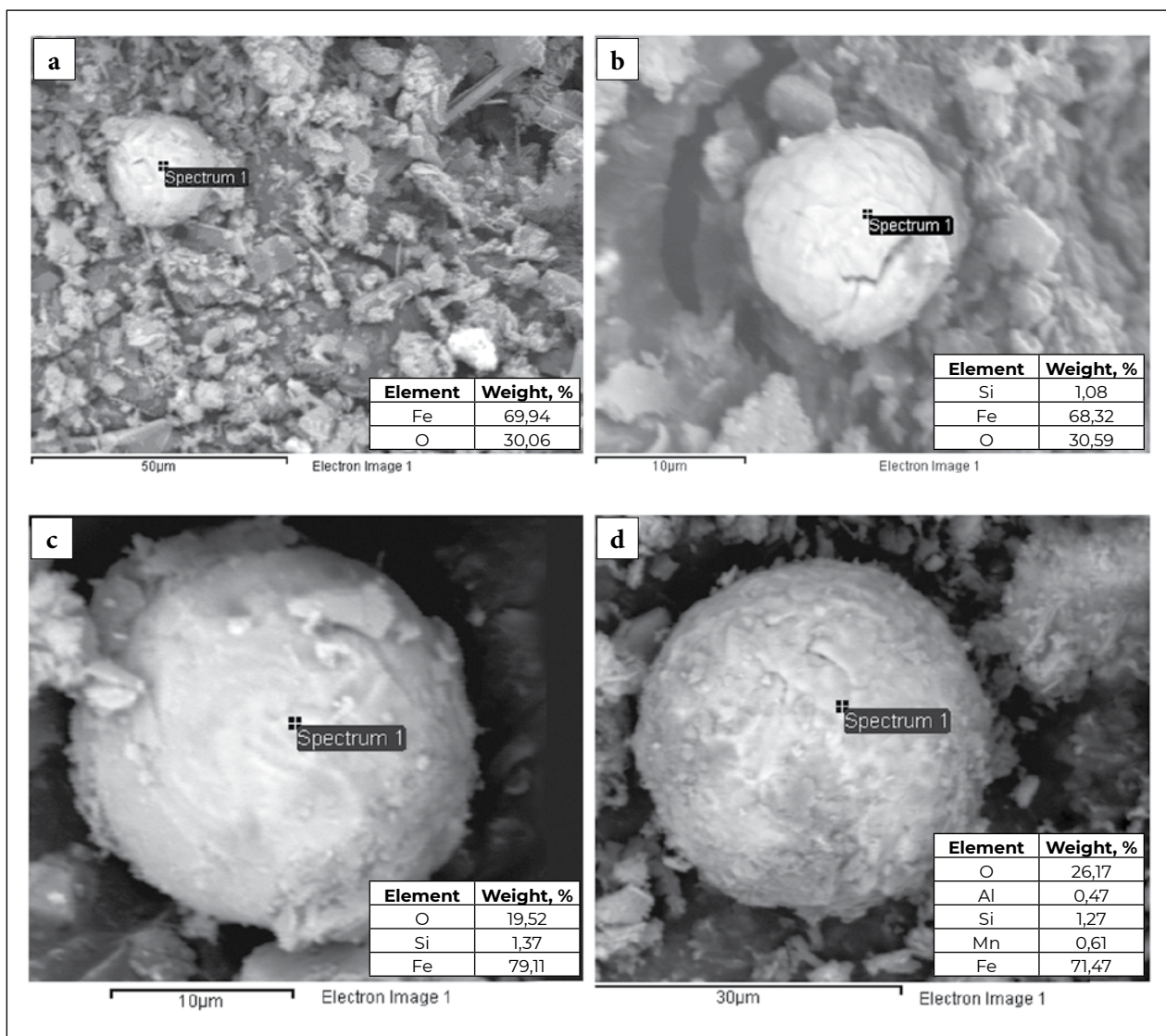


Fig. 3. Average monthly distribution of the main components of the river suspension substance (%) within the experimental area (2015–2019)

component is associated with a certain mineral composition, as well as with the natural properties of the pelitic part of the river suspension and bottom sediments to accumulate some trace elements from the aquatic environment. A visual assessment of such component is almost impossible due to the insignificant dimension of its components, as well as their aggregation in the variegated formations, which are difficult to assess and describe qualitatively.

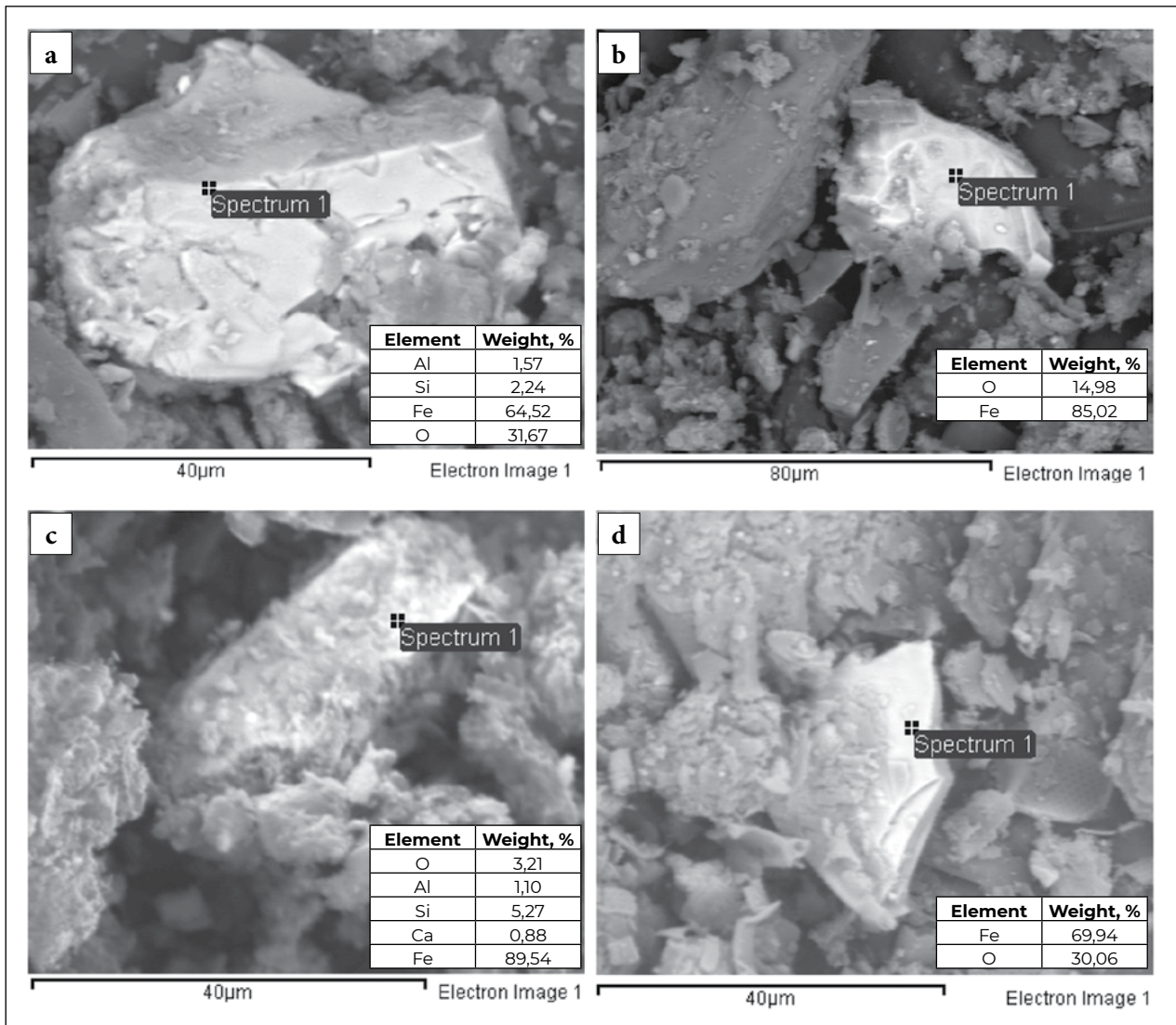
At the same time, the composition of the river suspension contains a sufficient amount of relatively well-identified iron-containing components, which, with a high degree of probability, can be genetically linked to technogenic processes. The first

category is spherical mineral aggregates (Fig. 4), represented by iron oxide  $Fe_2O_3$  (ferruginous spherules), of varying degrees of corrosion, sometimes with microimpurities of  $ZnO$ ,  $TiO_2$ ,  $MnO$ , and  $CuO$ . The particle size of the main phase is on average from 0.1 to 20–30  $\mu m$ , in rare cases it can reach 70  $\mu m$ ; objects of silty dimension are characterized by impurities of manganese and titanium. The ferruginous spherules have relatively regular spherical shape (the content of iron oxides, as a rule, exceeds 80 %). The approximate percentage of such formations in the total distribution of the identified iron-bearing component of suspended matter is significantly inferior in volume to the clastic component and reaches 20 %.



**Fig. 4.** SEM images:  $Fe_2O_3$  spherules from the Dnieper suspended matter, sampled by sedimentation traps at the monitoring point. Sampling periods: *a* – December–January 2019; *b* – December–January 2019; *c* – May–June 2016; *d* – March–April 2016





**Fig. 5.** SEM images:  $Fe_2O_3$  grains of different dimensions from the Dnieper water suspension and their chemical composition. Sampling periods: *a* – December–January 2019; *b* – December–January 2019; *c* – May–June 2016; *d* – March–April 2016

The formation of spherules is the result of iron ores smelting, metalworking, welding and other man-made processes using high temperatures. They enter the aquatic environment from atmosphere. Ferruginous spherules are the most common anthropogenic components in the environments of territories adjacent to metallurgical industries. They are found in the composition of bottom sediments and river coastal drifts that are under the influence of emissions from enterprises. It is believed that ferruginous spherules are particularly unstable to environmental factors and are exposed to decomposition processes in the river environment (Menshikova, Osovetskii, 2015). Oxidation and other changes in such formations can affect the ecological state of the environment, since some of the toxic el-

ements are able to go into the ionic state, forming the composition of natural waters.

An analysis of literary sources on the issue of the genetic affiliation of iron-bearing spheres to natural geological processes indicates that their entry can occur with cosmic matter, the sources of their formation can be both endogenous processes (Yatsenko et al., 2012) and exogenous processes of ferromanganese nodule generation in the aquatic environment.

At the same time, for the study area, these factors do not have a significant effect on the formation of an iron-containing substance in comparison with the intensity of its introduction into the composition of technogenic flows.

The second component of technogenic origin in the river suspension is clastic fragments of  $Fe_2O_3$ ,

(with microimpurities of MnO), represented by a significant range of dimensions from 5  $\mu\text{m}$  to 70  $\mu\text{m}$  or more in the form of acute-angled, sometimes slightly rolled grains. Metal-bearing grains contain microimpurities of a number of metals (Cu, Cr, Ni, Ti, Zn, Mn), the content of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  according to microprobe chemical analysis can be up to 80-95 %. At the same time, in contrast to iron-bearing condensation formations, dispersive formations are present not only in the pelitic and silty components, but even in the fine psammitic (Fig. 5).

The presence in suspended matter of a significant amount of detrital component, which is atypical for the average indicators of the soil cover of the study area, testifies about the active introduction of formations, which are the results of anthropogenic activity.

The enrichment of the dispersive component with a significant amount of iron oxide fragments of aleuritic dimension is explained by the insignificant distance to mining facilities. The concentration of iron in the ore can significantly exceed the background; when such iron-containing particles are transferred to another geochemical province as a result of human activity, they must be considered pollutants (Zhovinskii, Kuraeva, 2002). The chemical analysis carried out to identify the forms of the element in suspension showed that more than 80 % of the total iron content is a component fixed in the crystal structure of rock fragments (that directly confirms the origin of these particles).

The third category of the suspended matter component is aluminosilicate spherules consisting of aluminum oxide (Fig. 6). They are also potential results of high-temperature processes of human production activities (metallurgical and related industries, operation of thermal power plants, etc.). The mineral composition of these spherules (60–70 %) is represented by aluminosilicates with an admixture of iron and microimpurities of heavy metals (mostly, zinc and copper). Their average size is 1–20  $\mu\text{m}$ , but individual spherules are 50  $\mu\text{m}$  or more. As for other metal-containing components, their dimension is determined by the characteristics of emission treatment systems at industrial enterprises and thermal power facilities.

One of the features of aluminosilicate spherules (as well as the difference from ferruginous spherules) is their discontinuous structure, they are usually hollow inside. The formation of cenospheres (hollow aluminosilicate balls) according to (Zyrianov V., Zyrianov D., 2009) occurs as part of the fly ash in the furnaces of thermal power plants (TPP) and hydroelec-

tric power plant (HEPP) during high-temperature burning of coal. During the combustion of finely divided coal particles, impurities of aluminum oxide, silica and other elements present in natural coal form composite silicates, which take a spherical shape in the molten state. Due to the gases (nitrogen, oxygen and carbon oxide) dissolved in silicates, spherical microdroplets of molten silicates blow up into microspheres (Cenospheres, 2019).

Morphological characteristics of the particles of the technogenic component in an aqueous suspension makes it possible to determine the genetic affiliation of the condensed and dispersed components to various technological processes for the preparation and processing of iron ore at the enterprises of the metallurgical complex of the city.

This is proved by the results of laboratory studies of the substance of atmospheric emissions from some metallurgical industries in Zaporizhzhia city. In particular, the dust obtained in the process of wet gas cleaning of open-hearth furnaces, as well as from the filters of electric steel-smelting furnaces, largely consists of iron-containing spherules and cenospheres, similar in chemical composition and external features to those analyzed by us in suspended matter (Nasedkin et al., 2019). The substance filtered out by the systems of wet gas cleaning of process gases of sintering machines and electrostatic precipitators of the tail section of sintering machines, in morphology, dimensions, and chemical composition, to a large extent corresponds to the detrital component of iron oxide, which is also observed by us in samples of river suspension. The dispersed iron-containing substance is also present in the sludge of the treatment facilities of the industrial zone of metallurgical facilities of Zaporizhzhia. This may indicate the entry of a certain amount of iron-containing particles by water from the territories of sludge storages, in particular, with the waters of Sukha Moskovka river.

The presence of a large number of aluminosilicate balls on the air filters of the technological capacities for smelting silicomanganese and the production of ferrosilica enterprises in Zaporizhzhia, which in composition, dimensions and external features correspond to those observed by us in the Dnieper suspension (Nasedkin et al., 2019), indicates their significant contribution to the pollution of water surfaces at the same level with objects of thermal power engineering.

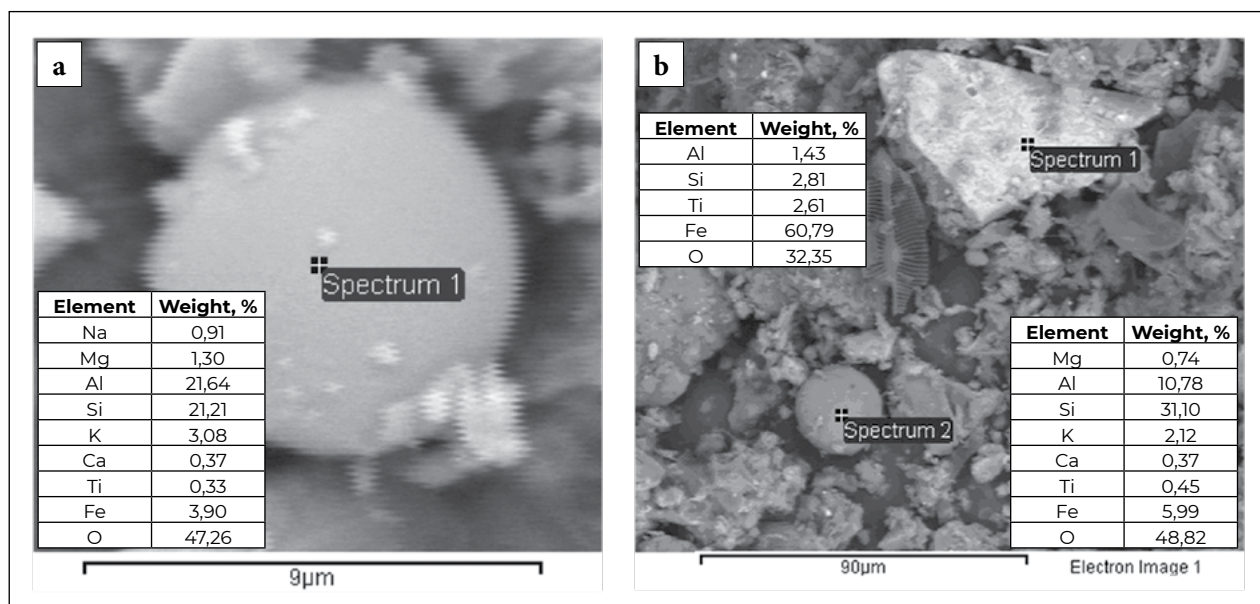


Fig. 6. SEM images: aluminosilicate spherules of different chemical composition from the Dnieper water suspension. Sampling periods: a – December–January 2018; b – December–January 2019

## Conclusions

The undertaken studies have shown that the iron content in the river suspension of the Dnieper within Zaporizhzhia city is more than twice the background indicators for the section of the middle course of the water artery. A significant iron-containing component of river suspended matter is solid particles of silty dimension, which were formed or were transferred from other territories (including mining sites), and also got into the aquatic environment due to human activities.

The analysis of suspension samples, continuously have been taken for 5 years by sediment traps in the lower reaches of the Dnieper within the city, made it possible to identify and classify a number of typical iron-bearing formations inherent in the territory of Zaporizhzhia. According to the complex of morphological characteristics, the distribution of microelements and the dimensions of the components, they could be divided into three categories: ferruginous spherules (spherical mineral aggregates represented by iron oxide  $Fe_2O_3$ ;  $Fe_2O_3$  fragments; and aluminosilicate spherules (the main or essential component of them is aluminum oxide with an admixture of iron).

At the same time, typical for the Dnieper suspension within other urban agglomerations not associated with the metallurgical industry are  $Al_2O_3$  spherules with an admixture of iron. Their formation is

associated with the functioning of thermal power facilities, their presence is recorded in all components of the environment (unlike particles with a high iron content).

The obtained data indicated a significant influence of the metallurgical industry on the chemical composition of the Dnieper suspension within Zaporizhzhia city. Comparison of iron-containing particles observed in the Dnieper suspended matter with the substance filtered out by gas purification systems of metallurgical industries and slag industries showed that the most active emission to the environment occurred during the preparation and smelting of iron ore. Each type of process emissions at the enterprises of the metallurgical complex of the city is characterized by different types of solid particles.

The continuation and expansion of such studies, the determination of the environment state within the industrially loaded regions of Ukraine might make a significant contribution in the future to the development of recommendations on practical measures to protect human health and environment under anthropogenic pressure conditions.

The studies are based on materials obtained within the framework of the project "Creating of monitoring system for observing the influence of economic activity on natural systems and operational control of negative changes in their composition" of the Targeted comprehensive interdisciplinary research program of the National Academy of Sci-

ences of Ukraine on the development of scientific foundations for the rational use of natural resource potential and sustainable development during 2015–2019 (registration number 0115U001626) and as a part of research "Study of sedimentation processes in the Black Sea basin: characteristics of bottom sediments and spatial features of facies complexes" (registration number 0117U001087).

## Acknowledgment

We thank the Armed Forces of Ukraine for the opportunity to continue monitoring research at the geoecological test site within Zaporizhzhia city.

## REFERENCES

- Ali M.M., Rahman S., Islam M.S., Rakib M.R.J., Hossen S., Rahman M.Z., Kormoker T., Idris A.M., Phoungthong K. 2022. Distribution of heavy metals in water and sediment of an urban river in a developing country: A probabilistic risk assessment. *Int. J. of Sediment Research*, 37 (2): 173–187.
- Allan R.J. 1986. The role of particulate matter in the fate of contaminants in aquatic ecosystems. *Inland Waters Directive Science Series*, National Water Research Institute: Burlington, Canada.
- Barbizzi S., Pati A. 2008. Sampling in freshwater environments: Suspended particle traps and variability in the final data. *Applied Radiation and Isotopes*, 66, iss. 11: 1595–1598.
- Bobko A.A., Ivanchenko V.V., Malahov I.N. 2007. On the impact of technogenic river runoff on sedimentation processes in the Dnieper-Bug estuary. *Geology and Mineral Resources of World Ocean*, 4 (10): 99–108 (in Russian).
- Bochkarev N.G. (Ed.). 2014. Problems of the cosmic dust study on Earth (to the research program). Dubna: OINS (in Russian).
- Cenospheres [Electronic resource]. [Website]. 2019. Access mode: <https://uk.wikipedia.org/wiki/ценосфери/> (access date 6 April 2019). Name from the screen.
- Cockburn J.M.H., Lamoureux S.F. 2008. Inflow and lake controls on short-term mass accumulation and sedimentary particle size in a High Arctic lake: implications for interpreting varved lacustrine sedimentary records. *Journal of Paleolimnology*, 40 (3): 923–942.
- Dobrovol'skiy V.V. 1979. Trace metals in nature. Moscow: Znaniye (in Russian).
- Galas C., Sansone U., Belli M., Barbizzi S., Fanzutti G. P., Kanivets V., Pati A., Piani R., Repetti M., Terzoni C., Voitsekho-vitch O. V. 2006. Freshwater suspended particles: An intercomparison of long-term integrating sampling systems used for environmental radioactivity monitoring. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 267: 623–629.
- Glagoleva M.A. 1959. Forms of element migration in river waters. In: *To the knowledge of the diagenesis of sediments*. Moscow: AS of USSR, p. 5–28 (in Russian).
- Kim M., Yang E.J., Kim H. J., Kim D., Kim T.-W., La H.S., Lee S., Hwang J. 2019. Collection of large benthic invertebrates in sediment traps in the Amundsen Sea. *Antarctica Biogeosciences*, 16, 13 BG: 2683–2691.
- Krasintseva V.V., Kuzmina N.P., Seniavin M.M. 1977. Formation of the mineral composition of river waters. Moscow: Nauka (in Russian).
- Kruopiene J. 2007. Distribution of Heavy Metals in Sediments of the Nemunas River (Lithuania). *Pol. J. Environ. Stud.*, 6 (5): 715–722.
- Masson M., Angot H., Le Bescond C., Launay M., Dabrin A., Miège C., Le Coz J., Coquery M. 2018. Sampling of suspended particulate matter using particle traps in the Rhône River: Relevance and representativeness for the monitoring of contaminants. *Science of The Total Environment*, 637–638: 538–549.
- Menshikova E.A., Osovetskii B.M. 2015. Magnetic sphaerules in natural-technogenic sediments. *Modern Problems of Science and Education*, 1. [https:// doi: 10.17513/spno.121-18203](https://doi.org/10.17513/spno.121-18203) (in Russian).
- Mitropolskii A.Yu., Bezborodov A.A., Ovsianyi Ye.I. 1982. Geochemistry of the Black Sea. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
- Moroz S.A., Mitropolskii A.Yu. 1990. Geochemical monitoring of the Black Sea. Kyiv: Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine (in Russian).
- Nasedkin Ye.I., Mytropolskiy O.Yu., Ivanova G.M. 2013. Monitoring of sedimentation processes in the land-sea interaction zone. Sevastopol: Ekosi-Hidrofizyka (in Ukrainian).
- Nasedkin Ye.I., Ivanova G.M., Stadnichenko S.M., Nikitina A.O., Nasedkin I.Yu. 2019. Composition of the atmospheric substance of Zaporizhzhia city. Kyiv: Logos (in Ukrainian/English).
- Osovetskii B.M., Menshikova E.A. 2006. Natural-technogenic sediments. Perm: Perm University (in Russian).
- Regional report on the state of the natural environment in the Zaporizhzhia region in 2018. [Electronic resource]. [Website]. 2018. Access mode: [https://www.zoda.gov.ua/files/WP\\_Article\\_File/original/000121/121625.pdf/](https://www.zoda.gov.ua/files/WP_Article_File/original/000121/121625.pdf/) (access date 15 August 2019). Name from the screen.
- Schloss I.R., Ferreyra G.A., Mercuri G., Kowalke J. 1999. Particle flux in an Antarctic shallow coastal environment: a sediment trap study. *Scientia Marina*, 63 (Supl. 1): 99–111.

- Schubert B., Heining P., Keller M., Claus E. 2012. Monitoring of contaminants in suspended particulate matter as an alternative to sediments. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 36: 58–70.
- Strategic analysis. [Electronic resource]. [Website]. 2018. Access mode: <https://www.zoda.gov.ua/news/45643/strategichniy-analiz.html/> (access date 16 August 2019). Name from the screen.
- Yatsenko I., Yatsenko G., Bekesha S., Bilyk N., Varychev O., Druchok L. 2012. Endogenous Ti-Mn-Fe-silicate spherules from explosive structures and volcanic-sedimentary formations of Ukraine. *Mineralogical collection*, 62: 83–101 (in Ukrainian).
- Zajaczkowski M. 2002. On the use of sediment traps in sedimentation measurements in glaciated fjords. *Polish Polar Research*, 23 (2): 161–174.
- Zaporizhzhia [Electronic resource]. [Website]. 2021. Access mode: <https://en.wikipedia.org/wiki/Zaporizhzhia/> access date 27 August 2021). Name from the screen.
- Zhang S., Chen B., Du J., Wang T., Shi H., Wang F. 2022. Distribution, Assessment, and Source of Heavy Metals in Sediments of the Qinjiang River, China. *Int J Environ Res Public Health*. 19 (15): 9140. <https://doi.org/10.3390/ijerph19159140>
- Zhovinskii E.Ya., Kuraeva I.V. 2002. Geochemistry of heavy metals in soils of Ukraine. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
- Zyrianov V.V., Zyrianov D.V. 2009. Fly ash is technogenic raw materials. Moscow: LLC Maska (in Russian).

Received 18.04.2023

Received in revised form 20.11.2023

Accepted 26.11.2023

Особливості утворення, надходження і розподілу залізвмісної складової у водній зависі р. Дніпро в межах Запоріжжя

Є.І. Наседкін<sup>1</sup>, О.П. Ольштинська<sup>1</sup>, В.В. Пермяков<sup>1</sup>, С.М. Довбиш<sup>1</sup>, Г.М. Іванова<sup>1\*</sup>, О.А. Митрофанова<sup>2</sup>, С.Г. Федосєєнков<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна

E-mail: nasedevg@ukr.net; ol-lesia@ukr.net; permyakov@nas.gov.ua; dovbysh@ukr.net; a\_1207@ukr.net\*

<sup>2</sup> Державна наукова установа «Центр проблем морської геології, геоecології та осадового рудоутворення НАН України», Київ, Україна

E-mail: mitrof\_ol@ukr.net,

<sup>3</sup> Державна установа «Науковий гідрофізичний центр НАН України», Київ, Україна

E-mail: fedoseenkov@nas.gov.ua

\* Автор для кореспонденції

Викладено результати досліджень, які присвячені одному з аспектів екологічної проблематики – визначенню особливостей розподілу твердої компоненти річкової зависі, що містить оксиди заліза, дослідженню морфологічних характеристик залізвмісних частинок та з'ясуванню їх генетичної належності до різних технологічних процесів металургійного виробництва.

Представлено результати багаторічних безперервних комплексних досліджень розподілу заліза у завислій речовині дніпровської води в межах м. Запоріжжя. Польові спостереження проведено науковцями Інституту геологічних наук НАН України у співробітництві з фахівцями Наукового гідрофізичного центру НАН України. Аналітичні дослідження твердої фази завислої речовини виконано в лабораторіях Центру колективного користування науковим обладнанням ІГН НАН України та Навчально-наукового інституту «Інститут геології» Київського національного університету ім. Тараса Шевченка.

Розглянуто сезонні особливості розподілу загального вмісту заліза в зависі та зв'язок його щомісячних змін з розподілом концентрацій таких важких металів, як мідь, хром, нікель, цинк. Значну увагу приділено висвітленню наявних у зависі залізвмісних частинок за морфологією, хімічним та мікроелементним складом та виділенню окремих їх категорій відповідно до техногенних процесів, у ході яких вони утворились.

Всебічний аналіз зразків зависі дозволив виявити і класифікувати групу типових залізвмісних утворень, властивих саме території м. Запоріжжя. За комплексом характеристик визначено три основні генетичні категорії: сферичні мінеральні агрегати, представлені оксидом заліза, уламкові фрагменти Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та алюмосилікатні сфери – утворення, основну чи суттєву компоненту яких складає оксид алюмінію з домішкою заліза.

Отримані дані засвідчили значний вплив металургійної індустрії на хімічний склад дніпровської зависі в межах Запоріжжя. Порівняння виявлених у завислій речовині Дніпра залізвмісних частинок з речовиною, відфільтрованою системами очистки газів різних ланок металургійних виробництв та шлаковідвалів, показали, що найбільш активна емісія в навколишнє середовище відбувається в процесі підготовки та плавлення залізної руди.

**Ключові слова:** екологія; річкова завись; оксиди заліза; металургія; м. Запоріжжя; Україна.



<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.4.288929>  
УДК 528.8.04:551.4

## Про можливості визначення ознак торфовищ з використанням даних дистанційного зондування Землі

**В.І. Лялько, С.С. Дугін\*, О.М. Сибірцева, Є.М. Дорофей, С.І. Голубов, Т.А. Орленко**

ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України», Київ, Україна  
E-mail: Dstas2389333d@i.ua

\*Автор для кореспонденції

---

### On the possibility of identifying peatland features using remote sensing data

**V.I. Lyalko, S.S. Dugin\*, O.M. Sybirtseva, Ye.M. Dorofey, S.I. Golubov, T.A. Orlenko**

State institution "Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth on the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine

E-mail: Dstas2389333d@i.ua

\*Corresponding author

*Considering the useful properties of peat as an alternative fuel source, a study of the properties of the vegetation and water indices of the red edge, as well as water indices calculated on the basis of spectrometry of ground vegetation cover over peatlands, was conducted. The study was carried out in the Shatsk National Natural Park and at the Bortnychi Aeration Station near the Dnieper River. Experiments in Shatsk National Park were conducted in 2010 using the ASD Field Spec 3FR spectroradiometer with the application of Sentinel-2 satellite images acquired in 2019 and 2021. The vegetation consisted mainly of sedge (*Carex riparia*), with confirmation of the presence of peat in this area. The experiments were also conducted at the Bortnychi Aeration Station on the left bank of the Dnieper.*

*The vegetation indices such as REP, TCI, and NDVI705 were studied to classify the land cover using the satellite images data. In addition, other vegetation indices were used, such as NDVI, EVI, SIPI, as well as indices indicating moisture and plant photosynthesis. The NDVI and EVI indices provided valuable results for the identification of peatlands. Modified chlorophyll index CLm is calculated for the red edge of the spectrum, similarly to NDVI and EVI. The average value of the REP for the test points in both areas was similar and indicates the possible presence of peatland. The data analysis also confirmed the identity of peatland features in both areas. The high correlation of indices between these territories confirms this identity. Thus, vegetation indices can be used to determine the boundaries of peatlands and identify *Carex riparia*, which is one of the indicators of peatlands.*

**Keywords:** peat; remote sensing of the Earth; satellite images; spectral indices.

---

Цитування: [Лялько В.І., Дугін С.С., Сибірцева О.М., Дорофей Є.М., Голубов С.І., Орленко Т.А. Про можливості визначення ознак торфовищ з використанням даних дистанційного зондування Землі. *Геологічний журнал*. 2023. № 4 (385). С. 61–78. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.4.288929>

Citation: [Lyalko V.I., Dugin S.S., Sybirtseva O.M., Dorofey Ye.M., Golubov S.I., Orlenko T.A. 2023. On the possibility of identifying peatland features using remote sensing data. *Geologičnij žurnal*, 4 (385): 61–78. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.4.288929>

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2023. 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 NAS of Ukraine, 2023. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)



## 1 Вступ

Торф серед природних ресурсів посідає особливе місце. Торф – це геологічно наймолодша ланка в ланцюгу каустобіолітів «торф – буре вугілля – кам'яне вугілля – антрацит». Торф – це осадова нещільна гірська порода, що утворюється у процесі природного відмирання та неповного розпаду болотяних рослин. У ґрунті ці рослини не розкладаються та накопичуються щороку. Поверхнєве розташування торфових родовищ та порівняно невеликі витрати на організацію і ведення видобувних робіт роблять цю корисну копалину потенційно ефективним видом палива. На сьогодні доцільність видобування торфу зростає, оскільки більшість запасів кам'яного вугілля зосереджені в східній частині України, тимчасово окупованій. Зараз Україна перебуває в стані війни. Частина теплогенеруючих потужностей та джерел енергоносіїв пошкоджено і зруйновано. Накладено також ембарго на постачання природного газу та вугілля з Росії. Країни ЄС теж відмовляються від постачання природного газу та вугілля з Росії, і тому забезпечення енергетичної незалежності України досить актуальне (Снежкін, Корінчук, 2022).

Торф – це надійна альтернатива традиційним паливним ресурсам. Торфові ресурси України становлять 2,17 млрд т, балансові запаси – 934 млн т, що робить торф реальним резервом покращення паливно-енергетичного балансу України (Зацерковний, Оберемок, 2017). Середньорічний видобуток торфу в нашій країні становить приблизно 500 тис. т/рік, що значно менше реальних можливостей. Так, ще в середині ХХ ст. на території України торфудобували 3–4 млн т/рік. Науковці Інституту геологічних наук НАН України, Академії технічних наук України та Спілки буровиків України дослідили стан та перспективи освоєння торф'яного потенціалу країни. Якщо розпочати зараз освоювати торф'яний потенціал країни, то можна скоротити споживання природного газу приблизно на 1 млрд м<sup>3</sup>. А щорічний видобуток торфу можна збільшити на 1 млн т (Вдовиченко, 2023). Якщо розглядати Київщину, то торфовища тут розміщені в Обухівському, Вишгородському, Бучанському районах, біля населених пунктів Романків, Феневичі, Соснівка, Стоянка, Шибене, Здвижівка. Також торфовища є поблизу Димера, Бучі, Боярки, Василькова, Березані, Мокреця, Броварів.

Торф – це не тільки енергетична сировина, а також джерело добрив, поживних сумішей для городництва, ґрунтів сільськогосподарського призначення, субстратів для газонів, біостимуляторів для росту рослин і тварин. З торфу також виробляють етиловий спирт, гумінові кислоти, фурфурол, віск, кормові дріжджі тощо. Але на сьогодні функціонування торфових родовищ не контролюється. На торфовищах відбувається несанкціоноване добування сировини. Влітку часто спостерігається самозагоряння торфових полів, на гасіння яких витрачається багато коштів і ресурсів. Тобто торфовища потребують постійного моніторингу.

Засобами дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) можна успішно здійснювати не тільки такий моніторинг, але і розширювати розвідку цієї корисної копалини. ДЗЗ слугує зручним інструментом для отримання характеристик торфовищ та їх моніторингу у довгостроковій перспективі, на регіональному та глобальному рівнях. Торфовища – це складні комплексні ландшафтно-геохімічні бар'єри. Вони об'єднують біогеохімічні, сорбційні, кислі, відновлювальні, а також механічні бар'єри лінійного та площинного характеру. Торфовища мають особливу здатність у час опадів вбирати воду, немов губка. Натомість в посуху накопичену воду поступово віддають. Торфовище – це наземна водно-болотна екосистема, в якій виробництво органічної речовини перевищує її розкладання. Отже, відбувається чисте накопичення торфу. У прохолодному кліматі рослинність торфовищ переважно складається зі сфагнових мохів, осоки та чагарників і є основним утворювачем торфу, тоді як у теплішому кліматі злакові та деревна рослинність забезпечують більшу частину органічної речовини. Звичайно, що характеристики спектрального відбиття торфовищ відрізняються від таких лісових, сільськогосподарських і пасовищних екосистем за гідрологічними умовами, вмістом води та пов'язаними з ними рослинними угрупованнями. Екосистеми торфовищ належать до водно-болотних угідь і є частиною гідрологічної мережі, яка пов'яже потоки, річки, озера, рівень і якість води.

За об'єкти досліджень ми вибрали торфовища Полісся та Київщини. Мета цих досліджень – підвищити ефективність пошуку покладів корисних копалин на основі розробки

нових технологій з використанням матеріалів дистанційних зйомок. В останні кілька десятиліть у завданнях пошуку покладів корисних копалин (торфу) все більшу роль відіграють методи ДЗЗ. Практика показує, що дистанційні методи знаходять успішне застосування як на регіональному, так і локальному рівнях, особливо в умовах, при яких території дослідження мають досить великі площі та прямий доступ до них ускладнений (Багатоспектральні... , 2006). Застосування методу дистанційного пошуку торфовищ з використанням матеріалів ДЗЗ, що ґрунтується на феномені впливу наявного на деякій глибині покладу торфовища на геохімічні та біофізичні параметри, розглянуто в цій статті. Суть у тому, що в умовах досить однорідної за структурою і складом ґрунтів та рослинності ділянки земної поверхні зазвичай не сильно відрізняються за спектральними відбивними властивостями, однак присутність у надрах покладу торфу веде до зміни спектральних портретів відповідних земних покривів. Ці зміни (якщо вони досягають певного рівня) розглядаються як аномалії спектрального відображення земної поверхні і є одним з важливих індикаторів (Попов, 2018).

Аномалії спектрального відбиття рослинного покриву на земній поверхні над покладами описані у монографії (Багатоспектральні..., 2006). Однак виявлення аномалій за матеріалами зйомки – це лише частина загального процесу вивчення досліджуваної ділянки земної поверхні, бо при прийнятті рішення про наявність покладу важливе значення мають геологічні дані, результати польових спектрометричних вимірів та аналіз всієї зібраної інформації, що дозволяє підвищити достовірність пошуково-прогнозних оцінок і розширити коло вирішуваних завдань.

Свого часу в ДУ «Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України» проводилися дослідження особливостей спектрів відбиття, отриманих за даними польового спектрорадіометра ASD FieldSpec 3FR над торфовищами в межах території досліджень Шацького полігона ДЗЗ у рамках міжнародної програми GEOSS/GMES (Earth..., 2012). Зазначені польові дослідження здійснювались як полігонні під космознімання для українського супутника «Січ-2». Цей

супутник був запущений в грудні 2011 р. і працював лише 1 рік. Зараз можливості в сфері дистанційного зондування значно розширилися (Nebesny, 2020). Постійний розвиток технологій дистанційного зондування покращив сучасні супутникові системи ДЗЗ, наприклад супутники Sentinel-2A і Sentinel-2B були запущені в 2015 і 2017 рр. у рамках програми Copernicus Європейського космічного агентства. Сенсори на борту цих супутників – це багатоспектральні інструменти видимого, ближнього інфрачервоного та короткохвильового інфрачервоного (SWIR) діапазонів, призначені для безперервного спостереження Землі з високою просторовою розрізненістю (10, 20 і 60 м). Крім того, висока часова розрізненість – від десяти до п'яти днів, дозволяє здійснювати моніторинг короточасних змін. У відкритому доступі знаходяться космознімки Sentinel-2, які за своїми характеристиками підходять для наших спектрометричних досліджень. Багатоспектральний сенсор MSI супутника Sentinel-2 дозволяє отримувати спектри відбиття земних покривів. Рослинність має унікальний профіль відбиття на різних довжинах хвиль електромагнітного спектра. Наявність хлорофілу приводить до чітких особливостей спектрального відбиття, яке ми і використовуємо у наших дослідженнях зарослих торфовищ. Отримані спектральні сигнатури дають певне уявлення про характер земного покриву (ґрунти, рослинність, урбаністичні поверхні, вигорілі території, водні поверхні, торфовища тощо). Часто доводиться поєднувати конкретні спектральні діапазони, які становлять інтерес для вивчення певного явища. Комбінації спектральних діапазонів, що називаються спектральними індексами, надають стислу інформацію про конкретні підсистеми, матеріали або процеси (Nebesny et al., 2020). Супутники Sentinel-2 дозволяють отримувати широкодіапазонні багатоспектральні зображення з високою просторовою розрізненістю за допомогою сенсора MSI у 13 спектральних діапазонах: чотири діапазони (B2, B3, B4 – видимого діапазону, B8 – ближнього інфрачервоного діапазону) мають просторову розрізненість 10 м; шість діапазонів (B5, B6, B7 – червоного краю ближнього інфрачервоного діапазону, B8a – ближнього інфрачервоного діапазону, B11, B12 – короткохвильового

інфрачервоного діапазону) – 20 м; три діапазони (В1 – видимого діапазону, В9 – ближнього інфрачервоного діапазону, В10 – короткохвильового інфрачервоного діапазону) – 60 м. Зазначені спектральні діапазони дозволяють отримати інформацію про стан земельних та водних покривів на момент зйомки.

Важливим елементом супутникових систем моніторингу є наявність наземної спектральної інформації про стан земних покривів, зокрема про стан рослинності, що дозволяє проводити точну верифікацію результатів супутникових зйомок. Знання про зв'язок стану рослинності з її спектральними відбивальними характеристиками лежать в основі вирішення тематичних завдань, у нашому випадку – ідентифікації торфовищ. Зараз у практиці супутникового моніторингу земної поверхні спостерігається дедалі активніше використання методів і засобів прецизійного наземного спектрометрування. На відміну від багатоспектральної зйомки, що вибірково реєструє окремі області спектра, прецизійні спектрометри реєструють більш повну, суцільну спектральну сигнатуру оптичного випромінювання, що знімається у вигляді сукупності досить вузьких спектральних каналів, які перекривають весь спектральний діапазон, що реєструється сенсором. У нашому випадку мова йде про польовий спекторадіометр ASD FieldSpec 3FR, яким ми проводили зйомку торфовищ. Робочий спектральний діапазон цього приладу становить 350–2500 нм. Висота вимірювання була приблизно 1 м над торфовищем. Для калібрування використана біла еталонна панель зі спеціального оптичного матеріалу Spectralon (Danner et al., 2015).

## 2 Матеріали і методи

Мета даної роботи – дослідження особливостей вегетаційних індексів червоного краю та водних індексів, обчислених за даними спектрометрування наземного рослинного покриву спекторадіометром ASD FieldSpec 3FR над торфовищами в межах Шацького національного парку та в точках на тестових ділянках Бортницької станції аерації (БСА) в зоні полігона Вишеньки, їх зіставлення для підтвердження наявності торфу в приболотній території в зоні полігона ДЗЗ.

### 2.1 Ділянки досліджень

Досліджувані ділянки Шацького полігона – це торфовище в долині р. Прип'ять, що являє собою болото осушене, але спостерігається вторинне заболочування із заростями осоки, іванчаю. Меліорація проведена в 1982 р., всюди на ділянці знаходиться торф. Долина Прип'яті заростає самонасінними кущами (Azimov et al., 2022). Також є запущені орні землі – перелоги, на закинутих полях багато кропиви, бур'янів.

Ще одним об'єктом наших досліджень слугували чиста та брудна ділянки на території земельної площі, де знаходяться очисні споруди БСА на лівому березі Дніпра в межах Дарницького району Києва (тест-ділянки № 2а і 2б) (Дугін та ін., 2019). Ці земельні ділянки являють собою заплавні торф'яні луки Дніпра, по яких проходить магістральний канал БСА (колишній струмок Яушівка). Чиста тест-ділянка № 2а розташована між четвертим та п'ятим шлюзами магістрального каналу БСА на віддалі близько 20 км від системи аерації «Бортничі». Оскільки густі зарості очерету, який зростає вздовж магістрального каналу, виконують роль біофільтра, що очищає воду від забруднення, то ця тест-ділянка розглядалась як чиста, що в процесі виконання робіт в 2019 р. у цьому районі також підтвердилось результатами хімічних аналізів ґрунту та води (Лялько та ін., 2020). Бортницька тест-ділянка № 2б розташована перед першим шлюзом магістрального каналу БСА. Оскільки вона віддалена лише на 3 км від первинних та вторинних радіальних відстійників та аеротенків станції аерації «Бортничі», які належать до промзони «Осокорки» БСА, то ця ділянка розглядалась як забруднена. На цих ділянках зростає осока рання (*Carex praecox* Schreb), осока побережна (*Carex riparia* Curt.) та очерет південний (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.).

#### 2.1.2 Методика

За матеріалами і даними спектрометрування спекторадіометром ASD FieldSpec 3FR над торфовищами в межах Шацького національного парку в 2010 р. нами були досліджені особливості спектрів відбиття наземного покриву та червоного краю: позиції червоного краю REP (Horler, 1983), наземного хлоро-

фільного індексу TCI (Dash and Curran, 2004) та модифікованого нормованого різницевого індексу  $NDVI_{705}$  (Gitelson & Merzlyak, 1994; Лялько та ін., 2014). Значення цих індексів, обчислених за даними спектрометрування наземного рослинного покриву спектрорадіометром ASD FieldSpec 3FR над торфовищами в межах території досліджень Шацького національного парку, були використані для верифікації результатів класифікації наземного покриву за даними космознімання території досліджень. На основі комплексного аналізу особливостей спектрів відбиття земних покривів у точках проведення наземного спектрометрування та значень вегетаційних індексів червоного краю були зроблені висновки, що одержані дані за цими індексами можуть бути використані для верифікації результатів класифікації наземного покриву над торфовищами за даними космознімання території досліджень. Маючи схему (карту, координати) розташування точок проведення наземного спектрометрування з характеристиками типу покриву в точках заміру та наземні дані спектрометрування спектрорадіометром ASD FieldSpec 3FR на 28.06.2010 р., ми зіставили одержані результати з даними спектрометрування спектрорадіометром ASD FieldSpec 3FR тестової точки приболотної території на 20.06.2019 р. та 23.06.2021 р. на Бортницькому тестовому полігоні (рис. 1). При зіставленні, керуючись дослідженнями авторів (Lees et al., 2020), ми використали додатково ще такі індекси: нормалізований різницевий вегетаційний NDVI; модифікований хлорофільний індекс CLm; розширений вегетаційний EVI; вологості MSI; пігментний SIPI та нормалізований різницевий водний NDWI (табл. 1, 2). Ці індекси були рекомендовані багатьма вченими для дослідження покриву змішаних видів торфовищ протягом усього вегетаційного періоду. Водні індекси та вегетаційні індекси, що наведені в дослідженні (Lees et al., 2020) і подані в табл. 2, ми використали для зіставлення значень, одержаних у тестових точках Шацького та Бортницького полігонів. Для сенсора Sentinel-2 широкодіапазонні індекси з табл. 2 обрахували з використанням коефіцієнтів відбиття, усереднених по діапазону довжин хвиль (див. табл. 1).

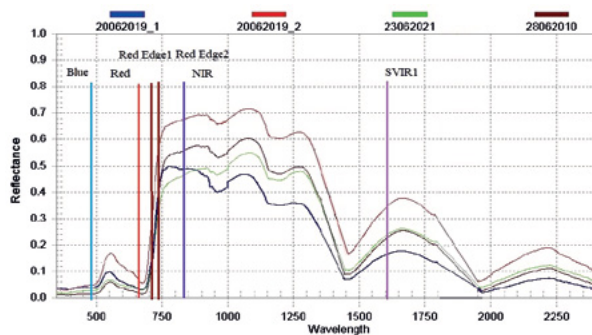


Рис. 1. Спектри відбиття, отримані спектрорадіометром ASD FieldSpec<sup>®</sup> 3FR, та центральні довжини хвиль Sentinel-2 над торфовищами, зарослими осокою побережною (*Carex riparia*) за 2010, 2019 та 2021 рр.

Fig. 1. Reflectance spectra obtained by ASD FieldSpec<sup>®</sup> 3F spectroradiometer and central wavelengths of Sentinel-2 bands over peatlands overgrown with pond sedge (*Carex riparia*) in 2010, 2019 and 2021

Таблиця 1. Характеристика каналів Sentinel-2

Table 1. Characteristics of Sentinel-2 channels

Канали	Усереднені довжини хвиль, нм	Центральна довжина хвилі, нм
Blue	460–520	490
Red	650–680	665
Red Edge1	700–710	705
Red Edge2	730–750	740
NIR	780–900	840
SWIR1	1570–1660	1610

Згідно з даними табл. 2, крім трьох індексів червоного краю (REP, NDRE1 – аналог  $NDVI_{705}$ , MTCI), за якими проведено дослідження особливостей спектрів відбиття наземного покриву на торфовищі Шацького полігона (2010–2011 рр.), були пораховані рекомендовані авторами (Lees et al., 2020) індекси (див. табл. 2), які можуть бути показниками вмісту води та фотосинтезу в рослинному покриві на торфовищі. Широкодіапазонний нормалізований різницевий вегетаційний індекс NDVI та покращений вегетаційний індекс EVI одержані на різниці між червоним та ближнім інфрачервоним діапазонами спектра відбиття. Індекс EVI, враховуючи значення в синьому діапазоні, корегує вплив атмосферних аерозолів і вплив відбиття ґрунту. NDVI та EVI дають великомасштабні оцінки на основі вільно доступних супутникових даних, особливо при зміні з урахуванням

Таблиця 2. Характеристика вузько- та широкодіапазонних індексів REP, NDRE1, MTCI, NDVI, CLm, EVI, MSI, SIPI, NDWI

Table 2. Characteristics of narrow- and wide-range indices REP, NDRE1, MTCI, NDVI, CLm, EVI, MSI, SIPI, NDWI

Індекси	Рівняння для обчислення	Джерела посилань	Тип індексу
REP	$REP = 705 + 35 \frac{(\bar{R} - R(705))}{(R(740) - R(705))},$ $\bar{R} = \frac{R(665) + R(780)}{2}$	(Horler, 1983; Clevers et al., 2017)	Вузькодіапазонний
NDRE1	$NDRE1(740,705) = \frac{R(740) - R(705)}{R(740) + R(705)}$	(Gitelson et al., 1994; Clevers et al., 2017)	Вузькодіапазонний
MTCI	$MTCI = \frac{R(740) - R(705)}{R(705) - R(665)}$	(Dash et al., 2004)	Вузькодіапазонний
NDVI	$NDVI = \frac{R(NIR) - R(RED)}{R(NIR) + R(RED)}$	(Rouse et al., 1973)	Широкодіапазонний
CLm	$CLm = \frac{R(750) - R(705)}{R(750) + R(705) - 2 * R(445)}$	(Lees et al., 2020; Sims and Gamon, 2002)	Вузькодіапазонний
EVI	$EVI = \frac{2.5 * (R(NIR) - R(RED))}{R(NIR) + 6 * R(RED) - 7.5 * R(BLUE) + 1}$	(Huete et al., 2002)	Широкодіапазонний
MSI	$MSI = \frac{R(SWIR1)}{R(NIR)}$	(Hunt et al., 1989; Lees et al., 2020)	Широкодіапазонний
SIPI	$SIPI = \frac{R(800) - R(445)}{R(800) - R(680)}$	(Penuelas et al., 1995; Harris, 2008)	Вузькодіапазонний
NDWI	$NDWI = \frac{R(NIR) - R(SWIR1)}{R(NIR) + R(SWIR1)}$	(Gao, 1996)	Широкодіапазонний

сезонного фактора і мають позитивні результати при дослідженні та класифікації покриву торфовища, де склад рослинності невідомий. Вегетаційний вузькодіапазонний індекс структурно-нечутливого пігменту SIPI враховує співвідношення хлорофіл/каротиноїд і вказує на підвищений стрес рослинного покриву. Діапазон індексу SIPI для зеленої рослинності становить від 0,8 до 1,8.

Модифікований хлорофільний індекс CLm фокусується на довжинах хвиль червоного краю, на тих же довжинах, як і наведені вище індекси, орієнтовані на різниці між червоною та NIR зонами (NDVI та EVI), де використовується червоний край, і дають кращі результати при дослідженні торфовищ. CLm – це один із кращих індексів для класифікації торфовищ, де склад рослинності невідомий (Lees et al., 2020). В табл. 2 наведені широкосмугові водні індекси: нормалізований водний різницевий індекс NDWI та індекс вологості MSI, які залежать від зон довжин хвиль NIR та SWIR1. Канали NDWI розраховували з використанням діапазонів NIR та SWIR1. На SWIR1 впливає як хлорофіл рослинності, так і вміст води, тоді як на NIR не впливає вміст води. Ці індекси працюють як показники води, доповнюючи один одного, і використовуються при

дослідженні торфовищ з різним видом рослинного покриву з урахуванням сезонного фактора (Lees et al., 2020) та дають позитивні результати при порівнянні з гіперспектральними індексами – показниками води.

Індекс NDWI (Gao, 1996) рекомендується використовувати в моделях посухи й управління зрошенням. Діапазон значень від -1 до +1. Інтервал від -1 до 0 – це покрив без рослинності і води, додатні значення свідчать про вміст води в рослинності. Значення індексу NDWI +1 показує воду (Gao, 1996).

Індекси, що використовуються в цьому дослідженні, були розраховані з використанням значень відбивальної здатності та усереднені по діапазону довжин хвиль.

В табл. 1, 2 представлені вегетаційні індекси, які застосовуються нами для даних Sentinel-2.

## 3 Результати

### 3.1 Обчислення вегетаційних індексів

За формулами, наведеними в табл. 2, обраховані індекси за даними спектрорадіометра ASD FieldSpec 3FR, одержаними 28.06.2010 р. для

Таблиця 3. Індекси для восьми тестових точок торфовищ Шацького полігона (28.06.2010 р.)

Table 3. Indices for eight test points of peatlands of the Shatsk test area (June 28, 2010)

Індекси	Значення вегетаційних індексів на тестових точках (1–8) Шацького полігона з різним видом покриття							
	1	2	3	4	5	6	7	8
NDRE1	0,1075	0,4822	0,5254	0,5776	0,6446	0,4103	0,4554	0,1704
MTCI	1,2181	2,8472	3,3723	4,1312	4,4488	2,3739	2,8001	1,3187
NDVI	0,3882	0,8223	0,8313	0,8723	0,9429	0,7481	0,7939	0,4325
CLm	0,1622	0,5475	0,6051	0,7072	0,6832	0,4777	0,5179	0,2233
EVI	0,0823	1,0022	0,8940	1,0105	0,8779	0,5997	0,6553	0,2871
MSI	1,8351	0,4542	0,3973	0,4191	0,4105	0,6825	0,5868	1,2425
SIPI	1,4170	1,0361	1,0195	0,9793	1,0042	1,0710	1,0584	1,3839
NDWI	-0,2946	0,3753	0,4313	0,4093	0,4180	0,1887	0,2604	-0,1082

Таблиця 4. Значення індексів для тестових точок на Бортницькому полігоні за даними 20.06.2019 р. (№ 1) та 23.06.2021 р. (№ 2)

Table 4. Index values for test points at the Bortnychi test area according to the data of 20.06.2019 (No. 1) and 23.06.2021 (No. 2)

Індекси	Значення індексів на Бортницькому полігоні	
	№ 1 (20.06.2019)	№ 2 (23.06.2021)
NDRE1	0,5778	0,5692
MTCI	3,8350	3,4866
NDVI	0,8764	0,8790
CLm	0,6786	0,6436
EVI	0,8247	0,7482
MSI	0,3415	0,5181
SIPI	0,9838	1,0120
NDWI	0,4909	0,3205

восьми тестових точок Шацького полігона з різним видом покриття на торфовищі: 1) відкритий ґрунт на торфовищі з посадкою гарбузових; 2) зелена лугова трава, поле – заплава р. Прип'ять з потужним торфом, під перелогам, заросле бур'янами; 3) картопля в фазі цвітіння; 4) рослинний покрив (овес зелений) на заростаючому торфовищі; 5) рослинний покрив з осокою вздовж каналу, посіви злакових на сіно на березі меліораційного каналу; 6) рослинний покрив на березі меліораційного каналу, посіви злакових на сіно; 7) лучне різнотрав'я

на торфовищі, використовується під пасовище, невисокі злакові (тонконіг), місцями ситник; 8) скошена трава, частково засихаюча, проглядає відкрита поверхня торфу із сухим рослинним покривом. Результати обчислень індексів на тестових точках (1–8) Шацького полігона з різним видом покриття представлені в табл. 3. Ці ж індекси (див. табл. 2) обраховані і для тестової точки приболотної території на 20.06.2019 р. та 23.06.2021 р. на Бортницькому полігоні з осокою бережною (*Carex riparia*) (табл. 4).

В табл. 4 наведені розрахунки восьми індексів, одержаних для тестових точок приболотної території Бортницького полігона з осокою бережною (*Carex riparia*) в червні 2019 та 2021 рр.: № 1 – значення індексів, отриманих за даними спектрорадіометра ASD FieldSpec 3FR 20.06.2019 р., і № 2 – значення індексів, одержаних за даними ASD FieldSpec 3FR 23.06.2021 р.

В табл. 5 подані коефіцієнти кореляції значень восьми індексів тестової точки приболотної території Бортницького полігона з осокою бережною на дати 20.06.2019 та 23.06.2021 зі значеннями індексів восьми тестових точок Шацького полігона на 28.06.2010 р. з різним видом покриття на торфовищі. Згідно кореляції Пірсона значення коефіцієнтів кореляції майже не відрізняються на різні дати (табл. 5). Різниця в часі зйомок даних на території Бортницького полігона спектрорадіометром ASD FieldSpec 3FR становить 2 роки. Значення індексів вираховувались за даними зйомки в червні місяці.



Таблиця 5. Значення коефіцієнтів кореляції індексів у тестових точках Шацького полігона за 28.06.2010 р. зі значеннями індексів тестової точки на Бортницькому полігоні за 20.06.2019 р. (№ 1) та 23.06.2021 р. (№ 2)

Table 5. The value of the correlation coefficients of the indices at the test points of the Shatsk test area for 28.06.2010 with the values of the indices of the test point at the Bortnychi test area for 20.06.2019 (No. 1) and 23.06.2021 (No. 2)

Дата тестової точки на Бортницькому полігоні	Кореляція індексів восьми тестових точок Шацького полігона (28.06.2010) з індексами тестової точки на Бортницькому полігоні (№ 1 і 2)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
20.06.2019 (№ 1)	0,30	0,98	0,99	0,99	0,99	0,95	0,98	0,49
23.06.2021 (№ 2)	0,38	0,98	0,99	0,99	0,99	0,97	0,99	0,56

Таблиця 6. Значення індексу REP (див. табл. 2) для тестових точок Шацького полігона за 28.06.2010 р. та на Бортницькому полігоні за 20.06.2019 р. (№ 1) та 23.06.2021 р. (№ 2) за даними спектрорадіометра ASD FieldSpec 3FR

Table 6. The value of the REP index (see Table 2) for the test points of the Shatsk test area for 28.06.2010 and at the Bortnychi test area for 20.06.2019 (No. 1) and 23.06.2021 (No. 2) according to the spectroradiometer ASD FieldSpec 3FR data

Індекс	Значення індексу REP на тестових точках (1–8) Шацького полігона з різним видом покриття (28.06.2010 р.)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
REP	725,55	721,27	720,89	725,15	725,39	719,50	722,18	715,68

Індекс	Значення індексу REP на Бортницькому полігоні	
	№ 1 (20.06.2019)	№ 2 (23.06.2021)
REP	722,37	723,69

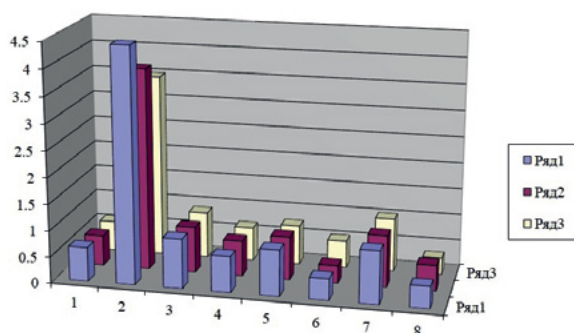
В табл. 6 показані значення вегетаційних індексів REP для тестових точок Шацького та Бортницького полігонів.

Чотириканальний індекс REP (665, 705, 740, 780) реагує на хлорофільний стан рослинного покриття Землі і залежить від стану довкілля внаслідок забруднення води та ґрунтів. Ці зміни впливають на спектри відбиття рослинного покриття та спричиняють зміни нахилу кривої спектра в червоному краї (665–783 нм) і зсуви значень REP – довжини хвилі з максимальним значенням нахилу кривої відбиття в цій області. Значення зсувів REP можуть слугувати навіть індикатором забруднення важкими металами рослинного покриття та використовуватися в різних екологічних моделях (Clevers et al., 2017; Лялько та ін., 2014, 2020).

## Обговорення отриманих результатів

Середнє значення REP на тестових точках (1–8) Шацького полігона з різним видом покриття та на Бортницькому полігоні близькі і мають значення 723,03 нм на Бортницькому полігоні та 723,2 нм – на Шацькому. Всі наведені вище значення індексів були одержані за даними, знятими спектрорадіометром ASD FieldSpec 3FR в червні місяці. Маючи середні значення REP для тестових точок для Бортницького полігона і значення коефіцієнтів кореляції за даними індексів для тестових точок Шацького полігона ДЗЗ, які майже не відрізняються на різні дати (див. табл. 5) при різниці в часі зйомок даних на території Бортницького полігона, можна припустити, що це одна із ознак торфовища на приболотних територіях.

Наводимо тривимірну гістограму (рис. 2.) зображень значень восьми індексів (див. табл. 3) для трьох тестових точок: ряд 1 – точка торфовища Шацького полігона (28.06.2010 р.), це зелений покрив з осокою вздовж каналу та посіви злакових на сіно на березі меліораційного каналу; ряд 2 – точка приболотної території з осокою побережною (*Carex riparia*) Бортницького полігона (20.06.2019 р., № 1) (див. табл. 4); ряд 3 – точка приболотної території з осокою побережною (*Carex riparia*) Бортницького полігона (23.06.2021 р., № 2) (див. табл. 4). Як видно з гістограми, поведінка індексів NDRE1, MTCl, NDVI, CLm, EVI, MSI, SIPI, NDWI для трьох тестових точок з зеленим покривом на різні роки в червні місяці для торфовища Шацького і Бортницького полігонів майже ідентична, що може підтверджувати ознаку торфовища на приболотних територіях.



**Рис. 2.** Зображення значень восьми індексів NDRE1, MTCl, NDVI, CLm, EVI, MSI, SIPI, NDWI для трьох тестових точок з осокою побережною (*Carex riparia*).

Ряд 1 – значення індексів зеленого покриву з осокою на тест-точці Шацького полігона (28.06.2010 р.), ряд 2 – для зеленого покриву з осокою на тест-точці приболотної території з осокою побережною (*Carex riparia*) Бортницького полігона (20.06.2019 р.), ряд 3 – для зеленого покриву з осокою на тест-точці приболотної території з осокою побережною (*Carex riparia*) Бортницького полігона (23.06.2021 р.). Горизонтальна вісь – порядковий номер індексу із табл. 3, по вертикальній осі – значення індексів

**Fig. 2.** Representation of 8 index values, such as NDRE1, MTCl, NDVI, CLm, EVI, MSI, SIPI, NDWI (Table 3) for three test points with pond sedge *Carex riparia*. Row 1 – index values of green cover with sedge at the test point of the Shatsk test area (June 28, 2010). Row 2 – index values for green cover with sedge at the test point within the wetland area with *Carex riparia* for the Bortnychi test area (June 20, 2019), Row 3 – index values for green cover with sedge at the test point within the wetland area with *Carex riparia* for the Bortnychi test area (June 23, 2021). The horizontal axis is the number of the index from Table 3; the vertical axis is the index value

Для індексів, зображених на гістограмі рис. 2, стандартне відхилення – міра того, наскільки широко розкидані точки даних щодо їх середнього; для індексів у рядах 1–3 практично рівні: для ряду 1 стандартне відхилення дорівнює 1,2; для рядів 2 і 3 – 1, що ще раз показує ідентичність ознак торфовища на приболотній території Шацького полігона з тестовими точками Бортницького полігона за даними червня місяця.

Для підтвердження ідентичності ознак торфовища одержані значення дев'яти індексів (див. табл. 2) по зображенню з Sentinel-2 (10.05.2021 р.) на тестових точках № 1 і 2 приболотної території з осокою побережною Бортницького полігона та на тестовій точці з осокою побережною Шацького полігона (11.05.2021 р.). Значення індексів на травень місяць представлені в табл. 7.

**Таблиця 7.** Значення індексів на тест-точках № 1, 2 Бортницького полігона за даними знімка Sentinel-2 (11.05.2021 р.)

**Table 7.** Index values at test points No. 1, 2 of the Bortnychi test area according to Sentinel-2 image data (May 11, 2021)

Індекси	№ 1	№ 2
NDRE1	0,44811	0,50218
MTCl	0,39367	0,36047
NDVI	0,73507	0,72803
CLm	0,06144	-0,00116
EVI	2,21967	1,91982
MSI	0,11770	0,17450
SIPI	0,70549	0,72857
NDWI	1,06388	1,00786
REP	715,7 нм	716,5 нм

Коефіцієнт кореляції Пірсона для восьми значень індексів тестової точки № 1 приболотної території Бортницького полігона з осокою побережною зі значеннями на тестовій точці Шацького полігона з осокою побережною № 2 високий і дорівнює 0,995; значення вегетаційного індексу REP для тестових точок № 1 і 2 відрізняються на 1 нм. Стандартне відхилення для восьми індексів у рядах № 1 та 2 практично однакове і дорівнює  $\approx 0,6$ . Такі результати одержані за даними Sentinel 2 за 11 травня 2021 р.

Таблиця 8. Дати зображень знімків Sentinel-2  
Table 8. Dates of Sentinel-2 images

Шацький полігон Д33	
2021.05.11	COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED/20210511T093031_20210511T093341_T34UFC
2021.07.13	COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED/20210713T094031_20210713T094349_T34UFC
2021.09.08	COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED/20210908T093031_20210908T093342_T34UFC
Бортницький полігон Д33	
2021.09.09	COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED/20210909T085601_20210909T090330_T36UUA
2021.07.14	COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED/20210714T090601_20210714T090825_T35UQR
2021.05.10	CPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED/20210510T090549_20210510T090751_T35UQR

Для підтвердження ідентичності ознак торфвища на приболотних територіях за отриманими значеннями вегетаційних індексів NDRE1, NDVI, SIPI та REP із зображень знімків Sentinel-2 були розглянуті тест-точки з чистої ділянки на три дати знімків Sentinel-2 (10.05.2021, 14.07.2021, 09.09.2021), а також із забрудненої ділянки Бортницького полігона з осокою побережною на ці ж дати знімків Sentinel-2. Вони були зіставлені з даними трьох знімків Sentinel-2 на тестових точках з осокою побережною Шацького полігона (11.05.2021, 13.07.2021, 09.08.2021) (табл. 8).

При дослідженні поведінки індексів (див. табл. 2), одержаних для різних дат на тестових точках з осокою побережною Шацького торф'яного полігона та на тестових точках приболотної території Бортницького полігона для знімків Sentinel-2, обмежились вегетаційними індексами NDRE1, NDVI, SIPI та REP. Індекс NDRE1 – аналог NDVI<sub>705</sub>. Індекс NDRE1(740,705) працює на ділянці спектра в зоні переходу від видимого червоного до ближнього інфрачервоного в зоні червоного краю. Для підтвердження точності одержаних даних цей індекс використовується з вегетаційним індексом NDVI (NIR, RED), який працює протягом усього сезону, крім випадків, коли вегетаційний покрив незначний, тоді його відбивальна здатність дуже низька.

При використанні індексу REP особливу роль відіграє довжина хвилі, на якій швидкість зміни спектра максимальна. Ця точка називається позицією червоного краю – REP і розглядається як вегетаційний індекс, який можна

визначати за спектрометричними даними. Значення зсувів REP можуть слугувати індикатором забруднення рослинного покриву в різних екологічних моделях (Clevers et al., 2017) і використовуватися при дослідженні торфвищ за допомогою Д33 з високою розрізненістю (Räsänen et al., 2020). Вегетаційний індекс рослинності SIPI, згідно з (Gomes et al., 2016), застосовують для аналізу вегетації рослин із різною структурою. Підвищені значення SIPI сигналізують про те, що рослини перебувають у стані стресу або хворі. Діапазон для зеленої рослинності становить від 0,8 до 1,8.

На прикладі Шацького полігона зроблено обробку знімка Sentinel-2 за 10.05.2021 р. у середовищі Google Earth Engine (рис. 3). Програмний код обробки міститься в табл. 9.

Значення вегетаційних індексів NDRE1, NDVI, SIPI та REP із зображень знімків Sentinel-2 наведені в табл. 10 та на рис. 4–6.

Для значень вегетаційних індексів NDRE1, NDVI та SIPI, поданих у табл. 10, була обчислена кореляція для трьох дат (10.05.2021, 14.07.2021, 09.09.2021) чистої ділянки Бортницького полігона з осокою побережною знімків Sentinel-2 з даними, одержаними для ділянок Шацького полігона з осокою побережною знімків Sentinel-2 на дати 11.05.2021, 13.07.2021, 09.08.2021 рр. Коефіцієнт кореляції дорівнює 0,78 для  $n = 9$  ( $n$  – розмір масиву даних) і 0,54,  $n = 9$  для тих же трьох дат для забрудненої ділянки Бортницького полігона з осокою побережною знімків Sentinel-2 на ці ж три дати.

Таблиця 9. Алгоритм обробки зображення Sentinel-2 в середовищі Google Earth Engine

Table 9. Sentinel-2 image processing algorithm in the Google Earth Engine environment

<p><b>Етап 1. Вибір колекції Sentinel-2 та фільтрація за датою та областю</b></p>	<pre> javascript Copy code var data = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED"); var image = data.filterDate('2021-05-10', '2021-05-12'); var dataset = image.filterBounds(geometry)                     .select(['B4', 'B3', 'B2'])                     .sort('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE');</pre>
<p><b>Етап 2. Відображення найменш хмарного зображення на мапі</b></p>	<pre> javascript Copy code var image2 = ee.Image('COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED/20210511T093031_20210511T093341_T34UFC')                .select(['B1', 'B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B6', 'B7', 'B8', 'B9']); var image2vis = image2.select(['B4', 'B3', 'B2']); var trueColor = {min: [150, 150, 150], max: [1800, 1800, 1800]}; Map.addLayer(image2vis, trueColor, 'Latter image');</pre>
<p><b>Етап 3. Розрахунок та візуалізація індексу NDVI</b></p>	<pre> javascript Copy code var NDVI = image2.expression('(BAND8 - BAND4)/(BAND8 + BAND4)',                              {                                'BAND4': image2.select('B4'),                                'BAND8': image2.select('B8')                              }); var NDVI_Vis = {min: 0, max: 0.6, palette: ['D77B3F', 'E8E81F', '24B32C']}; Map.addLayer(NDVI, NDVI_Vis, 'NDVI');</pre>
<p><b>Етап 4. Розрахунок та візуалізація індексу NDRE</b></p>	<pre> javascript Copy code var NDRE = image2.expression('(BAND9 - BAND5)/(BAND9 + BAND5)',                              {                                'BAND9': image2.select('B9'),                                'BAND5': image2.select('B5')                              }); var GreenNDVI_Vis = {min: 0, max: 0.6, palette: ['D77B3F', 'E8E81F', '24B32C']}; Map.addLayer(NDRE, GreenNDVI_Vis, 'NDRE');</pre>
<p><b>Етап 5. Розрахунок та візуалізація індексу REP</b></p>	<pre> javascript Copy code var REP = image2.expression('700+40*(((BAND4+BAND7)/2)-BAND5)/(BAND6-BAND5)', {   'BAND4': image2.select('B4'),   'BAND5': image2.select('B5'),   'BAND6': image2.select('B6'),   'BAND7': image2.select('B7') }); var REP_Vis = {min: 0, max: 0.6, palette: ['D77B3F', 'E8E81F', '24B32C']};</pre>
<p><b>Етап 6. Розрахунок та візуалізація індексу NDRE1</b></p>	<pre> javascript Copy code var NDRE1 = image2.expression('(BAND8A - BAND5)/(BAND8A + BAND5)', {   'BAND8A': image2.select('B8A'),   'BAND5': image2.select('B5') }); var NDRE1_Vis = {min: 0, max: 0.6, palette: ['D77B3F', 'E8E81F', '24B32C']};</pre>
<p><b>Етап 7. Розрахунок та візуалізація індексу SIPI</b></p>	<pre> javascript Copy code var SIPI = image2.expression('(BAND7 - BAND4)/(BAND7 + BAND4)', {   'BAND7': image2.select('B7'),   'BAND4': image2.select('B4') }); var SIPI_Vis = {min: 0, max: 0.6, palette: ['D77B3F', 'E8E81F', '24B32C']};</pre>
<p><b>Етап 8. Збирання всіх зображень та індексів у колекцію та збереження в GeoTIFF</b></p>	<pre> javascript Copy code var col = ee.ImageCollection.fromImages([image2, NDVI, NDRE, REP, NDRE1, SIPI]); var bands = col.toBands(); bands = bands.toFloat();  Export.image.toDrive({   image: bands,   region: geometry,   fileFormat: 'GeoTIFF' });</pre>

Таблиця 10. Значення індексів NDRE1, NDVI, SIPI та REP на різні дати із зображень знімків Sentinel-2

Table 10. Values of NDRE1, NDVI, SIPI and REP indices for different dates from Sentinel-2 imageS

Індекси	Бортницький полігон, тест-ділянка № 2		
	10.05.2021	14.07.2021	09.09.2021
NDRE1	0,44811	0,48722	0,48703
NDVI	0,73507	0,65919	0,69709
SIPI	0,70549	0,66113	0,68447
REP	715,656	718,944	717,089

Індекси	Бортницький полігон, тест-ділянка № 1		
	10.05.2021	14.07.2021	09.09.2021
NDRE1	0,36775	0,44876	0,42923
NDVI	0,56817	0,62892	0,73261
SIPI	0,52703	0,64561	0,70826
REP	714,106	718,014	715,288

Індекси	Шацький полігон		
	11.05.2021	13.07.2021	09.08.2021
NDRE1	0,50218	0,53101	0,43513
NDVI	0,72803	0,76227	0,60622
SIPI	0,72857	0,77568	0,58262
REP	716,532	717,890	717,023

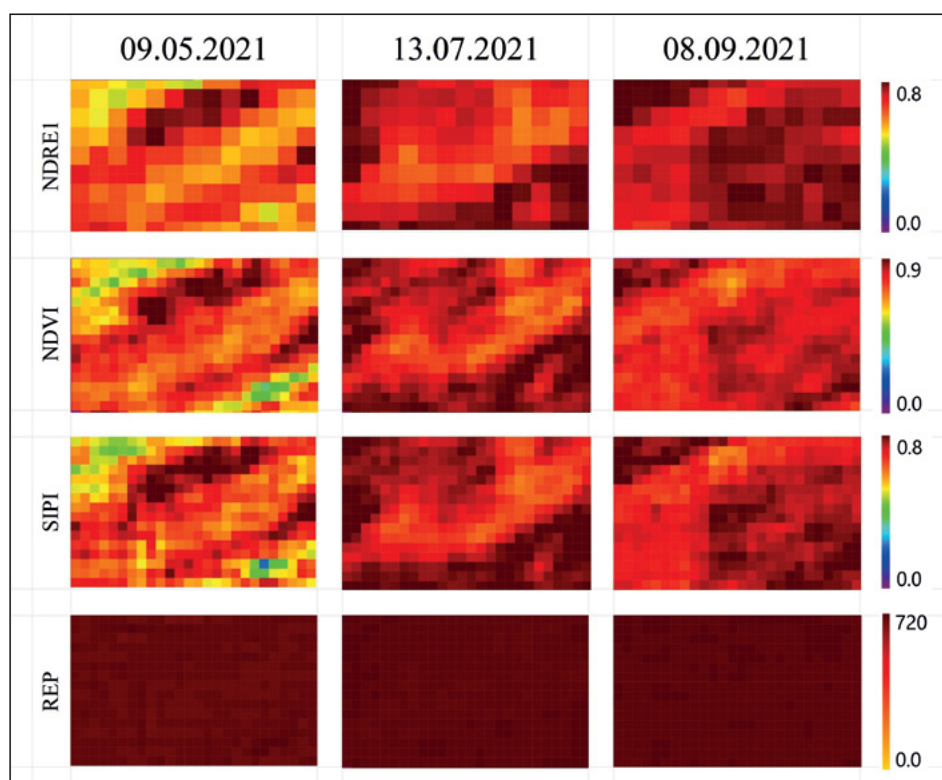
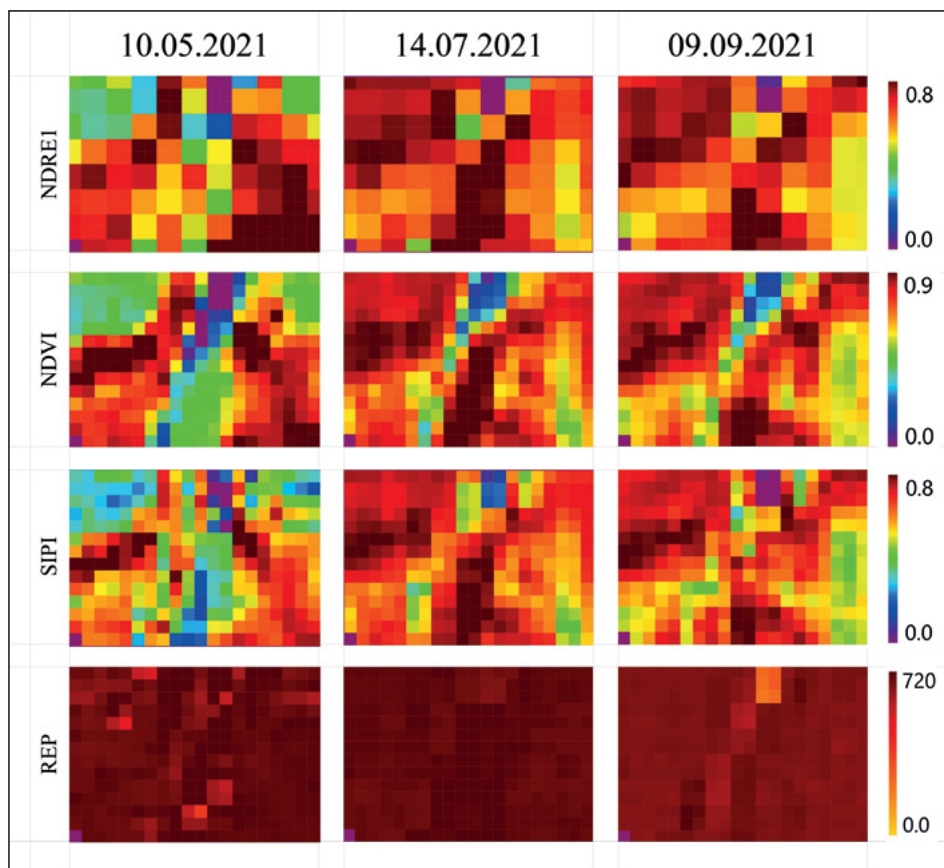


Рис. 4. Значення індексів NDRE1, NDVI, SIPI та REP із зображень знімків Sentinel-2 для Шацького полігона

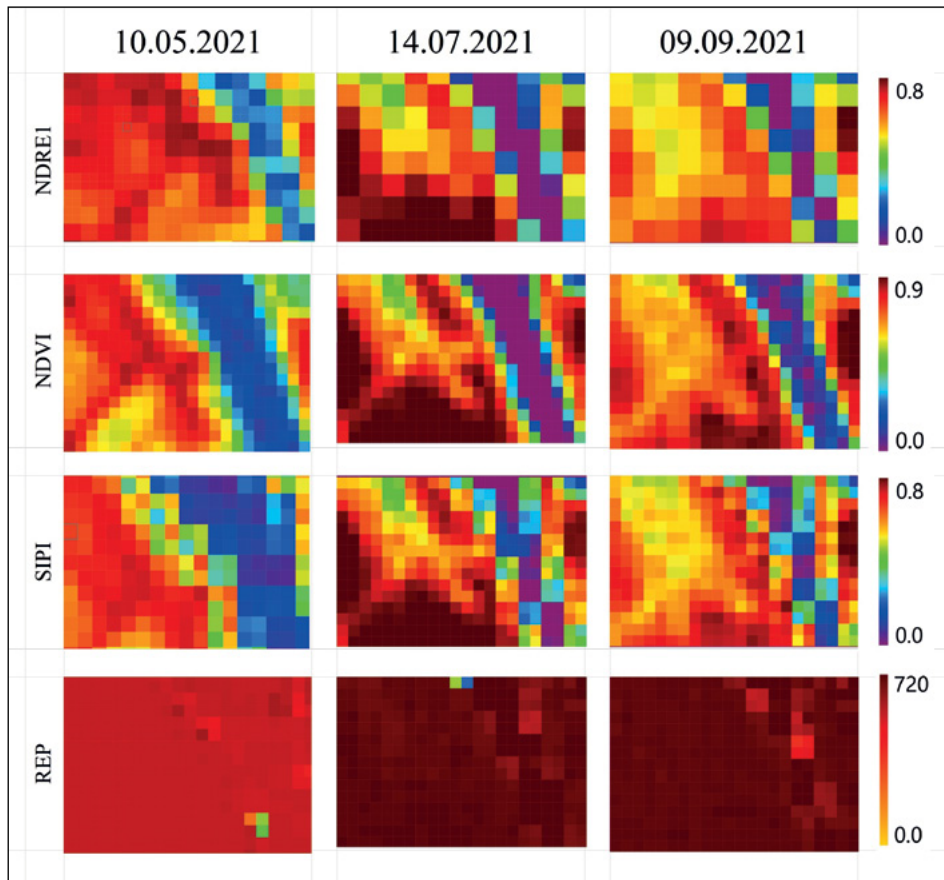
Fig. 4. Values of NDRE1, NDVI, SIPI and REP indices obtained from Sentinel-2 images for the Shatsk test area





**Рис. 5.** Значення індексів NDREI, NDVI, SIPI та REP із зображень знімків Sentinel-2 для Бортницького полігона (тест-ділянка № 1)

**Fig. 5.** Values of NDREI, NDVI, SIPI and REP indices obtained from Sentinel-2 images for Bortnychi test area (test point No. 1)



**Рис. 6.** Значення індексів NDREI, NDVI, SIPI та REP із зображень знімків Sentinel-2 для Бортницького полігона (тест-ділянка № 2)

**Fig. 6.** Values of NDREI, NDVI, SIPI and REP indices from Sentinel-2 images for Bortnychi test area (test point No. 2)

Для значень вегетаційного індексу REP (див. табл. 8) кореляція для значень ділянок Бортницького полігона та значень ділянок Шацького полігона з осокою бережною досить висока і дорівнює 0,82 при  $n = 6$  ( $n$  – кількість тестових точок на ділянках № 1 та 2 Бортницького полігона).

Значущість лінійної регресії між вегетаційними індексами NDRE1, NDVI, SIPI та REP, отриманими з Sentinel-2 та спектрорадіометра ASD FieldSpec® 3FR, наведено у табл. 11 та виражено відповідними коефіцієнтами детермінації, а також значеннями середньоквадратичної похибки (Stankevich, 2022).

Як випливає з табл. 11, спостерігаються достатньо високі значення коефіцієнта детермінації для індексів NDRE, NDVI, а середньоквадратична похибка регресії дуже мала.

Ці всі ознаки можуть підтверджувати ідентичність торфовищ з осокою бережною (*Carex riparia*) на ділянці Шацького полігона з такими на ділянці Бортницького полігона.

В результаті формалізації протестованої методики ми пропонуємо алгоритм обробки матеріалів, отриманих з Sentinel-2 та спектрорадіометра ASD FieldSpec 3FR, для картування торфовищ за багатоспектральними супутниковими знімками. Схему алгоритму представлено на рис. 7. Запропонований алгоритм дій включає два основних етапи: перший – навчання, що передбачає отримання даних наземних спостережень і розрахунок вузькодіапазонних спектральних індексів, визначення коефіцієнтів регресії та розрахунки коефіцієнтів детермінації для ідентифікації торфовищ. Другий етап – власне обробка, який включає отримання супутникових зображень

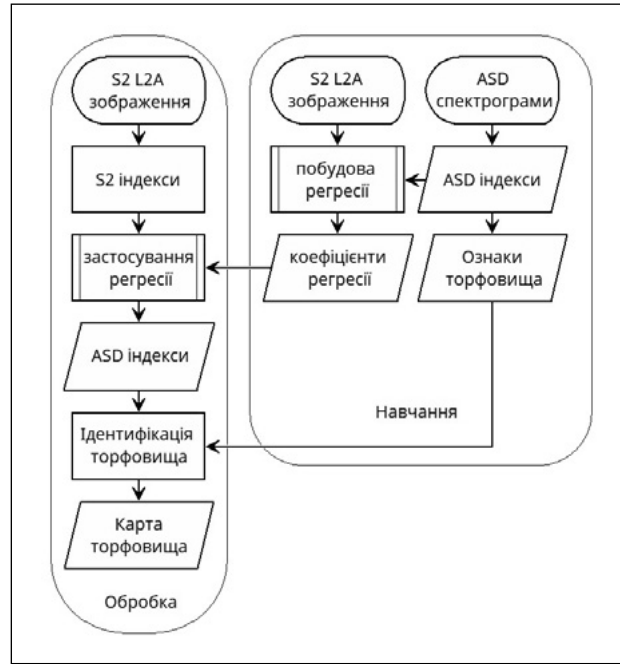


Рис. 7. Схема алгоритму визначення меж торфовищ за супутниковими та наземними завірковими даними  
 Fig. 7. Algorithm scheme for determining the boundaries of peatlands using satellite and ground validation data

Sentinel-2 рівня 2A (L2A), які вже піддано атмосферній корекції, та розрахунок широкодіапазонних спектральних індексів. Продукт Sentinel-2 L2A є обробленим варіантом супутникових знімків зі значеннями оптичного відбиття земних покривів, що сприяє точному аналізу властивостей земної поверхні для різноманітних застосувань. Далі за заздалегідь отриманими регресійними залежностями широкодіапазонні індекси для Sentinel-2 перераховуються на вузькодіапазонні NDVI, NDRE1, SIPI та REP, за якими й приймається рішення про наявність чи відсутність торфовища. Насамкінець одержані піксельні результати обробки наносяться на карто-схему території дослідження.

Таким чином, використання індексів NDRE1, NDVI, SIPI та REP дає можливість визначити наявність торфу на досліджуваних ділянках.

## Висновки

Враховуючи корисні властивості торфу, зокрема його потенціал як альтернативи традиційним джерелам палива, були проведені дослідження вегетаційних та водних індексів

Таблиця 11. Значення коефіцієнта детермінації та середньоквадратична похибка

Table 11. Value of the coefficient of determination and root mean square error

Індекси	Коефіцієнт детермінації	Середньоквадратична похибка
NDRE	0,7127947	0,0488236
NDVI	0,7854473	0,0563897
SIPI	0,429059	0,0184572
REP	0,5385368	1,6378178

червоного краю, а також водних індексів, обчислених на основі спектрометрії наземного рослинного покриву над торфовищами. Тест-ділянки були обрані в межах Шацького національного парку та на тестових ділянках БСА в зоні полігона Вишеньки для підтвердження наявності торфу в прибережній території в межах полігона.

На території Шацького національного парку проводилися дослідження за допомогою спектрорадіометра ASD FieldSpec 3FR у 2010 р., а також за даними супутникових зображень Sentinel-2 у 2019 та 2021 рр. Основними видами рослинності на цій ділянці є осока та іван-чай. Меліорація проводилася у 1982 р., і торф виявлено практично всюди на цій території.

Були вивчені показники червоного краю REP, хлорофільного індексу TCI та модифікованого нормалізованого різницевого індексу NDVI<sub>705</sub>. Отримані дані використані для перевірки результатів класифікації наземного покриву на основі супутникового зондування в області досліджень на торфовищах. Для порівняння результатів проведеного дослідження застосовані додаткові вегетаційні індекси, такі як NDVI, EVI, SIPI, а також індекси, які вказують на вологість та фотосинтез у рослинному покриві. NDVI та EVI надали позитивні результати для класифікації торфовищ, особливо в разі невідомого складу рослинності. Індекс SIPI вказав на підвищений стрес рослинного покриву. Модифікований хлорофільний індекс CLm не показав очікуваного результату. Середні значення індексу REP на тестових точках Шацького та Бортницького полігонів були подібними і становили відповідно 723,2 та 723,03 нм. Ці значення були отримані у червні місяці, і їх схожість свідчить про можливу наявність ознак торфовища на обох територіях. Гістограма значень восьми індексів для трьох тестових точок на різних територіях і в різні роки в червні місяці свідчить про практично однакову поведінку цих індексів. Стандартні відхилення для цих індексів показують подібність даних і становлять 1,2 для ряду 1 та 1 для рядів 2 і 3, що підтверджує ідентичність ознак торфовища на обох територіях у червні місяці. Додатково значення дев'яти індексів були отримані із зображень Sentinel-2 для тестових точок

№ 1, 2 Бортницького (10.05.2021 р.) та Шацького полігонів (11.05.2021 р.). Ці значення також підтверджують ідентичність ознак торфовища на обох територіях. Отже, отримані дані та результати аналізу свідчать про можливість наявності ознак торфовища на прибережних територіях Шацького та Бортницького полігонів.

Аналіз результатів показує високу кореляцію ідентичних ознак торфовища на прибережних територіях Шацького та Бортницького полігонів. Коефіцієнт кореляції Пірсона для восьми індексів між тестовою точкою № 1 Бортницького полігона з осокою бережною і тестовою точкою № 2 Шацького полігона з осокою бережною дуже високий і становить 0,995. Це свідчить про дуже сильний зв'язок між цими індексами на обох територіях. Додатково аналіз ідентичності ознак торфовища проводився за допомогою вегетаційних індексів NDRE1, NDVI, SIPI та REP для різних дат знімків Sentinel-2. Вказані значення цих індексів практично однакові для обох територій у різні роки, як видно на супутникових знімках Sentinel-2, що підтверджує подібність ознак торфовища. Таким чином, проведено експериментальне дослідження вузькодіапазонних спектральних індексів спектрорадіометром ASD FieldSpec 3FR та широкодіапазонних спектральних індексів багатоспектральним зображенням Sentinel-2. Найкращі результати дають вегетаційні індекси NDRE1, NDVI, SIPI та REP. Для подальших досліджень бажано включити бібліотеку прецизійних спектрів високої розрізненності (не гірше 1–2 нм) як у VNIR, так і SWIR областях, щоб забезпечити можливість реконструкції сигналів у всіх спектральних діапазонах будь-якої системи візуалізації.

Отже, на основі розрахунку коефіцієнта кореляції, результатів аналізу вегетаційних індексів, коефіцієнта детермінації, а також визначення середньоквадратичної похибки можна припустити, що обидві прибережні території мають ідентичні ознаки торфовища. Вегетаційні індекси NDRE1, NDVI, SIPI та REP можна використовувати для визначення меж торфовищ, значну частину яких займає осока бережна (*Carex riparia*), що слугує одним із індикаторів торфовища.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування: Лялько В.І., Попов М.О. (ред.). Київ: Наукова думка, 2006. 360 с.
- Вдовиченко А.І. Торф як альтернативне високоефективне екологічне джерело енергії на місцевому і регіональному рівнях. Житомир: Info, 2023. [https://www.zhitomir.info/post\\_3104.html](https://www.zhitomir.info/post_3104.html)
- Дугін С.С., Сибірцева О.М., Голубов С.І., Дорофей Є.М. Верифікація результатів обробки спектральних даних супутника Sentinel-2A, наземного спектрорадіометра ASD Field Spec3FR і системи реєстрації мінливості параметрів середовища DJI STS-VIS. *Укр. журн. дистанц. зондування Землі*. 2019. Т. 21. С. 29–39.
- Зацерковний В.І., Оберемок Н.В., Тишаєв І.В., Наливайко О.М. Застосування геоінформаційних технологій в моделюванні родовищ корисних копалин. *Управління розвитком складних систем*. 2017. № 30. С. 147–155.
- Лялько В.І., Жолобак Г.М., Дугін С.С., Сибірцева О.М., Голубов С.І., Дорофей Є.М., Поліщук О.В. Експериментальні дослідження особливостей кругообігу вуглецю в системі «атмосфера–рослинність» на території водноболотних угідь лісостепової зони України із залученням дистанційних спектро- та газометричних зйомок за сучасних кліматичних змін. *Укр. журн. дистанц. зондування Землі*. 2020. Т. 24. С. 15–23.
- Лялько В.І., Шпортюк З.М., Сибірцева О.М., Дугін С.С. Дослідження гіперспектральних індексів червоного краю для визначення змін рослинного покриву над нафтовим родовищем за даними спектрометричної зйомки. *Геол. журн.* 2014. № 3 (348). С. 95–103.
- Попов М.А., Станкевич С.А., Архипов А.І., Титаренко О.В. Про можливість дистанційного пошуку покладів вуглеводнів з використанням комп'ютерного асистента геолога. *Укр. журн. дистанц. зондування Землі*. 2018. № 16. С. 34–40. DOI: 10.36023/ujrs.2018.16.119
- Снежкін Ю.Ф., Корінчук Д.М. Торф – ефективний альтернативний вид палива. *Теплофізика та теплоенергетика*. 2022. Т. 44, № 3. С. 5–15.
- Azimov O., Tomchenko O., Shevchenko O., Dorofey Ye. Satellite monitoring of the natural and technogenic events on the left-bank Pripyat reclamation system of the Chernobyl Exclusion Zone. *XVI International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”* (Kyiv, Ukraine, November 15–18, 2022). Kyiv, 2022. P. 1–6.
- Clevers J., Kooistra L., Marnix V.D.B. Using Sentinel-2 data for retrieving LAI and leaf and canopy chlorophyll content of a potato crop. *Remote Sens.* 2017. Vol. 9. P. 405. doi:10.3390/rs9050405
- Clevers J.G.P.W., Kooistra L. Assessment of heavy metal contamination in river floodplains by using the red-edge index. *The 3rd EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy*, Herrsching, May 13–16, 2003. Herrsching, 2003. P. 173–179.
- Danner M., Locherer M., Hank T., Richter K. Spectral sampling with the ASD FieldSpec 4 – theory, measurement, problems, interpretation. *EnMAP Field Guides Technical Report*. Potsdam: GFZ Data Services, 2015. 25 p. doi: 10.2312/enmap.2015.008
- Dash J., Curran P.J. The MERIS terrestrial chlorophyll index. *Int. J. Remote Sens.* 2004. Vol. 25. P. 5403–5413.
- Earth Systems Change over Eastern Europe. (Co-editors P. Groisman, V. Lyalko). Kyiv: Akademperiodyka, 2012. 488 p.
- Gao B.-C. NDWI? A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sens. Environ.* 1996. Vol. 58. P. 257–266.
- Gitelson A., Merzlyak M.N. Spectral reflectance changes associated with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves. Spectral features and relation to chlorophyll estimation. *Journal of Plant Physiology*. 1994. Vol. 143. P. 286–292.
- Gomes V.P., Galvıncio J.D., Ferreira P.S., Silva J.F., Ferreira H.S. Hyperspectral analysis in areas of Caatinga degraded in the municipality of Sertânia – PE. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*. 2016. Vol. 6, iss. 1. P. 262–269. doi:10.5935/1984-2295.20160111
- Harris A. Spectral reflectance and photosynthetic properties of Sphagnum mosses exposed to progressive drought. *Ecohydrology*. 2008. Vol. 1, iss. 1. P. 35–42.
- Horler D.N.H., Dockray M., Barber J. The red edge of plant leaf reflectance. *Int. J. Remote Sens.* 1983. Vol. 4, iss. 2. P. 273–288.
- Huete A., Didan K., Miura T., Rodriguez E.P., Gao X., Ferreira L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sens. Environ.* 2002. Vol. 83 (1–2). P. 195–213. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)
- Hunt E.R., Rock B.N. Detection of changes in leaf water content using Near- and Middle-Infrared reflectances. *Remote Sens. Environ.* 1989. Vol. 30 (1). P. 43–54.
- Lees K.J., Artz R.R., Khomik M. et al. Using spectral indices to estimate water content and GPP in Sphagnum moss and other peatland vegetation. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 2020. Vol. 58, iss. 7. P. 4547–4557. <https://centaur.reading.ac.uk/88076>
- Nebesny V.B., Grodzynska G.A., Samchuk A.L., Dugin S.S. Spectrophotometric express method of bioindication of park system. *Science and Innovation*. 2020. Vol. 16 (4). P. 74–82.
- Nebesnyi V.B., Grodzynska G.A., Samchuk A.L., Dugin S.S., and Honchar H.Yu. Spectrophotometric Express Method in Bioindication of Park Ecosystems. *Sci. innov.* 2020. Vol. 16, No. 4. P. 74–82. <https://doi.org/10.15407/scine16.04.074>
- Penuelas J., Filella I., Gamon J.A. Assessment of photosynthetic radiation-use efficiency with spectral reflectance. *New Phytol.* 1995. Vol. 131, iss. 3. P. 291–296.

- Räsänen A., Juutinen S., Kalacska M., Aurela M., Heikkinen P., Mäenpää K., Rimali A., Virtanen T. Peatland leaf-area index and biomass estimation with ultra-high resolution remote sensing. *GIScience and Remote Sensing*. 2020. Vol. 57, iss.7. P. 943–964. <https://doi.org/10.1080/15481603.2020.1829377>
- Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium*, Greenbelt, December 10-14, 1973. SP-351, 309–317.
- Sims D.A., Gamon J.A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sens. Environ.* 2002. Vol. 81, iss. 2-3. P. 337–354.
- Stankevich S.A. Accuracy of narrow-band spectral indices estimation by wide-band remote sensing data. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*. 2022. Vol. 9, No. 1 P. 4–7. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2022.9.1.209>

Надійшла до редакції 12.09.2023

Надійшла у ревізованій формі 28.10.2023

Прийнята 08.12.2023

## REFERENCES

- Azimov O., Tomchenko O., Shevchenko O., Dorofey Ye. 2022. Satellite monitoring of the natural and technogenic events on the left-bank Pripjat reclamation system of the Chernobyl Exclusion Zone. *XVI International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment"* (Kyiv, Ukraine, November 15-18, 2022). Kyiv, p. 1–6.
- Clevers J., Kooistra L., Marnix V.D.B. Using Sentinel-2 data for retrieving LAI and leaf and canopy chlorophyll content of a potato crop. *Remote Sens.* 2017, 9: 405. doi:10.3390/rs9050405
- Clevers J.G.P.W., Kooistra L. 2003. Assessment of heavy metal contamination in river floodplains by using the red-edge index. *The 3rd EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy*, Herrsching, May 13–16, 2003. Herrsching, 2003, p. 173–179.
- Danner M., Locherer M., Hank T., Richter K. 2015. Spectral sampling with the ASD FieldSpec 4 – theory, measurement, problems, interpretation. *EnMAP Field Guides Technical Report*. Potsdam: GFZ Data Services, 2015. 25 p. doi: 10.2312/enmap.2015.008
- Dash J., Curran P.J. 2004. The MERIS terrestrial chlorophyll index. *Int. J. Remote Sens.* 25: 5403–5413.
- Dugin S., Sybirtseva O., Golubov S., Dorofey Y. 2019. Verification of multispectral data processing for the Sentinel-2A bands, field ASD FieldSpec® 3FR and UAV with the DJI STS-VIS. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*, 21: 29–39. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2019.21.147> (in Ukrainian).
- Earth Systems Change over Eastern Europe. (Co-editors P. Groisman, V. Lyalko). 2012. Kyiv: Akadempriodyka.
- Gao B.-C. 1996. NDWI. A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sens. Environ.* 58: 257–266.
- Gitelson A., Merzlyak M.N. 1994. Spectral reflectance changes associated with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves. Spectral features and relation to chlorophyll estimation. *Journal of Plant Physiology*, 143: 286–292.
- Gomes V.P., Galvêncio J.D., Ferreira P.S., Silva J.F., Ferreira H.S. 2016. Hyperspectral analysis in areas of Caatinga degraded in the municipality of Sertânia – PE. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 6, 1: 262–269. doi:10.5935/1984-2295.20160111
- Harris A. 2008. Spectral reflectance and photosynthetic properties of Sphagnum mosses exposed to progressive drought. *Ecohydrology*, 1, 1: 35–42.
- Horler D.N.H., Dockray M., Barber J. 1983. The red edge of plant leaf reflectance. *Int. J. Remote Sens.* 4, 2: 273–288.
- Huete A., Didan K., Miura T., Rodriguez E.P., Gao X., Ferreira L.G. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sens. Environ.* 83 (1-2): 195–213. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)
- Hunt E.R., Rock B.N. 1989. Detection of changes in leaf water content using Near- and Middle-Infrared reflectances. *Remote Sens. Environ.*, 30 (1): 43–54.
- Lees K.J., Artz R.R., Khomik M. et al. 2020. Using spectral indices to estimate water content and GPP in Sphagnum moss and other peatland vegetation. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 58, 7: 4547–4557. <https://centaur.reading.ac.uk/88076>
- Lyalko V., Zholobak G., Dugin S., Sybirtseva O., Golubov S., Dorofey Y., Polishchuk O. 2020. Experimental research of the carbon circle features in “atmosphere – vegetation” system over the wetland area within the forest – steep zone in Ukraine using remote spectro- and gasometry under the global climate changes. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*, 24: 15–23. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2020.24.166> (in Ukrainian).
- Lyalko V.I., Shportiuk Z.M., Sibirtseva O.M., Dugin S.S. 2014. Research of hyperspectral red edge indices for vegetation cover change detection over the oil field using spectrometric survey data. *Geologičnij žurnal*, 3 (348): 95–103 (in Ukrainian).
- Multispectral Methods of Earth Remote Sensing in Land Use Tasks*. (Eds. V.I. Lyalko and M.O. Popov). 2006. Kyiv: Naukova Dumka (in Ukrainian).



- Nebesny V.B., Grodzynska G.A., Samchuk A.L., Dugin S.S. 2020. Spectrophotometric express method of bioindication of park system. *Science and Innovation*, 16 (4): 74–82.
- Nebesnyi V.B., Grodzynska G.A., Samchuk A.I., Dugin S.S., and Honchar H.Yu. 2020. Spectrophotometric Express Method in Bioindication of Park Ecosystems. *Sci. Innov*, 16, 4: 74–82. <https://doi.org/10.15407/scine16.04.074>
- Penuelas J., Filella I., Gamon J.A. 1995. Assessment of photosynthetic radiation-use efficiency with spectral reflectance. *New Phytol.*, 131, 3: 291–296.
- Popov M., Stankevich S., Arkhipov A., Titarenko O. 2018. About possibility of hydrocarbon deposit remote detection using computer assistance. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*, 16: 34–40. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2018.16.119> (in Ukrainian).
- Räsänen A., Juutinen S., Kalacska M., Aurela M., Heikkinen P., Mäenpää K., Rimali A., Virtanen T. 2020. Peatland leaf-area index and biomass estimation with ultra-high resolution remote sensing. *GIScience and Remote Sens.*, 57, 7: 943–964. <https://doi.org/10.1080/15481603.2020.1829377>
- Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. 1973. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium*, Greenbelt, December 10-14, 1973. SP-351, 309-317.
- Sims D.A., Gamon J.A. 2002. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sens. Environ*, 81, 2-3: 337–354.
- Snezhkin Yu.F., Korinchuk D.M. 2022. Peat – an Effective Alternative Fuel. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*, 44, 3: 5–15 (in Ukrainian).
- Stankevich S.A. 2022. Accuracy of narrow-band spectral indices estimation by wide-band remote sensing data. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*, 9, 1: 4–7. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2022.9.1.209>
- Vdovichenko A.I. 2023. Peat as an Alternative High-Efficiency Ecological Energy Source at Local and Regional Levels. *Zhytomyr. Info*. [https://www.zhitomir.info/post\\_3104](https://www.zhitomir.info/post_3104) (in Ukrainian).
- Zatserkovny V.I., Oberemok N.V., Tishayev I.V., Nalyvayko O.M. 2017. Application of Geoinformation Technologies in Modeling Mineral Deposits. *Management of Complex Systems Development*, 30: 147–155 (in Ukrainian).

Received 12.09.2023

Received in revised form 28.10.2023

Accepted 08.12.2023

## Про можливість визначення ознак торфовищ з використанням даних дистанційного зондування Землі

**В.І. Лялько**, С.С. Дугін\*, О.М. Сибірцева, Є.М. Дорофей, С.І. Голубов, Т.А. Орленко

ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України», Київ, Україна  
E-mail: Dstas2389333d@i.ua

\* Автор для кореспонденції

Враховуючи корисні властивості торфу як альтернативного джерела палива, проведено дослідження вегетаційних та водних індексів червоного краю, а також водних індексів, обчислених на основі спектрометрії наземного рослинного покриву над торфовищами. Досліди були виконані в Шацькому національному парку та на Бортницькій станції аерації, що на лівому березі р. Дніпро. Досліди в Шацькому національному парку проведені за допомогою спектрорадіометра ASD FieldSpec 3FR (2010 р.) та супутникових зображень Sentinel-2 (2019 і 2021 рр.). Рослинність складалася переважно з осоки, з підтвердженням наявності торфу на цій території.

Були вивчені такі індекси, як REP, TCI та NDVI705, для класифікації наземного покриву на основі супутникових даних. Додатково використані інші вегетаційні індекси, а саме NDVI, EVI, SIPI, а також індекси, які вказують на вологість та фотосинтез рослин. Індекси NDVI та EVI надали цінні результати для визначення торфовищ. Модифікований хлорофільний індекс CLm обрахований для червоного краю спектра, аналогічно NDVI та EVI. Середнє значення індексу REP для тестових точок на обох територіях було подібним, що свідчить про можливу наявність торфовища. Аналіз даних також підтвердив ідентичність ознак торфовища на обох територіях. Висока кореляція індексів між цими територіями підтверджує цю ідентичність. Таким чином, вегетаційні індекси можуть бути використані для визначення меж торфовищ та ідентифікації осоки прибережної, яка є одним із індикаторів торфовищ.

**Ключові слова:** торф; дистанційне зондування Землі; супутникові зображення; спектральні індекси.

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.4.293147>  
УДК 504.056:553.631:556.332 (477)

## Гідродинамічна модель Солотвинського родовища кам'яної солі

С.Б. Шехунова<sup>1</sup>, Ю.О. Негода<sup>1,2\*</sup>, С.М. Стадніченко<sup>1</sup>, **В.М. Шестопалов<sup>2</sup>**, Ю.Ф. Руденко<sup>2</sup>, Н.П. Сюмар<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна  
E-mail: shekhun@gmail.com; stadnichenkosm@gmail.com; siumar1982@gmail.com

<sup>2</sup> Державна установа «Науково-інженерний центр радіогідроекологічних полігонних досліджень НАН України», Київ, Україна  
E-mail: negoda@nas.dov.ua; shestopalov@nas.gov.ua; rud@hydrosafe.kiev.ua

\* Автор для кореспонденції

### Hydrodynamic Model of Soltvyn Rock Salt Deposit

S.B. Shekhunova<sup>1</sup>, Y.O. Negoda<sup>1,2\*</sup>, S.M. Stadnichenko<sup>1</sup>, **V.M. Shestopalov<sup>2</sup>**, Y.F. Rudenko<sup>2</sup>, N.P. Siumar<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
E-mail: shekhun@gmail.com; stadnichenkosm@gmail.com; siumar1982@gmail.com

<sup>2</sup> State Institution Radioenvironmental Centre of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
E-mail: negoda@nas.dov.ua; shestopalov@nas.gov.ua; rud@hydrosafe.kiev.ua

\*Corresponding author

Rock salt development brings risks of harmful impact on water resources, in particular the Tysa River, posing a threat of cross-border spread of saline pollution on the border between Ukraine and Romania (Soltvyn rock salt deposit, Transcarpathia, western Ukraine). The impact of technogenic load (underground mining of rock salt) within the deposit led to deformation of the structure and nature of water exchange, intensification of suffusion and karst processes, ground surface deformations, catastrophic inflows of groundwater into mines, and, as a result, to the cessation of development of this deposit in 2010. However, the suspension of salt mining did not stop the development of the above-mentioned hazardous geological processes caused by both natural and man-made factors. In order to justify measures for prevention pollution of the Tysa River basin, a hydrogeological model of the Soltvyna rock salt deposit and surrounding areas was created, which allowed to predict the direction and flow rate of fresh and saline groundwater. The model was developed using new data on the geological structure and hydrogeological conditions of the study area (groundwater monitoring data). The modernised hydrodynamic model includes five layers (main aquifers and confining layers). As a result of modelling, maps of the velocity vectors and head contours for two aquifers (Quaternary and Tortonian) were obtained. Based on the results of solving a number of inverse problems, the functional correspondence of the model to natural and anthropogenic conditions was proved. According to the preliminary calculations of the actual groundwater filtration velocity and the path lines of the inert pollutant spreading, it was found that the time of its migration from the salt contour to the Tysa River is approximately 2–3 years. The developed groundwater flow model will be used to substantiate the network of hydrological and hydrogeological observation points in order to optimise the monitoring of water pollution processes.

**Keywords:** Soltvyn rock salt deposit; groundwater; three-dimensional groundwater flow model; forecast; monitoring.

Цитування: Шехунова С.Б., Негода Ю.О., Стадніченко С.М., Шестопалов В.М., Руденко Ю.Ф., Сюмар Н.П. Гідродинамічна модель Солотвинського родовища кам'яної солі. *Геологічний журнал*. 2023. № 4 (385). С. 79–96. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.4.293147>

Citation: Shekhunova S.B., Negoda Y.O., Stadnichenko S.M., Shestopalov V.M., Rudenko Y.F., Siumar N.P. 2023. Hydrodynamic Model of Soltvyn Rock Salt Deposit. *Geologichnij zhurnal*, 4 (385): 79–96. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.4.293147>

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2023. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, 2023. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

## Вступ

Виникнення та розвиток сел. Солотвина пов'язане з видобуванням кам'яної солі. Її систематичну промислову розробку тут було започатковано в останній чверті XVIII ст. За довгу історію експлуатації цього родовища відбувалася зміна методів видобування солі – від відкритого кар'єрного способу, а також не глибоких підземних виробок до глибоких шахт (кінець XX – початок XXI ст.), де використовувалися сучасні гірничі машини та застосовувалися вибухові роботи. З середини 90-х років XX ст. на працюючих рудниках родовища почали накопичуватися проблеми, перш за все гідрогеологічні (розробка копалини на цьому родовищі відрізнялася складністю гідрогеологічних умов), які не вирішувалися, та в результаті призвели до небезпечної екологічної ситуації техногенного характеру. Зокрема, спричинили аварійне затоплення шахти № 9 з поширенням негативних наслідків на прилеглі території (розвиток суфозійно-карстових процесів, катастрофічних провалів земної поверхні, загрозу транскордонного забруднення поверхневих і підземних вод). Таким чином, ця ситуація набула державного рівня з 2010 р. (експертний висновок МНС України від 09.12.2010 р. № 02-17292/165). Як наслідок, була зупинена робота ДП «Солотвинський солерудник», припинено функціонування підземного відділення спелеосанаторію Української алергологічної лікарні МОЗ України та обласної лікарні, діяльність яких була безпосередньо пов'язана з гірничими виробками діючих соляних шахт, втрачено унікальну низькофоновою лабораторію з вивчення елементарних частинок Інституту фізики НАН України.

На теперішній час на території родовища продовжуються небезпечні техногенно-геологічні процеси, які поширюються за межі гірничого відводу рудників (Яковлев та ін., 2016). Серед них виділяються карстово-суфозійні процеси, що активно проявляються в районі шахт № 7–9 (рис. 1). Так, у межах західного флангу поля шахти № 8 у квітні 2015 р. утворилося провалля площею 5,5 тис. м<sup>2</sup>, об'ємом понад 200 тис. м<sup>3</sup>, у травні 2016 р. великий провал стався на північному крилі структури над західним флангом поля шахти № 9. Руйнування відпрацьованого простору призводить до катастрофічних просідань

земної поверхні з негативним впливом на стан поверхневих споруд, існуючу інфраструктуру селища. Наприклад, наприкінці літа 2017 р. в одну із резервних діючих свердловин місцевого водозабору стала надходити мінералізована вода, позбавивши КП «Солотвинський водоканал» резервів питного водопостачання у посушливі місяці. Крім того, порушення ландшафту, його деградація в результаті неконтрольованого розвитку соляного карсту, забруднення поверхневих та підземних вод – все це дає підстави сусіднім країнам турбуватися з приводу загроз транскордонного погіршення екологічних параметрів стану масиву вод р. Тиса.

Попередні дослідження за участі науковців Інституту геологічних наук НАН України були зосереджені на виявленні та описі небезпечних геологічних процесів природного та природно-техногенного характеру в межах сел. Солотвина, їх картуванні, аналізі та ранжируванні в рамках реалізації проекту ImProDiReT-783232 (2018–2020 рр.) за підтримки Генерального Директорату Європейської комісії з питань цивільного захисту та гуманітарної допомоги DG ECHO. Продовження досліджень в цьому напрямі став міжнародний грантовий проект HUSKROUA/1702/6.1/0072 «Екологічна оцінка можливостей відновлення природних ресурсів у Солотвин з метою запобігання подальшому забрудненню басейну Верхньої Тиси через підготовку комплексної системи моніторингу РЕВІТАЛ 1 / REVITAL I» (2019–2023 рр.), у рамках якого виконувалися роботи, представлені в статті. Основною метою реалізації проекту РЕВІТАЛ 1 є розробка схеми системи комплексного моніторингу, одним із ключових елементів якої має стати постійнодіюча гідродинамічна модель. Викладене вище зумовлює необхідність побудови сучасної гідрогеологічної моделі території, що дозволить спрогнозувати напрямки та швидкість руху прісних і засолених підземних вод у часі з метою запобігання забрудненню басейну Верхньої Тиси.

## Матеріали і методи

Для створення модернізованої гідродинамічної моделі системи підземного водообміну (схематизації природних умов) використано вихідні дані створеної попередньої гідродинамічної моделі (Шестопалов та ін., 2008; Стеценко та ін., 2021) та уточнену базу інтеграційну геологічну модель

Солотвинського родовища кам'яної солі (Шехунова та ін., 2015). Була використана раніше розроблена комплексна літологічна модель Солотвинської солянокупольної структури на основі аналізу архівних даних геологічних розрізів четвертинних відкладів 407 свердловин, пробурених у межах Солотвинського родовища кам'яної солі за період з 1922 по 2020 р. (Шехунова та ін., 2021). Модель включає побудовані із застосуванням ПС-технологій за значеннями окремих точок (свердловин) узгоджені математичні моделі границь та товщини перекриваючої соляне тіло осадової формації: потужності валунно-галечникових порід над Солотвинською солянокупольною структурою; модель потужності «палагу» над Солотвинською солянокупольною структурою; загальні потужності перекриваючих відкладів над Солотвинською солянокупольною структурою; підшви четвертинних відкладів («палаг» та гравій). Для створення геофільтраційної моделі території Солотвинського родовища було використано програмний комплекс MODFLOW з графічною оболонкою ModelMuse (Winston, 2022), який являє собою систему моделювання фільтрації та міграції підземних вод.

## Загальні відомості про район робіт та родовище

Солотвинське родовище кам'яної солі розташоване в південно-східній частині Закарпатської області, у Тячівському адміністративному районі, на правому березі р. Тиса в антиклінальній структурі з діапіровим соляним ядром протикання.

Перші відомості про геологічні та гідрологічні умови Солотвинського родовища були отримані угорськими і чеськими геологами (Коростовоць, 1957).

Рельєф ділянки родовища є ступінчасто-терасовим (рис. 1, А). Саме родовище розташоване в межах другої і частково першої надзаплавної тераси. Ці тераси розділені уступом висотою 25–30 м. Північно-західна частина родовища (Затон) – це рівнина з озерами глибиною 0,5–7 м. Загальний обсяг води в озерах становить 60,7 тис. м<sup>3</sup> при середній мінералізації 132 г/дм<sup>3</sup>.

На режим Тиси, головної водної артерії місцевості, впливає річний хід опадів. Максимальна витрата води в річці, за даними гідропосту в Рахові, сягає 630–1500 тис. м<sup>3</sup>/добу, а мінімальна – 14,4–18 тис. м<sup>3</sup>/добу.

Безпосередньо вздовж соляного купола з північного сходу на південний захід течуть струмки Глод та Извор, що дренують поверхневі та шахтні води. Дебіт Извору залежить в основному від кількості води, що скидається з шахт, і коливається в межах 0,025–0,58 тис. м<sup>3</sup>/добу при мінералізації 0,096–18,1 г/дм<sup>3</sup>.

Поверхневі води з території родовища струмками Глод та Извор повністю не відводяться. Наявність численних давніх виробок і карстові процеси створили кілька безстічних ділянок, найбільшими з яких є болото Чорний Мочар площею близько 150 тис. м<sup>2</sup>, місце давнього просідання в районі старої шахти № 7 площею близько 70 тис. м<sup>2</sup> і ділянка в північно-західній частині поля (район Затону) площею 400 тис. м<sup>2</sup> (Коростовоць, 1957).

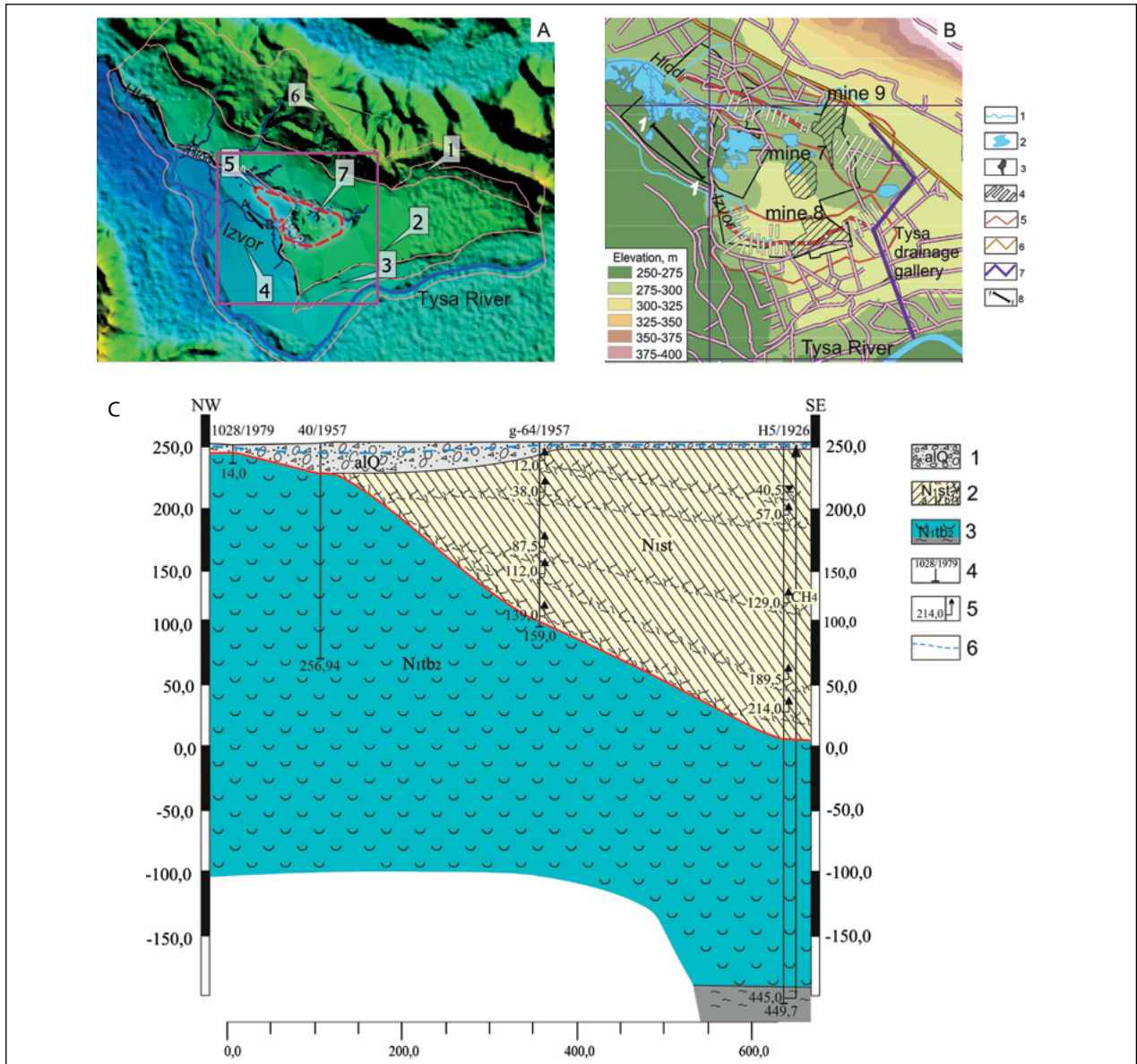
## Геологічна будова району

Солотвинський соляний діапір розташований в центральній частині Солотвинської западини, яка є східним кінцем Закарпатського внутрішнього прогину. Характерною особливістю Солотвинської западини є потужний розвиток міоценових утворень. Фундамент западини складений дислокованими домезозойськими, тріасовими, юрськими, крейдовими та палеогеновими відкладами потужністю понад 1000 м. Осадовий чохол досліджуваної території складають утворення квартеру та неогену (рис. 1, С).

**Четвертинна система** представлена в основному алювіальними відкладами р. Тиса. Алювіальні відклади ( $alQ_{IV}$ ) заплавної тераси розповсюджені в вигині р. Тиса і простежуються у вигляді смуги шириною 700–1200 м і завдовжки 5000 м (див. рис. 1, А). Ці відклади представлені валунами і крупною галькою з домішкою піску, глини і гравію, місцями до 50 % за обсягом. При контакті з корінними відкладами іноді трапляються лінзи глини і пісків. Потужність заплавних алювіальних відкладів – 430 м, у середньому близько 10 м (Елизаров, 1955; Шупиков, 1970; Русиняк, 2015).

Відклади першої надзаплавної тераси ( $alQ_{III}$ ) залягають у вигляді смуги шириною не більше 200–400 м. Вони представлені середньою і крупною галькою. Товщина цих відкладів у діапазоні 2–8 м.

Відклади другої надзаплавної тераси ( $alQ_{II}$ ) займають центральну частину території досліджень



**Рис. 1, А.** Тривимірний рельєфний моделювання сел. Солотвина: 1 – відклади третьої надзаплавної тераси ( $alQ_3$ ); 2 – відклади надзаплавної тераси ( $alQ_{II}$ ); 3 – відклади надзаплавної тераси ( $alQ_{III}$ ); 4 – алювіальні відклади заплавної тераси ( $alQ_{IV}$ ); 5 – контур соляного штоку по поверхні алювіальних відкладів; 6 – хребет Магура; 7 – солоні озера

**Рис. 1, В.** Загальна схема території Солотвинського родовища: 1 – річка, струмки; 2 – солоні озера; 3 – вулиці; 4 – шахтні поля; 5 – контури підземних виробок; 6 – водовідвідні споруди; інфраструктура: дороги, вулиці, шляхопроводи, залізничні колії, 7 – водовідвідна споруда «Тиса-штольня»; 8 – лінія розрізу геолого-гідрогеологічної схеми (1-1) південного схилу центральної частини Солотвинської солянокупольної структури

**Рис. 1, С.** Геолого-гідрогеологічна схема південного схилу центральної частини Солотвинської солянокупольної структури: 1 – четвертинні відклади, валунно-галечникові відклади; 2 – солотвинська світа, перешарування аргілітів, пісковиків та туфів (а – щільні, b – тріщинуваті); 3 – тереблінська світа, кам'яна сіль з прошарками аргілітів, пісковиків; 4 – свердловина, її номер та рік буріння; 5 – глибина розкриття тріщинних напірних вод солотвинської світи; 6 – рівень ґрунтових вод

**Fig. 1, A.** Three-dimensional relief model of Solotvyn settlement: 1 – sediments of the third floodplain terrace ( $alQ_3$ ); 2 – alluvial sediments of the floodplain terrace ( $alQ_{II}$ ); 3 – alluvial sediments of the  $alQ_{III}$  terrace; 4 – alluvial sediments of the Tysa floodplain terrace ( $alQ_{IV}$ ); 5 – contour of the salt dome on the surface of alluvial sediments; 6 – Mahura ridge; 7 – salt lakes

**Fig. 1, B.** General scheme of the Solotvyn deposit area: 1 – river, streams; 2 – salt lakes; 3 – streets; 4 – mine fields; 5 – contours of mines; 6 – drainage facilities; infrastructure: roads, streets, overpasses, railway tracks; 7 – drainage facility “Tysa-gallery”; 8 – section line of the geological and hydrogeological scheme (1-1) of the southern slope of the central part of the Solotvyn salt dome structure

**Fig. 1, C.** Geological and hydrogeological scheme of the southern slope of the central part of the Solotvyn salt dome structure: 1 – Quaternary sediments, pebble and gravel sediments; 2 – Solotvyn Formation, interlayers of mudstones, sandstones and tuffs (a – dense, b – fractured); 3 – Tereblyanska Formation, rock salt with interlayers of mudstones and sandstones; 4 – well, number and year of drilling; 5 – depth of fractured pressure water of Solotvyn Formation; 6 – water table



та залягають смугою шириною 500–2200 м. Ці відклади представлені галькою і гравієм з шарами піску. Потужність сягає 20–30, іноді – до 60 м.

Відклади третьої надзаплавної тераси ( $alQ_3$ ) приурочені до південного схилу хребта Магура і складені галькою з крупнозернистим піском потужністю до 10 м.

**Неогенова система (міоцен).** У районі розташування затопленого Солотвинського соляного рудника розроблялися поклади солевмісної формації тортонського ярусу (тереблінська формація).

Тектонічно область досліджень являє собою брахіантиклінальну складку, шарнір якої витягнутий в північно-західному напрямку паралельно лінії розлому, по якій розвинена велика частина солянокупольної структури Солотвинської западини (Селянчин, 1986). Падіння гірських порід південно-західних і північно-східних крил складки біля ядра знаходиться в межах 30–45°. У міру відходу від контакту з сіллю кути падіння зменшуються. Так, на відстані 500–700 м від соляного контура кути падіння скорочуються до 15–20°, а на відстані 1500 м – до 3–4° і менше (Елизаров, 1955; Китык, 1983). При контакті солі з вміщуваними породами спостерігаються зони дроблення і брекчії. Крім основної структури, існують складки другого, третього та більшого порядку. Від контакту соляного тіла з вміщуваними породами відходять невеликі розломи, встановлені в основному за гідрогеологічними дослідженнями (Шупиков, 1970; Селянчин, 1986).

У північно-західній частині периклінального замикання складки геофізичними методами (Привалов, Панова, 2008; Шакін, 2010; Йосипенко, 2014; Русиняк, 2015) встановлено ряд радіальних розломів, а також складок, закладених поперек осі основної структури.

### Гідрогеологічні умови

Гідрогеологічні особливості родовища описано в низці звітів (Коросташовець, 1957; Фролов, 1971; Піталенко, 2008; Привалов, Панова, 2008; Тиркель и др., 2009 та ін.).

**Підземні води в алювіальних відкладах четвертинного віку.** Основним джерелом затоплення гірничих виробок родовища є надсолевий водоносний комплекс у четвертинних алювіальних відкладах, який розподілений по всій площі купола.

У четвертинних відкладах центральної і північно-західної частин родовища виявлено чотири водоносних горизонти (в алювіальних відкладах заплави, перша, друга і третя надзаплавні тераси Тиси), які гідравлічно пов'язані між собою (Фролов, 1971).

**Горизонт підземних вод у відкладах заплавної тераси** поширений у південно-західній частині родовища в долині Тиси, яка, утворюючи вигин, відходить від свого кореневого берега майже на 2 км. Абсолютні відмітки поверхні заплавної тераси, що частково захоплює родовище, знаходяться в межах 255–257 м і уступом 2 м піднімаються над урізом русла р. Тиса. Ґрунтові води заплави Тиси приурочені до гальки з високою фільтраційною проникністю. У підшві галечника залягають тортонські аргіліти і пісковики. Глибина до води становить 0,52 м. Висота берега Тиси сягає 2 м, а висота паводків – 4 м і більше. Тому в Затоні було побудовано захисну дамбу. За даними відкачок з одиничних свердловин, водопровідність заплавної галечників знаходиться в межах 500–1000 м<sup>2</sup>/добу. Водоносний горизонт заплавної тераси живиться за рахунок інфільтрації атмосферних опадів та транзитним стоком р. Тиса під час повеней (Фролов, 1971).

**Горизонт підземних вод першої надзаплавної тераси** поширений в південно-західній частині родовища, де безпосередньо покриває частину соляного купола. Потужність горизонту в середньому становить 5–10 м. Максимальна потужність горизонту (до 30 м) спостерігається біля Солоних озер. Відклади першої надзаплавної тераси представлені галькою, яка підстилається тортонськими аргілітами з прошарками пісковиків. За даними відкачок з одиничних свердловин, водопровідність галечникових відкладів першої надзаплавної тераси знаходиться в межах 50–200 м<sup>2</sup>/добу. Водоносний горизонт живиться за рахунок інфільтрації поверхневих вод і припливу води з другої тераси, а дронується нижньою частиною відповідного каналу «Тиса-штольня» та джерелами, розташованими вздовж берега р. Тиса.

Загалом, у межах Солотвинського родовища пройдено понад 18 000 м водовідвідних споруд. З них у районі Затону та старих шахт – майже 6100 м (завалені до 1946 р.), у районі шахти № 7 – понад 1850 м (функціонували до 1955 р.), у районі шахти № 8 – близько 5800 м, у районі шахти № 9 – понад 1650 м, у західній частині

родовища – майже 2600 м. Більшість водовідвідних споруд закладено до 1940 р., а найбільш вдалу «Тису-штольнію» – у 1904 р. На початок 1990-х років функціонувало близько 7000 м споруд (Селянчин, 1995).

*Горизонт ґрунтових вод другої надзаплавної тераси* відіграє велику роль в обводненні більшої частини Солотвинського родовища. Горизонт представлений галечниками з пісками та валунами з великою кількістю тонкозернистого матеріалу. Глибина до дзеркала ґрунтових вод становить 0,8–6,0 м. Уздовж «Тиси-штольні» галечники другої тераси майже повністю здреновані. Тут рівень ґрунтових вод знаходиться на глибині 14,5–16,5 м. Потужність горизонту в межах родовища сягає від 10 до 50 м і більше. За даними відкачок з одиничних свердловин, водопровідність глинистого галечника другої тераси знаходиться в межах 1–15 м<sup>2</sup>/добу (Коростошовець, 1957; Фролов, 1971). Основним джерелом поповнення водоносного горизонту є інфільтрація поверхневих вод по величезній площі тераси і приплив з водоносного горизонту третьої тераси. Над склепінням соляного купола родовища водоносний горизонт відділений від солі шаром щільних глин середньою потужністю 10–12 м, які в природних умовах надійно ізолювали соляне тіло від прісних вод четвертинного горизонту. В даний час цей водотривкий шар у деяких місцях було ліквідовано гірничими роботами, в результаті чого активізувалися карстові процеси та аномальні припливи води в гірничі виробки.

*Горизонт, приурочений до галечників третьої надзаплавної тераси* Тиси, розташований на південному схилі Магурського хребта. Потужність горизонту дорівнює 4–6 м. Ґрунтові води цього горизонту розвантажуються у вигляді джерел, розташованих на схилі хребта і в долині Тиси. Вони живляться атмосферними опадами і припливом води з корінних порід (тортонський комплекс). Відомості про відкачки з цього горизонту відсутні, але, судячи з дебітів джерел, водозбагаченість цього горизонту мала. Горизонт поширений поза межами родовища і на водоприпливи в гірські виробки родовища, вочевидь, практично не впливає.

З аналізу сучасних умов водообміну в надсоляних підземних водах алювіальних відкладів випливає, що їх природний режим руху сильно порушено гірничими виробками, карстовими проваллями.

### ***Підземні води в тортонських породах.***

Навколосольові води приурочені до зони контакту соляного купола з водовміщуючими породами тортонського комплексу. У тортонському комплексі підземні води трапляються в усіх літо-петрографічних відмінностях – туфах, туфітах, аргілітах, мергелях і пісковиках. Їх водозбагаченість визначається ступенем тріщинуватості. Безпосередньо в периферійних частинах родовища навколосольові води утворюються внаслідок інфільтрації атмосферних опадів, але основна зона живлення знаходиться в межах південно-західного схилу Карпат, звідки вони потрапляють через зони розломів у район родовища (Коростошовець, 1957).

За даними відкачок з одиничних свердловин, водопровідність порід у верхній частині товщі тортонського комплексу в зонах між диз'юнктивними тектонічними порушеннями знаходиться в межах 110 м<sup>2</sup>/добу, в зонах розривних тектонічних порушень – 100–200 м<sup>2</sup>/добу (Коростошовець, 1957; Фролов, 1971).

Карстові води в соляному масиві займають практично всю центральну частину родовища. Їх утворення пов'язане з просіданням експлуатаційних і дренажних виробок, які понизили рівень дренажу. Дренаж з виробок збільшив приплив прісних алювіальних вод у товщу кам'яної солі, що призвело до утворення карстових пустот та підземних вод, які заповнюють ці порожнини.

Карстово-суфозійні воронки поширені переважно в пухкому шарі гірських порід, що покривають сіль, і приурочені до тектонічних порушень і ділянок підземних виробок. Їх глибина становить 0,7–8 м, діаметр – 2–20 м. Дно більшості воронкок зазвичай покрито четвертинними відкладами або антропогенними утвореннями. Деякі карстові форми мають давнє походження і знаходяться в стабільному стані. Водозбагаченість карстового водоносного горизонту у соляних відкладах неогену на деяких ділянках досить висока. Живлення карстових вод у межах другої надзаплавної тераси Тиси відбувається внаслідок інфільтрації атмосферних опадів і дренажу алювіальних вод у карстові провалля. Води розвантажуються через дренажну систему та природним чином, потрапляючи в алювіальні відклади першої надзаплавної тераси у Затоні. Мінералізація карстових вод сягає 300 г/дм<sup>3</sup> (Селянчин, 1995).

Карстово-суфозійні процеси розвиваються в межах соляної діапирової дисгармонійної складки, територіально розташованої в південній та центральній частинах сел. Солотвина. Активний перебіг карстових процесів визначають надсолі (четвертинні осадові утворення), навколосольові (солотвинська та тересвинська світи) та внутрішньосольові (верхньотереблінська підсвіта) води. Поверхневі карстопрояви представлені суфозійно-карстовими й провальними воронками, колодязями, карстовими деформаціями просідання, нерівномірно розміщеними по тілу соляного штоку. Проте загальну кількість закартованих у ХХ ст. карстопроявів встановити неможливо через постійну відсіпку їх гравійно-галечниковим матеріалом. Крім того, до 2000-х років були наявні також останцеві карстові форми – соляні гриби і соляні скелі та спостерігався відкритий карст (Шехунова та ін., 2019; Shekhunova et al., 2019, 2021).

Вже на кінець 1990-х років тут нараховувалося 14 карстових воронок, карстово-суфозійними процесами було зруйновано стелени шахтних камер і атмосферні води отримали безпосередній доступ до покладів солі. Ослаблені зони крупних карстових провалів ускладнені численними деформаціями, представленими вертикальними багатоступінчастими тріщинами, що зумовлюють обвалення та формування карстових озер. З 2011 р. зафіксоване зростання водної поверхні озер, з подальшим їх злиттям (сучасна площа озер 10,2 тис. м<sup>2</sup>). За весь час експлуатації родовища регулярних режимних спостережень за карстовим масивом соляного штоку не проводилось, спостереження мали фрагментарний характер та в основному були приурочені до періодів активізації, що супроводжувалися зростанням водоприпливів у водовідливні виробки. За архівними матеріалами, тривалість періодів активізації становила 2–5 років, а періодів відносного затишшя – 1–10 років (Шехунова та ін., 2019).

### Схематизація природних умов

У 2008 р. групою авторів (Шестопапов та ін., 2008; Стеценко та ін., 2021) було створено гідрогеологічну модель Солотвинського родовища для попередньої оцінки стану обводнення родовища та гірничих виробок з метою розробки попередніх рекомендацій, спрямованих на міні-

мізацію впливу солевидобутку на навколишнє середовище. Авторами було виконано детальну схематизацію гідрогеологічних умов території та побудовано якісну математичну модель території досліджень. Єдиним фактором недосконалості цієї моделі було застосування при моделюванні багатопарової системи водоносних горизонтів передумови М'ятієва-Гіринського, згідно з якою у водоносних горизонтах моделі підземні води рухаються тільки горизонтально, а в роздільних слабкопроникних шарах – тільки вертикально. Таке припущення є цілком прийнятним для моделювання суто гідродинамічних умов території. Для кожного горизонту задається параметр водопровідності  $T$  (м<sup>2</sup>/добу), при цьому геометрична конфігурація водоносних горизонтів не має переважного значення. Такий підхід реалізовано у розрахунковому пакеті програми MODFLOW Block-Centered Flow (BCF), яким скористались автори. Варто зазначити, що для вирішення задач, які стояли перед розробниками попередньої моделі, цього було цілком достатньо.

Метою сучасної роботи є побудова такої гідродинамічної моделі, яка б стала основою для вирішення міграційних задач солепереносу у підземних водах за допомогою програми MT3D (MT3D-USGS: Groundwater Solute Transport Simulator for MODFLOW) (Bedekar et al., 2016). Для цього доцільно побудувати математичну фільтраційну модель на базі розрахункового пакета Layer-Property Flow (LPF), який є альтернативою пакетам BCF. Основною його відмінністю є те, що за допомогою пакета LPF задаються параметри горизонтального ( $K_h$ ) та вертикального ( $K_v$ ) коефіцієнтів фільтрації для кожного розрахункового шару моделі, включаючи роздільні слабкопроникні шари (Harbaug et al., 2017). Фактично немає різниці в математичному поданні між водоносними горизонтами та розділяючими їх слабкопроникними шарами, вони відрізняються тільки величиною параметрів коефіцієнтів фільтрації. Таким чином за допомогою пакета LPF вирішується фільтраційна задача в дійсно тривимірній постановці, а не в квазі-тривимірній, як це дозволяв попередній пакет BCF. Це зумовлює необхідність точного, наскільки це можливо, відображення геометрії розрахункових шарів (абсолютних відміток покрівлі і підшви водоносних горизонтів та роздільних водотривких шарів).

На жаль, наразі не існує можливості автоматичної конвертації між моделями, що були створені з використанням різних розрахункових блоків LPF та VCF. Тобто перехід до використання іншого розрахункового модуля вимагає створення практично нової фільтраційної моделі з відповідними гідрогеологічними параметрами та розв'язання серії обернених задач для обґрунтування відповідності математичної моделі природно-антропогенним умовам.

Обґрунтування фільтраційної схеми виконано на основі визначення загального характеру водообміну (інтенсивності, глибини, напрямків і т. д.) у сучасних гідрогеологічних умовах. Воно включало схематизацію структури і форми області фільтрації; фільтраційної неоднорідності об'єкта; граничних умов і основних джерел формування водообміну. При виконанні схематизації граничних умов моделі були проаналізовані та використані як основа дані попередніх робіт з вивчення території Солотвинського родовища (Шехунова та ін., 2015, 2019, 2021; Shekhunova et al., 2019, 2021; Стеценко та ін., 2021).

Перш за все на базі аналізу вихідних геологічних даних та уточненої інтеграційної геологічної моделі Солотвинської солянокупольної структури (детальної геологічної будови поверхні соляного штоку та літології надсолевих відкладів) (Шехунова та ін., 2015, 2021) була побудована концептуальна геологічна модель досліджуваної території. При цьому були враховані та схематизовані наступні водоносні горизонти та геологічні формації:

- водоносний горизонт четвертинних відкладів заплави р. Тиса та надзаплавних терас, представлених різноманітними валунно-галечниковими відкладами з різними зонами значень коефіцієнтів фільтрації;
- роздільний шар між четвертинними відкладами та ділянками соляного штоку, представлений темно-сірими глинами («палаг»);
- водоносний горизонт у карстових виходах солянокупольної структури під алювіальні відклади (кам'яна сіль перекрита «палагом» з гідравлічними «вікнами»);
- водоносний горизонт у перешаруваннях тріщинуватих аргілітів, пісковиків, туфів (солотвинська світа) (рис. 2);
- практично водонепроникна структура – соляний шток (кам'яна сіль світло-сіра та сіра тереблінської формації).

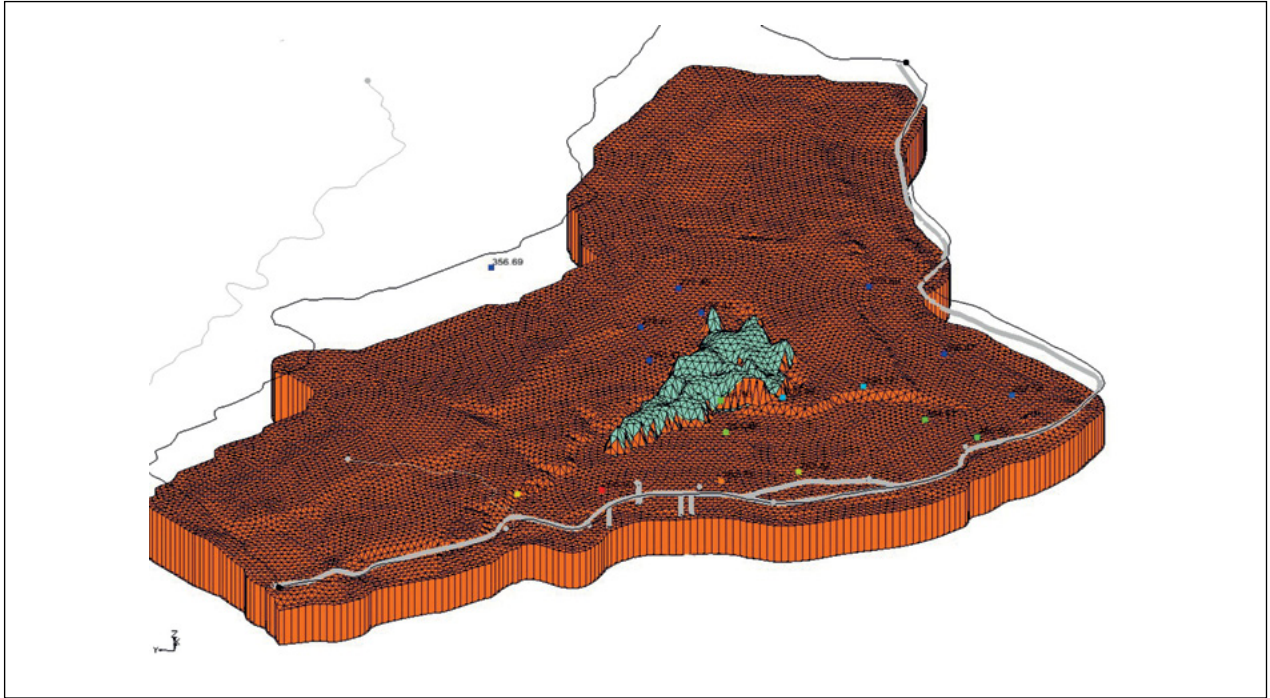
Результатом цього етапу роботи стали цифрові карти і числові масиви відміток поверхні землі, покрівлі та підшви водоносних горизонтів та роздільних шарів, абсолютні відмітки рівнів у поверхневих водотоках (р. Тиса, карстові форми, солоні озера та струмки).

Для побудови поверхні землі були використані дані супутникової тривимірної цифрової моделі Землі та карти SRTM3 (Gesch et al., 1999), а також геоморфологічна модель Солотвинської солянокупольної структури та прилеглих територій (Шехунова та ін., 2015; Shekhunova et al., 2021).

Застосування в роботі сучасних геоінформаційних технологій дозволило оптимізувати процеси створення і введення масивів вихідних даних у систему моделювання. Дані цих цифрових карт використовувалися в подальшому для обліку просторової неоднорідності основних гідрогеологічних параметрів водоносних горизонтів.

Для обґрунтування контурів та граничних умов моделі за допомогою цифрової моделі рельєфу були побудовані лінії вододілів. Границі моделі в основному вибиралися вздовж вододілів гірського Магурського хребта та контура р. Тиса. Це є відмінністю від попередньої моделі Солотвинського родовища, яка охоплювала більшу площу ділянки межиріччя Тиса-Апшиця з гірським хребтом. Розрахункова сітка була створена в межах вибраного контура. Площа модельної області становить 24,6 км<sup>2</sup>. Розмір розрахункових блоків змінюється від 50 м по площі моделі до 25 м для апроксимації річок та території, прилеглої до соляного діяпіру, що потребують більш детального вивчення. Схему розрахункової сітки та граничних умов (ГУ) моделі наведено на рис. 3.

Водоносний комплекс четвертинних відкладів був схематизований як перший від поверхні безнапірний водоносний горизонт з граничною умовою другого роду ГУ-2 (непроникна границя по вододілу Магурської гряди). На р. Тиса задано граничні умови третього роду ГУ-3 (модуль RIVER). Коефіцієнти фільтрації підруслових відкладів дорівнюють  $K_0 = 0,55$  м/добу, абсолютні позначки рівнів у річці визначені по топографічних картах та супутниковій тривимірній моделі рельєфу Землі. Коефіцієнти фільтрації  $K$  (м/добу) задавалися відповідно з виділеними за результатами



**Рис. 2.** Тривимірний геологічний моделювання водонасиченого горизонту у перешаруваннях тріщинуватих аргілітів, пісковиків, туфів (солотвинська світа) з солянокупольною структурою

**Fig. 2.** Three-dimensional geological model of the aquifer in interbedded fractured mudstones, sandstones, tuffs (Solotvynska Suite) with salt-dome structure

геоморфологічного аналізу супутникової тривимірної моделі рельєфу по зонах заплави, надзаплавних терас та вододілів у діапазоні від 0,1 м/добу в районі гірських схилів до 100 м/добу в районі поширення добре промитих галечникових відкладів у заплаві р. Тиса. Детальний опис величин коефіцієнтів фільтрації буде надано у розділі, присвяченому розв'язанню обернених задач.

Роздільний шар між четвертинними відкладами та ділянками соляного штоку, представлений темно-сірими глинами («палаг»), був схематизований як другий від поверхні водонасичений горизонт, що може бути автоматично конвертований з напірного до безнапірного стану та навпаки (convertible). Зона поширення горизонту відповідає контуру соляного штоку. Коефіцієнт фільтрації було задано у межах 0,0001 м/добу. Наявність зон підвищеної водопровідності враховувалась при моделюванні автоматично за рахунок коливання потужності «палагу» відповідно до змін абсолютних відміток покрівлі та підшви цих відкладів.

Водонасичений горизонт у карстових виходах солянокупольної структури під алювіальні відклади та «палаг» був схематизований як

третій від поверхні водонасичений горизонт, що може бути автоматично конвертований з напірного до безнапірного стану та навпаки (convertible). Зона поширення горизонту відповідає контурам розповсюдження соляного штоку. Немає достовірних даних про величину коефіцієнта водопровідності солянокарстового водонасиченого горизонту. За даними попередніх робіт (Шестопапов та ін., 2008; Стеценко та ін., 2021), ця величина задавалася в діапазоні 0,1–10 м/добу.

Водонасичений горизонт у перешаруваннях тріщинуватих аргілітів, пісковиків, туфів (солотвинська світа) та соляний шток (кам'яна сіль світло-сіра та сіра тереблінської світи) були задані на моделі у вигляді одного розрахункового горизонту із різними значеннями гідрогеологічних параметрів. В зоні поширення практично водонепроникних соляних відкладів коефіцієнт фільтрації дорівнював 0,0001 м/добу. Для тріщинуватих аргілітів, пісковиків, туфів цей параметр становив 0,01 м/добу.

Величина інфільтраційного живлення визначена за результатами попереднього аналізу вихідної інформації по району робіт. Вона була задана на першій від поверхні водонасичений горизонт.



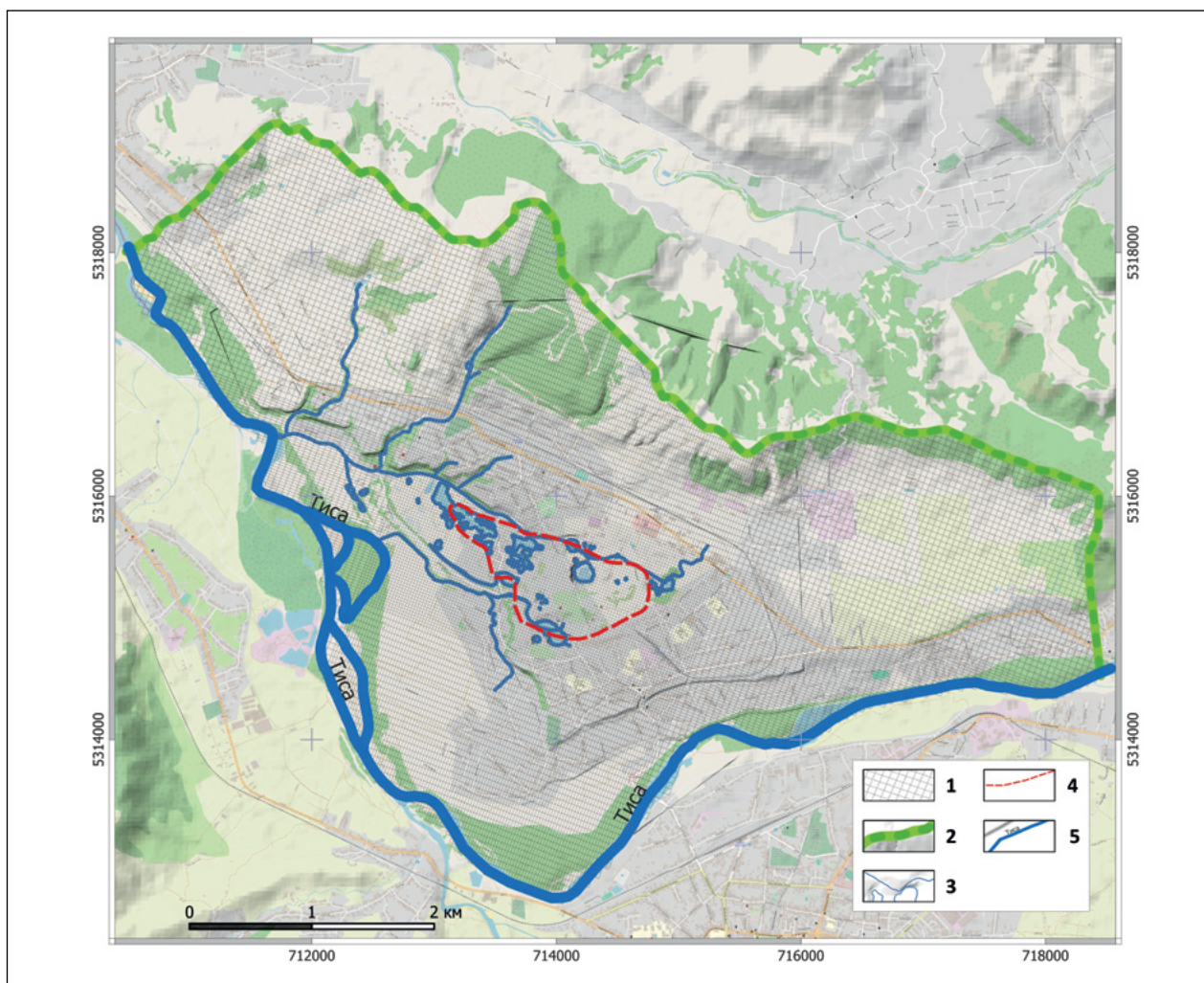
Відповідно до попередньо виконаної геоморфологічної зональності його величина коливалась у діапазоні 200–250 мм/рік.

Гідрологічні елементи представлені болотами, озерами, струмками (найбільші з них Ізвор, Глюд, Млинський, Банський, Малий Солотвин) були схематизовані як граничні умови третього роду ГУ-3 (модуль DRAIN). Коефіцієнти фільтрації підруслових відкладів дорівнюють  $K_0 = 0,55$  м/добу, абсолютні позначки рівнів у струмках та водоймах визначені по топографічних картах та супутниковій тривимірній моделі рельєфу Землі.

Водозабірні свердловини, що використовуються для водопостачання Солотвина, були схематизовані як граничні умови другого роду з постійним від'ємним дебітом. Дані по величині

водовідбору на сучасний період часу потребують уточнення. Значення водовідбору, заданого на моделі по водоносному горизонту четвертинних відкладів, були запозичені з попередніх робіт (Фролов, 1971; Шестопалов та ін., 2008; Стеценко та ін., 2021). У подальшому створена концептуальна модель була конвертована у тривимірну розрахункову сітку з формуванням відповідних цифрових масивів гідрогеологічних параметрів та геометрії водоносних горизонтів.

Таким чином, було створено попередню математичну гідрогеологічну модель території Солотвинського родовища, яка цілком придатна для проведення розрахункових експериментів, але потребує коригування вихідних модельних параметрів під час розв'язання обернених задач.



**Рис. 3.** Карта граничних умов і просторової дискретизації моделі: 1 – розрахункова сітка моделі; 2 – граничні умови другого роду; 3 – граничні умови третього роду – дрена (струмки й озера); 4 – контур соляного штоку по поверхні алювіальних відкладів; 5 – гранична умова третього роду (р. Тиса)

**Fig. 3.** Map of boundary conditions and spatial model discretization: 1 – model grid; 2 – boundary conditions of the second type; 3 – boundary conditions of the third type – drainage (streams and lakes); 4 – contour of the salt dome on the surface of alluvial sediments; 5 – boundary condition of the third type (Tysa River)

### Розв'язання оберненої (зворотної) фільтраційної задачі на сучасний період

Для перевірки відповідності створеної математичної моделі природним гідрогеологічним умовам об'єкта досліджень було виконано розв'язання кількох обернених задач для уточнення розрахункових параметрів.

За результатами моніторингових досліджень, що проводилися в період липень–листопад 2021 р. партнерами в рамках реалізації проекту Ревітал 1 (Університет Мішкольца, Угорщина), були отримані дані режимних спостережень (всього 15 свердловин) за рівнями підземних вод четвертинного водоносного горизонту (див. таблицю). Ці дані використані в якості «контрольних точок» для збігу модельних розрахункових та натурних рівнів підземних вод.

Коефіцієнти фільтрації порід четвертинного водоносного комплексу змінювалися і підбиралися на моделі до фактичних відміток рівнів підземних вод у спостережних свердловинах станом на вересень 2021 р. Варто зазначити, що амплітуда коливання рівнів підземних вод за вказаний період часу лежить в діапазоні від 0,6 до 3 м (для більшості свердловин – близько 0,8–1,0 м). Окрім того, рівень в р. Тиса може зазнавати значних змін у різні періоди часу. Амплітуда коливань рівнів у річці може досягати 2 м у випадку сильного паводку. Тому для розв'язання обернених задач була прийнята допустима точність збігу модельних розрахункових та натурних рівнів підземних вод у діапазоні 1 м.

Розв'язання стаціонарної оберненої задачі було проведено із використанням універсального математичного пакета розв'язання інверсних задач PEST (Model-Independent Parameter Estimation) (Doherty, 2015).

В ході розв'язання оберненої стаціонарної задачі були виділені зони четвертинного водоносного горизонту із змінними коефіцієнтами фільтрації відповідно до геоморфологічної будови території, тобто враховувалися заплава та надзаплавні тераси р. Тиса. Додатково в якості параметра, який підбирався, був заданий коефіцієнт фільтрації роздільного шару між четвертинним водоносним горизонтом та карстово-тріщинним горизонтом соляного штоку («палагу»). Карта зон визначених параметрів та їх оптимізованих значень наведена на рис. 4. Отримані

в ході розрахункових експериментів за допомогою програми PEST результати подані у таблиці.

В результаті багатоваріантного розв'язання оберненої задачі абсолютні похибки модельних рівнів підземних вод у цілому не перевищують 1 м (рис. 5; 5, B), що, як було зазначено вище, є цілком прийнятним результатом. Просторовий розподіл «контрольних точок» по території, що моделювалася, охоплює зони терас і заплави р. Тиса та зону розповсюдження соляного штоку (рис. 5, A), тобто достовірність отриманих результатів розподілу рівнів підземних вод першого від поверхні водоносного горизонту можна вважати достатньо вірогідною. На жаль, немає достовірних моніторингових даних про інші водоносні горизонти, що були задані на моделі. Тому їх основні гідрогеологічні параметри не змінювалися в ході розв'язання оберненої задачі відносно заданих на етапі первинної схематизації моделі.

Крім того, паралельно із розв'язанням оберненої задачі одним з важливих завдань є дослідження чутливості моделі до зміни тих чи інших гідрогеологічних параметрів, що дозволяє більш цілеспрямовано досягати функціональної відповідності моделі природним умовам. При визначенні вказаного вище набору параметрів також аналізувалася чутливість моделі до їх зміни. Були розглянуті такі варіанти змін гідрогеологічних параметрів: зональні зміни параметра коефіцієнта фільтрації водоносного горизонту четвертинних відкладів відповідно до прийнятої модельної схематизації (перший горизонт) та роздільного шару «палагу» (другий горизонт). Результати дослідження чутливості моделі показують (рис. 5, C), що модельні рівні у четвертинному водоносному горизонті найбільш чутливі до зміни фільтраційних параметрів другої надзаплавної тераси (зона 1), заплави р. Тиса (зона 70) та першої надзаплавної тераси (зона 5). Це цілком логічно з гідрогеологічної точки зору, оскільки саме на цій території відбувається транзит підземного стоку в р. Тиса. Чутливість моделі до зміни фільтраційних властивостей «палагу» дуже низька. Але це пов'язано, скоріше за все, з тим, що всі «контрольні точки» знаходяться в першому від поверхні водоносному горизонті. Якщо з'являться додаткові дані по інших горизонтах, то це безумовно змінить ситуацію на краще та дозволить уточнити додаткові параметри моделі по інших горизонтах.

Таблиця. Результати визначення коефіцієнтів фільтрації Кф (м/добу) при розв'язанні оберненої задачі  
 Table. Results of hydraulic conductivity (K, m/day) estimation by solving of inverse problem

Варіант	Модельна похибка	Зона 22	Зона 1	Зона 70	Зона 5	Зона 211
1	2645,3	0,1	0,2	50	3	0,001
2	2486,6	0,06	0,22	50,78	3,05	0,00020
3	2011,6	0,01	0,27	53,36	3,23	0,00020
4	610,8	0,01	0,65	68,15	4,14	0,00020
5	40,7	0,01	2,04	100,00	5,24	0,00020
6	38,3	0,05	2,06	100,00	5,20	0,00023
7	35,2	0,05	2,11	100,00	5,15	0,00027
8	19,5	0,05	2,78	100,00	4,64	0,00027
9	19,4	0,05	2,83	100,00	4,53	0,00027

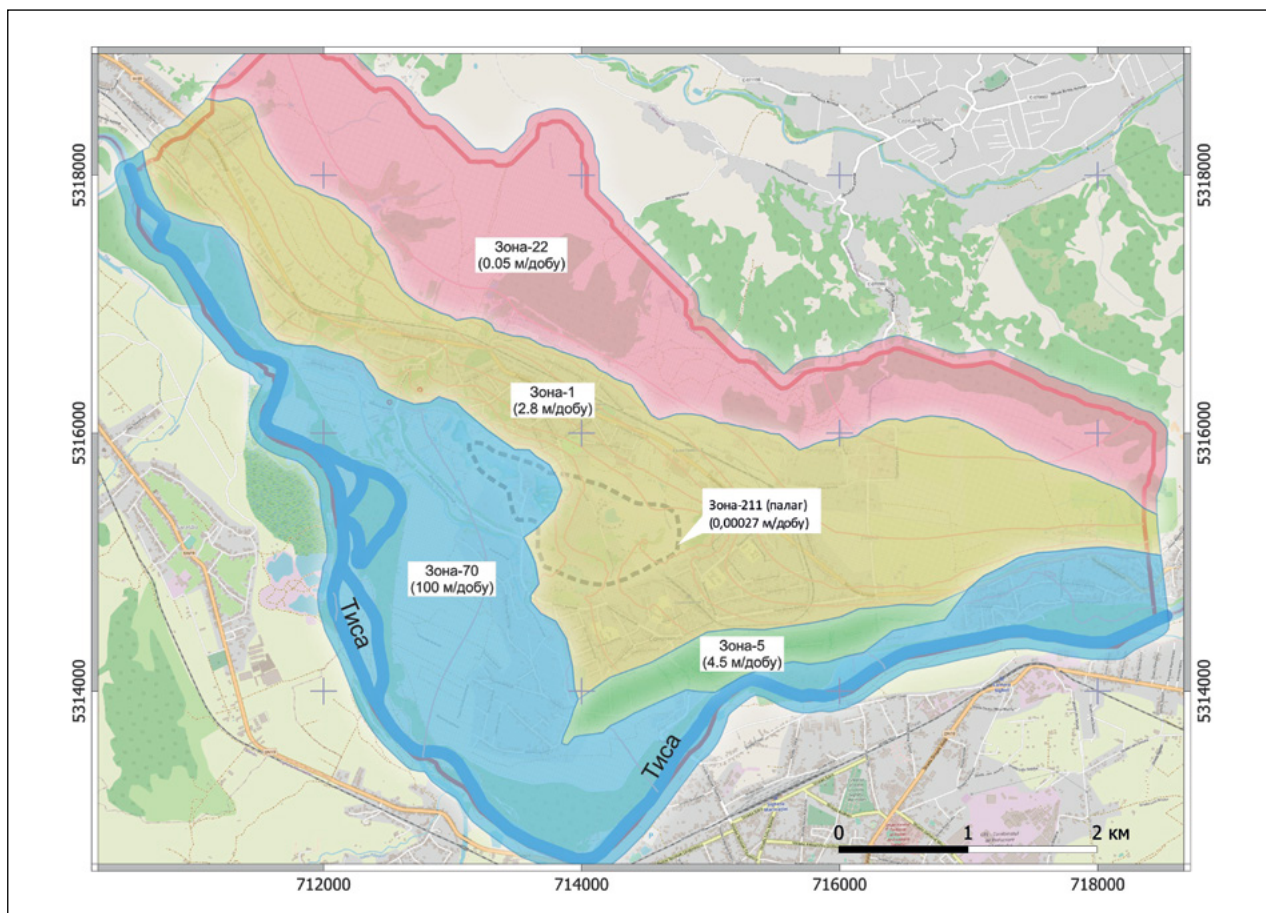
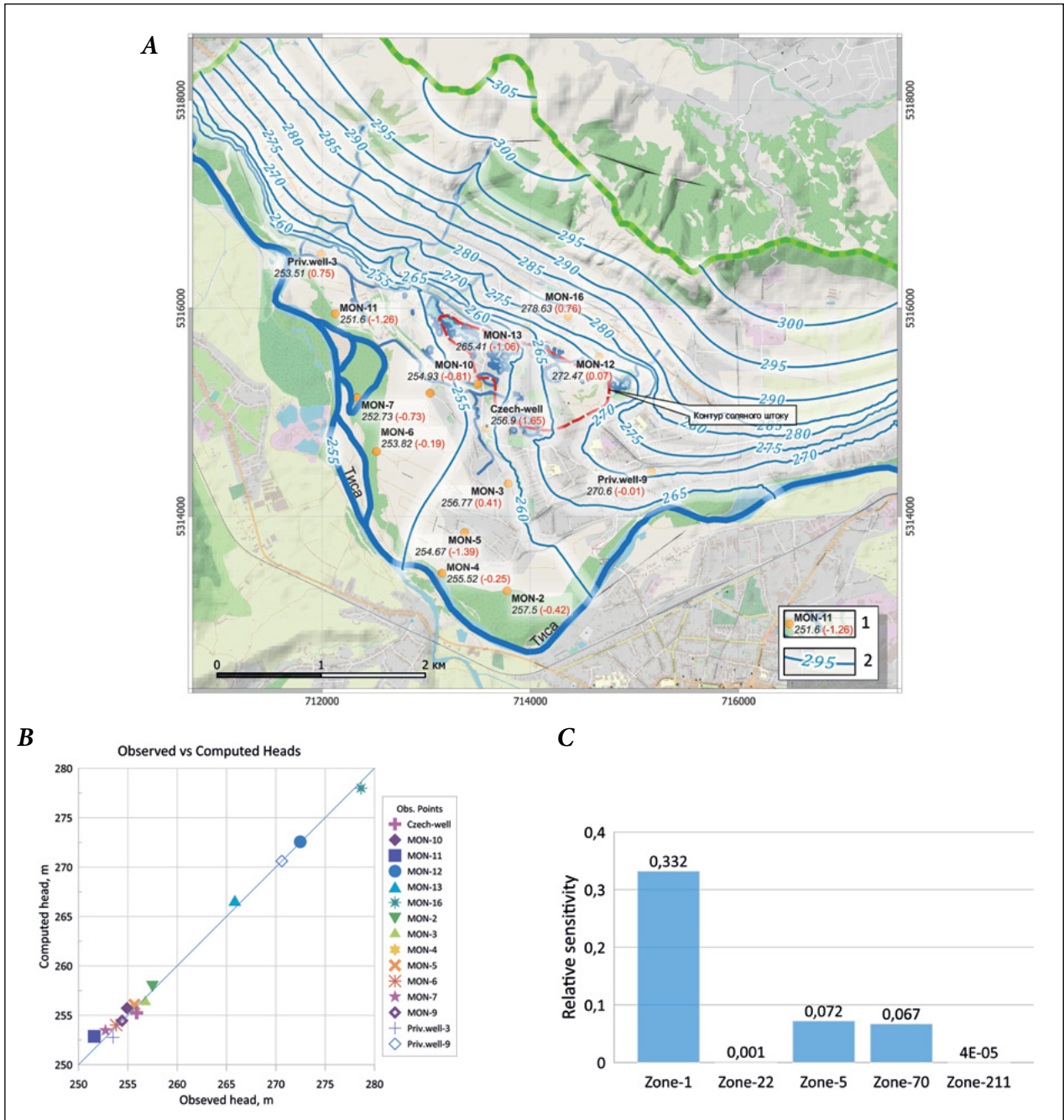


Рис. 4. Карта зональності параметра коефіцієнта фільтрації водоносного горизонту четвертинних відкладів та «палагу» (зона 211, другий горизонт) за результатами розв'язання стаціонарної оберненої задачі

Fig. 4. Map of zonation of the hydraulic conductivity of the Quaternary aquifer and the "palah" (zone 211, second horizon) based on the model calibration results





**Рис. 5, А.** Карта гідроізогіпс модельних рівнів водоносного горизонту четвертинних відкладів за результатами розв'язання стаціонарної оберненої задачі: 1 – моніторингова свердловина, зверху – назва та номер свердловини, знизу – натурний рівень підземних вод, у дужках червоним кольором – різниця між натурним та модельним значенням рівня; 2 – гідроізогіпси модельних розрахункових рівнів підземних вод першого від поверхні водоносного горизонту четвертинних відкладів

**Рис. 5, В.** Результати розв'язання оберненої стаціонарної задачі за даними моніторингу підземних вод (за період червень-листопад 2021 р.)

**Рис. 5, С.** Діаграма значень відносної чутливості модельних розрахункових рівнів водоносного горизонту четвертинних відкладів до зміни зональних коефіцієнтів фільтрації за результатами розв'язання стаціонарної оберненої задачі

**Fig. 5, A.** Map of hydraulic head contours of the Quaternary aquifer based on the steady-state inverse problem solution results: 1 – monitoring well, top – name and number of the well, bottom – observed groundwater head value; difference between observed and model calculated values in red brackets; 2 – contours of model calculated hydraulic head of Quaternary aquifer

**Fig. 5, B.** Model calibration result based on groundwater monitoring data (June–November 2021)

**Fig. 5, C.** Diagram of the relative sensitivity of the model hydraulic heads of the Quaternary aquifer to hydraulic conductivity zonal changes based on the results of inverse problem solution

Отже, на підставі викладеного вище можна зробити висновок, що, незважаючи на деякі недоліки та неточності, що зумовлені самою математичною та феноменологічною суттю процесу створення моделей, основна мета розв'язання оберненої стаціонарної задачі виконана. Гідродинамічна ситуація, що відтворена на моделі, задовільно відображає природні умови. Модель в цілому можна рекомендувати для застосування при вирішенні практичних задач.

### Прогнозне моделювання

З метою врахування можливого розповсюдження соляних розсолів та їх впливу на якість ґрунтових вод на території, прилеглої до соляного штоку, були проведені розрахунки дійсної швидкості фільтрації підземних вод та ліній течії просування інертного забруднювача за допомогою програми MODPATH (Pollock, 2016).

Результати попереднього моделювання показують (рис. 6), що час просування інертного забруднювача від контура розповсюдження соляного штоку до р. Тиса становить приблизно 2–3 роки.

Варто зазначити, що для подібного роду розрахунків дуже важливим параметром, що впливає на результат моделювання, є значення  $n_e$  – ефективної пористості. Визначення дійсної швидкості потоку підземних вод вимагає постановки спеціальних трасерних експериментів, які достатньо складні у реалізації та вимагають багато людських та фінансових ресурсів.

Тому, як правило, використовують дані лабораторних досліджень, описаних у наукових джерелах. Для гравійно-галечникових відкладів значення ефективної пористості знаходяться в діапазоні 0,2–0,35. Як можна побачити, цей параметр може коливатися в досить широких межах. Для розрахунків нами було прийняте значення  $n_e = 0,3$  (Yu et al., 2015), що, на наш погляд, відповідає природним літологічним характеристикам порід досліджуваної території. Проте у разі наявності анізотропії фільтраційних параметрів, зокрема у зонах тектонічних порушень (розломів), дійсні швидкості потоку ґрунтових вод можуть суттєво змінюватися. Це може прискорювати та інтенсифікувати процеси розповсюдження

засолених підземних вод у водоносних горизонтах. Відповідні зміни фільтраційних параметрів мають бути визначені і враховані в моделі. Таким чином, гідродинамічне моделювання потребує уточнення шляхом урахування тектонічних порушень в моделі. Більш детально проблеми засолення водоносних горизонтів та їх взаємодії із соляними відкладами Солотвинського родовища будуть розглянуті при побудові наступних міграційних моделей масопереносу у підземних водах, основою для яких буде слугувати створена фільтраційна модель.

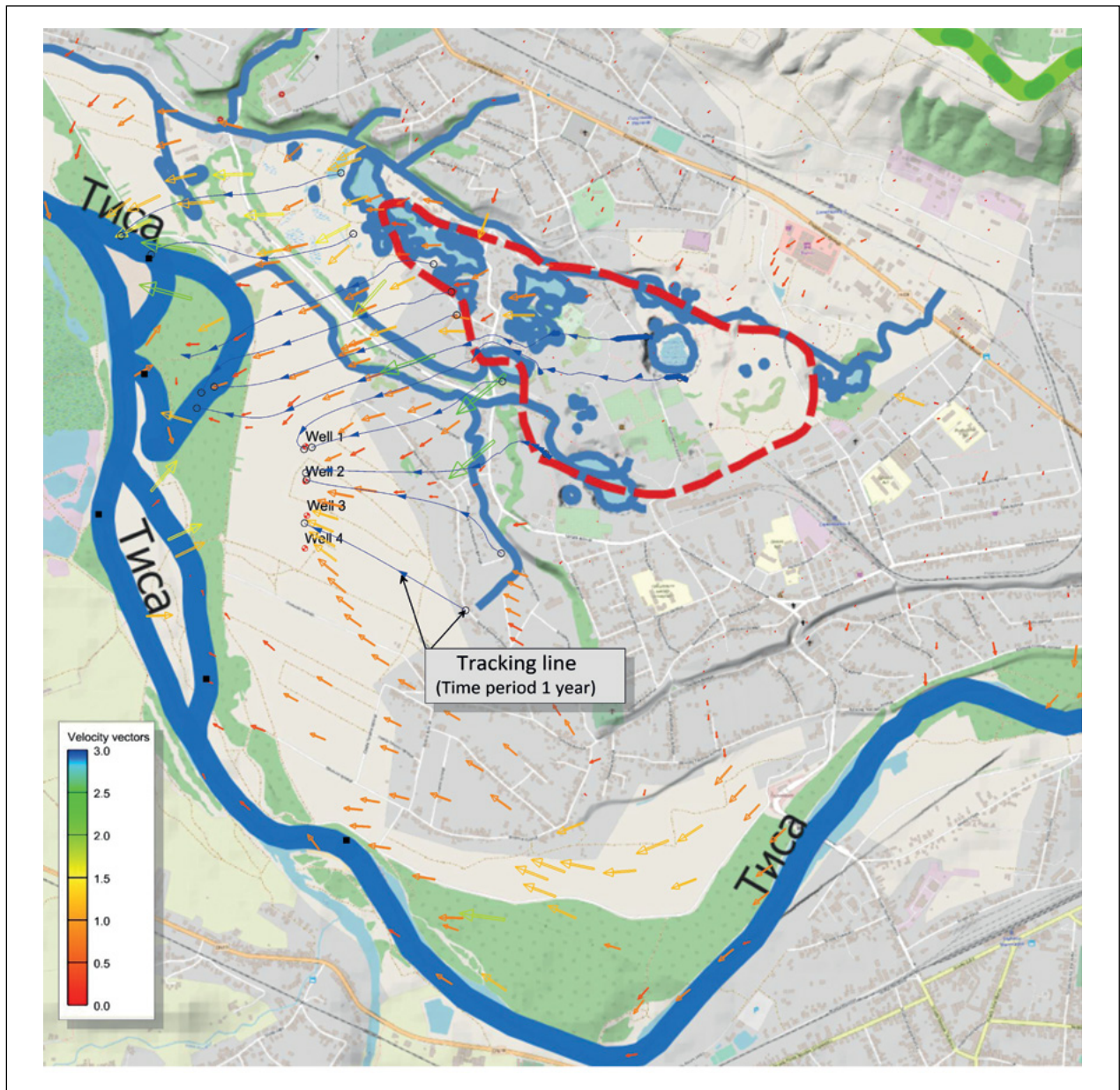
### Висновки

Створена модернізована гідродинамічна модель Солотвинського родовища кам'яної солі та прилеглих територій на основі уточнених фільтраційних параметрів надсолевих відкладів Солотвинської солянокупольної структури та осучасненої бази геологічних даних (детальної геологічної будови поверхні соляного купола та літології надсолевих відкладів) з використанням розрахункового блоку LPF програми MODFLOW. Це зумовило максимально точне відображення геометрії розрахункових шарів (абсолютних відміток покрівлі та подошви водоносних горизонтів та роздільних водотривких шарів). У результаті було вирішено фільтраційну задачу в дійсно тривимірній постановці, а не в плановій, як це було реалізовано у попередніх роботах.

Розроблена модель включає інформацію про п'ять шарів (основні водоносні горизонти і роздільні шари). В результаті моделювання отримані карти векторів дійсної швидкості фільтрації та гідроізогіпси модельних рівнів підземних вод для двох водоносних горизонтів (четвертинного і тортонського) на основі уточнених фільтраційних параметрів надсолевих відкладів Солотвинської солянокупольної структури та бази даних.

В результаті перевірки відповідності створеної математичної моделі природним гідрогеологічним умовам ділянки дослідження шляхом розв'язання низки обернених задач встановлено, що гідродинамічна ситуація, відтворена на моделі, задовільно відображає природні умови, а отже, отримана модель може бути використана для вирішення практичних завдань.





**Рис. 6.** Карта-схема векторів дійсної швидкості потоку підземних вод водоносного горизонту четвертинних відкладів за результатами моделювання

**Fig. 6.** Schematic map of the actual groundwater flow velocity vectors of the Quaternary aquifer based on modelling results

Модель дозволяє в першому наближенні спрогнозувати напрямок руху та дійсну швидкість підземних вод. За результатами попереднього моделювання встановлено, що час просування інертного забруднювача від контура розповсюдження соляного штоку до р. Тиса становить приблизно 2–3 роки.

Гідродинамічне моделювання може бути уточнене в подальших дослідженнях шляхом урахування в моделі тектонічних порушень (розломів). На ділянках тектонічних порушень

можливе посилення водообміну, що може прискорювати та інтенсифікувати процеси розповсюдження засолених підземних вод у водоносних горизонтах.

Розроблена модернізована гідродинамічна модель Солотвинського родовища кам'яної солі та прилеглих територій буде використана для обґрунтування мережі моніторингових гідрологічних постів та гідрогеологічних свердловин, для оптимізації моніторингу процесів забруднення водного середовища.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Елизаров А.Ф. Солотвинское месторождение каменной соли. (Результаты детальной разведки 1948–1949 гг.). Киев, 1955. ДНВП «Геоінформ України», інв. № 14676. Кн. 1. 71 с.
- Йосипенко Т.М. Комплексні геофізичні дослідження карстових явищ на території Прикарпаття та Закарпаття. Львів, 2014. ДНВП «Геоінформ України», інв. № 64133. Кн. 1. 257 с.
- Китык В.И., Бокун А.Н., Панов Г.М., Сливко Е.П., Шайдецкая В.С. Галогенные формации Украины: Закарпатский прогиб. Киев: Наукова думка, 1983. 168 с.
- Коростошовець І.П. Гідрогеологічні умови Солотвинського родовища кам'яної солі в Закарпатській області УРСР. Київ, 1957. ДНВП «Геоінформ України», інв. № 18253/2. Кн. 1. 251 с.
- Піталенко Є.І. Проведення гідрогеологічних і інженерно-геологічних досліджень з метою встановлення місць проникнення води у шахти Солотвинського солерудника та виконання досліджень геомеханічних процесів при розробці Солотвинського родовища кам'яної солі і впливу діяльності соляних шахт на навколишнє природне середовище. Донецьк, 2008. Фонди УкрНДМІ, інв. № 2302. 59 с.
- Привалов В.А., Панова Е.А. Особенности геодинамики и гидрогеологического режима Солотвинского месторождения каменной соли (Закарпатский внутренний прогиб). *Наук. пр. ДонНТУ. Сер. гір.-геол.* 2008. № 7(135). С. 155–162.
- Русиняк Р.П. Звіт за результатами пошукового буріння на Солотвинській площі. Харків, 2015. ДНВП «Геоінформ України», інв. № 64855. Кн. 1. 294 с.
- Селянчин М.И., Иванченко А.И., Габор Л.Т. Отчет о детальной разведке Северного участка Солотвинского месторождения каменной соли в Тячевском районе Закарпатской области УССР за 1977–1986 гг. Берегово, 1986. ДНВП «Геоінформ України», інв. № 49345. Кн. 1. 210 с.
- Селянчин М.І. Звіт про результати дорозвідки кам'яної солі глибоких горизонтів в межах поля шахти № 8 Солотвинського родовища за 1992–1995 рр. Тячівський р-н Закарпатської області. Берегово, 1995. ДНВП «Геоінформ України», інв. № 55852. Кн. 1. 328 с.
- Стеценко Б.Д., Шестопалов В.М., Руденко Ю.Ф. Гідрогеологічні проблеми Солотвинського родовища кам'яної солі і їх аналіз з використанням моделювання (Україна). *Зб. наук. пр. Ін-ту геол. наук НАН України.* 2021. Т. 14, вип. 2. С. 94–110. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2021.245937>
- Тиркель М.Г., Артеменко П.Г., Піталенко Є.І., Педченко С.В. Геомеханические исследования как метод изучения техногенного гидродинамического режима на территории Солотвинского солерудника. *Наук. пр. УкрНДМІ НАН України.* 2009. № 5, ч. 1. С. 124–130.
- Фролов М.В. Отчёт о разведке участка Солотвинского водозабора за 1969–1971 гг. Подсчет запасов подземных вод на 1 апреля 1971 г. Берегово, 1971. Западная геологическая экспедиция. Киев, 1971. ДНВП «Геоінформ України», інв. № 33225. Кн. 1. 160 с.
- Шакін А.В. Геолого-економічна оцінка запасів газу Солотвинського родовища Закарпатської області. Львів, 2010. ДНВП «Геоінформ України», інв. № 64855. Кн. 1. 286 с.
- Шестопалов В.М., Руденко Ю.Ф., Стеценко Б.Д. Разработка предварительной модели Солотвинского солерудника. Киев: Научно-инженерный центр радиогидрогеоэкологических полигонных исследований НАН Украины, 2008. 59 с.
- Шехунова С.Б., Сюмар Н.П., Стадніченко С.М., Алексєєнкова М.В. Літологічна модель надсоліового комплексу Солотвинської солянокупольної структури в Закарпатті. *Зб. наук. пр. Ін-ту геол. наук НАН України.* 2021. Т. 14, вип. 2. С. 119–128. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2021.245822>
- Шехунова С.Б., Алексєєнкова М.В., Стадніченко С.М. Закономірності розвитку природних та природно-техногенних небезпечних процесів на території містечка Солотвино (Закарпаття, Україна). *Зб. наук. пр. Ін-ту геол. наук НАН України.* 2019. Т. 12. С. 70–83. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2019.185745>
- Шехунова С.Б., Алексєєнкова М.В., Стадніченко С.М., Сюмар Н.П. Інтегральна геологічна модель Солотвинської структури як інструмент оцінки геоecологічного стану Солотвинського родовища кам'яної солі. *Зб. наук. пр. Ін-ту геол. наук НАН України.* 2015. Т. 8. С. 233–250. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2015.146791>
- Шуников А.Р., Сабов Ю.В., Васильев И.Н., Таши В.М. Отчет о доразведке в 1967–1970 гг. Солотвинского месторождения каменной соли в Закарпатской области. Берегово, 1970. ДНВП «Геоінформ України», інв. № 32263. Кн. 1. 120 с.
- Яковлев Є.О., Шехунова С.Б., Алексєєнкова М.В., Сюмар Н.П. Оцінка напружено-деформованого стану порід Солотвинської солянокупольної структури в Закарпатті. *Зб. наук. пр. Ін-ту геол. наук НАН України.* 2016. Т. 9. С. 83–96. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2016.144246>
- Bedeckar V., Morway E.D., Langevin C.D., Tonkin M. MT3D-USGS version 1: A U.S. Geological Survey release of MT3DMS updated with new and expanded transport capabilities for use with MODFLOW: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A53. 2016. 69 p. <http://dx.doi.org/10.3133/tm6A53>
- Doherty J. Calibration and Uncertainty Analysis for Complex Environmental Models. PEST: complete theory and what it means for modelling the real world. Brisbane, Australia: Watermark Numerical Computing, 2015. 227 p.
- Gesch D.B., Verdin K.L., Greenlee S.K. New land surface digital elevation model covers the Earth. *Eos, Earth and Space Science News.* 1999. Vol. 80 (6). P. 69–70. doi:10.1029/99EO00050
- Harbaugh A. W., Langevin C.D., Hughes J.D., Niswonger R.N., Konikow L.F. MODFLOW-2005 version 1.12.00, the U.S. Geological Survey modular groundwater model: U.S. Geological Survey Software Release, 03 February 2017. <http://dx.doi.org/10.5066/F7RF5S7G>

- Pollock D.W. 2016. User guide for MODPATH Version 7–A particle-tracking model for MODFLOW: U.S. Geological Survey Open-File Report 2016–1086, 2016. 35 p. <http://dx.doi.org/10.3133/ofr20161086>
- Shekhunova S.B., Aleksieienkova M.V., Meijer S., Stadnichenko S.M., Yakovlev E.O. Monitoring of hazardous geological processes as a tool for risks minimization on post-mining areas in Solotvyno (Transcarpathia). *Monitoring*. 2019. Iss. 1. P. 1–5. Published by European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903197>
- Shekhunova S.B., Pakshin M.Yu., Stadnichenko S.M., Liaska I.I., Aleksieienkova M.V. The satellite radar monitoring of post-mining area (Solotvyno, Ukraine). *15th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, Nov. 2021, Vol. 2021, Mon-21-075. P. 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2075>
- Winston R.B. ModelMuse version 5.1.1: U.S. Geological Survey Software Release, 15 November 2022. <https://doi.org/10.5066/P90QQ94D>
- Yu Ch., Kamboj S., Wang C., Cheng J.-J. Data Collection Handbook to Support Modeling Impacts of Radioactive Material in Soil and Building Structures. United States: N. p., 2015. Web. <https://doi.org/10.2172/1224969>

Надійшла до редакції 14.12.2022

Надійшла у ревізованій формі 19.09.2023

Прийнята 15.12.2023

## REFERENCES

- Bedekar V., Morway E.D., Langevin C.D., Tonkin M. 2016. MT3D-USGS version 1: A U.S. Geological Survey release of MT3DMS updated with new and expanded transport capabilities for use with MODFLOW: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A53. <http://dx.doi.org/10.3133/tm6A53>.
- Charley Yu., Sunita Kamboj, Cheng Wang, Jing-Jy Cheng. 2015. Data Collection Handbook to Support Modeling Impacts of Radioactive Material in Soil and Building Structures. United States. <https://doi.org/10.2172/1224969>
- Doherty J. 2015. Calibration and Uncertainty Analysis for Complex Environmental Models. Brisbane, Australia: Watermark Numerical Computing, ISBN: 978-0-9943786-0-6.
- Elizarov A.F., Elizarova N.N. 1955. Report. Solotvyn rock salt deposit (Geological exploration in 1948–1949). SRDE “GeoInform Ukraine”, inv. No. 14676, vol. 1 (in Russian).
- Frolov M.V. 1971. Report on exploration of the Solotvyn water intake site for 1969–1971. Groundwater reserves estimation as of 1 April 1971. Beregovo, 1971. Western Geological Expedition. Kyiv. 1971. SRDE “GeoInform Ukraine”, inv. No. 33225. 1 (in Russian).
- Gesch D. B., Verdin K. L., Greenlee S. K. 1999. New land surface digital elevation model covers the Earth, *Eos, Earth and Space Science News*, 80 (6): 69–70. doi:10.1029/99EO00050.
- Harbaugh A.W., Langevin C.D., Hughes J.D., Niswonger R.N. and Konikow L.F. 2017. “MODFLOW-2005 version 1.12.00, the U.S. Geological Survey modular groundwater model: U.S. Geological Survey Software Release, 03 February 2017”. doi:<http://dx.doi.org/10.5066/F7RF5S7G>.
- Kityk W.I., Bokun A.N., Panov G.M., Slivko E.P., Schaydietskaya W.C. 1983. Halogen formations of Ukraine: Transcarpathian through. (in Russian).
- Korostashovets Y.P., 1957. Report. Hydrogeological conditions of the Solotvyn rock salt deposit. SRDE “GeoInform Ukraine”, inv. No. 18253/2, 1 (in Russian).
- Pitalenko E.I. 2008. Report. Hydrogeological and geotechnical research performance in order to establish site of water entry into the Solotvyn salt mine and geomechanical processes implementation studies in the development of Solotvyno salt deposit and the impact of salt mines on the environment. UkrNDMI Archive, inv. No. 2302 (in Ukrainian).
- Pollock D.W. 2016. User guide for MODPATH Version 7–A particle-tracking model for MODFLOW: U.S. Geological Survey Open-File Report 2016–1086. ISSN: 2331-1258. <http://dx.doi.org/10.3133/ofr20161086>
- Privalov V.A., Panova E.A. 2008. Geodynamic and hydrogeological regime features of the Solotvyn rock salt deposit (Transcarpathian internal trough). *Scientific works of DonNTU, Series mining geology*, 7 (135): 155–162 (in Russian).
- Rusyniak R.P. 2015. Report. Results of the prospecting drilling in Solotvyn area. SRDE “GeoInform Ukraine”, inv. No. 64855, 1 (in Ukrainian).
- Selianchyn M.I. 1986. Report. Exploration of the North site Solotvyn rock salt deposit in 1977–1986. SRDE “GeoInform Ukraine”, inv. No. 49345, 1 (in Russian).
- Selianchyn M.I. 1995. Report. Additional exploration deep horizons of mine №8 Solotvyn rock salt deposit in 1992–1995. SRDE “GeoInform Ukraine”, inv. No. 55852, 1 (in Ukrainian).
- Shakin A.V., 2010. Report. Geological-economic appraisal Solotvyno gas field, SRDE “GeoInform Ukraine”, inv. No.64855, 1 (in Ukrainian).
- Shekhunova S.B., Aleksieienkova M.V., Stadnichenko S.M. 2019. Regularities of natural and antropogenic hazardous processes development for Solotvyno (Transcarpathia, Ukraine). *Collection of scientific works of the Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine*, 12: 70–83. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2019.185745> (in Ukrainian).
- Shekhunova S.B., Pakshin M.Yu., Stadnichenko S.M., Liaska I.I., Aleksieienkova M.V. 2021. The satellite radar monitoring of post-mining area (Solotvyno, Ukraine). *Materials of the XV International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”*, 17–19 November 2021, Kyiv, Ukraine. Mon-21-075. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2075>

- Shekhunova S.B., Siumar N.P., Stadnichenko S.M., Aleksieienkova M.V. 2021. The Lithological Model of the suprasalt Complex of the Sotolvyno Salt Dome Structure. *Collection of scientific works of the Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine*, 14 (2): 119–128. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2021.245822> (in Ukrainian).
- Shekhunova S.B., Aleksieienkova M.V., Meijer S., Stadnichenko S.M., Yakovlev E.O. 2019. Monitoring of hazardous geological processes as a tool for risks minimization on post-mining areas in Sotolvyno (Transcarpathia). *Monitoring 2019*, 1(2019):1–5. Published by European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903197>
- Shekhunova S.B., Aleksieienkova M.V., Stadnichenko S.M., Siumar N.P. 2015. The integrated geological model of Sotolvyno structure as a tool to assess geoeological sustainability of Sotolvyno rock-salt deposit. *Collection of scientific works of the Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine*, 8: 233–250. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2015.146791> (in Ukrainian).
- Shestopalov V.M., Rudenko Yu. F., Stetsenko B.D. 2008. Development of a preliminary model of Sotolvyn rock salt deposit. Kyiv: State Institution Radioenvironmental Centre of the NAS of Ukraine (in Russian).
- Shupikov A.R., Sabov Yu. V., Vasilev I.N., Tashi V.M. 1970. Report. Additional exploration in 1967–1970 of Sotolvyno rock salt deposit (Transcarpathian region). SRDE “GeoInform Ukraine”, inv. No. № 32263, 1 (in Russian).
- Stetsenko B.D., Shestopalov V.M., Rudenko Yu.F. 2021. Hydrogeological problems of the Sotolvyno rock salt deposit and their analysis using modeling (Ukraine). *Collection of scientific works of the Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine*, 14 (2): 94–110. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2021.245937> (in Ukrainian).
- Tirkel M.G., Artemenko P.G., Pitalko E.I., Pedchenko S.V. 2009. Geomechanical research as a method of studying man-made hydrodynamic regime in Sotolvyno saltmine. *Transactions of UkrNDMI of the NAS of Ukraine*, 5 (1): 124–130 (in Russian).
- Winston R.B. 2022. «ModelMuse version 5.1.1: U.S. Geological Survey Software Release. <https://doi.org/10.5066/P90QQ94D>
- Yakovlev Ye.O., Shekhunova S.B., Aleksieienkova M.V., Siumar N.P. 2016. Assessment of the stress-strain state of rocks of the Sotolvyno salt-dome structure in Transcarpathia. *Collection of scientific works of the Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine*, 9: 83–96. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2016.144246> (in Ukrainian).
- Yosypenko T.M. 2014. Report. Integrated geophysical measurements of the karst in the territory of Carpathian and Transcarpathian. SRDE “GeoInform Ukraine”, inv. No.№ 64133, 1 (in Ukrainian).

Received 14.12.2022

Received in revised form 19.09.2023

Accepted 15.12.2023

## Гідродинамічна модель Солотвинського родовища кам'яної солі

С.Б. Шехунова<sup>1</sup>, Ю.О. Негода<sup>1,2\*</sup>, С.М. Стадніченко<sup>1</sup>, [В.М. Шестопалов<sup>2</sup>], Ю.Ф. Руденко<sup>2</sup>, Н.П. Сюмар<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна

E-mail: shekhun@gmail.com; stadnichenkosm@gmail.com; siumar1982@gmail.com

<sup>2</sup> Державна установа «Науково-інженерний центр радіогідроекологічних полігонних досліджень НАН України», Київ, Україна

E-mail: negoda@nas.dov.ua; shestopalov@nas.gov.ua; rud@hydrosafe.kiev.ua

\* Автор для кореспонденції

Розробка родовищ кам'яної та калійної солі в Закарпатті та Передкарпатті (Західна Україна) має потенційний вплив на водні ресурси та транскордонне поширення сольового забруднення. Зокрема, до таких об'єктів належить Солотвинське родовище кам'яної солі на березі р. Тиса на границі України та Румунії. Вплив техногенного навантаження (підземне видобування кам'яної солі) в межах родовища призвів до деформації структури та характеру водообміну, активізації суфозійно-карстових процесів, деформацій земної поверхні, катастрофічних припливів підземних вод у гірничі виробки, а в результаті – до припинення розробки цього родовища у 2010 р. Проте з припиненням солевидобування не припинився розвиток перерахованих вище небезпечних геологічних процесів, обумовлених як природними, так і техногенними факторами. З метою обґрунтування заходів для запобігання забрудненню басейну р. Тиса була створена гідрологічна модель Солотвинського родовища кам'яної солі та прилеглих територій, що дозволило спрогнозувати напрямки та швидкість руху прісних та засолених підземних вод. При побудові моделі використано нові матеріали про особливості геологічної будови та гідрологічних умов досліджуваної території (дані моніторингу підземних вод). Модернізована гідродинамічна модель включає п'ять шарів (основні водоносні горизонти і роздільні шари). В результаті моделювання отримані карти векторів дійсної швидкості фільтрації та гідроізопісї рівнів підземних вод для двох водоносних горизонтів (четвертинного і тортонського). На основі результатів розв'язання низки обернених задач доведена функціональна відповідність моделі природно-антропогенним умовам. За результатами попередніх розрахунків дійсної швидкості фільтрації підземних вод та ліній течії просування інертного забруднювача встановлено, що час його просування від контура розповсюдження соляного штоку до р. Тиса становить приблизно 2–3 роки. Розроблена гідродинамічна модель буде використана для обґрунтування мережі пунктів гідрологічних та гідрологічних спостережень з метою оптимізації моніторингу процесів забруднення водного середовища.

**Ключові слова:** Солотвинське родовище кам'яної солі; підземні води; тривимірна гідродинамічна модель; прогноз; моніторинг.

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.4.289561>  
УДК 061.12.049:55

**До 60-річчя Відділення наук про Землю НАН України.  
Частина 1. Історичний нарис розвитку природничих наук  
від заснування Академії наук України до створення  
Відділу наук про Землю і Космос АН УРСР (1918–1962 рр.)**

**В.І. Старостенко, В.П. Коболєв\***

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна  
E-mail: [vstar@igph.kiev.ua](mailto:vstar@igph.kiev.ua); [vpkobolev@ukr.net](mailto:vpkobolev@ukr.net)  
\*Автор для кореспонденції

**To the 60th anniversary of the Department of Earth Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine. Part 1. Historical outline of the development of natural sciences from the founding of the Academy of Sciences of Ukraine to the establishment of the Department of Earth and Space Sciences of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR (1918–1962)**

*V.I. Starostenko, V.P. Kobolev\**

S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
E-mail: [vstar@igph.kiev.ua](mailto:vstar@igph.kiev.ua); [vpkobolev@ukr.net](mailto:vpkobolev@ukr.net)  
\*Corresponding author

*The history of the formation and development of Earth sciences since the founding of the Ukrainian Academy of Sciences (UAS) contains a significant amount of factual material. Taking into account the limitation of the volume of the journal publication, the authors divided the chronological review of the history of natural sciences in the system of the Academy dedicated to the 60th anniversary of the Department of Earth Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine into three parts.*

*In the first part, the main historical events in dates, facts and personalities of the formation and development of the natural sciences of Ukraine from the founding of the Ukrainian Academy of Sciences in 1918 to the organizational and structural formation of the Department of Earth and Space Sciences of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR in 1963 are listed in chronological order. In the second and third parts, the formation and development of scientific institutions of the Department of Earth Sciences are considered in accordance with (1963–1990) and after (1991–2023), i.e., the acquisition of independence by Ukraine, as well as brief information about the achievements of the members of the Academy.*

*Scientists-naturalists from the moment of establishment of UAS and during its first 45 years passed all stages of its formation and development. Among the outstanding achievements, which became a unique contribution to the development of natural sciences during this period, the following should be included: (a) the substantiation of a new theoretical direction in geological science – tectoorogeny, the doctrine of the Earth's tectonosphere, (b) the beginning of the creation of the concept of the abiogenic (inorganic) origin of oil and gas at extremely high temperatures and pressures in the Earth's upper mantle, (c) studying the deep structure of the Earth's crust and the upper mantle of the territory of Ukraine by geophysical methods. The above list of key achievements includes only breakthrough ideas and theories. In the text of the article, the content and significance of the main achievements of natural scientists of the Academy are considered in the given biographical references about their authors.*

**Keywords:** *Ukrainian Academy of Sciences; history; formation; development; Earth sciences; achievements.*

Цитування: Старостенко В.І., Коболєв В.П. До 60-річчя Відділення наук про Землю НАН України. Частина 1. Історичний нарис розвитку природничих наук від заснування Академії наук України до створення Відділу наук про Землю і Космос АН УРСР (1918–1962 рр.). *Геологічний журнал*. 2023. № 4 (385). С. 97–121. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.4.289561>

Citation: Starostenko V.I., Kobolev V.P. 2023. To the anniversary of the Department of Earth Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine. Part 1. Historical outline of the development of natural sciences from the founding of the Academy of Sciences of Ukraine to the establishment of the Department of Earth and Space Sciences of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR (1918–1962). *Geologičnij žurnal*, 4 (385): 97–121. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.4.289561>

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2023. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, 2023. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)



## Вступ

Червень 1963 р. вважається днем народження Відділення наук про Землю НАН України, яке було офіційно затверджено на Загальних зборах у якості окремого підрозділу АН УРСР і тоді мало назву Відділ (з 1971 р. – Відділення) наук про Землю і Космос, у 1980 р. – Відділення геології, геофізики та геохімії, а у 1983 р. – Відділення наук про Землю АН УРСР. Назва Академії також зазнавала змін: у 1918–1921 рр. вона іменувалася Українська академія наук (УАН), з 1921 по 1936 р. – Всеукраїнська академія наук (ВУАН), у 1936–1991 рр. – Академія наук Української РСР (АН УРСР), з 1991 по 1993 р. – Академія наук України (АН України), а з 1994 р. – Національна академія наук України (НАН України) (Національна..., 2008, 2013).

Історія становлення і розвитку наук про Землю від заснування УАН містить значний обсяг фактологічного матеріалу, який вимагає осмислення та систематизації у наступному виданні у вигляді окремої книги, як це було зроблено до 40-річчя Відділення (Відділення..., 2003). Слід підкреслити, що це єдине найбільш інформативне джерело про Відділення наук про Землю, яке було підготовлено та видано за ініціативи та сприяння члена-кореспондента НАН України С.О. Довгого (академік з 2018 р.) та завдяки активній і великій роботі на той час академіка-секретаря Відділення наук про Землю НАН України В.І. Старостенка (Старостенко, Коболев, 2023). Зважаючи на обмеження обсягу публікації в «Геологічному журналі», хронологічний розгляд історії природничих наук у системі Академії автори розділили на три частини.

Перша частина включає 45-річний часовий проміжок від заснування УАН і до організаційно-структурного утворення у 1963 р. Відділу наук про Землю і Космос АН УРСР, упродовж якого вчені-природознавці пройшли всі етапи становлення і розвитку Академії. В цей період природничі науки були представлені в таких відділах: фізично-матема-

тичному (1918), природничо-технічному (1930), математичних і природничих наук (1936), фізико-хімічних і математичних наук (1938), хімічних і геологічних наук (1952) (Національна..., 2013).

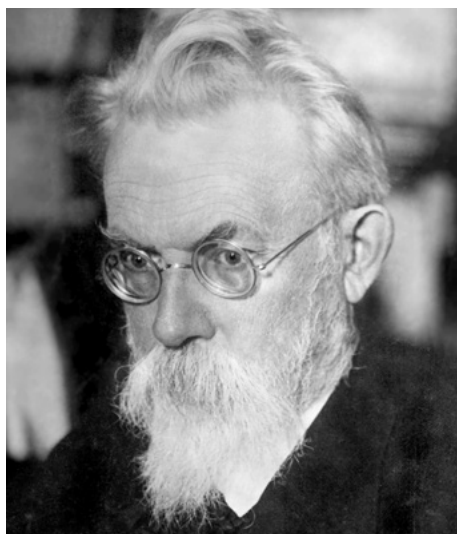
У другій і третій частинах будуть розглянуті становлення і розвиток Відділення наук про Землю відповідно до (1963–1990) і після (1991–2023) набуття Україною незалежності.

Готуючи до публікації цю роботу, автори мали на меті максимально об'єктивно й всебічно розкрити в кожній частині у хронологічному порядку ключові події і факти діяльності наукових установ, стислі відомості про членів Академії, обраних по Відділенню наук про Землю, та про їх здобутки. Варто зазначити, що ми у використаних нами публікаціях зустрілися з численними розбіжностями в їх хронології і тлумаченні. Ми також не застраховані від помилок, але вважаємо, що нам вдалося певною мірою лише наблизитися до поставленої мети. Адже йдеться про значний обсяг інформаційного матеріалу на понад 100-річному проміжку часу – від заснування УАН і до сьогодення.

## Заснування Української академії наук (1918–1920 рр.)

Перш за все ми пишаємося, що у заснуванні УАН вирішальну роль відіграли вчені-природознавці. Саме комісія по формуванню статутно-проектної документації УАН, яку очолював В.І. Вернадський та до складу якої входив П.А. Тутковський, упродовж липня–вересня 1918 р. розробила законопроект про заснування УАН, статут, штати та кошторис. На їх підставі гетьман Павло Скоропадський 14 листопада 1918 р. підписав «Закон Української Держави про заснування УАН у м. Києві», а також призначив 12 перших дійсних членів (академіків). Серед них – на той час ординарний академік Російської академії наук В.І. Вернадський та заслужений ординарний професор Київського університету Св. Володимира<sup>1</sup> П.А. Тутковський (Перші..., 2018).

<sup>1</sup> На початку заснування Київський університет мав назву Імператорський університет Св. Володимира (KIEVЪ вчора і ..., с. 86).



**Вернадський Володимир Іванович** (1863–1945) – геніальний вчений-природознавець і мислитель, засновник генетичної мінералогії, біогеохімії та радіогеології, доктор мінералогії та геонозії (1897), професор (1898), академік Петербурзької академії наук (1909), академік та перший президент УАН (1918), лауреат Державної премії СРСР (1943).

Після закінчення природничого відділення фізико-математичного факультету Санкт-Петербурзького університету (1885) Володимир Іванович 22 роки працював у Московському університеті (1890–1911). У 1911 р. він переїхав до Петербурга, де обійняв посаду директора геологічного і мінералогічного музею Академії наук. У 1915 р. за його ініціативи було організовано і він очолив Комісію з вивчення природних виробничих сил Росії. Жовтневі події 1917 р. застали вченого у Полтавській губернії, де він взяв активну участь у підготовчій роботі по організації УАН і згодом переїхав до Києва. В 1918 р. був обраний першим президентом УАН. З 1920 по 1921 р. – професор Таврійського університету в Сімферополі.

Кримському періоду життя і діяльності Володимира Івановича присвячена книга (В.І. Вернадский..., 2004), яка починається його словами «...Я все более и более мечтаю о Крыме ...». У 1921–1939 рр. він працював у Москві директором Радієвого інституту та Біохімічної лабораторії (в подальшому – Інститут геохімії та аналітичної хімії ім. В.І. Вернадського) (1927–1939) (Відділення..., 2003; Перші..., 2018).

Ім'я геніального вченого присвоєно багатьом академічним інститутам, бібліотекам, кораблям тощо. Протягом 1973–2007 рр. присуджувалася премія, а у 2004 р. була заснована Золота медаль ім. В.І. Вернадського НАН України. Його ім'ям названо Українську антарктичну станцію і гірський хребет у східній частині Антарктиди.

Варто зазначити, що В.І. Вернадському присвячено безліч публікацій. На наш погляд, найбільш вражаючий життєпис його наукових інтересів, титанічної науково-організаційної діяльності наведено у нещодавній статті академіка НАН України О.Ю. Лукіна (2015). Зокрема, неабиякий інтерес становить інформація про

українське коріння В.І. Вернадського, який народився 12 березня 1863 р. у Санкт-Петербурзі. Натомість його батько, Іван Васильович народився у Києві і працював професором Київського університету, а пізніше – професором Олександрійського лицю в Петербурзі. Варта уваги також постать його діда, Василя Івановича Вернацького, котрий, отримавши чин колезького радника і право на дворянство, змінив написання прізвища і став Вернадським. Здобувши вищу воєнно-медичну освіту, він брав участь у війні 1812–1814 рр., був начальником військового госпіталю у Чернігові, де і помер у 1838 р. А прадід Володимира Івановича – запорозький козак, брав участь у військових походах під проводом Богдана Хмельницького.

27 листопада 1918 р. у будинку по вул. Великій Підвальній, 36 (зараз це вул. Ярославів Вал) відбулось перше Спільне зібрання УАН, на якому головою-президентом був односторонньо обраний В.І. Вернадський, а 13 грудня головою правління – П.А. Тутковський, який мав право підписувати фінансові документи. У перший рік своєї діяльності УАН складалася з трьох наукових відділів: історико-філологічного, фізично-математичного і соціальних наук. Академіки В.І. Вернадський і П.А. Тутковський увійшли до складу фізико-математичного відділу УАН (Перші академіки..., 2018).

Незважаючи на складний воєнно-політичний стан у Києві, 1 лютого 1918 р. було прийнято рішення про створення Українського геологічного комітету у складі Міністерства Торгівлі і Промисловості, а 23 серпня 1918 р. наказом гетьмана Павла Скоропадського його директором було призначено професора Київського університету Св. Володимира В.І. Лучицького (1918–1924). При створенні УАН у В.І. Вернадського і П.А. Тутковського виникла ідея включити Український геологічний комітет до складу Фізико-математичного відділу, яка не була реалізована через незгоду Міністерства. Однак взаємний вплив і зв'язки очільників УАН з Українським геологічним комітетом були постійними і плідними, хоча в основному неформальними (Старостенко та ін., 2017).

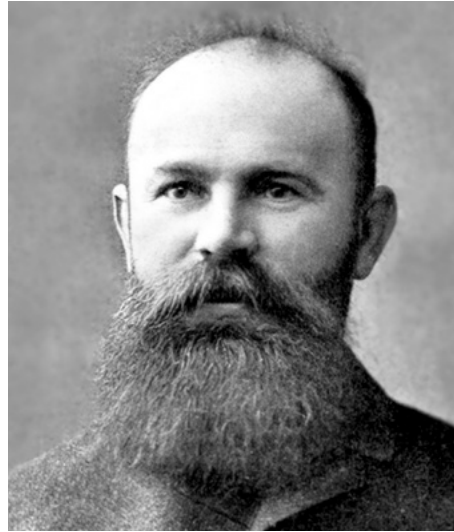
У березні 1919 р. було створено Комісію по вивченню природних багатств України УАН на чолі з В.І. Вернадським, до якої у травні був приєднаний гідрологічний відділ, переданий з Міністерства земельних справ до УАН. У липні



**Тутковський Павло Аполлонович** (1858–1930) – видатний український вчений-геолог, доктор географії (1911), доктор мінералогії (1911), професор (1914), академік УАН (1918), академік Білоруської академії наук (1929), керівник Геологічного кабінету УАН (1919), голова Комісії по вивченню природних багатств України (1921), засновник і перший директор Українського науково-дослідного геологічного інституту (1926) та Національного геологічного музею (1927). У 1929 р. очолив фізико-математичний відділ ВУАН.

Після закінчення природничого відділення Київського університету у 1882 р. Павло Аполлонович працював позаштатним співробітником Геологічного комітету, згодом професором Київського університету (1914–1921).

Заслуги Павла Аполлоновича перед геологічною і географічною науками невимірні. Він уперше розробив і запропонував мікропалеонтологічний метод дослідження морських осадових відкладів, який і нині є найточнішим у стратиграфії. Вчений приділяв особливу увагу проблемі водопостачання індустріальних міст України, в тому числі і Києва, який став одним з перших міст у Європі у використанні артезіанських водних джерел. Всесвітню відомість йому принесли праці, присвячені питанням мінералогії, петрографії, палеонтології, стратиграфії, ґрунтознавства, регіональної і динамічної геології, геоморфології, фізичної географії та гідрогеології. Президією НАН України у 2008 р. засновано премію ім. П.А. Тутковського (Гожик та ін., 2016; Перші академіки..., 2018; Відділення наук..., 2003).



**Андрусов Микола Іванович** (1861–1924) – видатний геолог, доктор геологічних наук (1897), професор (1896), академік Петербурзької академії наук (1914), академік УАН (1919).

Після закінчення навчання в Новоросійському університеті (1880–1884) був відряджений на дворічне наукове стажування в Європу. Повернувшись на батьківщину, вступив до аспірантури Санкт-Петербурзького університету (1890), де залишився працювати приват-доцентом (1893–1896). Свою професорську діяльність Микола Іванович розпочав у Дерентському (нині – Тартуському) університеті (1896–1904). Але найбільш продуктивним у його науковій діяльності був Київський період (1904–1912), коли він працював ординарним професором університету Св. Володимира і заснував славетну Андрусівську школу геологів. Не менш продуктивним, але нетривалим, був Сімферопольський період на посаді завідувача кафедри геології новоствореного Таврійського університету (1918–1919). Про популярність Миколи Івановича у Криму свідчить перейменування у 1919 р. одного селища у Сімферопольському районі на с. Андрусове.

Праці Миколи Івановича складають епоху в стратиграфії, палеонтології, палеогеографії, палеоекології та океанології. Вони дали змогу вченому розробити детальну стратиграфію неогенових відкладів Понто-Каспійського регіону. Микола Іванович Андрусов – засновник стратиграфії неогену Південної України та Росії – Понто-Каспійського регіону, за його ініціативи і безпосередньої участі почалося вивчення морських і океанічних басейнів (Відділення..., 2003).

у складі Фізико-математичного відділу УАН був заснований Геологічний кабінет, який очолив П.А. Тутковський (Національна..., 2013).

Окупація Києва білогвардійцями у вересні-грудні 1919 р. супроводжувалась офіційним, але не фактичним припиненням діяльності УАН. Особисте втручання В.І. Вернадського, який у ставці А. Денікіна в Ростові-на-Дону доводив значення академії для вирішення загальнолюдських і державних потреб, дало можливість уникнути її руйнації. Якщо на початку

1919 р. серед співробітників УАН налічувалося до 1000 осіб, то на кінець року після білогвардійського правління ця цифра зменшилася вдвічі. Із встановленням радянської влади в Києві у грудні 1919 р. В.І. Вернадський подав у відставку, а обов'язки президента УАН тимчасово виконував його заступник, академік О.І. Левицький (Національна..., 2008).

У 1919 р. до складу УАН був обраний славетний вітчизняний вчений-геолог М.І. Андрусов (Національна..., 2013; Палій, Храмов, 2013).



**Срезневський Борис Ізмаїлович (1857–1934)** – видатний метеоролог-кліматолог, професор (1894), академік УАН (1920).

З 1874 по 1879 р. навчався у Петербурзькому університеті, а потім (до 1881 р.) удосконалював свої знання в університетах Західної Європи. Впродовж 1882–1892 рр. працював у Головній фізичній обсерваторії в Петербурзі. В 1894–1918 рр. – професор Юр'євського (Тартуського) університету. У 1919 р. був запрошений на посаду директора Київської метеорологічної обсерваторії, яку очолював до кінця життя. У 1920 р. за його ініціативою було створено Геофізичну комісію УАН, реорганізовану в 1934 р. у Геофізичну обсерваторію ВУАН.

Борис Ізмаїлович здійснив ґрунтовні дослідження клімату України, заснував низку синоптичних, метеорологічних та гідрографічних періодичних українських наукових видань. Він є автором однієї з перших схем кліматичного районування території України, монографій про циклональні та антициклональні збурення атмосфери та праць з методичної метеорології (Відділення..., 2003). Його ім'я присвоєно Геофізичній обсерваторії НАН України.

У липні 1920 р. Спільне зібрання ВУАН затвердило постанову Фізико-математичного відділу про створення Геофізичної комісії, а також Геодезичного інституту на чолі з Б.І. Срезневським, який того ж року був обраний академіком УАН (Національна..., 2013; Палій, Храмов, 2013).

### **Всеукраїнська академія наук (1921–1936 рр.)**

14 червня 1921 р. згідно Постанови Раднаркому УРСР УАН було визнано найвищою науковою установою України і перейменовано у Всеукраїнську академію наук (ВУАН). Слід зауважити, що вживати зазначену назву Спільне зібрання



**Павлова Марія Василівна (1854–1938)** – видатна вчена-палеозоолог, доктор геології (1910), професор (1910), академік ВУАН (1921), член-кореспондент АН СРСР (1925).

Закінчила Київський інститут шляхетних дівчат (1876), згодом навчалась у Сорбонському університеті (з 1882 р.). Повернувшись у 1885 р. до Москви, Марія Василівна разом з чоловіком (Олексій Петрович Павлов) засновують геологічний музей з палеонтологічним відділом при Московському університеті (нині – музей О.П. і М.В. Павлових при Московському геологорозвідувальному інституті), де майже до кінця життя читала лекції з палеонтології.

Наукові дослідження Марії Василівни присвячені вивченню викопних ссавців, зокрема причин вимирання тварин у минулі геологічні епохи. Вона розглядала історію розвитку окремих груп кайнозойської фауни, юрських амонітів тощо у світовому масштабі. Значних результатів дослідниці досягла у вивченні родини конячих (Відділення..., 2003).

ухвалило лише 17 жовтня. На кінець року у складі Фізично-математичного відділу ВУАН налічувалося чотири природничих підрозділи: Фізично-географічний інститут, Геологічний кабінет, Геофізична комісія та Комісія по вивченню природних багатств України. Згодом до Геологічного кабінету була приєднана Геологічна секція Українського наукового товариства. Того ж року дійсним членом ВУАН вперше була обрана жінка – М.В. Павлова (Національна..., 2008).

Поряд із суспільствознавчими дослідженнями, які займали панівне становище на перших етапах становлення ВУАН, поступово все більшої ваги набирали дослідження в галузі природничих наук. Геологічний кабінет під керівництвом П.А. Тутковського, незважаючи на



**Карпінський Олександр Петрович** (1847–1936) – всесвітньо відомий вчений-геолог, доктор геології (1869), професор (1869), академік Петербурзької академії наук (1896), дійсний член ВУАН (1925).

Вищу освіту отримав у Гірничому кадетському корпусі (згодом реорганізований в Петербурзький Гірничий інститут), після закінчення якого у 1866 р. два роки працював геологом на Уралі. У 1869 р. захистив дисертацію і почав працювати професором кафедри геології, геодезії і рудних родовищ Гірничого інституту (1869–1896). Одночасно він був одним з організаторів і директором Геологічного комітету Росії (1885–1903). У 1896 р. був обраний дійсним членом Петербурзької академії наук, а у 1917 р. – першим виборним президентом Російської академії наук (1917–1936). З червня 1925 – президент Академії наук СРСР. Обирався іноземним членом наукових установ і товариств багатьох країн світу: член-кореспондент Геттінгенської академії наук (1892), Американської академії політичних і соціальних наук у Філадельфії (1897), Австрійської академії наук (1897), Баварської академії наук (1898); почесний член Швейцарського товариства природознавців (1897), Болонської академії наук (1898), Наукового товариства Мексики (1898), Академії наук, літератури і мистецтв у Сицилії (1903), Японського геологічного товариства (1914); іноземний член Національної академії наук деї Лінчеї (Італія, 1898), Німецької академії природознавців «Леопольдіна» (1925).

Дослідження Олександра Петровича з тектоніки і палеогеографії південної частини Європи започаткували цілу епоху у розвитку геології. В його класичній праці «Замечания о характере дислокаций пород у южной части Европейской России» (1883) простежена смуга дислокованих порід, яка отримала в геології назву «вал Карпінського». Геологи всіх рангів люб'язно називали Олександра Петровича «батьком російської геології» (Відділення..., 2003; Палій, Храмов, 2013). Похований біля Кремлівської стіни.

брак коштів, виконав у 1921 р. перші польові експедиційні роботи на території України, а наступного року були опубліковані перші результати з природно-географічного районування України. Під керівництвом В.І. Лучицького у 1923 р. було створено першу мапу корисних копалин України. На Спільному зібранні ВУАН у грудні 1924 р. було створено Комісію краєзнавства (Національна..., 2013).

102



**Бурксер Євген Самійлович** (1887–1965) – знаний вчений у галузі геохімії та радіології, доктор хімічних наук, професор (1943), член-кореспондент ВУАН (1925), лауреат премії Народного комісаріату просвіти України (1926).

Навчався на природничому відділенні фізико-математичного факультету Новоросійського університету (сьогодні – Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова), слухав лекції у Сорбонському університеті, де знайомство з Марією Кюрі визначило сферу наукових інтересів майбутнього вченого.

Євген Самійлович – організатор і керівник першої в Росії радіологічної лабораторії (м. Одеса, 1910 р.), на базі якої у 1921 р. було створено Інститут прикладної хімії і радіології. У 1926 р. він очолив Одеський хіміко-радіологічний інститут, реорганізований у 1932 р. в Український філіал Інституту рідкісних металів. У 1938 р. переїхав до Києва, де в Інституті геологічних наук АН УРСР організував відділ геохімії. Невдовзі його обрали головою Комітету по метеоритах АН УРСР (1939), який він очолював до кінця життя. Під час Великої Вітчизняної війни Євген Самійлович працював в Уфі, де організував виробництво хімічної речовини, необхідної для оборонної промисловості. Повернувшись з евакуації, Є.С. Бурксер створив в Інституті геологічних наук АН УРСР відділ абсолютного віку геологічних формацій та ядерної геології (1959) та одночасно працював професором геологічного факультету Київського університету.

Євген Самійлович виконав велику роботу по визначенню абсолютного віку гірських порід аргонієм, рубідієво-стронцієвим та свинцевим методами. Талановитий вчений, людина широкої ерудиції і високої культури, він був прекрасним педагогом і наставником (Відділення..., 2003; Палій, Храмов, 2013).

У 1925 р. до складу ВУАН був обраний всесвітньо відомий російський вчений, новатор і творець геологічної школи, піонер багатьох оригінальних ідей теоретичної геології О.П. Карпінський. У тому ж році відбулися перші вибори членів-кореспондентів ВУАН, серед яких був обраний відомий вчений у галузі геохімії і радіології Є.С. Бурксер (Національна..., 2013).

ISSN 1025-6814. Геологічний журнал. 2023. № 4



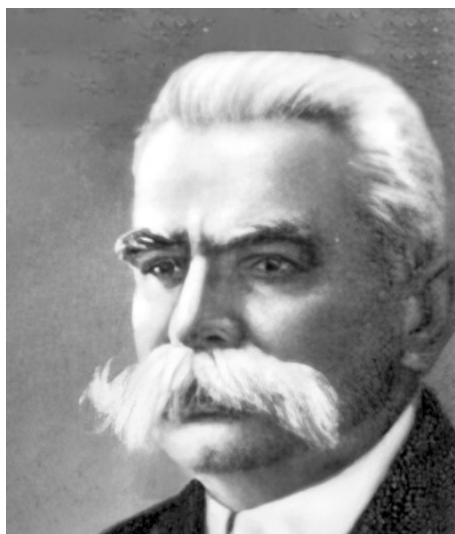


**Козлов Петро Кузьмич** (1863–1935) – видатний дослідник Центральної Азії, академік ВУАН (1927).

У військовому училищі, яке Петро Кузьмич закінчив у 1887 р., його вихователем і учителем був сам М.М. Пржевальський, під керівництвом якого він брав участь у перших експедиціях до Центральної Азії. У 1899–1909 рр. дослідник очолював експедицію до Східного Тибету, Монголії, Західного Китаю. Варта уваги його експедиція до пустелі Гобі (1907–1909), де він відкрив і дослідив давнє місто на території Монголії та знайшов понад 2000 рукописних книг.

Завдячуючи Петру Кузьмичу акліматизаційний зоопарк і дендропарк, а також цілинний степ «Асканія-Нова» були проголошені Народним заповідним парком УРСР. Його героїчна діяльність на ниві географічних мандрівок та охорони пам'яток природи неодноразово відзначалася нагородами географічних товариств багатьох країн світу та обранням їх почесним членом (Відділення..., 2003; Палій, Храмов, 2013).

У 1926 р. на базі геологічних установ, які існували в системі ВУАН, був створений Український науково-дослідний геологічний інститут, а роком пізніше – Національний геологічний музей, засновником і першим директором яких був академік П.А. Тутковський. Одночасно розпочав роботу Український науково-дослідний інститут водного господарства, створений за ініціативи Є.В. Оппокова (академік ВУАН з 1929 р.) на базі Науково-дослідної кафедри гідрології при Київському політехнічному інституті. У жовтні 1926 р. у Києві відбувся II Всесоюзний з'їзд геологів за участю В.І. Вернадського, П.А. Тутковського, В.В. Різниченка та ін. Вчені Полтавської гравіметричної обсерваторії, яка була заснована у 1926 р. і підпорядковувалась Українській Головній палаті мір та ваг, у 1927 р. провели першу



**Оппоков Євген Володимирович** (1869–1937) – видатний український вчений-гідролог, доктор гідрології (1926), професор (1921), академік ВУАН (1929).

У 1886 р. Євген Володимирович вступив на фізико-математичне відділення Київського університету, але після першого курсу перевівся до Петербурзького технологічного інституту, який закінчив у 1892 р. Упродовж 25 років працював інженером по меліорації у Мінській губернії. За цей період він нагромадив величезний фактичний матеріал з режимних спостережень за річковим стоком і меліораційними роботами, який виклав у понад 100 наукових праць. У 1915 р. розпочав педагогічну діяльність у Київському політехнічному інституті. Згодом викладав гідрологію, меліорацію та гідрогеологію у Кубанському політехнічному та Київському гірничо-геологічному інститутах і Київському інженерно-меліоративному технікумі. За його ініціативи у 1926 р. був створений і ним очолений Інститут водного господарства як вища науково-дослідна установа України. Під його керівництвом Інститут провів величезну роботу для забезпечення будівництва гідроелектростанцій на Дніпрі.

Є.В. Оппоков поставив на наукову основу не тільки дослідження та вивчення, а й використання та охорону поверхневих та підземних вод. У 1929 р. він розробив метод передбачення висот весняної повені та рівня Дніпра і річок його басейну (рівняння Пенка–Оппокова). На жаль, у 1937 р. його було страчено за безпідставним звинуваченням у контрреволюційній діяльності (Відділення..., 2003; Палій, Храмов, 2013).

гравіметричну зйомку України. Того ж року до складу ВУАН дійсним членом був обраний видатний географ і мандрівник, генерал-майор П.К. Козлов (Національна..., 2013).

У травні 1928 р. президентом ВУАН було обрано академіка Д.К. Заболотного, а 29 червня 1929 р. на розширеному засіданні Ради ВУАН за участю представників наркомату освіти УРСР й наукових співробітників відбулися вибори нових членів академії. Варто зазначити, що за всю історію Академії це єдиний випадок, коли вибори відбувалися



**Різниченко Володимир Васильович** (1870–1932) – знаний український вчений у галузі геоморфології, тектоніки та гляціології, академік ВУАН (1929).

Після закінчення природничого відділу фізико-математичного факультету Харківського університету Володимир Васильович займався геологічними і геоморфологічними дослідженнями важкодоступних гірських систем Середньої Азії та Казахстану (1899–1915), на основі яких вперше склав геологічну і тектонічну карти Алтаю. Найбільш плідний період науково-організаційної та громадської діяльності Володимира Васильовича пов'язаний з Україною (1916–1932). З часу проголошення Української Народної Республіки (УНР) він спочатку працював геологом, а згодом керівником Українського відділення геологічного комітету (1927–1928), був одним з перших організаторів проведення в Україні геологічної зйомки. У 1930–1932 рр. очолював Український науково-дослідний геологічний інститут.

Перу вченого належать понад 70 наукових праць з питань тектоніки, загальної геології, динамічної геології, гідрогеології, регіональної геології та археології. Надзвичайно великого значення Володимир Васильович надавав дослідженню четвертинних відкладів України. На кафедрі геології ВУАН у 1930 р. він створив спеціальну комісію по вивченню четвертинного періоду та започаткував видання журналу «Четвертинний період». Варто зазначити, що Володимир Васильович – людина багатогранна. Своєрідною й унікальною є його літературно-поетична спадщина, він був талановитим художником-карикатуристом (Відділення..., 2003; Палій, Храмов, 2013).



**Рудницький Степан Львович** (1877–1937) – видатний український вчений-географ, доктор філософії (1901), професор (1904), академік ВУАН (1929).

Після закінчення Львівського університету (1899) продовжив вивчати геологію, геоморфологію і гідрографію у Віденському університеті. Від 1904 р. займався географічними дослідженнями Галичини, Прикарпаття, Буковини та Наддніпрянської України. У 1914 р. Степан Львович повернувся до Відня, де опублікував свої фундаментальні праці про Україну для світової громадськості німецькою та англійською мовами. У 1920–1921 рр. він викладав економічну географію у Віденській академії світової торгівлі, а з 1921 р. працював ординарним професором географії і деканом філософського факультету в Українському вільному університеті та Вищому педагогічному інституті (Прага). На запрошення радянського уряду вчений у 1926 р. переїхав з Відня до Харкова, де очолив кафедру топографії і картографії у Геодезичному інституті. Через рік він став першим директором Українського науково-дослідного інституту географії і картографії у Харкові. У 1929 р. очолив кафедру географії ВУАН, Комітет краєзнавства і Музей антропології та етнографії ім. Хв. Вовка.

В кожній науковій праці Степан Львович постає фаховим географом, досвідченим економістом, істориком і соціологом. На жаль, у січні 1934 р. його виключили із складу ВУАН за безпідставним звинуваченням у контрреволюційній діяльності, а згодом у 1937 р. засудили до страти (Відділення..., 2003; Палій, Храмов, 2013).

відкритим голосуванням, а результати вирішувалися більшістю голосів, а не двома третинами від загальної кількості. Було обрано 34 академіка, які були затверджені наркоматом освіти УРСР. Зокрема, по Фізико-математичному відділу дійсними членами ВУАН були обрані вчені-природознавці Є.В. Оппоков, В.В. Різниченко, С.Л. Рудницький та у 1930 р. – М.Г. Свігальський (Національна..., 2008, 2013; Палій, Храмов, 2013).

Наступне п'ятиріччя (1930–1935 рр.) було ознаменоване організаційною перебудовою ВУАН та становленням фундаментальних наук. У липні 1930 р. президентом ВУАН було обрано видатного патофізіолога О.О. Богомольця. Також було ухвалено постанову про об'єднання дрібних кафедр і комісій у цикли, що входили до перейменованого з фізично-математичного на природничо-технічний відділ. У зв'язку з реорганізацією у складі останнього, зокрема,



**Світальський Микола Гнатович** (1884–1937) – знаний вчений у галузі рудної геології, академік ВУАН (1930) та віце-президент АН УРСР (1936–1937).

Після закінчення у 1911 р. Петербурзького гірничого інституту Микола Гнатович пройшов ґрунтовну практичну школу польового геолога від зйомки до розвідки і пошуків кольорових і чорних металів у Прибайкаллі та на Уралі (1911–1919). У 1919 р. почав викладати курс описової петрографії в Санкт-Петербурзькому гірничому університеті, а навесні 1921 р. захистив магістерську дисертацію та очолив кафедру петрографії. У 1926–1930 рр. працював заступником директора Геологічного комітету, а з 1934 р. очолив Інститут геологічних наук АН УРСР та одночасно працював професором кафедри мінералогії та петрографії Київського державного університету (1934–1937).

Під керівництвом Миколи Гнатовича на початку 1930-х років була відкрита смуга магнітних аномалій від Кривого Рогу до Курська та оцінені запаси Криворізького залізорудного родовища. На посаді директора Інституту геологічних наук АН УРСР вчений зосереджується на виконанні практичних завдань розширення мінерально-сировинної бази України, особисто очолює польові експедиційні дослідження Нагольного кряжу, Нікополя та Ромен, де проводились пошукові роботи щодо ртуті, золота, марганцю і нафти. В цей час в Інституті створюється «кабінет Донбасу», який згодом перетворюється на відділ палеозойських відкладів і лабораторію викопної флори.

Перспективну науково-організаційну діяльність 52-літнього вченого зупинила сталінська влада. Його розстріляли у 1937 р. за інспіровані звинувачення у контрреволюційній діяльності. На його честь названо смарагово-зелений слюдистий мінерал – світальський (Відділення..., 2003; Палій, Храмов, 2013).

був утворений географічно-геологічний цикл (Національна..., 2013).

В.І. Лучицьким та Б.Л. Лічковим у 1930 р. була вперше на геоструктурній основі складена карта гідрогеологічного районування України. У 1931 р. припинила свою роботу Комісія для вивчення продуктивних сил України. Натомість до складу ВУАН був переданий Український



**Інститут геології** (з 1939 р. – Інститут геологічних наук АН УРСР) – найстаріший геологічний заклад в Україні, теоретичний центр розвитку нових наукових напрямів геологічних досліджень, родоначальник наукових установ геологічного профілю, що входять до складу Відділення наук про Землю НАН України. На основі його структурних підрозділів були створені: Інститут геології і геохімії горючих корисних копалин (1951), Інститут геофізики (1960), Інститут геохімії і фізики мінералів (1969) та Відділення морської геології та осадового рудоутворення (1992).

Науковцями Інституту зроблено значний внесок у розвиток теоретичних і практичних досліджень з палеонтології і стратиграфії, будови земної кори і геотектоніки, геології нафтових, газових та вугільних родовищ. Одне з провідних місць від часу заснування Інституту посідали гідрогеологічні та інженерно-геологічні дослідження. Було закладено теоретичні основи органічного світу, палеогеографії, закономірностей осаконакопичення та розташування корисних копалин. Чимало успіхів досягнуто у вивченні геології дна Чорного та Азовського морів і Світового океану, вирішенні найважливіших народногосподарських завдань Великого Донбасу, Кривого Рогу, проблем мінерально-сировинного комплексу України. Набув розвитку фундаментальний напрям сучасної геології та порівняльної планетології – вчення про імпактні метеоритні структури. Інститут став першим в Україні центром геологічного вивчення Світового океану і Антарктики (Відділення..., 2003; Інститут..., 2012).

Інститут очолювали: П.А. Тутковський (1926–1930), В.В. Різниченко (1930–1932), І.А. Лепікаш (1933–1934), М.Г. Світальський (1934–1937), Є.С. Бурксер (1938–1939), Б.І. Чернишов (1939–1946), В.І. Лучицький (1946–1949), А.Є. Бабинець (1949–1953), В.Г. Бондарчук (1953–1963), В.Б. Порфир'єв (1963–1968), Я.М. Белевцев (1969), Є.К. Лазаренко (1969–1971), В.Я. Дідковський (1971–1977), Є.Ф. Шнюков (1977–1992), П.Ф. Шпак (1992–1996), П.Ф. Гожик (1997–2020) (Відділення..., 2003; Інститут..., 2012; Національна..., 2013). У 2021 р. директором Інституту була обрана С.Б. Шехунова.

науково-дослідний геологічний інститут Народного Комісаріату освіти УРСР. Знаменно, що співробітник цього Інституту М.С. Шатський саме цього року висунув ідею про соляну тектоніку й можливу нафтогазоносність Дніпровсько-Донецької западини (Національна..., 2013), яка стала поштовхом для розгортання на її підставі розвідувального і згодом промислового буріння.

У 1933 р. на основі вивчення генезису порід і руд залізорудної формації академік ВУАН М.Г. Світалський та П.П. П'ятницький створили схему рудоутворення Криворізького басейну (Національна..., 2013).

На сесії ВУАН у січні 1934 р. основною структурною одиницею Академії ухвалено науково-дослідний інститут. Було створено 22 академічних інститути, диференційовані за галузями науки, зокрема Інститут геології, який об'єднав у своєму складі Український науково-дослідний геологічний інститут, Кафедру гідрології, Кабінет геології та Геологічний музей, які існували як самостійні установи при ВУАН. Також на базі Кафедри геофізики була створена Геофізична обсерваторія ВУАН на чолі з академіком Б.І. Срезневським (Національна..., 2013; Наукові..., 2013).

### Академія наук Української РСР (1936–1941)

21 лютого 1936 р. ВУАН було перейменовано на Академію наук УРСР (АН УРСР) та затверджено новий статут, що зафіксував зміни, які відбулися в її структурі та в організації роботи. Вона знову була поділена на три відділи: суспільних, математичних і природничих та технічних наук. Відділи були поділені на групи відповідно до наукових спеціальностей, а інститути стали основними структурними підрозділами, яким надавалася цілковита оперативна й господарська самостійність при підпорядкуванні безпосередньо Президії. Вищим органом АН УРСР знову стали Загальні збори. Процедура виборів до АН УРСР передбачала право висувати кандидатів на дійсних членів та членів-кореспондентів відділами, але які могли обирати лише останніх. Загальні збори затверджували членів-кореспондентів, а дійсних членів обирали (Національна..., 2008).

У 1936 р. в Інституті геології відбулась наукова конференція з питань розвідки родовищ корисних копалин та дослідження геологічної будови території України, яка була організована спільно з Радою по вивченню продуктивних сил України. Цього ж року згідно постанови РНК УРСР Полтавська гравіметрична обсерваторія була передана до Геофізичної обсерваторії АН УРСР. Згодом у 1938 р. була прийнята Постанова Президії АН УРСР про її



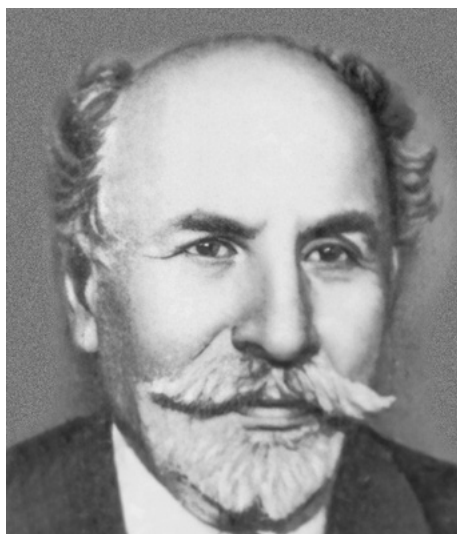
*Полтавська гравіметрична обсерваторія як геофізичний та радіоастрономічний науково-дослідний заклад була заснована у 1926 р. з ініціативи знаного астронома, академіка ВУАН О.Я. Орлова і підпорядковувалась Українській Головній палаті мір та ваг. У 1936 р. була передана АН УРСР і після об'єднання з Геофізичною обсерваторією увійшла до складу Фізично-математичного відділу під назвою Геофізична і гравіметрична обсерваторія. У складі Обсерваторії були сектори: магнітометрії, електрометрії та гравіметрії, фізики атмосфери, астрономії.*

*У 1938 р. Обсерваторія увійшла до складу Інституту геології АН УРСР як Сектор геофізики, а у 1964 р. була передана в підпорядкування Інституту геофізики АН УРСР. Основними напрямками наукової діяльності Полтавської гравіметричної обсерваторії були: вивчення обертового руху Землі та пов'язаних з ним геодинамічних явищ методами космічної геодезії та оптичної астрометрії; вивчення динаміки земної кори та сили тяжіння на основі геодезичних та геофізичних спостережень; геофізичні дослідження з проблеми прогнозу землетрусів (Відділення..., 2003; Наукові..., 2013).*

*Обсерваторію очолювали: О.Я. Орлов (1926–1934), П.К. Нечипоренко (1934–1937), П.А. Степаніко (1937–1938), О.Я. Орлов (1938–1951), З.М. Аксентьева (1951–1969), М.І. Панченко (1969–1982), В.Г. Булацен (1982–2016), з 2017 р. – М.В. Лубков.*

реорганізацію: геофізичну групу було передано до Інституту геології, а Полтавську гравіметричну обсерваторію виділено в самостійну структуру АН УРСР (Національна..., 2013).

1930-ті роки були затьмарені масовими репресіями. Кілька сотень співробітників ВУАН були безпідставно звинувачені як «вороги народу», багато з них (у тому числі згадані вище академіки-природознавці Є.В. Оппоков, С.Л. Рудницький, М.Г. Світалський та ін.) були ув'язнені, заслані або страчені. У результаті були обезголовлені й істотно ослаблені важливі наукові напрями, що розвивалися в Україні. Для відновлення кількісного складу АН УРСР в лютому 1939 р. було обрано 30 академіків та 60 членів-кореспондентів.



**Сельський Володимир Олександрович** (1883–1951) – знаний вчений, доктор геолого-мінералогічних наук (1937), професор (1937), академік АН УРСР (1939).

Закінчив фізико-математичний факультет Київського університету (1909) і залишився при університеті для наукової та педагогічної діяльності (1910–1911). У 1912–1914 рр. працював у Варшавському університеті, згодом обіймав посаду директора гімназії у Кисловодську. У 1922 р. Володимир Олександрович організував і очолив Нафтовий інститут у м. Грозний (1922–1928), а згодом промислове управління «Грознафтогазрозвідка» (1928–1930). Упродовж 1931–1938 рр. – головний геолог Головного управління паливної промисловості Всесоюзної ради народного господарства СРСР, головний консультант із питань геофізичної розвідки Державного геофізичного тресту СРСР. У 1939 р. Володимир Олександрович перейшов на роботу до Інституту геологічних наук АН УРСР, де створив відділ геофізики, який під його керівництвом працював над вирішенням питань геофізичних досліджень Дніпровсько-Донецької западини. Під час німецької окупації вчений працював на нафтогазових родовищах Татарської АРСР. У 1945 р. В.О. Сельський повернувся на Україну і створив відділ геофізики і сектор сейсмології у Львівській філії АН УРСР, кафедру геофізики у Львівському університеті та політехнічному інституті.

Завдячуючи фундаментальній фізико-математичній підготовці, Володимир Олександрович далекоглядно оцінив пріоритетну роль геофізики у вирішенні питань структурної геології. Він наполегливо впроваджував новітні методи геофізичних досліджень, що сприяли вивченню геологічної будови земних надр та пошуку і розвідки корисних копалин (Відділення..., 2003; Палій, Храмов, 2013).



**Чернишов Борис Ісидорович** (1888–1950) – видатний вчений-геолог, стратиграф, палеонтолог, доктор геолого-мінералогічних наук (1937), професор (1929), академік (1939) та віце-президент АН УРСР (1939–1946), заслужений діяч науки УРСР (1943).

Вищу освіту отримав у двох вищих навчальних закладах – Празькому політехнічному інституті (1906–1910) та Катеринославському (Дніпропетровському) гірничому інституті, який закінчив у 1916 р., одержавши спеціальність гірничого інженера. До 1925 р. Борис Ісидорович займався педагогічною діяльністю – професор кафедри геології в Гірничому інституті та університеті (м. Катеринослав). У 1926 р. він переїхав до Ленінграда, де працював науковим співробітником Геологічного комітету і також за сумісництвом продовжив педагогічну діяльність у Гірничому інституті та університеті у Ленінграді. У 1937 р. Вища атестаційна комісія присвоїла йому вчений ступінь доктора геолого-мінералогічних наук без захисту дисертації. У 1939 р. Борис Ісидорович отримав запрошення і дав згоду переїхати до України і працювати там. Того ж року його обирають дійсним членом і віце-президентом АН УРСР та призначають директором Інституту геологічних наук АН УРСР. Під час війни вчений працював у Уфі над прогнозною картою кам'яного вугілля СРСР, вивчав палеозойські відклади Південного Уралу і Казахстану. В 1946 р. він склав з себе повноваження директора Інституту, залишившись на посаді завідувача сектору загальної геології та палеонтології і водночас кафедри палеонтології у Київському університеті (1939–1946).

Борис Ісидорович – один із небагатьох найдосвідченіших знавців фауни безхребетних палеозойських відкладів усіх регіонів колишнього СРСР. Виходячи з результатів палеонтолого-стратиграфічних досліджень, він дійшов висновку про закономірне фаціальне розташування фауни у покрівлі вугільних пластів Донбасу і вперше розчленував на яруси продуктивну товщу карбону у Дніпровсько-Донецькій западині і Львівській мульдзі (Відділення..., 2003).





**Дубянський Олександр Андрійович** (1890–1974) – відомий вчений з вивчення геологічної будови і корисних копалин південної частини Східноєвропейської платформи, доктор геолого-мінералогічних наук (1937), професор (1924), член-кореспондент АН УРСР (1939), лауреат Ленінської премії за розвідку та відкриття залізорудного родовища в Білгородській області (1959).

Вищу освіту отримав у Юр'євському (нині – Тартуському) університеті, який успішно закінчив у 1908 р. Більшу частину свого життя вчений присвятив педагогічній діяльності, яку плідно поєднував з науковими дослідженнями. Понад 40 років очолював кафедру гідрогеології у Воронежському сільськогосподарському інституті. За сумісництвом Олександр Андрійович працював науковим співробітником Інституту геологічних наук, вивчаючи геологічну будову та корисні копалини північних областей України і суміжних регіонів.

Основні дослідження науковця стосуються вивчення геологічної будови, гідрогеології і корисних копалин південної частини Східноєвропейської платформи. Розробив основи вчення про підземні води Центрально-Чорноземної області, що сприяло їх раціональному використанню. Один із першовідкривачів великих родовищ залізної руди на території Курської магнітної аномалії, за що отримав Ленінську премію (Відділення..., 2003).

Серед них по відділу математичних і природничих наук дійсними членами були обрані В.О. Сельський і Б.І. Чернишов, членами-кореспондентами стали О.А. Дубянський і М.П. Семененко (Відділення..., 2003; Національна..., 2008; Палій, Храмов, 2013).

Особливу увагу природничих установ АН УРСР в 1930-ті роки було зосереджено на геолого-економічній проблемі Донбасу, вирішення якої спричинило відкриття низки нафтогазових родовищ та інших корисних копалин, а також розширення меж вугільного басейну.



**Семененко Микола Пантелеймонович** (1905–1996) – видатний український вчений у галузі планетарної геохімії, доктор геолого-мінералогічних наук (1937), професор (1937), член-кореспондент (1939), академік (1948) та віце-президент АН УРСР (1950–1970), заслужений діяч науки України (1957), лауреат Державної премії УРСР в галузі науки і техніки (1973) та премії ім. В.І. Вернадського АН УРСР (1981).

По закінченні в 1927 р. Дніпропетровського гірничого інституту працював у Байкальській геохімічній експедиції. Впродовж 1937–1941 рр. – завідувач кафедри Дніпропетровського гірничого інституту. Під час війни – завідувач кафедри Інституту кольорових металів у м. Орджонікідзе (1941–1942) та завідувач кафедри петрографії, мінералогії та рудних родовищ Іркутського гірничо-металургійного інституту (1942–1944).

У повоєнний час працював професором Київського університету (1944–1952), завідував відділом петрографії рудних родовищ в Інституті геологічних наук АН УРСР (1944–1968). Засновник і перший директор Інституту геохімії і фізики мінералів АН УРСР (1969–1977) та завідувач відділу геології і геохімії рудних родовищ у цьому ж інституті (1969–1987).

Сфера наукових досліджень: вивчення геології рудних родовищ корисних копалин Українського щита, створення єдиної класифікації метаморфічних гірських порід. Микола Пантелеймонович обґрунтував теоретичні підвалини сучасного вчення про метаморфізм рухливих зон та розробив геохімічну киснево-водневу модель Землі. З геохімічних позицій розглянув енергетику Землі, її періодичне енергетичне розвантаження, процеси мінералізації, геохімію та історію формування кори платформ континентів. Вивчав питання геохронології в абсолютному літочисленні, обґрунтував положення про шість мегациклів у історії земної кори. Вперше розробив та склав «Регіональну геохронологічну шкалу докембрію України». Одним із перших в Україні почав застосовувати радіологічні методи для геохронологічного розчленування докембрію. Його ім'я присвоєно Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України (Відділення..., 2003; Національна..., 2018).

Так, палеонтолого-стратиграфічні дослідження академіка Б.І. Чернишова дозволили розкрити закономірності формування у часі й просторі вугільних пластів Донбасу. Академік М.Г. Світальський розробив теорію походження і систематику метаморфічних гірських порід Українського щита. Також результатом його робіт у співавторстві з П.П. Пятницьким стало з'ясування геолого-геохімічних умов рудних проширків Криворізького залізорудного басейну. Відкриття на початку 1930-х років біля м. Ромни реальних нафтопродуктів у розвідувальній свердловині дало змогу визначити Дніпровсько-Донецьку западину як перспективний нафтогазовий регіон, у межах якого Український науково-дослідний геологічний інститут АН УРСР розгорнув комплексні дослідження і у 1938 р. провів наукову конференцію «Нафтоносність Східної України». В цей період В.І. Лучицький опрацював проблему петрографічних провінцій і склав перший кадастр «Петрографія України», а також опублікував фундаментальну монографію «Докембрій УРСР» (Національна..., 2008).

На Загальних зборах у березні 1939 р. було ухвалено структуру АН УРСР у складі чотирьох відділів: суспільних, фізико-хімічних і математичних, біологічних та технічних наук. Президентом АН УРСР було переобрано О.О. Богомольця. Також була ухвалена Постанова про перейменування Українського науково-дослідного геологічного інституту АН УРСР в Інститут геологічних наук АН УРСР (Інститут..., 2012; Національна..., 2013).

Постановою РНК УРСР у 1940 р. було створено Інститут мінеральної сировини АН УРСР, який займався проблемами в галузі хімії силікатів і неорганічних матеріалів, але припинив своє існування у 1941 р. Частину його функцій було передано Лабораторії з вивчення силікатів Інституту хімії АН УРСР (Національна..., 2013).

У квітні 1940 р. в Інституті геологічних наук АН УРСР відбулась нарада з проблем нафтоносності (за участю представників Ленінградського геологорозвідувального нафтового інституту та Наркомату нафтової промисловості), а у травні – з проблеми зсувів ґрунтів (за участю представників наукових, проектних та виробничих організацій Москви, Ленінграда, Києва та інших міст) (Національна..., 2013).

На початку 1941 р. Рада по вивченню продуктивних сил України АН УРСР провела конференцію з рідкісних і кольорових металів, у якій взяли участь, крім співробітників Інституту геологічних наук, Інституту мінеральної сировини, Інституту хімії та Інституту металургії АН УРСР, представники АН СРСР, Державного інституту рідкісних металів, Народного комісаріату кольорових металів СРСР та ін. (Національна..., 2013).

### **Академія наук Української РСР у роки Великої Вітчизняної війни (1941–1945)**

Після нападу нацистської Німеччини на територію колишнього СРСР у липні–вересні 1941 р. більшість інститутів АН УРСР, зокрема Інститут геологічних наук, переїхали до Уфи, столиці Башкирії, а Полтавська гравіметрична обсерваторія – до Іркутська. 22 серпня в Уфі відбулися перші в евакуації Загальні збори АН УРСР, на яких головну увагу було приділено науково-технічним розробкам у галузі оборонної промисловості. У серпні 1942 р. при АН УРСР було створено Комісію з мобілізації ресурсів на оборону СРСР, а саме розширення бази стратегічної мінеральної сировини Уралу й Башкирської АРСР. Важливі роботи з питань водопостачання Башкирії проводив Інститут геологічних наук АН УРСР, яким була розроблена гідрологічна карта водоносних горизонтів регіону (Національна..., 2013).

Весною, на початку літа 1944 р. почалася реевакуація установ АН УРСР. Під час останньої сесії АН УРСР в Уфі 29 липня 1943 р. президент О.О. Богомолець вручив голові РНК Башкирської АРСР 9-томну збірку матеріалів із проблем розвитку продуктивних сил і мобілізації природних ресурсів Башкирії, у підготовці якої активну участь брали науковці Інституту геологічних наук АН УРСР (Національна..., 2008).

Після звільнення території Західної України відновила роботу Львівська філія АН УРСР, у складі якої у 1945 р. було організовано Львівське відділення Інституту геологічних наук АН УРСР. Того ж року дійсними членами АН УРСР було обрано В.І. Лучицького та А.М. Криштофовича (Палій, Храмов, 2013).



**Луцицький Володимир Іванович** (1877–1949) – видатний геолог-петрограф, доктор геолого-мінералогічних наук (1934), професор (1908), дійсний член АН УРСР (1945), заслужений діяч науки УРСР (1947).

Після закінчення у 1899 р. із золотою медаллю природничого факультету Київського університету Володимир Іванович отримав стипендію кафедри мінералогії і згодом був відряджений до Німеччини на наукове стажування (1903–1905). Працював професором кафедри мінералогії Варшавського політехнічного інституту (1908–1914) та Київського університету (1913–1923).

До революції вчений був активним членом Українського наукового товариства, головою Київського товариства дослідників природи. У роки проголошення Української Народної Республіки очолював відділ сировини Київського комітету військово-технічної допомоги і Гідрогеологічне управління. Ще наприкінці 1917 р. він підготував обґрунтування необхідності створення Українського геологічного комітету та 1 лютого 1918 р. отримав схвальну реакцію Міністерства Торгівлі і Промисловості. А вже 23 серпня 1918 р. наказом гетьмана Павла Скоропадського його було призначено директором Геологічного комітету.

У 1919–1921 рр. Володимир Іванович працював професором Таврійського університету у Сімферополі, а згодом у Гірничій академії (1923–1930) і Геологорозвідальному інституті (1930–1941) у Москві. У 1944 р. повернувся до Києва, де обійняв посаду завідувача відділу петрографії Інституту геологічних наук АН УРСР (з 1944 р.), за сумісництвом працював професором кафедри мінералогії і петрографії Київського державного університету (з 1945 р.), а згодом очолював Інститут геологічних наук АН УРСР (1947–1949 рр.).

Володимир Іванович належить до геологів широкого спектру діяльності. Результати петрографічних і петрологічних досліджень він використовував і пристосовував для вирішення завдань стратиграфії докембрію і геології родовищ корисних копалин Українського щита. Вагомий внесок вчений зробив у гідрогеологію, чимало його праць присвячено питанням водопостачання великих промислових центрів України (Володимир..., 1968; Відділення..., 2003).



**Криштофович Афрікан Миколайович** (1885–1953) – видатний вчений-геолог, палеоботанік, доктор біологічних (1926) та геолого-мінералогічних (1934) наук, дійсний член АН УРСР (1945), член-кореспондент АН СРСР (1953), лауреат Державної премії СРСР (1946).

Закінчив у 1908 р. Новоросійський університет (сьогодні – Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова). Працював ад'юнктом-геологом Геологічного комітету, за завданням якого проводив геологічні дослідження Сибіру і Далекого Сходу. Після повернення до України займався науковою і педагогічною роботою. В 1926 р. захистив докторську дисертацію в Одеському університеті на здобуття вченого ступеня доктора біологічних наук.

Афрікан Миколайович збагатив науку своїми фундаментальними дослідженнями в галузі геології, палеоботаніки, палеогеографії і лінгвістики. Він вперше вивчив і описав палеогенову флору півдня Східноєвропейської платформи, зокрема Приазов'я та південно-західної України. Оригінальні праці вченого одержали всесвітнє визнання і у 1934 р. Вища атестаційна комісія СРСР присудила йому науковий ступінь доктора геолого-мінералогічних наук без захисту дисертації. Вчений був фундатором та очільником Всесоюзного палеонтологічного товариства (1949), а також активним членом Всесоюзних географічного та ботанічного товариств (Відділення..., 2003).

## Післявоєнна історія (1945–1962)

У липні 1946 р. на 66-му році пішов з життя академік О.О. Богомолець, який керував Академією впродовж 16 років. У листопаді на позачергових Загальних зборах президентом АН УРСР був обраний видатний біохімік, академік АН УРСР О.В. Палладін (Національна..., 2008).

У повоєнний період Державні премії в галузі науки і техніки СРСР були присуджені: у 1946 р. – академіку АН УРСР А.М. Криштофовичу за монографію «Палеоботаніка»,



**Вялов Олег Степанович** (1904–1988) – видатний український вчений у галузі стратиграфії і палеонтології, нафтової геології і геотектоніки, доктор геолого-мінералогічних наук (1937), професор (1941), академік АН УРСР (1948), заслужений діяч науки і техніки УРСР (1981), лауреат Державної премії в галузі науки і техніки СРСР (1947), УРСР (1986) та премії ім. В.І. Вернадського АН УРСР (1979).

Вищу освіту отримав, навчаючись з перервами, в Туркестанському університеті, Московській гірничій академії і Ленінградському університеті, який закінчив у 1928 р. Свою виробничу діяльність починав у якості геолога Геологічного комітету (1927–1933), згодом працював старшим геологом Всесоюзного науково-дослідного геологорозвідувального інституту (1933–1945). У 1937 р., завдяки надзвичайним науковим здібностям та працездатності, не маючи ступеня кандидата наук, він захистив докторську дисертацію за матеріалами вивчення третинних відкладів Середньої Азії. Але найбільш плідний період науково-організаційної діяльності Олега Степановича пов'язаний з дослідженнями еволюції і тектонічної будови Карпат. З 1945 р. працював завідувачем кафедри Львівського університету, а у 1949 р. перейшов на постійну роботу завідувачем відділу тектоніки і стратиграфії Інституту геології корисних копалин АН УРСР (м. Львів).

Значне місце у науковій діяльності вченого посідали палеонтологічні дослідження. Зокрема, він заснував новий напрям – палеоіхнологію. Олег Степанович – фундатор і перший президент Українського палеонтологічного товариства (Відділення..., 2003).

у 1947 р. – О.С. Вялову (академік АН УРСР з 1948 р.) за участь у геологічних дослідженнях, що забезпечили відкриття та освоєння нових нафтових родовищ у Фергані, та у 1948 р. – Г.М. Малахову (академік АН УРСР з 1967 р.) за участь у розробці та впровадженні високопродуктивної системи поверхнево-примусового обвалення в умовах Криворізького залізрудного басейну (Національна..., 2013).



**Бондарчук Володимир Гаврилович** (1905–1993) – видатний український вчений, педагог, організатор науки і громадський діяч, доктор геолого-мінералогічних наук (1941), професор (1944), член-кореспондент (1948), академік АН УРСР (1951), заслужений діяч науки і техніки УРСР (1970), лауреат Державної премії УРСР в галузі науки і техніки (1976).

Після закінчення у 1924 р. Волинського інституту народної освіти (м. Житомир) навчався в аспірантурі Українського науково-дослідного геологічного інституту (1926–1929) за фахом «палеонтологія і стратиграфія». Працював в Українському геологорозвідувальному управлінні старшим, головним геологом, начальником геолого-зйомочних партій (1923–1935). Упродовж багатьох років Володимир Гаврилович обіймав високі адміністративні посади: проректора (1935–1941) і ректора (1944–1951) Київського державного університету, заступника Голови Ради Міністрів УРСР (1951–1953), директора (1953–1963) та завідувача відділу тектоніки і четвертинної геології Інституту геологічних наук АН УРСР (1963–1986) (Відділення..., 2003).

В.Г. Бондарчук – творець нового теоретичного напрямку в геологічній науці – тектоорогенії та вчення про тектоносферу як єдиного процесу розвитку структури та рельєфу Землі. Чільне місце в дослідженнях вченого посідає загальна і регіональна геологія (Відділення..., 2003; Національна..., 2018).

На виборах до Академії, які відбулися у 1948 р., О.С. Вялов і М.П. Семененко (член-кореспондент з 1939 р.) були обрані дійсними членами АН УРСР, а членами-кореспондентами стали В.Г. Бондарчук і К.І. Маков (Палій, Храмов, 2013).

У 1949 р. за участю співробітників Інституту геологічних наук АН УРСР (М.П. Балуховський та ін.) було відкрито Шебелинське



**Маков Костянтин Іванович** (1911–1948) – відомий вчений-гідрогеолог, доктор геолого-мінералогічних наук (1941), професор (1943), член-кореспондент АН УРСР (1948).

Після закінчення у 1930 р. Курського гідротехнічного технікуму влаштувався на роботу гідрогеологом в Українське геологічне управління. У 1932 р. вступив на Вищі геологорозвідувальні курси при Інституті геології ВУАН і вже наступного року навчався там в аспірантурі. Під керівництвом академіка Є.В. Опікова він у 24 роки достроково захистив кандидатську дисертацію. До війни працював начальником науково-дослідного сектору, науковим співробітником Інституту геологічних наук АН УРСР. У грудні 1941 р., перебуваючи в евакуації в Уфі, успішно захистив докторську дисертацію. Після звільнення України від фашистських загарбників повернувся до Києва і продовжив працювати завідувачем відділу гідрогеології і першим заступником директора Інституту геологічних наук АН УРСР (1944–1948).

Більшість праць Костянтина Івановича присвячена регіональній гідрогеології України і суміжних територій. Настільною книгою для всіх гідрогеологів і сьогодні є його 2-томна монографія «Подземные воды Украинской ССР», яка була опублікована у 1947 р. З 1944 р. вчений очолював кафедру гідрогеології у Київському університеті і за порівняно короткий термін створив свою наукову школу. На жаль, у розквіті життєвого і творчого шляху Костянтин Іванович загинув у автомобільній аварії (Відділення..., 2003).

родовище природного газу. Державну премію в галузі науки і техніки СРСР у 1950 р. було присуджено В.С. Соболеву (член-кореспондент АН УРСР з 1951 р.) за монографію «Вступ до мінералогії силікатів», у 1951 р. – Я.М. Белєвцеву (академік АН УРСР з 1967 р.) за відкриття унікальних родовищ урану в Україні (м. Жовті Води) (Національна..., 2008).



**Інститут геології корисних копалин** (з 1963 р. – Інститут геології і геохімії горючих копалин) – провідний заклад з питань розвитку наукових досліджень у галузі геології нафтових, газових та вугільних родовищ, які відіграють важливу роль у розвитку паливно-енергетичного комплексу України.

Спочатку діяльність Інституту, який очолював В.Б. Порфир'єв, була спрямована на вивчення геології і корисних копалин західних областей України. Структура наукових підрозділів Інституту включала п'ять відділів: горючих копалин (доктор геолого-мінералогічних наук В.Б. Порфир'єв), тектоніки і стратиграфії (академік АН УРСР О.С. Вялов), петрографії корисних копалин (доктор геолого-мінералогічних наук В.С. Соболев), гідрогеології (доктор геолого-мінералогічних наук В.Г. Ткачук), геофізики (кандидат геолого-мінералогічних наук С.І. Субботін).

У 1963 р. Інститут був реформований в Інститут геології і геохімії горючих копалин, на який було покладено завдання розробки наукових основ пошуків і розвідки родовищ нафти і газу, вугілля, горючих сланців та сірки на території України. Значне місце в роботі Інституту посідали дослідження структурно-тектонічної будови південно-західної окраїни Східноєвропейської платформи з метою встановлення закономірностей розміщення родовищ горючих та інших, просторово і генетично пов'язаних з ними, корисних копалин.

За понад 70-річну історію Інститут очолювали В.Б. Порфир'єв (1951–1963), Г.Н. Доленко (1963–1982), Р.В. Кучер (1982–1986), В.Ю. Забігайло (1986–1996). Упродовж 1996–2003 рр. обов'язки директора виконували С.О. Лизун, І.М. Намуко і М.І. Павлюк, який був обраний директором у 2003 р.

З Інститутом пов'язані імена багатьох видатних вчених Львівської школи геологів. Тут працювали академік АН СРСР В.С. Соболев, академіки АН УРСР В.А. Сельський, О.С. Вялов, Є.К. Лазаренко, С.І. Субботін, Л.Г. Ткачук, члени-кореспонденти АН УРСР М.Р. Ладигенський, Я.І. Серєда, В.І. Кітик та Ю.М. Сеньковський (Відділення..., 2003).

У галузі наук про Землю значну увагу у післявоєнні роки було приділено пошуку та освоєнню природних ресурсів на возз'єднаних територіях – Закарпатті, Українських Карпатах, Буковині і Волині. З цією метою у 1951 р. на базі Львівського відділення Інституту геологічних наук АН УРСР був створений Інститут геології корисних копалин АН УРСР (Національна..., 2013).





**Белевцев Яків Миколайович** (1912–1993) – видатний вчений, дослідник геології і металогенії Криворізького залізорудного басейну та Українського щита, доктор геолого-мінералогічних наук (1952), професор (1955), член-кореспондент (1951), академік АН УРСР (1967), лауреат Державної премії в галузі науки і техніки СРСР (1951, 1974), УРСР (1973) та премії ім. В.І. Вернадського АН УРСР (1983).

Після закінчення Дніпропетровського гірничого інституту працював у тресті «Кривбасгеологія» (1931–1937). Під час війни в Кемеровській області відкрив Лебединське родовище марганцю. З 1944 р. Яків Миколайович обіймав посаду головного геолога Криворізького геологорозвідувального тресту. Впродовж 1946–1951 рр. працював головним геологом Кіровської експедиції Міністерства геології СРСР, згодом головним інженером Жовторіченського комбінату (1951–1953). В 1953 р. перейшов на роботу в Інститут геологічних наук АН УРСР, де очолив відділ металогенії. З 1969 р. – керівник Сектору (з 1982 р. – Відділення) металогенії і заступник директора (1978–1988) Інституту геохімії і фізики мінералів АН УРСР.

На базі вивчення докембрійських залізорудних і уранових родовищ Криворізького залізорудного басейну та Українського щита Яків Миколайович обґрунтував метаморфогенну теорію утворення ендегенних рудних родовищ (Відділення..., 2003; Палій, Храмов, 2013).

На виборах до Академії у 1951 р. дійсним членом був обраний В.Г. Бондарчук (член-кореспондент з 1948 р.), а членами-кореспондентами – Я.М. Белевцев, Є.К. Лазаренко, К.Й. Новик, В.Б. Порфир'єв, С.П. Родіонов, Я.І. Серєда і В.С. Соболев (Палій, Храмов, 2013).



**Лазаренко Євген Костянтинівич** (1912–1979) – славетний вчений, корифей української мінералогії, доктор геолого-мінералогічних наук (1947), професор (1951), член-кореспондент (1951), академік АН УРСР (1969), заслужений діяч науки УРСР (1961), лауреат Державної премії УРСР в галузі науки і техніки (1983).

Вищу освіту здобув на геолого-географічному факультеті Харківського університету, який закінчив у 1934 р. Навчаючись в аспірантурі, він досліджував мінеральний склад свинцево-цинкових покладів Нагольного кряжу в Донбасі та у 1937 р. успішно захистив кандидатську дисертацію. Під час війни працював на Уралі. В 1944 р. був направлений до Львівського університету. Там він організував кафедру мінералогії, очолив геологічний факультет (1944–1969), а згодом його призначили ректором цього найстарішого в Західній Україні навчального закладу (1951–1963). У 1969 р. Євгена Костянтинівича призначили директором Інституту геологічних наук АН УРСР (1969–1972). Тут він створив відділ регіональної та генетичної мінералогії. Однак останнє було витлумачено керівництвом Академії як дублювання наукової тематики Інституту геохімії і фізики мінералів АН УРСР, куди його у 1972 р. було переведено і де він до кінця своїх днів працював завідувачем відділу регіональної та аналітичної мінералогії.

Все своє життя Євген Костянтинівич вивчав царство мінералів, їх генезис, властивості та можливість їх практичного використання. Під його керівництвом і за безпосередньою участю було опубліковано серію фундаментальних праць, своєрідних мінералогічних енциклопедій. Євген Костянтинівич понад 25 років читав курси з мінералогії, кристалографії і петрографії чистою соковитою українською мовою. Варто зауважити, що його підручник «Курс мінералогії» видавався п'ять разів, в тому числі болгарською і китайською мовами. Він і сьогодні є основним підручником з мінералогії в Україні та республіках колишнього СРСР (Відділення..., 2003; Палій, Храмов, 2013).

В результаті структурної реорганізації АН УРСР у 1952 р. на базі Відділу фізико-хімічних і математичних наук були створені два самостійних: Відділ фізико-математичних та Відділ хімічних і геологічних наук. Слід підкреслити, що геологічні науки вперше



**Новик Катерина Йосипівна** (1898–1984) – відома вчена-стратиграф-палеоботанік, доктор геолого-мінералогічних наук (1943), професор (1945), член-кореспондент АН УРСР (1951), заслужений діяч науки УРСР (1978).

Після закінчення у 1923 р. Катеринославського інституту народної освіти навчалася в аспірантурі при кафедрі геології Дніпропетровського гірничого інституту та деякий час працювала науковим співробітником Українського геологорозвідувального тресту в Києві. В 1928 р. Катерина Йосипівна перейшла на роботу в Інститут геологічних наук АН УРСР, де очолила «кабінет Донбасу» при секторі палеонтології і стратиграфії (1934–1939), згодом відділ стратиграфії і літології палеозойських відкладів (1945–1949). У 1936 р. їй без захисту дисертації було присуджено вчений ступінь кандидата геологічних наук. У 1943 р. вона захистила докторську дисертацію. За ініціативи Катерини Йосипівни в Інституті геологічних наук АН УРСР був заснований відділ викопної флори, яким вона керувала впродовж 1965–1970 рр.

Основні наукові інтереси К.Й. Новик були зосереджені на вивченні кам'яновугільної флори Східної Європи, стратиграфічному розчленуванні порід карбонної системи Донецького і Львівсько-Волинського басейнів (Відділення..., 2003; Палій, Храмов, 2013).

з'явилися у назві одного з основних підрозділів АН УРСР. До складу Відділу хімічних і геологічних наук увійшли: Інститут геологічних наук, Інститут геології корисних копалин, Сейсмічний центр, Комітет по метеоритах, а згодом – Інститут мінеральних ресурсів АН УРСР, створений у 1956 р. у Сімферополі (Національна..., 2008).

У 1953 р. в Інституті геологічних наук АН УРСР були започатковані так звані наукові геологічні «середина». Тобто, майже щосередина



**Порфир'єв Володимир Борисович** (1899–1982) – видатний геолог-нафтовик, доктор геолого-мінералогічних наук (1938), член-кореспондент (1951), академік АН УРСР (1957), лауреат Державної премії УРСР в галузі науки і техніки (1971) та премії ім. В.І. Вернадського АН УРСР (1980).

Після закінчення у 1926 р. Ленінградського гірничого інституту працював спочатку у Геологічному комітеті, згодом перейшов до Всесоюзного нафтового науково-дослідного геологорозвідувального інституту, де у 1937 р. без захисту дисертації йому було присуджено вчений ступінь кандидата геолого-мінералогічних наук і надано наукове звання професора. Наступного року Володимир Борисович захистив докторську дисертацію на тему «Умови утворення нафтових родовищ Середньої Азії».

Другий період наукової діяльності В.Б. Порфир'єва тісно пов'язаний з Україною. Тут з 1939 по 1941 р. він працював професором Київського державного університету, а з 1944 по 1945 р. очолював нафтовий відділ Інституту геологічних наук АН УРСР. За його ініціативи у 1945 р. було створено Львівське відділення Інституту геологічних наук АН УРСР, на базі якого у 1951 р. був заснований Інститут геології корисних копалин, які він очолював впродовж 1945–1963 рр. У 1963–1968 рр. працював директором Інституту геологічних наук АН УРСР та керував відділом геології та генезису нафтових і газових родовищ до кінця життя (Відділення..., 2003).

Наукові праці Володимира Борисовича присвячені дослідженню природи й умов утворення, закономірностей просторового розміщення родовищ нафти, газу, вугілля, горючих сланців. Головним напрямом наукових досліджень вченого була проблема нафтидогенезу. Варто зауважити, що Володимир Борисович довгий час був прихильником гіпотези органічного походження нафти. Проте останні 25 років життя він обстоював і розвивав теорію абіогенного глибинного походження вуглеводнів за рахунок мантійного неорганічного синтезу (Відділення..., 2003; Національна..., 2018).

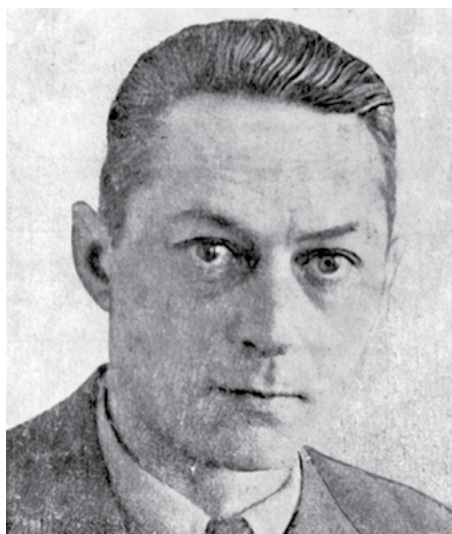
в Інституті збирались представники геологічної громадськості Києва, щоб заслухати доповідь з того чи іншого питання геології (Національна..., 2013).



**Родіонов Сергій Петрович** (1898–1961) – відомий вчений-петрограф, доктор геолого-мінералогічних наук (1947), професор (1947), член-кореспондент АН УРСР (1951).

У 1918 р. вступив добровольцем до лав Червоної армії, де пройшов шлях від рядового до полковника – командира батальйону зв'язку. Після закінчення Катеринославського (Дніпропетровського) гірничого інституту у 1929 р. залишився працювати асистентом кафедри мінералогії і кристалографії. Обіймав посади директора і головного інженера Криворізької геологорозвідальної бази (1931–1935), згодом начальника науково-дослідного сектору Геологічного комітету (1935–1938) та керівника відділу Великого Кривого Рогу Інституту геологічних наук АН УРСР (1938–1941). Учасник Великої Вітчизняної війни – командир саперного батальйону. У 1944 р. був відкликаний з армії і призначений головним геологом Українського геологорозвідального управління. У 1945–1952 рр. – завідувач кафедри мінералогії і кристалографії, а у 1949–1957 рр. – декан геологічного факультету Київського університету.

Поряд з дослідженнями залізородних формацій України, вчений зробив значний внесок у вивчення архейських утворень Українського щита. Через тяжку хворобу Сергій Петрович помер на 63-му році життя (Відділення..., 2003).



**Серета Ярослав Іванович** (1900–1981) – відомий український вчений у галузі нафтопереробки, член-кореспондент (1951), кандидат хімічних наук (1956).

У 1925 р. закінчив хімічний факультет Празького технічного університету, а потім навчався і працював асистентом кафедри технології нафти Львівської політехніки. У 1935 р. Ярослав Іванович перейшов на посаду керівника дослідних робіт державного підприємства «Польмін» (нині – Дрогобицький нафтопереробний завод). У період Великої Вітчизняної війни працював за фахом на Грозненському, потім Уфимському нафтопереробних заводах. З 1944 р. Ярослав Іванович спочатку обіймав посаду начальника відділу Укрнафтокомбінату, а згодом головного інженера тресту «Укрнафторозвідка» у Дрогобичі. У 1951 р. його, як одного з провідних фахівців, обрали членом-кореспондентом АН УРСР (хоча він не мав жодних наукових ступенів) і призначили у 1953 р. заступником голови новоствореної Львівської філії АН УРСР. У 1956 р. вчений очолив лабораторію проблем нафтопереробки Інституту геології корисних копалин АН УРСР. З 1963 р. – керівник лабораторії поверхнево-активних речовин у Львівській філії Українського науково-дослідного і проектного інституту нафтопереробної і нафтохімічної промисловості «УкрНДІПРО-нафта».

Ярослав Іванович – автор близько 20 патентів і свідоцтв на винаходи засобів переробки нафтових продуктів (Відділення..., 2003)

За ініціативи члена-кореспондента АН УРСР В.Б. Порфир'єва в Інституті геології корисних копалин АН УРСР в 1954 р. була проведена відкрита наукова дискусія з проблеми походження й міграції нафти, де Львівська школа геологів аргументувала глибинне абіогенне походження вуглеводнів. Ця наукова гіпотеза була покладена в основу фундаментальних досліджень Інституту в наступні роки. Того ж року у Кривому Розі Інститут геологічних наук АН УРСР, Відділ геолого-географічних наук АН СРСР та Міністерство чорної мета-

лургії УРСР провели спільну нараду з питань геології і генезису руд і порід Криворізького залізородного басейну (Національна..., 2013).

Після приєднання Кримської області до УРСР у 1954 р. було створено Кримський філіал АН УРСР, до складу якого входив Відділ геології, ґрунтознавства, картознавства та спелеології (Національна..., 2013).

У 1955 р. Я.М. Белевцев розробив стратиграфічну схему Українського щита (Національна..., 2013).



**Соболєв Володимир Степанович** (1908–1982) – видатний вчений-петрограф і мінералог, доктор геолого-мінералогічних наук (1938), професор (1938), член-кореспондент АН УРСР (1951), академік АН СРСР (1958), лауреат Державної премії СРСР в галузі науки і техніки (1950) і Ленінської премії (1976), Герой Соціалістичної Праці (1978).

Після закінчення у 1930 р. Ленінградського гірничого інституту почав займатися науковою роботою спочатку у Геологічному комітеті, потім у Всесоюзному геологічному інституті. У 28-річному віці йому було присуджено науковий ступінь доктора геолого-мінералогічних наук на підставі фундаментальної монографії «Петрологія трапів Сибірської платформи». Геологічні дослідження на території України розпочав у 1936 р. і продовжував їх до 1958 р., працюючи завідувачем кафедри петрографії Львівського університету та відділу петрографії корисних копалин Інституту геології корисних копалин АН УРСР. Після обрання у 1958 р. академіком АН СРСР Володимир Степанович переїхав до Новосибірська, де до кінця життя працював заступником директора Інституту геології і геофізики Сибірського відділення АН СРСР.

Володимир Степанович – автор багатьох фундаментальних досліджень у галузі мінералогії і петрографії магматичних гірських порід, метаморфізму, кристалохімії породоутворюючих мінералів. Йому належить розробка діаграм складу і властивостей складних мінералів, які знайшли широке застосування у методі парагенетичного аналізу (Відділення..., 2003).

На Загальних зборах АН УРСР у 1957 р. дійсним членом став В.Б. Порфир'єв (член-кореспондент з 1951 р.), а С.І. Субботін та О.З. Широков були обрані членами-кореспондентами (Палій, Храмов, 2013).

У 1959 р. Ленінську премію було присуджено науковим співробітникам Інституту геологічних наук АН УРСР: М.П. Булаховському – за участь у відкритті і розвідці Шебелинського газового родовища та члену-кореспонденту АН УРСР О.А. Дубянському – за участь



**Субботін Серафим Іванович** (1906–1976) – видатний український учений-геофізик, доктор геолого-мінералогічних наук (1955), професор (1956), член-кореспондент (1957), академік АН УРСР (1961), заслужений діяч науки і техніки УРСР (1966), лауреат Державної премії УРСР в галузі науки і техніки (1972) та премії ім. В.І. Вернадського АН УРСР (1976).

Після закінчення у 1931 р. астрономо-геофізичного відділення фізико-математичного факультету Казанського університету Серафим Іванович за розподілом був направлений в м. Тифліс, де почав свій трудовий шлях на посаді інженера-геофізика. Але у квітні того ж року його було переведено спочатку в Інститут прикладної геофізики (Ленінград), а невдовзі – в Українське геологічне управління Державного геофізичного тресту «Наркомнафта» СРСР. Під час Великої Вітчизняної війни – старший інженер-геофізик Середньовольського відділу того ж тресту. У 1945 р. перейшов працювати в Інститут геологічних наук АН УРСР, а згодом у складі відділу геофізики Інституту переїхав до Львова. З утворенням Інституту корисних копалин (1951) Серафим Іванович працював у ньому старшим науковим співробітником, завідувачем відділу геофізики, заступником директора. За його ініціативи в кінці 1960 р. був заснований Інститут геофізики АН УРСР, який він очолював до останніх років свого життя.

У 1963 р. був обраний академіком-секретарем Відділення наук про Землю і Космос АН УРСР.

Під керівництвом Серафима Івановича в Україні вперше було розпочато вивчення глибинної будови земної кори і верхньої мантії геофізичними методами. Але головна увага вченого була зосереджена на проблемі вертикальних рухів земної кори. Він створив власну теорію тектогенезу, основні положення якої були опубліковані в численних статтях і у двох фундаментальних монографіях в співавторстві з Г.Л. Наумчиком і І.Ш. Рахімовою: «Процессы в верхней мантии Земли и связь с ними строения земной коры» (1964) і «Мантія Земли и тектогенез» (1968).

За великі заслуги перед вітчизняною геофізичною наукою його ім'я у 1978 р. було присвоєно Інституту геофізики АН УРСР. У 1998 р. у НАН України засновано премію ім. С.І. Субботіна за видатні наукові досягнення в галузі геофізики, гідрофізики, наукового приладобудування, метрології та фізики атмосфери (Відділення..., 2003; Національна..., 2018).



**Широков Олександр Зосимович** (1905–1996) – відомий вчений у галузі вугільної геології і шахтного будівництва, доктор геолого-мінералогічних наук (1952), професор (1979), член-кореспондент (1957), лауреат премії ім. В.І. Вернадського АН УРСР (1986).

Після закінчення у 1930 р. геологорозвідувального факультету Дніпропетровського гірничого інституту розпочав трудову діяльність старшим геологом Чистяковського геологорозвідувального управління «Союзуголь». З 1932 р. очолював розвідувальні роботи на підприємствах тресту «Донбасуглеразведка» та управління «Донбасантрацит», де за його рекомендаціями було закладено 18 шахт з видобування кам'яного вугілля в Донецькому басейні. У роки війни Олександр Зосимович працював на вугільних підприємствах Підмосковного басейну, обіймаючи посади головного інженера і виконуючого обов'язки керуючого трестом «Мосбасуглеразведка». З 1946 до 1979 р. очолював кафедру геології і палеонтології у Дніпропетровському гірничому інституті.

В останні роки Олександр Зосимович працював в Інституті геотехнічної механіки (м. Дніпропетровськ), у створеній ним лабораторії з вивчення речовинного складу кам'яного вугілля різних родовищ. Коло наукових інтересів вченого охоплює низку проблем геології європейської частини колишнього СРСР, стратиграфію кам'яновугільних і третинних відкладів, загальні закономірності розташування горючих копалин (Відділення..., 2003).

у відкритті та розвідці багатих залізорудних родовищ Білгородського району Курської магнітної аномалії (Національна..., 2013).

У 1960 р. під керівництвом директора Інституту геологічних наук АН УРСР, академіка В.Г. Бондарчука був створений найбільший в колишньому СРСР палеографічний атлас територій Української і Молдавської РСР. Того ж року вийшла в світ монографія члена-кореспондента АН УРСР Я.М. Белєвцева (академік з 1967 р.) «Принципи і методи металогенічних досліджень докембрійських щитів» (Національна..., 2013).

Непересічною подією в історії АН УРСР є створення у 1960 р. Інституту геофізики у складі Відділу хімічних і геологічних наук. Як свідчить попередній опис, Академія завжди була живим організмом, в якому постійно змінювалась структура, створювались нові інститути. Для цього варто було з'явитись лідеру, який міг генерувати нові ідеї і концепції розвитку перспективних напрямів науки. Таким лідером став на той час член-кореспондент АН УРСР С.І. Субботін, якому належить ідея створення Інституту геофізики з метою концентрації геофізичних досліджень фундаментального і прикладного характеру в одній установі. Восени 1959 р. він звернувся до Президії АН УРСР з обґрунтуванням необхідності створення і розпочав організаційно-підготовчу роботу з формування структури майбутнього Інституту на базі об'єднання розрізнених геофізичних підрозділів інститутів геологічного профілю АН УРСР.

Для коректності варто зазначити, що перша ідея створення Інституту геофізики у структурі АН УРСР була сформульована у планах наукових робіт АН УРСР ще у 1937 р. і була пов'язана з Полтавською гравіметричною обсерваторією. Остання роком раніше увійшла до складу Фізично-математичного відділу і після об'єднання з Геофізичною обсерваторією мала б стати базовою у складі новоствореного Інституту геофізики. Друга спроба була озвучена у 1939 р. на нараді у Відділі фізико-хімічних та математичних наук АН УРСР академіком АН УРСР В.А. Сельським, яку підтримали і навіть призначили його очільником комісії для розробки проекту Інституту. Проте ні з першої спроби у 1937 р., ні з другої у 1939 р. Інститут геофізики не був створений. І лише через два десятиліття у грудні 1960 р. було засновано Інститут геофізики АН УРСР у Києві з філіалом у Львові, а його директора С.І. Субботіна наступного року було обрано академіком АН УРСР (Старостенко, Исиченко, 2003; Старостенко, 2021).

Важливою подією слід вважати передачу в 1961 р. у підпорядкування АН УРСР Морського гідрофізичного інституту АН СРСР, на баланс якого було науково-дослідне судно (НДС) «Михайло Ломоносов». З цього часу АН УРСР розпочинає широкомасштабні дослідження в галузі океанографії, геології і геофізики океанів і морів (Національна..., 2013).





**Інститут геофізики АН УРСР (ІГФ)** був створений 23 грудня 1960 р. у Києві на базі об'єднання геофізичної лабораторії і магнітної станції Інституту геологічних наук, відділу геофізики Інституту геології корисних копалин та сейсмічного сектору АН УРСР (Старостенко, 2021). Засновником і першим директором ІГФ був член-кореспондент АН УРСР С.І. Субботін, який сконцентрував у ньому провідних геофізиків України. В ІГФ прийшли: І.А. Балабушевич, В.Н. Головцин, В.В. Кравець, З.О. Крутиховська, Т.С. Лебедєв, Н.П. Михайлова, Г.Т. Собакар, В.Б. Соллогуб, А.В. Чекунов та ін. Першими аспірантами стаціонарної підготовки Інституту були Р.І. Кутас, В.П. Рудницький та В.І. Старостенко.

Вже у перше десятиліття науковці ІГФ досягли значних успіхів у галузі теоретичної, експериментальної і прикладної геофізики. Перш за все варто відзначити широкомасштабні польові експедиційні дослідження методом глибинного сейсмічного зондування (ГСЗ) з використанням вибухової технології по вивченню будови земної кори і верхньої мантії території України, які виконувались починаючи з 1960 р. під керівництвом В.Б. Соллогуба та А.В. Чекунова. Про міжнародне визнання отриманих результатів ГСЗ свідчить провідна роль ІГФ у програмі європейських соціалістичних країн (КАПГ) по вивченню будови земної кори і верхньої мантії Центральної та Південно-Східної Європи, а також участі у міжнародній програмі по вивченню Памір-Гімалайського регіону. У 1972 р. Інститут відрядив до Індії потужну геофізичну експедицію для виконання ГСЗ з метою дослідження глибинної будови Індійського щита.

У 1964 р. до складу Інституту була приєднана Полтавська гравіметрична обсерваторія, а у 1972 р. був створений

відділ космічної фізики. Починаючи з 1966 р. Інститут проводить дослідження процесів сейсмічності і сейсмічного режиму сейсмоактивних регіонів України. У Сімферополі був створений відділ сейсмології з чотирма сейсмічними станціями («Алушта», «Сімферополь», «Феодосія», «Ялта»), які Інститут фізики Землі АН СРСР передав Інституту геофізики.

У 1970–1979 та 1983–1991 рр. до складу Інституту входив самостійний Сектор (згодом – Відділення) географії, на базі якого у 1991 р. було створено Інститут географії АН України. У 1975 р. Інституту був переданий відділ гідродинаміки вибухових процесів та госпрозрахункове СКТБ Інституту гідромеханіки АН УРСР, на базі яких було організовано новий підрозділ – Сектор (у подальшому – Відділення) геодинаміки вибуху.

З 1976 по 1991 р. Інститут очолював видатний геофізик, академік АН УРСР А.В. Чекунов. З його ім'ям пов'язаний розвиток досліджень глибинної будови земної кори і верхньої мантії, тектонічних процесів, комплексування даних геофізичних методів, вивчення сучасної геодинаміки та сейсмічності.

Співробітники Інституту згідно з радянсько-гвінейською міжурядовою угодою з 1981 по 1993 р. брали участь в геолого-геофізичному вивченні території і шельфу Гвінейської Республіки на базі Науково-дослідного центру в м. Конокрі (Гвінея).

У 1991 р. було сформовано Карпатське відділення Інституту, в якому здійснювалося вивчення будови і динаміки літосфери Карпатського регіону щодо проблем геодинаміки і пошуків покладів корисних копалин.

З 1991 по 2022 р. директором Інституту працював академік НАН України В.І. Старостенко. У цей період Інститут бере участь у виконанні низки міжнародних програм і проєктів (EUROPROBE, GEORIFT, EUROBRIDGE, PANCAPDI, DOBRE) по вивченню глибинної будови земної кори і верхньої мантії Центральної і Південно-Східної Європи. У 1994 р. розпочалася тісна співпраця Інституту з Альбукерською Сейсмологічною Лабораторією Геологічної служби США в галузі сейсмології, яка за свій рахунок виконала установку сучасної цифрової сейсмологічної станції «Київ» (поблизу Малина). У 1995 р. станція «Київ» почала працювати і була введена в систему Глобальної сейсмологічної мережі (ГСС), а Інститут став членом консорціуму IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology) та отримав доступ до матеріалів світового банку сейсмічних даних. З 1995 р. Інститут бере участь в наукових дослідженнях в Антарктиці в районі станції «Академік Вернадський».

З 2022 р. Інститут очолює член-кореспондент НАН України А.В. Кендзера.

Новий період розвитку АН УРСР, який розпочався з обранням 27 лютого 1962 р. президентом Б.Є. Патона, пов'язаний з перенесенням акценту від прикладних досліджень на фундаментальні, які розглядалися як головний

ресурс академічної науки. Очоливши АН УРСР, Б.Є. Патон започаткував програму реформ, яка ґрунтувалася на фундаменталізації наукового пошуку в академічних установах, де домінувала прикладна тематика.



**Морський гідрофізичний інститут (МГІ)** був створений у 1948 р. на базі Чорноморської гідрофізичної станції та Морської гідрофізичної лабораторії Інституту теоретичної геофізики АН СРСР. У 1961 р. МГІ був переданий до системи АН УРСР і у 1963 р. перебазований до м. Севастополь (Відділенню наук..., 2003).

Під керівництвом обраного в 1964 р. члена-кореспондента АН УРСР А.Г. Колеснікова МГІ стрімко увійшов до світової еліти як визнаний авторитет у галузі досліджень фізичних процесів у морях та океанах, автоматизації океанографічних досліджень, морського наукового приладобудування.

Упродовж 1974–1985 рр. під керівництвом академіка АН УРСР Б.О. Нелпо вченими МГІ були одержані фундаментальні результати у вивченні закономірностей формування клімату океану та його взаємодії з атмосферою.

З 1985 по 2000 р. МГІ очолював академік АН УРСР В.М. Єремєєв. У цей період був суттєво розширений спектр еколого-океанографічного профілю, а саме – розгорнуті масштабні роботи з вивчення динаміки складних морських систем, моделювання і контролю за їх станом та еволюцією.

Відповідно до урядової угоди з Гвінейською Республікою (Африка), МГІ АН УРСР у 1983 р. був створений і протягом 10 років успішно функціонував у м. Конакрі спільний науково-дослідний центр з досліджень у галузі океанографії і геліофізики, геології і геофізики та випробувань конструкторських матеріалів в умовах тропічного клімату. В 1993 р. зазначений центр був переданий у дар Гвінейській Республіці.

З 2000 р. обов'язки директора МГІ виконував член-кореспондентом АН УРСР В.О. Іванов (від 2010 р. – директор). Під його керівництвом набули розвитку дослідження морських шельфових зон і закономірностей функціонування прибережних морських екосистем в умовах антропогенного і техногенного навантаження (Іванов, 2009). У 2015 р. окупаційною російською владою МГІ було зараховано у структуру РАН.

Б.Є. Патон – це велика людина, видатний вчений і талановитий адміністратор, який в непростих умовах, що завжди траплялись, успішно керував АН УРСР (НАН України) протягом 58 років (!!!). Це було великою удачею для Академії, її збереження та розвитку (Старостенко, 2012, 2018; Томазов, 2018<sup>2</sup>; Прожиття..., 2020).

У 1962 р. вийшла у світ фундаментальна монографія Г.Н. Доленка «Геологія нафти і газу Карпат», у якій докладно охарактеризовано умови нафтогазоносності Віденського і Трансильванського басейнів та передгірських прогинів Карпат (Національна..., 2013).

## Післямова

Вчені-природознавці з моменту заснування Академії наук України та упродовж її перших 45 років пройшли всі етапи її становлення і розвитку. До видатних досягнень, які стали непересічним внеском у розвиток природничих наук за цей період, варто віднести такі (Національна..., 2018):

1. Обґрунтування нового теоретичного напрямку в геологічній науці – тектоорогенії, вчення про тектоносферу Землі, який започаткував В.Г. Бондарчук в Інституті геологічних наук НАН України. Вчений висунув гіпотезу тектоно-вулканічного, острівного походження та акреції земної кори, яка поєднує історичний і генетичний взаємозв'язки трьох головних типів структур земної кори: океанічного дна, рухомого складчастого поясу і материкової платформи. Частина земної кори, в якій відбуваються перетворення тектонічних структур і взаємодія речовини мантії та земної кори, він виділив у тектоносферу.
2. Початок створення концепції абіогенного (неорганічного) походження нафти і газу в Інституті геології і геохімії корисних копалин під керівництвом В.Б. Порфир'єва. Згідно з цією концепцією, нафта і газ утворюються при надвисоких температурах і тисках у верхній мантії Землі з наявних там космогенних субстанцій (метану, водню та оксиду вуглецю). Такий підхід розширив

<sup>2</sup> Стаття В.В. Томазова – виключно інформативна, правдива, глибока, розумна публікація про рід Патонів. Підкреслимо, що вона була опублікована при житті Б.Є. Патона і, скоріш за все, він з нею був ознайомлений до її видання.

перспективи відкриття нових родовищ вуглеводнів не тільки в межах осадових басейнів, а також у кристалічних породах.

3. За ініціативи С.І. Субботіна вперше в Україні було розпочато вивчення глибинної будови земної кори і верхньої мантії геофізичними методами. В результаті одержано перші уявлення про будову Дніпровсько-Донецької западини,

поширення залізородних комплексів Великого Кривого Рогу і глибинну будову території України.

Розглянутий перелік ключових досягнень включає лише проривні ідеї і теорії. В тексті статті зміст і значення основних здобутків вчених-природознавців Академії розглянуті у наведених біографічних довідках про їх авторів.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- В.И. Вернадский и Крым: люди, места, события... / Н.В. Багров, В.Г. Ена, В.В. Лавров [и др.]. Киев: Лыбидь, 2004. 312 с.
- Відділення наук про Землю Національної академії наук України: Старостенко В.І. (відп. ред.). Київ: Макрос, 2003. 272 с.
- Володимир Іванович Лучицький. Бібліографія вчених Української РСР. Київ: Наукова думка, 1968. 52 с.
- Гожик П.Ф., Макаренко Д.Е., Маслун Н.В., Ключишина Г.В. Павло Аполлонович Тутковський – засновник і перший директор Інституту геологічних наук НАН України, фундатор мікропалеонтологічної школи. *Геол. журн.* 2016. № 2 (355). С. 7–16.
- Іванов В.О. Морський гідрофізичний інститут НАН України (МГІ НАН України). *Гідроакуст. журн. (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану)*. 2009. № 6. С. 118–119.
- Інститут геологічних наук Національної академії наук України, 1926–2012. Київ: ІГН НАН України, 2012. 40 с.
- Лукин А.Е. Владимир Иванович Вернадский: жизнь, судьба, свершения. *Геофиз. журн.* 2015. Т. 37, № 2. С. 95–134.
- Наукові установи України: довідк. вид. Київ: УкрІНТЕІ, 2013. 220 с.
- Національна академія наук України. 1918–2008: до 90-річчя від дня заснування: Патон Б.Є. (голов. ред.). Київ: Вид-во КММ, 2008. 624 с.
- Національна академія наук України. 1918–2013. Хронологія. Київ: Фенікс, 2013. 528 с.
- Національна академія наук України. 1918–2018. Видатні досягнення. Київ: Фенікс, 2018. 320 с.
- Палій В.М., Храмов Ю.О. Національна академія наук України. 1918–2013. Персональний склад. 6-е вид., доп. і випр. Київ: Фенікс, 2013. 444 с.
- Перші академіки (дійсні члени) Української академії наук: до 100-річчя Національної академії наук України: наук.-допоміж. бібліограф. покажч. Київ: ДНТБ України, 2018. 249 с.
- Про життя і здобутки великої людини і видатного вченого. *Вісн. НАН України*. 2020. № 8. С. 4–5.
- Старостенко В.И. Борис Евгеньевич Патон – национальное достояние Украины. *Геофиз. журн.* 2012. Т. 34, № 2. С. 154–157.
- Старостенко В.И. Еще несколько слов о Борисе Евгеньевиче Патоне. *Геофиз. журн.* 2018. Т. 40, № 5. С. 301–304.
- Старостенко В.И. Институту геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины – 60 лет. *Геофиз. журн.* 2021. Т. 43, № 1. С. 276–283.
- Старостенко В.И., Гинтов О.Б., Ентин В.А. Украинский Геологический Комитет: 100 лет со времени создания, история реорганизаций, результаты работы. *Геофиз. журн.* 2017. Т. 39, № 6. С. 144–161.
- Старостенко В.И., Исиченко Е.П. Малоизвестные страницы истории формирования и развития геофизических исследований на Украине. *Геофиз. журн.* 2003. Т. 25, № 5. С. 3–30.
- Старостенко В.И., Коболєв В.П. Відділенню наук про Землю НАН України – 60 років. *Геофиз. журн.* 2023. Т. 45, № 4. С. 178–184.
- Томазов В.В. Рід Патонів: історія та генеалогія. *Вісн НАН України*. 2018. № 11. С. 79–95.
- КІЄВЪ вчора і сьогодні. Київ: Видавець Ашот Арутюнян, 2005. 208 с.

Надійшла до редакції 26.09.2023  
Надійшла у ревізованій формі 02.11.2023  
Прийнята 09.11.2023

## REFERENCES

- About the life and achievements of a great man and outstanding scientist. 2020. *Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 8: 4–5 (in Ukrainian).
- Department of Earth Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine. (Rep. ed. V.I. Starostenko). 2003. Kyiv: Makros (in Ukrainian).

- Gozyk P.F., Makarenko D.E., Maslun N.V., Klyushina G.V. 2016. Pavlo Apollonovych Tutkovskiy is the founder and first director of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, the founder of the micropaleontology school. *Geologičnij žurnal*, 2 (355): 7–16 (in Ukrainian).
- Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, 1926–2012. 2012. Kyiv: IGN NAS of Ukraine (in Ukrainian).
- Ivanov V.O. 2009. Marine Hydrophysical Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine (MGI of the National Academy of Sciences of Ukraine). *Hydroacoustic Journal (Problems, methods and means of ocean research)*, 6: 118–119 (in Ukrainian).
- KIEVЬ yesterday and today. 2005. Kyiv: Publisher Ashot Harutyunyan (in Ukrainian).
- Lukin A.E. 2015. Vladimir Ivanovich Vernadsky: life, fate, achievements. *Geophys. Journal*, 37, 2: 95–134 (in Russian).
- National Academy of Sciences of Ukraine. 1918–2008: to the 90th anniversary of the foundation / Chairman. (Ed. B.E. Paton). 2008. Kyiv: KMM Publishing House (in Ukrainian).
- National Academy of Sciences of Ukraine. 1918–2013. Chronology. 2013. Kyiv: Fenix (in Ukrainian).
- National Academy of Sciences of Ukraine. 1918–2018. Outstanding achievements. 2018. Kyiv: Fenix (in Ukrainian).
- Palii V.M., Khramov Yu.O. 2013. National Academy of Sciences of Ukraine. 1918–2013. Personal composition. 6th ed., add. and ex. Kyiv: Fenix (in Ukrainian).
- Scientific institutions of Ukraine: reference ed. 2013. Kyiv: UkrINTEI (in Ukrainian).
- Starostenko V.I. 2018. A few more words about Boris Evgenievich Paton. *Geophys. Journal*, 40, 5: 301–304 (in Russian).
- Starostenko V.I. 2012. Borys Evgenyevich Paton is a national heritage of Ukraine. *Geophys. Journal*, 34, 2: 154–157 (in Russian).
- Starostenko V.I. 2021. Institute of Geophysics named after S.I. Subbotina of the National Academy of Sciences of Ukraine – 60 years. *Geophys. Journal*, 43, 1; 276–283 (in Russian).
- Starostenko V.I., Gintov O.B., Entin V.A. 2017. Ukrainian Geological Committee: 100 years since its creation, history of reorganization, results of work. *Geophys. Journal*, 39, 6: 144–161 (in Russian).
- Starostenko V.I., Isychenko E.P. 2003. Little-known pages of the history of the formation and development of geophysical research in Ukraine. *Geophys. Journal*, 25, 5: 3–30 (in Russian).
- Starostenko V.I., Kobolev V.P. 2023. 60th anniversary of the Earth Sciences Department of the NAS of Ukraine. *Geophys. Journal*, 45 (4): 178–184 (in Ukrainian).
- The first academicians (full members) of the Ukrainian Academy of Sciences: To the 100th anniversary of the National Academy of Sciences of Ukraine: scientific and auxiliary bibliographic index, 2018. Kyiv: SGSTL of Ukraine (in Ukrainian).
- Tomazov V.V. 2018. The Paton family: history and genealogy. *Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 11: 7–95 (in Ukrainian).
- V.I. Vernadsky and Krym: people, places, events... / N.V. Bagrov, V.G. Ena, V.V. Lavrov [and others]. 2004. Kyiv: Lybid (in Russian).
- Volodymyr Ivanovich Luchytskyi. Bibliography of scientists of the Ukrainian SSR. 1968. Kyiv: Naukova Dumka (in Ukrainian).

Received 26.09.2023

Received in revised form 02.11.2023

Accepted 09.11.2023

До 60-річчя Відділення наук про Землю НАН України. Частина 1. Історичний нарис розвитку природничих наук від заснування Академії наук України до створення Відділу наук про Землю і Космос АН УРСР (1918–1962 рр.)

В.І. Старостенко, В.П. Коболєв\*

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна

E-mail: vstar@igph.kiev.ua; vpkobolev@ukr.net

\*Автор для кореспонденції

Історія становлення і розвитку наук про Землю від заснування Української академії наук (УАН) містить значний обсяг фактологічного матеріалу. Зважаючи на обмеження обсягу журнальної публікації, хронологічний розгляд історії природничих наук у системі Академії, присвяченої 60-річчю Відділення наук про Землю НАН України, автори розділили на три частини. У першій частині у хронологічному порядку наведені основні історичні події в датах, фактах та особистостях становлення і розвитку природничих наук України від заснування УАН у 1918 р. і до організаційно-структурного утворення у 1963 р. Відділу наук про Землю і Космос АН УРСР. У заснуванні УАН вирішальну роль відіграли видатні вчені-природознавці В.І. Вернадський та П.А. Тутковський. Розглянута історія розвитку природничих наукових установ, а також наведені стислі відомості про здобутки вчених-природознавців, обраних до Академії впродовж перших 45 років її існування.

**Ключові слова:** Українська академія наук; історія; становлення і розвиток; науки про Землю; здобутки.

**ДОСЛІДНИЦЬКІ ТА ОГЛЯДОВІ СТАТТІ**

<i>Бучинська І.В., Матрофайло М.М., Побережський А.В., Ступка О.О., Лазар Г.І.</i> Поширення германію у вугіллі Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну .....	4	35
<i>Гнилко С.Р., Гнилко О.М., Супрун І.С., Наварівська К.О., Генералова Л.В.</i> Стратиграфія верхньокрейдових відкладів з океанічними червоноколірними верствами (CORBs), Українські Карпати	3	79
<i>Іванова А.В., Зайцева Л.Б.</i> Вулканізм як важливий фактор формування речовинно-петрографічного складу вугілля .....	3	64
<i>Кирилюк В.П., Гайовський О.В.</i> Регіональний метаморфізм і стратиграфія фундаменту Українського щита. Стаття 2. Загальна геохронологічна шкала докембрію та стратиграфія Українського щита .....	1	3
<i>Кирилюк В.П., Гайовський О.В.</i> Регіональний метаморфізм і стратиграфія фундаменту Українського щита. Стаття 3. Особливості літогенезу і метаморфізму ранньодокембрійських комплексів та їхня тривалість .....	2	13
<i>Кривдік С.Г., Цимбал О.Ю.</i> Особливості процесу фенітизації в екзоконтактових ореолах лужноультраосновних порід північно-західної частини Українського щита .....	3	33
<i>Крохмаль О.І., Комар М.С., Аністратенко О.Ю., Логвиненко В.М., Іванов Д.В.</i> Нове місцезнаходження середньоплейстоценової фауни та палинофлори Русава-2 (Україна): геологія, палеонтологія, палеогеографія, відносна геохронологія .....	3	108
<i>Кулянда М.Й.</i> Про вік і умови утворення поляницької світи за результатами вивчення форамініфер (нижній міоцен, Бориславсько-Покутський покрив, Українські Карпати) .....	4	20
<i>Лялько В.І., Дугін С.С., Сибірцева О.М., Дорофей Є.М., Голубов С.І., Орленко Т.А.</i> Про можливості визначення ознак торфовищ з використанням даних дистанційного зондування Землі .....	4	61
<i>Підвисоцький В.Т., Остафійчук Н.М., Башинський С.І.</i> Розсіпні родовища алмазів та умови їх формування.....	1	17
<i>Покалюк В.В., Бобров О.Б., Верховцев В.Г.</i> Білозерська серія Українського щита: проблеми стратиграфії і кореляції .....	3	3
<i>Шехунова С.Б., Негода Ю.О., Стадніченко С.М., Шестопапов В.М., Руденко Ю.Ф., Сюмар Н.П.</i> Гідродинамічна модель Солотвинського родовища кам'яної солі .....	4	79
<i>Шлапінський В.Є., Гавришків Г.Я., Гаєвська Ю.П.</i> Нові дані про перспективні нафтогазоносні об'єкти ямненської світи палеоцену південно-східної частини Скибового і Кросненського покривів Українських Карпат .....	1	39
<i>Шпак О.М., Гаврилюк Р.Б., Логвиненко О.І., Запольський І.М.</i> Оцінка впливу коливань рівня ґрунтових вод на трансформацію нафтопродуктового забруднення підземного середовища .....	2	40
<i>Dernov V.S.</i> <i>Hankoichnus ichnogen. nov.</i> , a new arthropod (?) trace fossil from the Carboniferous of the Donets Basin (Ukraine) .....	1	53



<i>Dykan N.I., Daniel T.</i> New data on the systematics of Recent Ostracoda of the genus <i>Ambostracon</i> Hazel 1962 (Hemicytheridae, Podocopida) from South Africa .....	4	3
<i>Lyuta N.G., Sanina I.V.</i> Spatial and temporal features of water chemistry changes in the quaternary unconfined aquifers of the Dnipro River basin.....	2	30
<i>Martyslyn A.I.</i> <i>Tymkivia primitiva</i> gen. nov. sp. nov., a new type of fossils from the Late Ediacaran (Vendian) Kanylivka Group in Podolia, Ukraine .....	2	58
<i>Mytrokhyn O.V., Gavryliv L.I., Bakhmutov V.G.</i> Late Cenozoic magmatism on the Wilhelm Archipelago, Graham Coast of the Antarctic Peninsula .....	3	45
<i>Nasedkin Ye.I., Olshtynska O.P., Permyakov V.V., Dovbysh S.M., Ivanova G.M., Mytrofanova O.A., Fedoseenkov S.G.</i> Features of the formation, intake and distribution of the iron-containing component in the water suspension of the Dnieper river within Zaporizhzhia city .....	4	50

### ГІПОТЕЗИ. ДИСКУСІЇ. РЕЦЕНЗІЇ

<i>Бацевич Н.В., Наушко І.М., Федоришин Ю.І.</i> «Мінералогія вивержених комплексів Західної Волині» – перша фундаментальна монографія з регіональної мінералогії в Україні .....	1	59
<i>Наушко І.М.</i> Підсумкове видання з історії мінералогії і мінералогічних знань в Україні. Рец. на кн.: Павлишин Володимир, Матковський Орест, Довгий Станіслав Історія мінералогії в Україні. Від 90-х років ХХ ст. донині. Київ, 2022. 612 с. ....	2	68

### ІЗ ІСТОРІЇ НАУКИ

<i>Веклич О.Д.</i> Олена Семенівна Липник (до 100-річчя від дня народження) .....	3	132
<i>Старостенко В.І., Коболев В.П.</i> До 60-річчя Відділення наук про Землю НАН України. Частина 1. Історичний нарис розвитку природничих наук від заснування Академії наук України до створення Відділу наук про Землю і Космос АН УРСР (1918–1962 рр.) .....	4	97

### ЮВІЛЕЇ, ПЕРСОНАЛІЇ

<i>Якушин Л.М.</i> Іван Іванович Нікітін – відомий палеонтолог України (до 100-річчя від дня народження) .....	1	73
--	---	----

### ВТРАТИ НАУКИ

<i>Редколегія «Геологічного журналу», Інститут геологічних наук НАН України, колеги, друзі.</i> Пам'яті видатного вченого-спелеолога, головного редактора «Геологічного журналу» Олександра Борисовича Климчука (29 серпня 1956 – 12 травня 2023) .....	2	3
<i>Ковальчук М.С.</i> Світлої пам'яті ученого, педагога, організатора науки та освіти Ореста Ілляровича Матковського (17 листопада 1929 – 23 березня 2023) .....	3	126

### АНОНСИ

<i>Деревська К.І., Нестеровський В.А., Руденко К.В., Лівенцева Г.А.</i> Перспективи співробітництва між геологічними музеями України та Іспанії .....	3	148
---	---	-----

## **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 «Б»), specialties 04 – “Geological Sciences” and 103 – «Earth Sciences» (Ministry of Education and Science of Ukraine 02.07.2020 №886).

Manuscripts, galley proofs and other correspondence should be addressed to:

Geological Journal, Institute of Geological Sciences

O. Honchara str., 55 b, Kyiv-54, Ukraine, 01601

Phone: 380444869446

E-mail: [geolzhurnal@nas.gov.ua](mailto:geolzhurnal@nas.gov.ua)

---



