

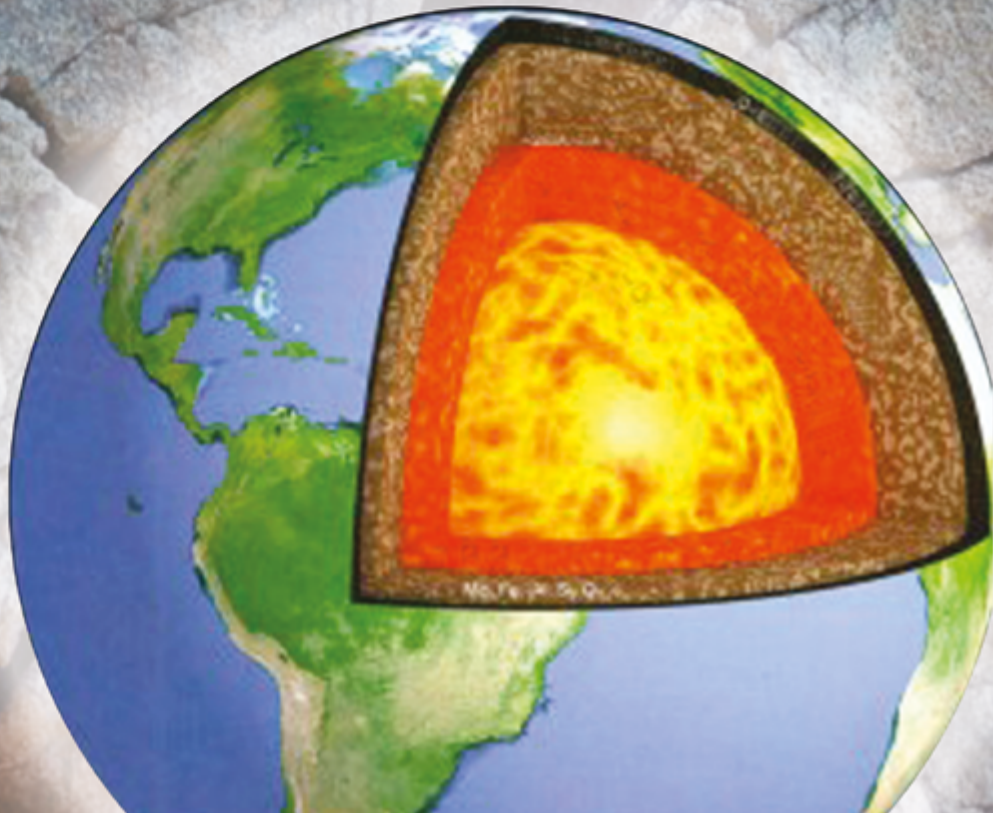
ISSN 1025-6814 (Print)
ISSN 2522-4107 (Online)

ГЕОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ



GEOLOGIČNÍJ ŽURNAL

2 (387)
2024



ЗАСНОВНИКИ:

Національна академія наук України
Інститут геологічних наук НАН України

ВИДАВЕЦЬ:

Інститут геологічних наук НАН України

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ**Головний редактор**

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

Заступник головного редактора

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

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

БАЯРИ С. (Університет Хасеттепе, Анкара, Туреччина)

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

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

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

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

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

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

МАРКС ЛЕШЕК (Варшавський університет, Варшава,
Польща)

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

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

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

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

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

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

FOUNDERS:

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

EDITOR:

Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine

EDITORIAL BOARD**Editor-in-Chief**

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

Deputy Editor-in-Chief

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

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

BAYARI S. (Hacettepe University, Ankara, Turkey)

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

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

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

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

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

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

MARKS LESZEK (University of Warsaw, Warsaw, Poland)

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

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

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

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

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

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

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

Рекомендовано до друку редакційною колегією журналу

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

ГЕОЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ



GEOLOGIČNĪJ
ŽURNAL

2 (387)
2024

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

Зміст

Дослідницькі та оглядові статті

Артеменко Г.В., Шумлянський Л.В., Чью Д., Драков Ф., Дьюїм Б., Мореура Г. U-Pb вік та ізотопний склад гафнію циркону з метаморфізованого андезиту чортомлицької світи та ріодацитів гіпабісальної інтрузії сурського комплексу (Чортомлицький зеленокам'яний пояс). 3

Бацевич Н.В., Наумко І.М., Федоришин Ю.І. Туфи бабинської світи трапової формації Західної Волині: мінералогія, петрографія, петрохімія, генетичне і прикладне значення 18

Цимбал О.Ю., Дубина О.В., Кривдік С.Г. Петрологічні та геохімічні особливості лужних порід північно-західного району Українського щита 35

Іванова А.В., Гаврильцев В.Б. Парагенетичні зв'язки вугленосних та нафтогазоносних формацій (на прикладі Доно-Дніпровського прогину) 63

Колябіна І.Л., Сухорєбрий А.О., Ярошенко К.К., Голикова Т.О. Мікроелементи підземних вод Немирівського родовища (Україна) 81

Із історії науки

Старостенко В.І., Коболєв В.П., Палій В.М. До 60-річчя Відділення наук про Землю НАН України. Частина 3. Хронологія розвитку Відділення наук про Землю в незалежній Україні (1991–2023 рр.) 95

Contents

Research and Review Papers

Artemenko G.V., Shumlyansky L.V., Chew D., Drakou F., Dhuime B. Moreira H. The U-Pb age and hafnium isotope composition of zircon from metamorphosed andesite of the Chortomyk Formation and rhyodacite hypabyssal intrusion of the Sura Complex, Chortomyk Greenstone Belt 3

Batsevych N.V., Naumko I.M., Fedoryshyn Yu.I. The Babynska suite tuffs of the continental flood basalts of Western Volyn: mineralogy, petrography, petrochemistry, genetic and applied significance 18

Tymbal O.Yu., Dubyna O.V., Kryvdik S.G. Petrological and geochemical peculiarities of alkaline rocks in the North-Western region of the Ukrainian Shield 35

Ivanova A.V., Gavryltsev V.B. Paragenetic relations of coal-bearing and oil- and gas-bearing formations (example of the Don-Dnieper trough) 63

Koliabina I.L., Sukhorebryi A.O., Yaroshenko K.K., Holikova T.O. Trace elements in the groundwater of the Nemyriv deposit (Ukraine) 81

From the History of Science

Starostenko V.I., Kobolev V.P., Paliy V.M. To the 60th anniversary of the Department of Earth Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine. Part 3. Chronology of the development of the Department of Earth Sciences in independent Ukraine (1991–2023) 95

Адреса редакції:

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

Відповідальний секретар Н.І. Дугіна

Редактор І.І. Смаль

Технічний редактор С.О. Шадріна

Комп'ютерна верстка Н.К. Резнік

Підп. до друку 26.06.2024 р. Формат 600.6 × 0.0384/8.
Гарн. Fira Sans. Ум. друк. арк. 00,00. Обл.-вид. арк. 00,00.
Тираж 100 пр. Зам. № 0000

Тираж виготовлено

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів видавничої справи серії ДК №

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.2.299561>

UDK 550.4 (477); 551.21:551.24

The U-Pb age and hafnium isotope composition of zircon from metamorphosed andesite of the Chortomlyk Formation and rhyodacite hypabyssal intrusion of the Sura Complex, Chortomlyk Greenstone Belt

E-mail: regulgeo@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-4528-6853>;
lshumlyansky@yahoo.com,
<http://orcid.org/0000-0002-6775-4419>;
chewd@tcd.ie,
<http://orcid.org/0000-0002-6940-1035>;
drakouf@tcd.ie,
<https://orcid.org/0000-0001-6618-4541>;
bruno.dhuime@umontpellier.fr;
<https://orcid.org/0000-0002-4146-4739>;
H. Moreira:
<https://orcid.org/0000-0001-5910-3731>

***Corresponding author /**

Автор для кореспонденції:
 G.V. Artemenko, regulgeo@gmail.com

Received / Надійшла до редакції:
 09.01.2024

**Received in revised form /
 Надійшла у ревізованій формі:**
 29.04.2024

Accepted / Прийнята:
 05.06.2024

Keywords: Middle Dnieper Domain; Chortomlyk Greenstone Belt; metamorphosed andesite; Chortomlyk Formation; Konka Group; hypabyssal intrusion; TTG; Novomykolaivka* massif, Sura Complex; zircon; U-Pb age; Hf isotope composition.

Ключові слова: Середньодніпровський домен; Чортомлицький зеленокам'яний пояс; метаморфізовані андезити; чортомлицька світа; конкська серія; гіпабісальна інтрузія; ТТГ; Новомиколаївський масив; сурський комплекс; циркон; U-Pb вік; ізотопний склад Hf.

G.V. Artemenko^{1*}, L.V. Shumlyansky^{2,3}, D. Chew⁴, F. Drakou⁴, B. Dhuime⁵, H. Moreira⁵

¹M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine; ²Institute of Geological Sciences of the Polish Academy of Sciences, Krakow, Poland; ³School of Earth and Planetary Sciences, Curtin University, Perth, Australia; ⁴Department of Geology, School of Natural Sciences, Trinity College Dublin, Ireland; ⁵Géosciences Montpellier, Université de Montpellier, Montpellier, France

U-Pb вік та ізотопний склад гафнію циркону з метаморфізованого андезиту чортомлицької світи та ріодацитів гіпабісальної інтрузії сурського комплексу (Чортомлицький зеленокам'яний пояс)

Г.В. Артеменко^{1*}, Л.В. Шумлянський^{2,3}, Д. Чью⁴, Ф. Драков⁴, Б. Дьюйм⁵, Г. Мореира⁵

¹M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine; ²Institute of Geological Sciences of the Polish Academy of Sciences, Krakow, Poland; ³School of Earth and Planetary Sciences, Curtin University, Perth, Australia; ⁴Department of Geology, School of Natural Sciences, Trinity College Dublin, Ireland; ⁵Géosciences Montpellier, Université de Montpellier, Montpellier, France

Andesites and felsic volcanic rocks are observed at all stratigraphic levels of the Konka and Bilozerka groups, which comprise greenstone structures in the Middle Dnieper Domain. Their nature and age are still poorly known. The youngest felsic volcanic rocks of the Solone Formation of the Konka Group and comagmatic with the tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG) association of the Sura Complex hypabyssal intrusions were previously dated by the U-Pb zircon SHRIMP method at ca. 3.1 Ga. The purpose of this study is to determine the U-Pb zircon age and geochemical features of i) metamorphosed andesites of the Chortomlyk Formation and ii) low-alkaline metarhyodacite hypabyssal intrusions that cut the rocks of the Sura Formation of the Konka Group. In the Chortomlyk Greenstone Belt, the thickness of volcanogenic rocks of the Chortomlyk Formation (dacite-andesite-tholeiite association) reaches 2000 m. The youngest felsic volcanic rocks of the Solone Formation and comagmatic hypabyssal intrusions are located within three large volcanic fields located near the Novomykolaivka* massif. Using the LA-ICP-MS method, U-Pb ages of two zircon populations from metamorphosed andesites of the Chortomlyk Formation were dated. Twenty-three crystals of transparent colourless zircon crystals yielded a concordant age of (3222 ± 6) Ma. The U-Pb age of the second population of large, brown, opaque zircon crystals is 3132–3073 Ma. Interpretation of the obtained ages is not straightforward and at least two options can be proposed: 1). The studied metaandesites are differentiated mafic magmas and the age of their formation is defined by the older zircon population, and the young population corresponds to the time of superimposed thermal processes during later intrusion of plagioclase granitoids of the Novomykolaivka massif; 2). The age of the metaandesite is defined by the younger population, while the older population is inherited from the protolith. We consider the second option as being far more likely. The first option contradicts the stratigraphic position of the dated rock. The studied metaandesite is low in potassium and belongs to the sodium series. Relative to TTG, they have higher Nb (16.2 ppm) and Y (25.9 ppm). Rare earth elements are weakly differentiated, $(La/Yb)_N = 3.91$ with a strongly negative Eu anomaly, $Eu/Eu^* = 0.44$. The U-Pb zircon age from the low-alkaline rhyodacite hypabyssal intrusion that cuts the Sura Formation of the Konka Group is (3085 ± 6) Ma. It has a highly differentiated REE pattern, $(La/Yb)_N = 16.2$ and a positive Eu anomaly, $Eu/Eu^* = 1.21$. The Nb (6.7 ppm) and Y (10.8 ppm) contents are low. They chemically resemble TTGs of the Sura Complex. Based on our data, the andesites of the Chortomlyk Formation of the Konka Group and the low-alkaline rhyodacite hypabyssal intrusions have the same U-Pb age, but different origins. The former were produced by the melting of older crustal rocks, and the latter were formed due to the partial melting of metabasites with garnet-bearing restite. Hafnium isotope composition in zircon from both samples reveals their juvenile nature, i.e., they crystallized from partial melts of rocks with short crustal residence times. Our isotope data agrees with the neodymium isotope composition of the felsic volcanic rocks of the Sura greenstone belt, which yielded ϵ_{Hf} values of +1.8. These values are lower than the depleted mantle isotope composition at this time (3200–3000 Ma).

*Novomykolaivka massif was formerly known as Chkalove massif.

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

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

Citation: Artemenko G.V., Shumlyansky L.V., Chew D., Drakou F., Dhuime B., Moreira H. 2024. The U-Pb age and hafnium isotope composition of zircon from metamorphosed andesite of the Chortomlyk Formation and rhyodacite hypabyssal intrusion of the Sura Complex, Chortomlyk Greenstone Belt. *Geologičnij žurnal*, 2 (387): 3–17. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.2.299561>

Цитування: Артеменко Г.В., Шумлянський Л.В., Чью Д., Драков Ф., Дьюйм Б., Мореира Г. U-Pb вік та ізотопний склад гафнію циркону з метаморфізованого андезиту чортомлицької світи та ріодацитів гіпабісальної інтрузії сурського комплексу (Чортомлицький зеленокам'яний пояс). *Геологічний журнал*. 2024. № 2 (387). С. 3–17. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.2.299561>

Introduction

Andesites and felsic volcanic rocks are an important element of volcanic sequences and can represent an indicator of the geodynamic regime during greenstone belt formation. They occur at different stratigraphic levels of the Konka and Bilozerka Groups, which comprise the greenstone belts sections in the Middle Dnieper domain (Semenenko et al., 1967). In the lower part of the Konka Group (Sura Formation), thin bodies (10s of cm) of intermediate and felsic volcanic rocks are rhythmically interlayered with mafic and ultramafic volcanic rocks and sedimentary rocks (Semenenko et al., 1967). In the overlying Chortomyk Formation of the Konka Group, the thickness of intermediate and felsic volcanic rocks reaches several thousand meters (Semenenko et al., 1967; Kushinov, Kuz V.D, 1988; Koliy et al., 1990). In the Solone sub-formation at the top of the Konka Group, only felsic volcanic rocks occur, with a thickness of a few hundred meters (Bobrov, 1993a, 1993b). In the Bilozerka Group, which unconformably overlies the Konka Group, the thickness of felsic volcanic rocks is a few tens of meters (Semenenko et al., 1967; Strueva, Skarzhinskaya, 1979). The nature and age of the andesites and felsic volcanic rocks are still poorly known.

Most of the previous geochronological and isotope geochemistry studies of greenstone belts in the Middle Dnieper Domain of the Ukrainian Shield were conducted in the 1980 – early 1990s e.g., (Shcherbak et al., 1987, 1989; Zhuravlev et al., 1987; Samsonov et al., 1993). According to these data, the maximum depositional age of the metasedimentary rocks and the age of mafic and ultramafic volcanic rocks in the Konka Group was ca. 3.15 Ga. The mafic-ultramafic rocks yielded an ϵNd value of 1.8. Rocks of the Solone sub-formation yielded U-Pb zircon ages of 3.14–3.10 Ga with $\epsilon\text{Nd} = 1.8$. The zircon U-Pb age of the trondhjemite intrusions cutting the Chortomyk Formation was defined at (3115 ± 10) Ma. Finally, the maximum depositional age of the metasedimentary rocks of the Bilozerka Group was defined at ca. 3.0 Ga. Recent works, mostly based on the results of LA-ICP-MS zircon dating (Bibikova et al., 2010; Artemenko et al., 2014, 2020, 2023, 2024) allowed maximum depositional ages of sedimentary rocks in the Chortomyk (ca. 3.1 Ga), Bilozerka (ca. 3.05 Ga) and Vysokopillya (ca. 3.06 Ga) greenstone belts to be defined.

Research objectives. Previous geochronological studies of the greenstone belts in the Middle Dnieper Domain of the Ukrainian Shield were focused, with a few exceptions, on investigations of metasedimentary rocks and mafic and ultramafic volcanic rocks. The 2000 m thick dacite-andesite-tholeiite association in the Chortomyk Formation overlying the komatiite-tholeiite association of the Sura Formation marks an important stage in the evolution of greenstone belts in the Middle Dnieper Domain, however its age remains unknown. The purpose of this work was to define the U-Pb LA-ICP-MS zircon age and the geochemical features of metamorphosed andesites of the Chortomyk Formation and of hypabyssal metamorphosed dacites cutting the volcano-sedimentary rocks of the Sura Formation.

Geological structure of the study area. The Chortomyk greenstone belt is a northeast-trending syncline with a total width of 15–18 km and an area of up to 500 km² (Semenenko et al., 1967) (Fig. 1). It is affected by folding and faulting. The most significant structures in the belt are the Solone syncline (I), the Kyslychuvate anticline (II), the Chortomyk tectonic wedge (an asymmetric, isoclinal syncline, III), and in the south – the Hrushivka (IV) and Oleksiivka (V) tectonic wedges (see Fig. 1). In the Chortomyk greenstone belt, volcanic structures (central and fissure types) formed on older basement (Honchar, 1979; Bobrov, 1993a, 1993b; Kushinov, Kuz, 1988; Kornienko et al., 2001). The initial stages of the outpouring of the komatiite-basalt lavas of the Sura Formation were confined to linear fractures (>30 km) associated with deep fault zones (Fig. 2). In contrast, formation of the dacite-andesite-tholeiite association of the overlying Chortomyk Formation was related to the central-type volcanoes (Bobrov, 1993a, 1993b; Kushinov, Kuz, 1988). The volcanic rocks of the Sura and Chortomyk formations are intruded by plagioclase granites of the Novomykolaivka massif (Kushinov, Kuz, 1988). The youngest rocks are felsic volcanic rocks of the Solone Formation and hypabyssal intrusions, formed within three large volcanic fields located around the Novomykolaivka massif (North-Novomykolaivka, West-Novomykolaivka, and East-Novomykolaivka) (Bobrov, 1993a, 1993b; Bobrov et al., 2004). In the Middle Dnieper Domain, metamorphosed andesites and felsic volcanic rocks of the Konka Group are most voluminous in the Chortomyk greenstone belt, which has been less affected by erosion than other belts.

Research methods. Zircon was separated from a metamorphosed andesite (sample 85-335) and a low-alkaline metarhyodacite from a hypabyssal intrusion (sample 85-313) using a shaking table, heavy liquids, and a magnetic separator to produce a heavy non-magnetic fraction. Zircons were hand-picked under a binocular microscope and their morphology was studied under an optical microscope. The U-Th-Pb analyses were conducted by laser ablation-inductively coupled mass spectrometry (LA-ICP-MS) on crystals in epoxy mounts at the Department of Geology, Trinity College, Dublin, Ireland. A Photon Machines Analyte Excite 193 nm ArF excimer laser-ablation system with a HelEx 2-volume ablation cell, coupled to an Agilent 7900 mass spectrometer was employed. Line scans on NIST612 standard glass were used to tune the instrument, by obtaining a Th/U ratio close to unity and low oxide production rates (i.e., ThO⁺/Th⁺ typically <0.15%). A circular laser spot of 24 μm, a repetition rate of 11 Hz and a fluence of 2.25 J/cm² were employed.

The helium carrier gas was fed into the laser cell at ~0.4 l/min¹, and was mixed with ~0.6 l/min Ar make-up gas and 11 ml/min N₂. Each analysis comprised 27.3 s of ablation (300 shots) and 12 s of wash out time and the latter portions of the washout were used for baseline measurements. The data reduction of raw U-Th-Pb isotopic data was undertaken using the freeware IOLITE package (Paton et al., 2011), with the “Vizual Age” data reduction scheme (Petrus et al., 2012). The primary U-Pb zircon calibration reference material was 91500 zircon (²⁰⁶Pb-²³⁸U age of (1065.4 ± 0.6) Ma (Wiedenbeck et al., 1995, 2004) and the secondary reference materials were Plešovice zircon (²⁰⁶Pb-²³⁸U age of (337.13 ± 0.37) Ma (Sláma et al., 2008) which yielded an age of (338.7 ± 1.0) Ma (²⁰⁶Pb-²³⁸U age weighted mean age, n = 109) and WRS 1348 zircon (²⁰⁶Pb-²³⁸U age of (526.26 ± 0.70) (Pointon et al., 2012) which yielded an age of (526.6 ± 2.0) Ma (²⁰⁶Pb-²³⁸U age weighted mean age, n = 130). Final ages were calculated using Isoplot (Ludwig, 2011).

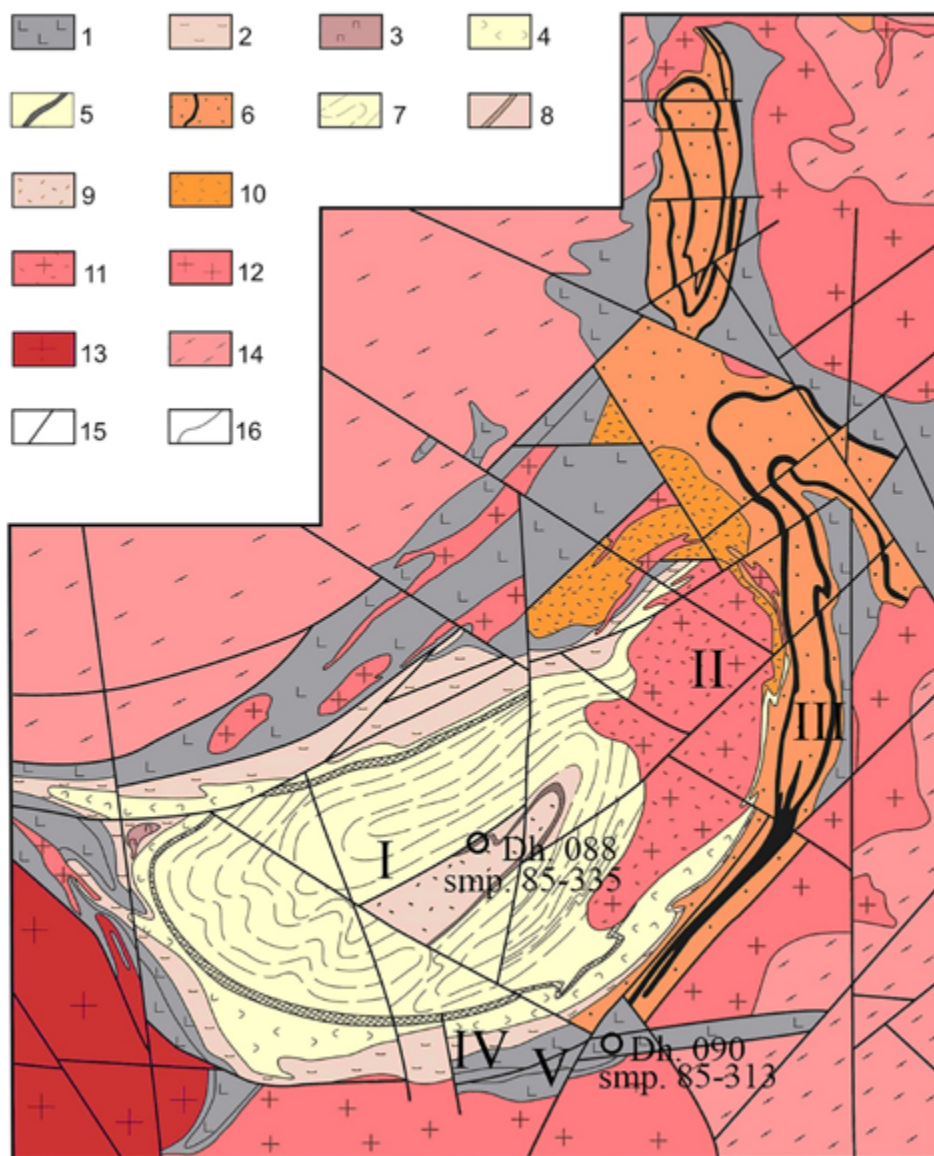


Fig. 1. Schematic geological map of Chortomylyk greenstone belt modified from (Kornienko et al., 2001; Bobrov et al., 2004). *Meta-komatiite association:* 1 – complex KT-1, 2 – complex KT-2, 3 – dunite-harzburgite association, 4 – complex KT-3, 5 – complex KT-4, 6 – complex of shale-jaspilite-tholeiite SDT; 7 – metadacite-tholeiite-andesite association DAT; 8 – lower complex, 9 – upper complex; 10 – rhyodacite and tonalite-plagioclase granite association; 11 – subvolcanic facies RD; 12 – hypabyssal facies; 13 – granite of the Tik massif; 14 – granite-gneissic basement; 15 – faults; 16 – geological boundaries. Geological structures: I – Solone syncline; II – Kyslychuvate anticline; III – Chortomylyk syncline; IV – Hrushivka tectonic wedge; V – Oleksiivka tectonic wedge. Locations of the drill holes 088, 090 and of the samples collected for geochronological studies (85-335, 85-313) are indicated

Stratigraphy	Main rocks types	Formation	Group
RD	Ryolites, dacites	Solone	K O N K A
DAT	Dacites, andesites, tholeiites	Chortomlyk	
SDT	BIF, quartzites, metasandstones, tuff-sandstones, shales, metamorphosed plagioclase tuffs and green schists.	Sura	
KT	BIF, tholeiites, komatiites, metamorphic schists		
DAT	Dacites, andesites, tholeiites	Basavluk	A U L Y
	Plagiogneisses, amphibolites		

Fig. 2. Schematic stratigraphic column of the sedimentary-volcanogenic succession in the Chortomlyk greenstone belt (southern profile) according to (Sivoronov et al., 1990 with modifications). Metamorphosed associations: DAT – dacite-andesite-tholeiite; KT – komatiite-tholeiite; K – komatiite; SDT – schist-jaspilite-tholeiite, RD – rhyolite-dacite

Lutetium-hafnium isotope analyses in zircon were performed by LA-MC-ICP-MS at the MILESTONE Laboratory (RÉGEF ISOTOP-MTP, Geosciences Montpellier, France). A Thermo Scientific Neptune XT was coupled to a Teledyne Cetac Analyte Excite+ Excimer laser (193 nm), which was equipped with an optional X-Y Theta dynamic aperture allowing rectangular-shaped beams of any aspect ratio and orientation to be generated. Analyses were carried out on top of the U-Pb ablation pits, using a 40×40 μm beam, a laser frequency of 5 Hz and an energy density of 6 J/cm². Each analysis included a 30 s background measurement and a 60 s ablation period of 60 cycles of 1 s each. The accuracy and long-term reproducibility of the measurements were gauged by performing repeated analyses of three zircon reference standards: Mud Tank ($^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = (0.282512 \pm 17)$, $n = 55$); Plešovice ($^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = (0.282485 \pm 15)$, $n = 57$), and Temora-2 ($^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = (0.282673 \pm 24)$, $n = 29$). The data agree with the accepted $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ ratios for Mud Tank (0.282504 ± 44) (Woodhead and Hergt, 2005), Plešovice (0.282482 ± 13) (Sláma et al., 2008) and Temora-2

(0.282680 ± 24) (Woodhead et al., 2004). All errors are given at 2 s.d.level. $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ initial ratios were calculated using the ^{176}Lu decay constant quoted in Söderlund et al. (2004). Only analyses with a precision better than 150 ppm (2 s.d.) were considered for this study. $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ values were calculated using $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0.0336$ and $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0.282785$ for the CHUR (Bouvier et al., 2008).

Research results. Volcanogenic rocks of the Chortomlyk Formation were described as a differentiated dacite-andesite-tholeiite association (Sivoronov et al., 1981a, 1981b; Kushinov, Kuz, 1988; Lobach-Zhuchenko et al., 1988;). The formation is dominated by the packs comprising multiple repetitions of andesite + basalt paragenesis. The three-component basalt + andesite + dacite paragenesis is of subordinate importance (Kushinov, Kuz, 1988). Metamorphosed andesites of this formation were studied from Drill hole 088, drilled in the central part of the Chortomlyk structure, where andesites alternate with dacites in the section (Fig. 3).

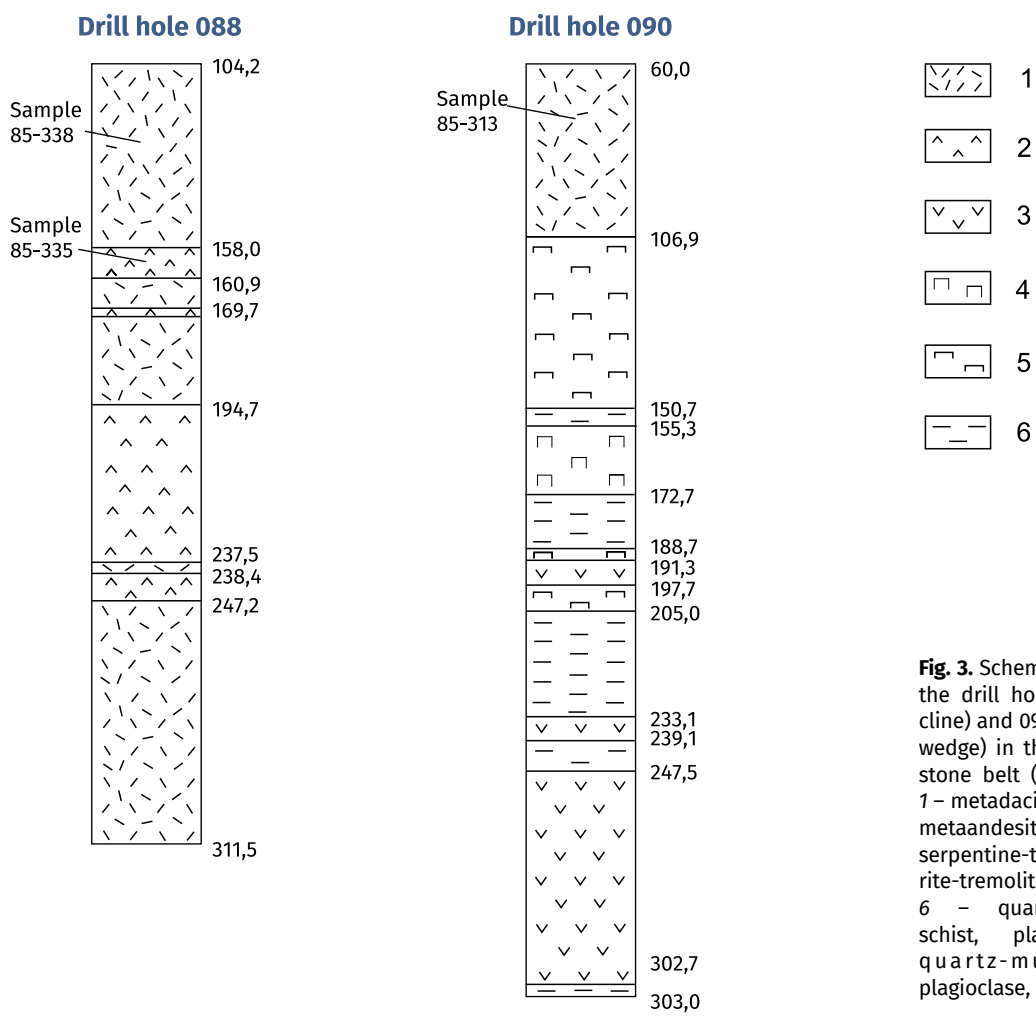


Fig. 3. Schematic geological log of the drill holes 088 (Solone syncline) and 090 (Oleksiivka tectonic wedge) in the Chortomlyk greenstone belt (Kushinov, Kuz, 1988): 1 – metadacite and rhyodacite; 2 – metaandesite; 3 – amphibolite; 4 – serpentine-talc, talc rock; 5 – chlorite-tremolite, tremolite schists; 6 – quartz-biotite-plagioclase schist, plagioclase-hornblende, quartz-muscovite-biotite-plagioclase, biotite microgneisses

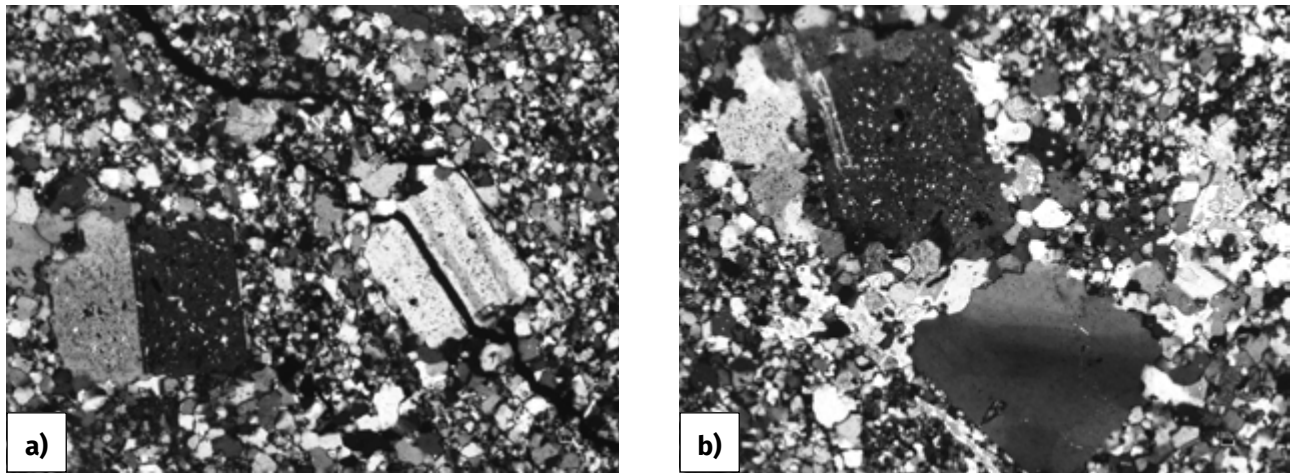


Fig. 4. Photomicrographs under cross-polarised light of metamorphosed quartz-plagioclase porphyrite (andesite) of the Chortomlyk Formation of the Konka Group: a) drill hole 088, depth 158,5 m; b) drill hole 088, depth 160 m. Images are taken using an ECLIPSE LV100 POL polarizing microscope

Metaandesite, sample 85-335 (Chortomlyk Formation of the Konka Group, drill hole 088, depth 158,0–160,9 m). The rock has a schistose structure. The texture is blastoporphyritic with lepidogranoblastic texture in the groundmass (Fig. 4, a, b). The

phenocrysts are represented by quartz and plagioclase. The mineral composition (vol. %) of the groundmass: chlorite – 6; muscovite – 7; carbonate – 15–18; quartz + albite – 70; biotite – 1; magnetite, apatite, zircon – single grains.

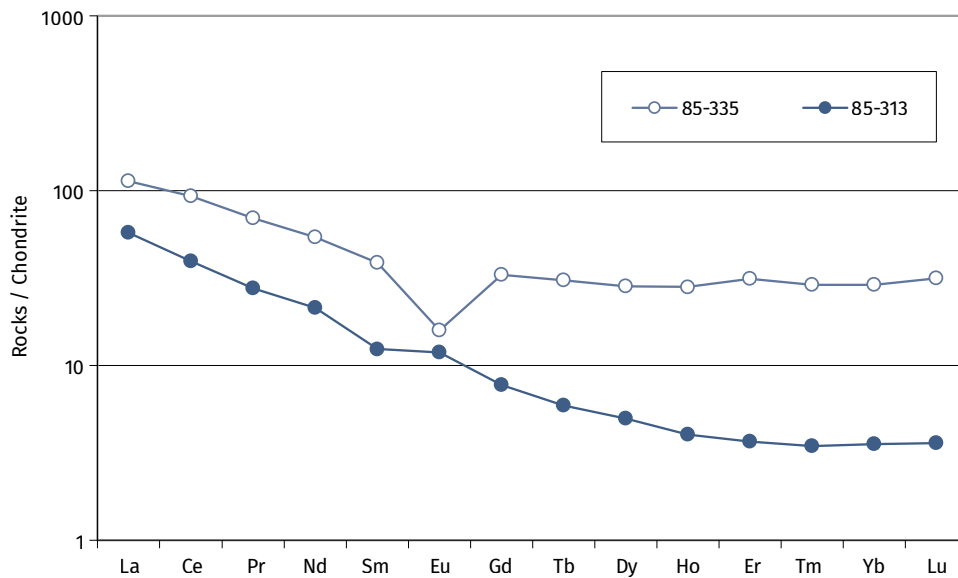


Fig. 5. Chondrite-normalized REE pattern for the metamorphosed andesite (sample 85-335) of the Chortomlyk Formation and metamorphosed low-alkaline rhyodacite hypabyssal intrusion (sample 85-313). Chondrite composition is after Sun & McDonough (1989)

In terms of chemical composition, they correspond to andesite of the calc-alkaline series ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 3.8$) (Bogatikov, Gonshakova, 1987) (Table 1). They are high-magnesian, $\text{Mg}\# = 0.49$, and poor in Rb (31.7 ppm), Sr (92.2 ppm), Ba (81.9 ppm), as well as in transition elements V (5.68 ppm), Cr (10.4 ppm), Ni (15.7 ppm) (Table 2). They are rich in Nb (16.2 ppm) and Y (25.9 ppm). Rare earth elements are weakly differentiated, $(\text{La}/\text{Yb})\text{N} = 3.9$, with a strongly negative Eu anomaly, $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.44$ (Fig. 5).

There are two populations of zircon crystals in the andesite: small, transparent, colorless and large, brown, opaque. The average size of the small transparent zircons is 0.6×0.03 mm. Shapeless zircon grains predominate; subhedral zircon is much less common. Their internal structure is homogeneous. Crystals of brown opaque zircon reach a size of up to 0.25×0.17 mm. They exhibit a zonal structure (Fig. 6).

A total of 30 zircon crystals were analysed in this sample (Table 3). Of these, 24 small transparent colourless zircon crystals were dated and a concordant age of (3222.3 ± 6.0) Ma was calculated for 23 zircon crystals (Fig. 7). The U-Pb ages of six large, brown, opaque zircons range from 3132–3073 Ma (Table 3). The concordia age of the three youngest results is (3082 ± 10) Ma.

The hafnium isotope composition was measured in 10 spots, 6 of them represent zircons having a concordant age of (3222 ± 6) Ma, while the rest was obtained for crystals with younger ages. All zircon crystals irrespective of their age yielded positive ϵHf values, varying from +3.2 to +1.5 (Table 4, Fig. 8).

Table 1. Chemical composition of the volcanic and intrusive hypabyssal rocks, Chortomlyk greenstone structure

Oxides, %	1/ 85-335	2/ 85-313
SiO_2	59.02	68.67
TiO_2	0.76	0.46
Al_2O_3	14.06	16.22
Fe_2O_3	0.79	2.27
FeO	6.05	1.87
MnO	0.14	0.07
MgO	3.67	2.02
CaO	5.02	1.51
Na_2O	3.80	4.0
K_2O	1.00	0.99
P_2O_5	0.30	0.08
Stot.	0.10	–
CO_2	–	1.76
H_2O^-	0.02	0.09
LOI	5.16	0.12
Total	99.89	100.13
Mg#	0.49	0.48

*Note. 1 – metamorphosed andesite, Chortomlyk Formation, Solone syncline, drill hole 088, depth 158–160.9 m (sample 85-335); 2 – metamorphosed low-alkaline rhyodacite hypabyssal intrusion, Oleksiivka tectonic wedge, drill hole 090, depth 65–97 m (sample 85-313). $\text{Mg}\# = \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$ (molar ratio).

Table 2. Trace element composition of volcanic and intrusive hypabyssal rocks from the Chortomlyk greenstone belt

Concentration, ppm	1/ 85-335	3/ 85-313
V	5.7	72
Cr	10.4	93
Co	2.1	18.9
Ni	15.7	38
Cu	15.2	102
Zn	88	24.5
Ga	15.5	-
Rb	32	39
Sr	92	171
Y	25.9	10.8
Zr	175	121
Nb	16.2	6.7
Mo	2.5	0.9
Sb	0.1	-
Cs	0.44	1.40
Ba	82	294
La	26.9	13.6
Ce	57.1	24.1
Pr	6.61	2.62
Nd	25.3	9.97
Sm	5.91	1.90
Eu	0.92	0.69
Gd	6.80	1.59
Tb	1.15	0.22
Dy	7.22	1.26
Ho	1.59	0.23
Er	5.20	0.61
Tm	0.74	0.09
Yb	4.93	0.60
Lu	0.80	0.09
Hf	8.52	3.28
Ta	1.29	0.62
W	0.52	-
Pb	2.63	4.57
Th	6.92	3.52
U	1.70	0.90
Σ REE	151.17	57.57
(La/Yb) _N	3.91	16.2
Eu/Eu*	0.44	1.21

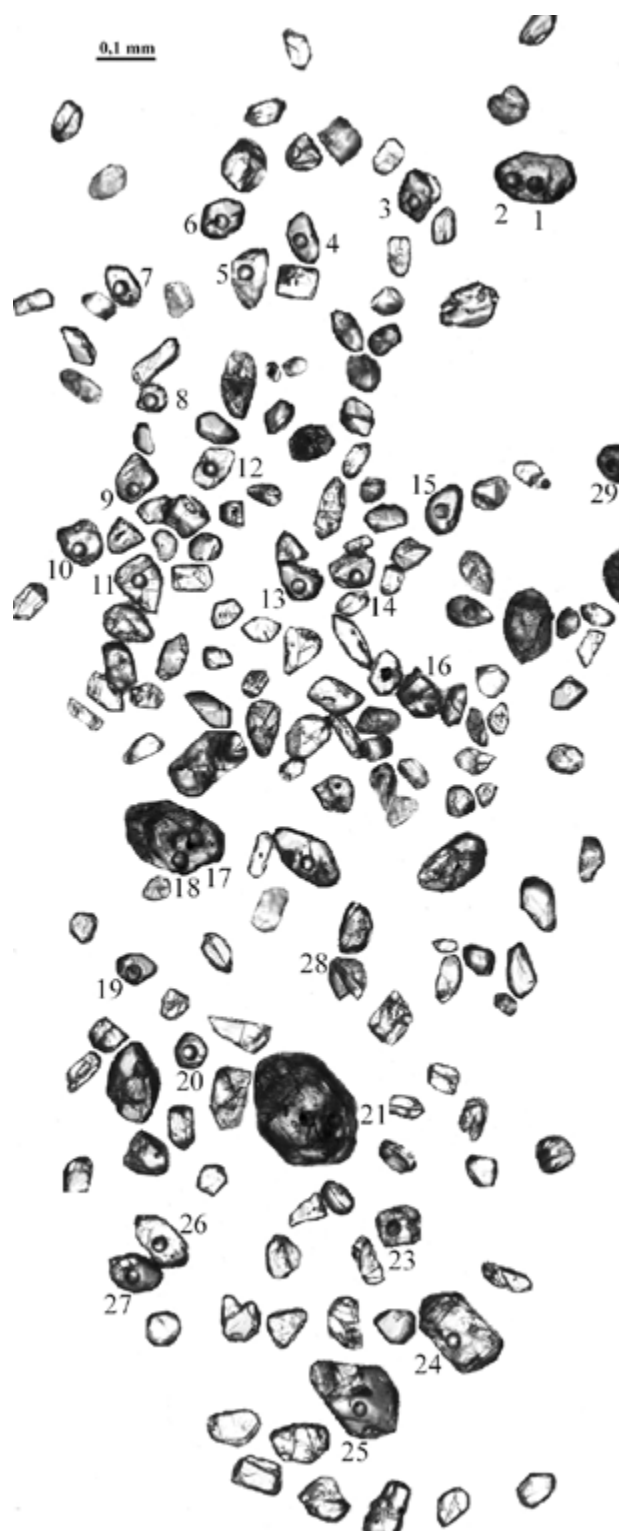
**Fig. 6.** Optical image of the studied zircon crystals from meta-andesite of the Chortomlyk Formation (Chortomlyk greenstone structure, drill hole 088, depth 158.0–160.9 m, sample 85-335) with location of U-Pb analytical spots indicated (see Table 3)

Table 3. Results of LA-ICP-MS U-Pb dating of zircon from volcanic and intrusive hypabyssal rocks, Chortomylyk greenstone structure

# analysis	Concentration, ppm			Th/U	Isotope ratio						Isotopic age, Ma						
	U	Pb	Th		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	2σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2σ	Rho	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	2σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2σ
Sample 85-335, metamorphosed andesite, drill hole 088, depth 158-160.9 m																	
1	316	280	186	0.6	21.83	0.26	0.6603	0.0100	0.76508	0.2410	0.0023	3175	12	3267	37	3126	15
2	687	647	460	0.7	21.32	0.35	0.6390	0.0130	0.62151	0.2420	0.0028	3152	16	3191	53	3132	18
3	163	199	148	0.9	22.21	0.28	0.6570	0.0140	0.42759	0.2486	0.0040	3192	12	3265	51	3174	25
4	134	124	86	0.6	22.82	0.27	0.6490	0.0120	0.55010	0.2557	0.0034	3219	12	3231	44	3219	21
5	121	126	91	0.8	22.81	0.27	0.6534	0.0080	0.65816	0.2561	0.0030	3218	12	3240	32	3223	18
6	163	182	132	0.8	22.65	0.25	0.6422	0.0080	0.78963	0.2554	0.0021	3211	11	3196	32	3218	13
7	149	159	106	0.7	22.81	0.31	0.6521	0.0090	0.60552	0.2530	0.0030	3218	13	3241	33	3202	19
8	184	196	133	0.7	23.16	0.42	0.6510	0.0110	0.68510	0.2565	0.0031	3235	17	3232	43	3224	19
9	158	141	94	0.6	22.92	0.38	0.6580	0.0110	0.603710	0.2558	0.0045	3227	15	3259	44	3233	27
10	177	195	135	0.8	22.70	0.22	0.6496	0.0090	0.69142	0.2530	0.0025	3213.4	9.5	3230	36	3205	15
11	107	118	82	0.8	22.84	0.23	0.6530	0.0110	0.64003	0.2535	0.0029	3219.6	9.6	3240	42	3205	18
12	92	72	48	0.5	23.46	0.32	0.6770	0.0110	0.31520	0.2523	0.0041	3245	13	3338	42	3196	26
13	145	135	93	0.6	22.75	0.29	0.6477	0.0100	0.73949	0.2536	0.0027	3217	13	3222	38	3206	17
14	123	92	62	0.5	22.81	0.27	0.6527	0.0100	0.57620	0.2549	0.0034	3218	12	3237	38	3213	21
15	108	96	64	0.6	23.25	0.25	0.6595	0.0100	0.60169	0.2542	0.0030	3237	10	3264	38	3210	19
16	74	71	44	0.6	22.91	0.31	0.6535	0.0090	0.69446	0.2527	0.0027	3222	13	3245	37	3200	17
17	178	141	128	0.7	19.60	0.37	0.6010	0.0140	0.69860	0.2385	0.0041	3071	18	3031	56	3108	27
18	158	173	167	1.1	19.96	0.36	0.6140	0.0100	0.72046	0.2332	0.0028	3088	18	3086	41	3073	19
19	152	158	114	0.8	22.61	0.24	0.6460	0.0100	0.56269	0.2553	0.0032	3209	10	3212	40	3215	20
20	77	65	44	0.6	23.02	0.28	0.6590	0.0130	0.54659	0.2545	0.0041	3227	12	3263	49	3211	26
21	154	140	83	0.5	20.38	0.26	0.6149	0.0080	0.57607	0.2405	0.0030	3110	12	3088	33	3123	21
22	223	138	107	0.5	19.73	0.34	0.6090	0.0160	0.69906	0.2374	0.0036	3077	16	3064	62	3101	25
23	286	400	250	0.9	23.59	0.25	0.6768	0.0100	0.75242	0.2523	0.0024	3251	10	3331	37	3199	15
24	237	382	246	1.0	22.68	0.22	0.6517	0.0080	0.71407	0.2530	0.0023	3212.5	9.5	3234	32	3205	15
25	91	78	52	0.6	23.04	0.30	0.6567	0.0090	0.63754	0.2549	0.0036	3227	13	3259	37	3215	23
26	93	96	59	0.6	23.22	0.50	0.6610	0.0160	0.64286	0.2540	0.0047	3235	21	3269	60	3208	30
27	80	66	48	0.6	22.79	0.30	0.6488	0.0100	0.60856	0.2523	0.0028	3221	13	3226	37	3197	18
28	139	145	95	0.7	22.73	0.27	0.6508	0.0090	0.52722	0.2546	0.0026	3214	11	3230	33	3212	16
29	74	50	32.5	0.4	23.18	0.50	0.6700	0.0150	0.66009	0.2521	0.0053	3238	22	3302	59	3195	34
30	158	270	230	1.5	22.79	0.28	0.6463	0.0090	0.70892	0.2546	0.0023	3217	12	3212	35	3212	14

Table 3. Results of LA-ICP-MS U-Pb dating of zircon from volcanic and intrusive hypabyssal rocks, Chortomyk greenstone structure (continuation)

# analysts	Concentration, ppm		Isotope ratio					Isotopic age, Ma								
	U	Pb	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	2σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2σ	Rho	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	2σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2σ
Sample 85-313, metamorphosed low-alkaline rhyodacite from the hypabyssal intrusion, drill hole 090, depth 65-97 m																
2	266	269	142	19.82	0.25	0.6203	0.0100	0.50837	0.2350	0.0034	3084	12	3110	38	3084	23
3	293	292	159	20.05	0.34	0.6210	0.0110	0.87670	0.2340	0.0025	3092	17	3111	46	3081	18
4	221	162	105	19.87	0.49	0.6180	0.0240	0.70808	0.2327	0.0055	3083	24	3116	90	3068	37
5	167	137	90	19.92	0.19	0.6195	0.0080	0.52481	0.2338	0.0024	3086.6	9.2	3111	32	3079	17
6	193	184	127	20.06	0.37	0.6180	0.0120	0.82565	0.2360	0.0023	3094	18	3098	48	3092	16
7	140	99	68	19.96	0.32	0.6100	0.0120	0.77850	0.2370	0.0028	3088	16	3072	46	3103	18
9	230	165	121	20.04	0.28	0.6200	0.0100	0.64450	0.2338	0.0029	3092	13	3108	40	3076	20
10	258	248	169	20.32	0.31	0.6260	0.0120	0.80007	0.2352	0.0030	3106	15	3132	46	3093	20
11	238	173	126	20.23	0.32	0.6170	0.0120	0.69247	0.2372	0.0030	3101	15	3098	49	3100	20
12	214	178	132	19.78	0.36	0.6180	0.0110	0.77389	0.2339	0.0025	3084	17	3101	43	3080	17
13	297	276	212	19.63	0.41	0.6070	0.0120	0.76414	0.2376	0.0038	3076	19	3055	49	3102	25
14	76	42,3	44,7	19.76	0.24	0.6145	0.0070	0.41757	0.2326	0.0027	3079	12	3087	29	3074	20
15	163	131	117	18.75	0.34	0.5760	0.0140	0.69150	0.2366	0.0047	3028	18	2933	57	3095	32
16	138	131	90	20.45	0.31	0.6240	0.0140	0.72916	0.2395	0.0036	3112	15	3123	54	3119	23
17	193	154	116	19.35	0.30	0.5910	0.0100	0.80174	0.2366	0.0023	3058	15	2991	41	3097	16
19	115	77	81	18.11	0.28	0.5607	0.0090	0.63706	0.2370	0.0029	2995	15	2869	36	3099	20
20	95	77	54	19.14	0.26	0.6007	0.0090	0.61929	0.2310	0.0028	3048	13	3031	34	3060	19
21	238	196	164	19.37	0.37	0.6050	0.0130	0.82027	0.2341	0.0027	3062	19	3056	52	3082	19
22	210	202	176	19.33	0.27	0.6040	0.0120	0.70105	0.2357	0.0029	3058	13	3043	48	3090	19
23	171	112	81	19.84	0.27	0.6112	0.0070	0.57383	0.2354	0.0030	3086	13	3074	28	3090	20
24	146	182	128	19.90	0.32	0.6176	0.0100	0.60898	0.2341	0.0030	3087	16	3098	38	3078	21
25	223	149	125	18.15	0.43	0.5580	0.0120	0.63657	0.2379	0.0048	3000	22	2855	48	3102	32
26	153	161	110	20.39	0.75	0.6170	0.0220	0.70696	0.2407	0.0061	3115	33	3094	88	3122	40
27	120	78	64	20.08	0.41	0.6210	0.0130	0.88555	0.2337	0.0023	3094	20	3111	53	3076	15
28	192	166	160	17.61	0.35	0.5400	0.0120	0.75326	0.2351	0.0033	2967	19	2781	50	3086	22
29	215	134	101	19.89	0.36	0.6150	0.0140	0.45738	0.2354	0.0045	3089	18	3086	57	3087	31
30	161	112	83	19.71	0.52	0.6060	0.0250	0.73408	0.2404	0.0061	3080	25	3050	100	3128	38
34	133	99	69	20.28	0.34	0.6270	0.0120	0.75278	0.2341	0.0029	3103	16	3134	47	3078	20
35	403	631	496	20.04	0.31	0.6130	0.0120	0.68281	0.2362	0.0035	3092	15	3079	46	3092	24

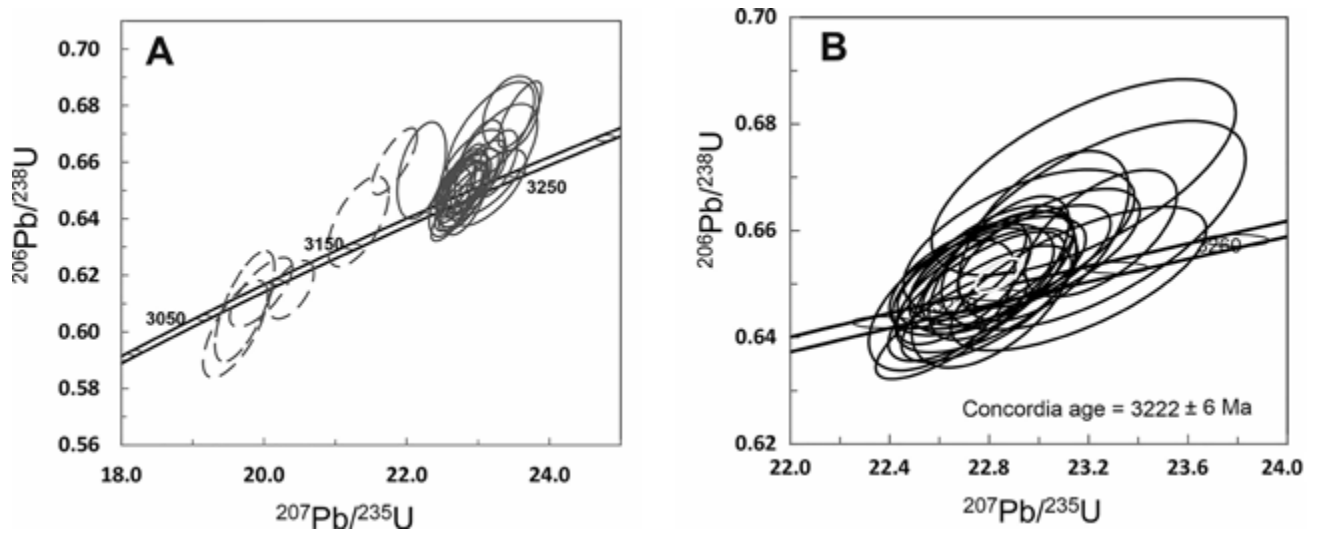


Fig. 7. U-Pb diagram for concordant zircon from metaandesite of the Chortomlyk Formation (sample 85-335, drill hole 088, depth 158.0–160.9 m). A – all obtained data. Dashed ellipses indicate results obtained for big brown zircon grains; B – concordant data from the small, colourless population

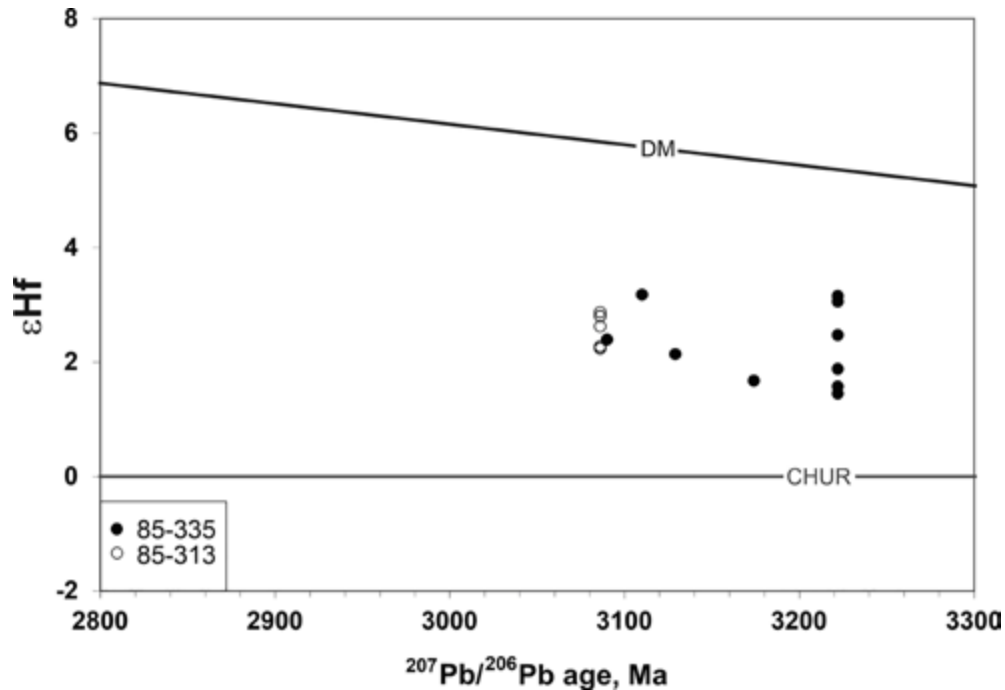


Fig. 8. Hafnium isotope composition in the studied samples of metaandesite (sample 85-335, drill hole 088, depth 158.0–160.9 m) and rhyodacite (sample 85-313, drill hole 090, depth 65–97 m)

Low-alkaline metarhyodacite (sample 85-313) was collected from a hypabyssal body intruding the sedimentary-volcanogenic rocks of the Sura Formation (Oleksiiivka tectonic wedge, Dh. 090, depth 65–97 m) (see Fig. 1, 3). The texture is porphyritic and the phenocrysts are represented by quartz and plagioclase (Fig. 9). The groundmass is fine-grained and composed of quartz, plagioclase, biotite, muscovite, opaque minerals, apatite and zircon.

In terms of chemical composition, this rock belongs to the sodium series ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 4.0$) (Bogatikov, Gonshakova, 1987) (see Table 1). It is highly magnesian, $\text{Mg}\# = 0.48$. REEs are differentiated with $(\text{La}/\text{Yb})\text{N} = 16.2$, and a positive europium anomaly is observed with $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 1.21$ (see Fig. 5). The rock is poor in Nb (6.7 ppm) and Y (10.8 ppm), has moderate concentrations of Ni (38 ppm) and Cr (93 ppm), and relatively rich in Cu (102 ppm) and Zn (24.5 ppm) (see Table 2).

Table 4. Results of Hf isotope composition studies of zircon from volcanic and intrusive hypabyssal rocks, Chortomlyk greenstone structure

#	Age, Ma	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$\pm 1\sigma$	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$\pm 1\sigma$	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}_t$	ϵHf_t	$\pm 2\sigma$	T(DM), Ma	T(DM) ^c _{felsic} , Ma	T(DM) ^c _{mafic} , Ma
Sample 85-335, metamorphosed andesite, drill hole 088, depth 158–160.9 m												
1	3129	0.280875	0.000007	0.001089	0.000013	0.029739	0.280824	2.1	0.5	3286	3348	3507
2	3174	0.280915	0.000015	0.002425	0.000140	0.080789	0.280781	1.7	1.2	3349	3409	3580
3	3222	0.280849	0.000012	0.001752	0.000032	0.049454	0.280755	1.9	0.9	3379	3438	3595
4	3222	0.280857	0.000009	0.002012	0.000044	0.058114	0.280746	1.6	0.7	3392	3454	3623
5	3222	0.280849	0.000009	0.001483	0.000014	0.045045	0.280771	2.5	0.6	3356	3406	3541
6	3222	0.280839	0.000009	0.001782	0.000025	0.050279	0.280743	1.5	0.6	3396	3460	3634
7	3222	0.280859	0.000011	0.001373	0.000023	0.037976	0.280788	3.1	0.8	3333	3376	3488
8	3222	0.280902	0.000010	0.002019	0.000041	0.057164	0.280790	3.2	0.7	3331	3370	3479
9	3090	0.280904	0.000009	0.001024	0.000043	0.027937	0.280857	2.4	0.7	3242	3302	3457
10	3110	0.280887	0.000007	0.000585	0.000005	0.015605	0.280866	3.2	0.5	3229	3277	3399
Sample 85-313, metamorphosed low-alkaline rhyodacite from the hypabyssal intrusion, drill hole 090, depth 65–97 m												
1	3086	0.280907	0.000008	0.000842	0.000015	0.022289	0.280871	2.8	0.6	3223	3277	3417
2	3086	0.280894	0.000009	0.000871	0.000012	0.024867	0.280856	2.3	0.7	3243	3305	3465
3	3086	0.280875	0.000008	0.000558	0.000007	0.015187	0.280856	2.3	0.6	3242	3306	3466
4	3086	0.280893	0.000008	0.000870	0.000013	0.023537	0.280855	2.2	0.6	3244	3307	3468
5	3086	0.280896	0.000008	0.000651	0.000013	0.017274	0.280871	2.8	0.6	3222	3277	3417
6	3086	0.280885	0.000008	0.000437	0.000011	0.011353	0.280873	2.9	0.6	3219	3274	3411
7	3086	0.280892	0.000008	0.000682	0.000009	0.019005	0.280866	2.6	0.6	3229	3287	3433

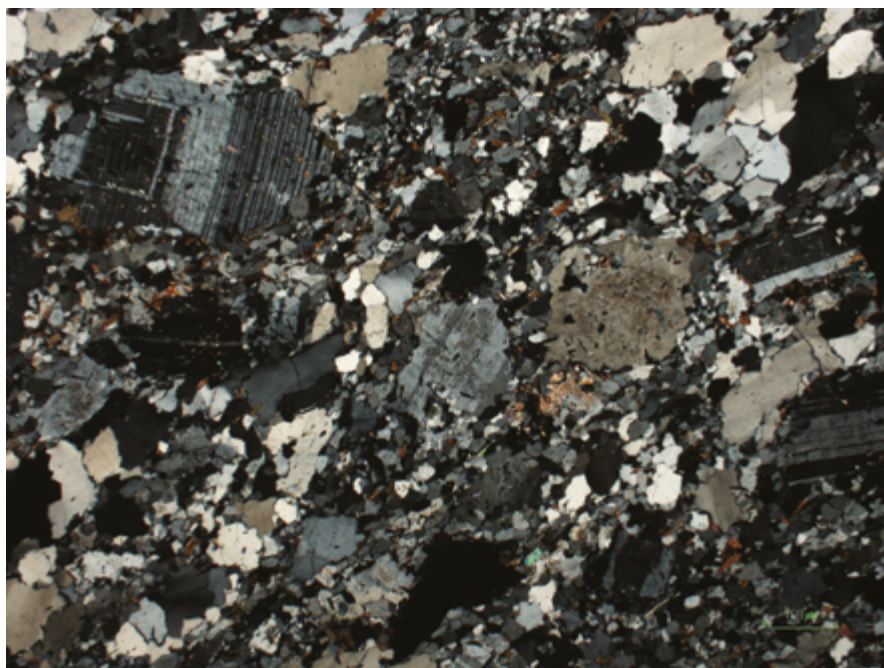


Fig. 9. Photomicrograph of metamorphosed low-alkaline rhyodacite from hypabyssal intrusion (Oleksiivka tectonic wedge, drill hole 090, depth 65–97 m, sample 85-313). Images are taken using a ECLIPSE LV100 POL polarizing microscope with crossed analysers



Fig. 10. An optical image of the studied zircon crystals from the metamorphosed low-alkaline rhyodacite (Chortomyk greenstone belt, Oleksiivka tectonic wedge, drill hole 090, depth 65–97 m, sample 85-313) with location of U-Pb analytical spots indicated (see Table 3)

Zircon forms short-prismatic crystals with poorly defined facets. They are light brown and transparent to semi-transparent and zoned. In terms of their appearance, they resemble zircon of the second population, described in the previous sample. The zircon contains apatite inclusions (Fig. 10).

A total of 27 zircon crystals were analysed, eight of them were analysed in two spots (see Table 3). An upper intercept isochron age of (3086 ± 6) Ma was calculated for this sample (Fig. 11). The weighted mean $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age for these results is (3087.9 ± 3.9) Ma. Hafnium isotope composition was measured in 7 spots, all of which yielded positive ϵ_{Hf} values of 2.8 to 2.2 (see Table 4).

Discussion of the results and conclusions

Results of the U-Pb dating and Hf isotope measurements in zircon from the rocks of the Chortomyk Formation shed new light on the evolution of greenstone magmatism in the Middle-Dnieper Domain of the Ukrainian Shield. Geochronological studies of metaandesite of the Chortomyk Formation of the Konka Group and hypabyssal intrusions of quartz-plagioclase porphyry (rhyodacite) of TTG of the Sura Complex were carried out. The prevailing zircon population in the metaandesite of Chortomyk Formation (sample 85-335 is represented by relatively small transparent colourless crystals. This population yielded a concordant age of (3222 ± 6) Ma. This is the oldest age so far obtained for the rocks comprising the greenstone belts in the Middle Dnieper Domain. This age is older than those obtained for the TTG gneisses ((3196 ± 13) Ma and (3079 ± 9) Ma) and amphibolites ((3181 ± 5) Ma and (3078 ± 17) Ma) of the Auly Group (Samsonov et al., 1996) which comprises the basement to the greenstone belts. An age identical within age uncertainty of (3227 ± 9) Ma was obtained for tonalite of the Dnipro Complex that intrudes supracrustal rocks of the Auly Group (Bobrov et al., 2008).

The second zircon population in the metaandesite comprises relatively rare large, brown, opaque zircon crystals that resemble those found in hypabyssal intrusions cutting through the rocks of the Konka Group (sample 85-313). Zircon of this population are younger and yielded an age of 3132–3073 Ma. The concordia age of the three youngest results is (3082 ± 10) Ma. The interpretation of the ages obtained in this sample is not straightforward and at least two options can be proposed:

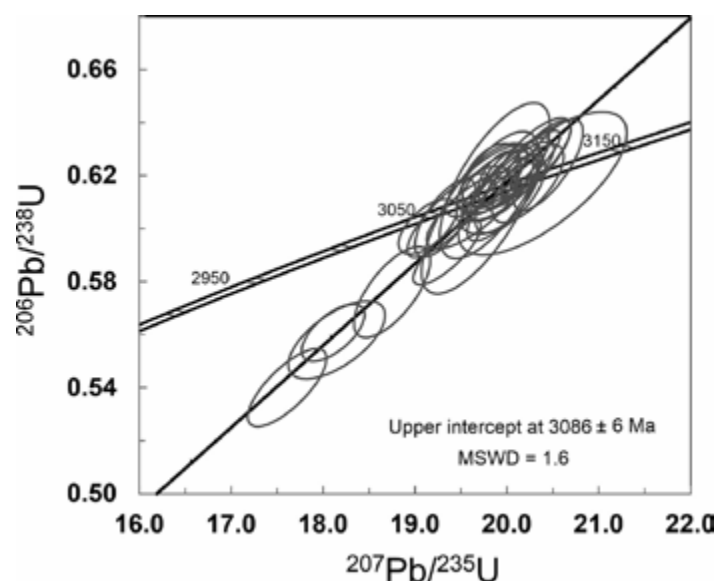


Fig. 11. U-Pb diagram for zircon from the metamorphosed low-alkaline rhyodacite hypabyssal intrusion (Chortomlyk greenstone structure, Oleksiivka tectonic wedge, Dh. 090, depth 65–97 m, sample 85-313)

1. The studied metaandesites are differentiated mafic magmas and the age of their formation is determined by dating the older zircon population and the younger population corresponds to the time of superimposed thermal processes during the intrusion of later plagioclase granitoids of the Novomykolaivka massif.
2. The age of the metaandesite is defined by the younger population, while the older population is inherited from the protolith. We consider the second option as being far more likely. In this case, the age of the metaandesite can be defined as (3082 ± 10) Ma. The first option contradicts the stratigraphic position of the dated rock.

Two models of the formation of andesites and felsic volcanics of the Chortomlyk Formation have been proposed. Lobach-Zhuchenko and Malyuk (1988) believed that magmas of the andesite-basalt, andesite, and possibly dacite composition of the Chortomlyk Formation could have formed as a result of differentiation of tholeiitic magmas according to the Bowen's trend. Another model was presented by Malyuk and Sivoronov (1990) according to which andesites and felsic volcanic rocks of the Chortomlyk Formation could have formed as a result melting of the basement of the greenstone structure during the heating of the upper crust up to 800–900 °C. Our data indicate the origin of andesites of the Chortomlyk Formation due to the melting of the older crust.

The age of zircon from the rhyodacite hypabyssal intrusion is 3085 ± 6 Ma, well in the range of ages defined for igneous rocks composing greenstone belts in the Middle Dnieper Domain by other researchers

(Shcherbak et al., 1987, 1989; Zhuravlev et al., 1987; Samsonov et al., 1993; Artemenko et al., 2023). It is also in good agreement with our preferred age of the metaandesite. In terms of chemical composition, the rhyodacite is similar to rocks of the TTG association of the Sura Complex. Their primary melts could have formed as a result of partial melting of a metamorphosed mafic precursor with residual garnet and/or amphibole (Samsonov et al., 1993).

The hafnium isotope composition in zircon from both samples reveals their juvenile nature, i.e., they crystallized from the melts produced by partial melting of rocks with short crustal residence times. Our isotope data agrees with the neodymium isotope composition of the metavolcanic rocks of the Sura greenstone belt, which yielded ϵ_{Hf} values of +1.8. These values are below the depleted mantle isotope composition at this time (3200–3000 Ma).

Acknowledgements. We dedicate this contribution to the heroic efforts of the Armed Forces of Ukraine and the resilience and courage of the Ukrainian people. This research is part of project No. 2021/43/P/ST10/02283 co-funded by the National Science Centre and the European Union Framework Programme for Research and Innovation Horizon 2020 under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement No. 945339. David Chew acknowledges support from Science Foundation Ireland (SFI) through research grant 13/RC/2092_P2 (iCIRAG Research Centre). This research has received funding from the European Research Council (ERC) under the European Union's Horizon 2020 research and innovation program (grant agreement No. 817934).

Андезити та кислі вулканічні породи спостерігаються на всіх стратиграфічних рівнях конкської та білозерської серій, які складають зеленокам'яні структури Середньопридніпровського домену. Їх природа та ізотопний вік досліджені ще дуже слабо. Наймолодші кислі вулканічні породи солонівської світи конкської серії та гіпабісальні інтрузії, коагматичні до тоналіт-тронд'еміт-гранодіоритової (ТТГ) асоціації сурського комплексу за датуваннями циркону методом SHRIMP мають вік 3,1 млрд років. Метою цього дослідження є визначення U-Pb віку за цирконом та геохімічних особливостей і метаморфізованих андезитів чортомлицької світи та її метаморфізованих низьколужних ріодацитів гіпабісальних інтрузій, які проривають породи сурської світи конкської серії у Чортомлицькому зеленокам'яному поясі. У цій структурі потужність вулканогенних порід чортомлицької світи (дацит-андезит-толеїтова асоціація) досягає 2000 м. Наймолодші кислі вулканічні солонівської світи та коагматичні до них гіпабісальні інтрузії розміщені тут у межах трьох великих вулканічних полів, розташованих по периферії Новомиколаївського* масиву. Методом LA-ICP-MS визначено ізотопний вік двох популяцій циркону з метаморфізованих андезитів чортомлицької світи. За 23 кристалами прозорого безбарвного циркону першої популяції отримано U-Pb вік (3222 ± 6) млн років. U-Pb вік другої популяції великих, коричневих, непрозорих кристалів циркону сягає 3132–3073 млн років. Інтерпретація отриманих значень віку не є однозначною і можна запропонувати принаймні два її варіанти: 1) досліджувані метаандезити є диференціатами мафітової магми і вік їх утворення визначається датуванням давньої популяції циркону, а молода популяція відповідає часу накладених теплових процесів під час інтрузії пізніших плагіогранітоїдів Новомиколаївського масиву, та 2) вік метаандезиту визначається молодою популяцією, а древня – є успадкованою від протоліту. Ми вважаємо, що другий варіант є більш ймовірним. Перший варіант суперечить стратиграфічному положенню датованої породи. Досліджені метаандезити чортомлицької світи є низькокалієвими і належать до натрієвої серії. Відносно ТТГ в них підвищений вміст Nb (16,2 ppm) і Y (25,9 ppm). Рідкісноземельні елементи слабодиференційовані – $(La/Yb)_N = 3,91$ з глибокою негативною європейською аномалією – $Eu/Eu^* = 0,44$. Вік циркону з низьколужного ріодациту з гіпабісальної інтрузії, який прориває сурську світу конкської серії (Олексіївська тектонічна луска), становить (3085 ± 6) млн років. Низьколужні ріодацити характеризуються сильно диференційованими PЗЕ – $(La/Yb)_N = 16,2$ та позитивною європейською аномалією – $Eu/Eu^* = 1,21$. В них низький вміст Nb (6,7 ppm) і Y (10,8 ppm). За геохімічними характеристиками вони аналогічні до порід ТТГ сурського комплексу. Згідно з отриманими даними, андезити чортомлицької світи конкської серії та низьколужні ріодацити гіпабісальних інтрузій мають однаковий U-Pb вік за цирконом, але різний генезис. Перші виплавились з більш давніх корових порід, а другі – утворились при частковому плавленні метабазитів з реститом, що включав гранат. Ізотопний склад гафнію в цирконі обох досліджуваних зразків свідчить про їх ювенільну природу, тобто вони кристалізувалися з розплавів, утворених в результаті часткового плавлення порід з коротким часом перебування у корі. Наші ізотопні дані узгоджуються з ізотопним складом неодиму кислих вулканічних порід Сурського-зеленокам'яного поясу, який дав значення $\epsilon_{Hf} +1,8$. Ці значення далекі від модельного ізотопного складу збідненої мантиї цього віку (3200–3000 млн років).

*Новомиколаївський масив раніше був відомий як Чкалівський масив.

References

- Artemenko G.V., Shumlyansky L.V., Bekker A.Y., Demedyuk V.V., Gogolev K.I. 2014. The age of ferruginous-siliceous-volcanogenic association of the Chortomyk iron deposit (Middle Dnieper Domain of the Ukrainian Shield). *Geologičnij žurnal*, 3 (348): 74–82 (in Russian).
- Artemenko G.V., Shumlyansky L.V., Hoffmann A., Wilde S.A., Bekker A. 2023. U-Pb age and Hf isotope systematics of zircons from rocks of the Bilozerka Greenstone Belt, the Middle Dnieper Domain of the Ukrainian Shield // K. Gessner, T.E. Johnson, M.I.H. Hartnady and D. Wiemer (compilers) 2023, 6IAS: 6th International Archean Symposium – abstracts: Geological Survey of Western Australia, Record 2023/8, p. 4.
- Artemenko G.V., Shumlyansky L.V., Chew D., Drakou F. and Dudik O.M. 2024. The Age of Sedimentary Volcanogenic Rocks of the Chortomyk Iron Deposit, the Middle Dnieper Domain of the Ukrainian Shield. *Mineral. Journ. (Ukraine)*, 46, 2: 74–84. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.46.02.074>
- Artemenko G.V., Shumlyansky L.V., Wilde S.A. 2020. The lower age boundary of the formation of metaterrigenous rocks of the Vysokopil'ya greenstone structure, the Middle Dnieper Domain of the Ukrainian Shield. *Geologičnij žurnal*, 2 (371): 3–17. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2020.2.199105>
- Bibikova E.V., Claesson S., Fedotova A.A., Artemenko G.V., Il'inskii L. 2010. Terrigenous zircon of Archean greenstone belts as a source of information on the early earth's crust: Azov and Dnieper domains, Ukrainian Shield. *Geochem. Int.*, 48: 845–861. <https://doi.org/10.1134/S0016702910090016>
- Bobrov O.B., Sivoronov A.O., Hurskyi D.S., Pavlun M.M., Liakhov Yu.V. 2004. Geological and genetic typification of gold deposits in Ukraine. Kyiv: UkrDHRI, 2004 (in Ukrainian).
- Bobrov O.B., Stepanyuk L.M., Sergeev S.A., Presniakov S.L. 2008. Metatonalites of the Dnipro Complex and age stages of their formation (geological setting, composition and results of the SHRIMP dating). *Proceedings of the Ukrainian State Geological Institute*, 1: 9–24 (in Ukrainian).
- Bobrov A.B. 1993a. Metamorphosed rhyodacite formation of greenstone belts of the Ukrainian Shield. Article 2. Paleovolcanic reconstruction, metallogeny. *Geologičnij žurnal*, 5 (272): 47–58 (in Russian).
- Bobrov A.B. 1993b. Metarhyodacite formation of greenstone belts of the Ukrainian Shield. Article 1. Composition, structure and age. *Geologičnij žurnal*, 1 (268): 23–32 (in Russian).
- Bogatikov O.A. and Gonshakova V.I. (Eds.). 1987. Felsic and intermediate rocks. Moscow: Nauka (in Russian).
- Bouvier A., Vervoort J.D., Patchett P.J. 2008. The Lu-Hf and Sm-Nd isotopic composition of CHUR: Constraints from unequibrated chondrites and implications for the bulk composition of terrestrial planets. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 273: 48–57. [doi: 10.1016/j.epsl.2008.06.010](https://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.06.010)
- Honchar A.A. 1979. Some features of the geology of the Middle Dnieper Domain in connection with predicting of ore deposits. *Geologičnij žurnal*, 4 (187): 49–59 (in Russian).
- Kolij V.D., Sivoronov A.A., Bobrov A.B., Smogolyuk A.G. 1990. Types of metamorphosed formations of greenstone complexes. Group of volcanogenic formations. In: *Ferrous-siliceous formations of the Precambrian of the European part of the USSR. Greenstone belts and the role of volcanism in the formation of deposits*. Kyiv: Naukova Dumka, pp. 14–24 (in Russian).
- Kornienko A.I., Petko V.N., Romanyuk P.M. 2001. Gold prospects in the Chortomyk greenstone structure (Middle Dnieper) from the standpoint of the volcano-plutonic model of the structure of the geological section. *Mineral resources of Ukraine*, 2: 6–10 (in Russian).

- Kushinov N.V., Kuz V.D. 1988. Report of the Chortomyk detachment on the results of deep geological mapping at a scale of 1:50,000, carried out in 1984–1988 within the Chortomyk structure. Sheets: L-36-9-B-b, c, d; L-36-9-Г-a, b; L-36-21-A-a,b; L-36-21-B-a. Novomoskovsk GRE, Pivdenukrgeologiya (in Russian).
- Lobach-Zhuchenko S.B., Malyuk B.I. 1988. Evolution of magmatism in Greenstone belts of the basement of the East European Platform. In: *Greenstone belts of the basement of the East European Platform (geology and petrology volcanics)*. Leningrad: Nauka, pp. 185–190 (in Russian).
- Malyk B.I., Sivoronov A.A. 1990. Evolution of magmatism in greenstone belts. In: *Ferrous-siliceous formations of the Precambrian of the European part of the USSR. Greenstone belts and the role of volcanism in the formation of deposits*. Kyiv: Naukova Dumka, pp. 74–78 (in Russian).
- Paton C., Hellstrom J., Paul B., Woodhead J., Hergt J. 2011. Iolite: freeware for the visualisation and processing of mass spectrometric data. *J. Anal. At. Spectrom.*, 26: 2508–2518. <https://doi.org/10.1039/C1JA10172B>
- Petrus J.A., Kamber B.S. 2012. Vizual Age: A novel approach to laser ablation ICP-MS U-Pb geochronology data reduction. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 36, 3: 247–270. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.2012.00158.x>
- Pointon M.A., Chew D.M., Ovtcharova M., Sevastopulo G.D., Crowley O.G. 2012. New high-precision U-Pb dates from western European Carboniferous tuffs; implications for time scale calibration, the periodicity of late Carboniferous cycles and stratigraphical correlation. *Journal of the Geological Society*, London, 169: 713–271.
- Samsonov A.V., Chernyshev I.V., Nutman A.P., Compston W. 1996. Evolution of the Archaean Aulian Gneiss Complex, Middle Dnieper gneiss-greenstone terrain, Ukrainian Shield: SHRIMP U-Pb zircon evidence. *Precam. Res.*, 78: 65–78. [https://doi.org/10.1016/0301-9268\(95\)00069-0](https://doi.org/10.1016/0301-9268(95)00069-0)
- Samsonov A.V., Zhuravlev D.Z., Bibikova E.V. 1993. Geochronology and petrogenesis of an Archaean felsic volcano-plutonic suite of the Verkhovtseve greenstone belt, Ukrainian Shield. *Inter. Geol. Review*, 35: 1166–1181.
- Semenenko N.P., Boyko V.L., Bordunov I.N., Ladieva V.D., Makukhina A.A. 1967. Geology of sedimentary-volcanogenic associations of the Ukrainian Shield (Central part). Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
- Shcherbak N.P., Artemenko G.V., Bartnitskiy Y.N., Struyeva O.M. 1987. Age sequence of the processes of metamorphism, paleovolcanism and granitoid magmatism in the greenstone belts of the Central Dnieper area (Ukrainian Shield), in *Isotopic dating of processes of metamorphism and metasomatism*: Moscow: Nauka, pp. 50–75 (in Russian).
- Shcherbak N.P., Artemenko G.V., Bartnitskiy Y.N., Verkhoglyad V.M., Komaristy A.A., Lesnaya I.M., Mitskevich N.Yu., Ponomarenko A.N., Skobelev V.M., Shcherbak D.N. 1989. Geochronological scale of the Precambrian of the Ukrainian Shield. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
- Shcherbak N.P., Artemenko G.V., Lesnaya I.M., Ponomarenko A.N. 2006. Geochronology of the Early Precambrian of the Ukrainian Shield (Archaean). Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
- Sivoronov A.A., Berzenin B.Z., Malyuk B.I., Bobrov A.B., Voronova S.G. 1981. Metamorphosed volcanic associations of the greenstone belts of the Ukrainian Shield. Article 1. Structure and composition. *Geologičnij žurnal*, 5 (200): 20–29 (in Russian).
- Sivoronov A.A., Berzenin B.Z., Malyuk B.I., Bobrov A.B., Voronova S.G. 1981. Metamorphosed volcanic associations of the Early Precambrian greenstone belts of the Ukrainian Shield. Article 2. Petrochemistry and genesis. *Geologičnij žurnal*, 6 (201): 19–28 (in Russian).
- Sivoronov A.A., Smogolyuk A.G., Bobrov A.B. 1990. Types of metamorphosed formations of greenstone complexes. Group of volcanogenic formations. In: *Ferrous-siliceous formations of the Precambrian of the European part of the USSR. Greenstone belts and the role of volcanism in the formation of deposits*. Kyiv: Naukova Dumka, pp. 14–24 (in Russian).
- Sláma J., Košler J., Condon D.J., Crowley J.L., Gerde A., Hanchar J.M., Horstwood M.S., Morris G.A., Nasdala L. and Norberg N. 2008. Plešovice zircon – A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis. *Chem. Geol.*, 249, 1-2: 1–35. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2007.11.005>
- Smogolyuk A.G. 1990. Petrographic and petrochemical features of volcanic rocks of the greenstone complex of the Middle Dnieper region. Features of the composition and structure. In: *Ferrous-siliceous formations of the Precambrian of the European part of the USSR. Greenstone belts and the role of volcanism in the formation of deposits*. Kyiv: Naukova Dumka, pp. 32–43 (in Russian).
- Söderlund U., Patchett P.J., Vervoort J.D., Isachsen C.E. 2004. The ¹⁷⁶Lu decay constant determined by Lu-Hf and U-Pb isotope systematics of Precambrian mafic intrusions. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 219: 311–324. [doi: 10.1016/S0012-821X\(04\)00012-3](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(04)00012-3)
- Strueva O.M., Skarzhinskaya T.A. 1979. Felsic and intermediate volcanic rocks of the Bilozerka and Verkhivtseve regions and their place in the geological section of the ferruginous-siliceous formations of the Ukrainian Shield. *Geologičnij žurnal*, 39, 3 (186): 73–89 (in Russian).
- Sun S.S. & McDonough W.F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Saunders A.D. & Norry M.J. *Magmatism in the Ocean Basins, Geological Society. Special Publication*, 42: 313–345.
- Wiedenbeck M., Alle P., Corfu F., Griffin W.L., Meier M., Oberli F., Von Quadt A., Roddick J.C., Spiegel W. 1995. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analysis. *Geostand. Newslett.*, 19: 1–23. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.1995.tb00147.x>
- Wiedenbeck M., Hanchar J.M., Peck W.H., Sylvester P., Valley J., Whitehouse M., Kronz A., Morishita Y., Nasdala L., Fiebig J., Franchi I., Girard J.-P., Greenwood R.C., Hinton R., Kita N., Mason P.R.D., Norman M., Ogasawara M., Piccoli P.M., Rhede D., Satoh H., Schulz-Dobrick B., Skår Ø., Spiczka M.J., Terada K., Tindle A., Togashi S., Vennemann T., Xie Q. and Zheng Y.F. 2004. Further Characterisation of the 91500 zircon crystal. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 28: 9–39. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.2004.tb01041.x>
- Woodhead J., Hergt J., Shelley M., Eggins S., Kemp R. 2004. Zircon Hf-isotope analysis with an excimer laser, depth profiling, ablation of complex geometries, and concomitant age estimation. *Chem. Geol.*, 209: 121–135. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2004.04.026>
- Woodhead J.D., Hergt J.M. 2005. A Preliminary Appraisal of Seven Natural Zircon Reference Materials for in Situ Hf Isotope Determination. *Geostand. Geoanalytical Res.*, 29: 183–195. [doi: 10.1111/j.1751-908X.2005.tb00891.x](https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.2005.tb00891.x)
- Zhuravlev D.Z., Pukhtel I.S., Samsonov A.Y. 1987. Sm-Nd age of the metavolcanics of the Surskoye greenstone structure (Central Dnieper region). *Doklady AN SSSR*, 295, 3: 703–707 (in Russian).

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.2.296417>
УДК 549:552.111:550.4:552.333.5 (477.8)

E-mail: natalja_bats@ukr.net,
<http://orcid.org/0000-0002-0644-5364>;
naumko@ukr.net,
<http://orcid.org/0000-0003-3735-047X>;
fedoryshyn388@ukr.net,
<http://orcid.org/0000-0003-4005-0427>

*Corresponding author /
Автор для кореспонденції:
Н.В. Бацевич, natalja_bats@ukr.net

Received / Надійшла до редакції:
09.01.2024

Received in revised form /
Надійшла у ревізованій формі:
10.05.2024

Accepted / Прийнята:
05.06.2024

Keywords: mineralogy; petrography;
petrochemistry; tuffs; Babynska suite;
continental flood basalts; Western
Volyn..

Ключові слова: мінералогія;
петрографія; петрохімія; туфи;
бабинська світа; трапова формація;
Західна Волинь.

Туфи бабинської світи трапової формації Західної Волині: мінералогія, петрографія, петрохімія, генетичне і прикладне значення

Н.В. Бацевич^{1*}, І.М. Наумко¹, Ю.І. Федоришин²

¹ Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна; ² Львівське відділення
УкрНДІгазу, Львів, Україна

The Babynska suite tuffs of the continental flood basalts of Western Volyn: mineralogy, petrography, petrochemistry, genetic and applied significance

N.V. Batsevych¹, I.M. Naumko¹, Yu.I. Fedoryshyn²

¹ Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine;
² Lviv Branch of the Ukrainian Gas Research Institute, Lviv, Ukraine

According to the data of comprehensive precision research, the spatial distribution and mineral composition were revealed, the petrographic and petrochemical features, and the genetic and practical significance of the Babynska effusive-pyroclastic suite tuffs of the continental flood basalts of Western Volyn were clarified in connection with the copper content. The thicknesses and hypsometry of the relief of the paleosurface of the pyroclastic formations of the Babynska suite were analyzed and the important elements of its vertical and lateral structure (by area) were clarified, the real picture of which is reflected in the constructed maps of the thicknesses and relief of the paleosurface of the pyroclastic formations of the suite, in particular, on the Ratne–Kamin–Kashyrsk Area. The formation of the Babynska suite tuffs in the regime of gravitational deposition of pyroclastic material with the accumulation of tuff deposits at the stage of incomplete solidification of volcanic material and the formation of coarse, non-rhythmic layering, without clear signs of redeposition, i.e. of volcanomictic origin, has been proven. Differences in the mineral composition and petrochemistry of tuffs of different colors: gray-green and red-brown were found. Emphasis is placed on the enrichment of native copper in tuffs of gray-green color and possible explanations for this correlation are proposed. The obtained results from a genetic point of view provide important information for paleovolcanogenic and paleogeographical reconstructions, in practical terms they contribute to the improvement of the copper bearing prospects of volcanogenic layers of the continental flood basalts and can be proposed for use by production organizations of the geological profile.

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

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

Цитування: Бацевич Н.В., Наумко І.М., Федоришин Ю.І. Туфи бабинської світи трапової формації Західної Волині: мінералогія, петрографія, петрохімія, генетичне і прикладне значення. *Геологічний журнал*. 2024. № 2 (387). С. 18–34. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.2.296417>

Citation: Batsevych N.V., Naumko I.M., Fedoryshyn Yu.I. 2024. The Babynska suite tuffs of continental flood basalts of the Western Volyn: mineralogy, petrography, petrochemistry, genetic and applied significance. *Geologichnij zhurnal*, 2 (387): 18–34. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.2.296417>

Вступ

Пірокластичні породи значно поширені у мінеральних комплексах України (Ткачук, 1977). Визначальне місце посідають продукти експлозивної діяльності і в складі трапової формації Західної Волині (Лазаренко та ін., 1960). Насамперед – це осадово-вулканогенна волинська серія (Лазаренко, Воловник, 1969; Приходько та ін., 1993), складена базальтами в асоціації з туфами, туфітами і туфобрекчіями, сформованими у процесах інтенсивної вулканічної діяльності у ранньоедікарський час.

До характерної особливості пірокластичних відкладів у складі трапової формації Західної Волині належить їхнє перешарування між собою і з базальтовими покривами: на заболотівській базальтовій світі залягає туфова товща бабинської світи, яка, в свою чергу, перекривається лучичівською світою, складеною здебільшого базальтами, яку у складі ратнівської світи перекривають вулканоміктові зорянські верстви, останні ж перекриваються якушівськими верствами (численні потоки базальтів з прошарками туфів) (Мельничук, 2010). Саме бабинська ефузивно-пірокластична світа (V₁bb) серед стратифікованих одиниць волинської серії виділяється значною перевагою експлозивного матеріалу, зокрема туфів і пізолітів. Безпосередньо на денну поверхню відклади бабинської світи виходять на півночі і північному заході від м. Камінь-Каширський. Власне значне поширення і специфічний склад світи слугували підставою для комплексного вивчення туфів як важливих складових бабинської світи в генетичному і прикладному аспектах. Непересічна значущість досліджень такого плану лише зростатиме з огляду на зростання попиту на мідь як критичну стратегічну сировину, родовища якої в Україні пов'язують головно з перспективно міденосними відкладами трапової формації едікарію Західної Волині.

З цих передумов й випливає мета статті – дослідити мінеральний склад та виявити петрографічні і петрохімічні особливості туфів бабинської ефузивно-пірокластичної світи Західної Волині у зв'язку з міденосністю, отримати нові дані про особливості самородномідного рудоутворення та розподіл самородномідної мінералізації у туфах.

Геологічний нарис району дослідження

Прояви трапової формації відбувалися часто і неодноразово в історії Землі, починаючи з моменту виникнення платформ. Тому вони трапляються в межах платформних областей земної кори по усьому світу та у широкому віковому інтервалі: від докембрію (трапи північної частини штату Мічиган, трапова формація Волині) до олігоцену (східна Африка) і міоцену (Колумбія Рівер, Північна Америка), але найбільших масштабів виливи досягали в тріасовому–юрському періоді та в кінці крейди–на початку палеогену.

Досліджувані нами трапи Західної Волині за часом утворення збігаються з трапами Північної Америки як найдавніші утворення серед трапів світу і найбільш подібні за генетичними особливостями.

Дана територія входить до крупної крайової структури Східноєвропейської платформи (СЄП) – Балтійсько-Придністровської зони перикратонних прогинів (Зиновенко, 1986).

Ареал поширення трапової формації утворює найбільшу в межах СЄП магматичну провінцію, яка займає значну територію на сході Польщі, південному заході Білорусі, північному заході України (Волинь і Поділля), у вигляді вузького «язика» заходить в межі Молдовського Придністров'я, протягуючись з півночі–північного заходу на південь–південний схід майже на 800 км при ширині в центральній частині близько 300 км. Палеоструктури, складені відкладами трапової формації, наразі зрізані вздовж південно-західного краю СЄП зоною Тейссейре-Торнквіста як складовою Трансєвропейської сутурної зони – межею між Східноєвропейським кратоном і фанерозойськими орогенами південно-західної Європи (Narkiewicz et al., 2015). Значні межі поширення пірокластичного матеріалу засвідчує схема поширення та будови товщі цеоліт-сметитових вулканічних туфів нижнього едікарію в південно-західній частині СЄП (рис. 1) (Мельничук, 2008).

За даними (Мельничук В., Мельничук Г., 2022), неопротерозойська ератема на Волині і Поділлі представлена одними з найповніших в Європі і світі розрізами вулканогенно-осадових утворень загальною товщиною до 1500 м. Зокрема, геологічну будову району розвитку трапової формації Західної Волині визначає осадово-вулканогенна волинська серія нижнього едікарію.

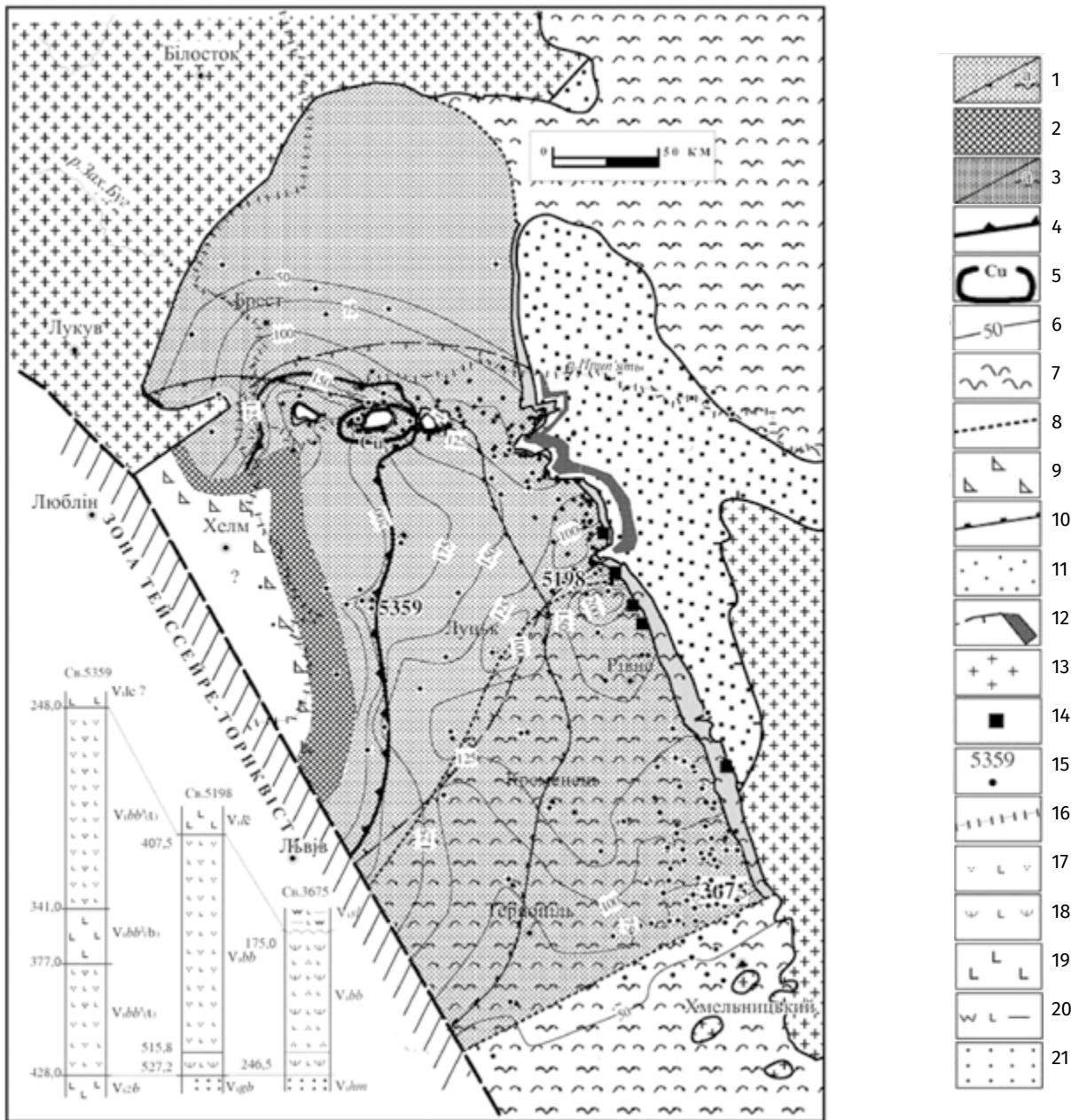


Рис. 1. Схема поширення та будови товщі цеоліт-сметитових вулканічних туфів нижнього едіакарію в південно-західній частині СЄП за (Мельничук, 2008): 1-3 – ділянки поширення товщі цеоліт-сметитових туфів (а – з шарами туффітів): 1 – під стратонами нижньоєдіакарської волинської серії, 2 – під стратонами верхньоєдіакарської могилів-подільської серії, 3 – під мезозойсько-кайнозойськими відкладами; 4 – контур покриву толеїтових базальтів у туфовій товщі; 5 – контур вивченого мідного зруденіння в горизонтах 2А і 2В; 6 – ізопахіти туфової товщі; 7 – вулканогенно-осадові товщі нижнього едіакарію; 8 – фаціальні границі; 9-10 – покриви олівінових базальтів заболотівської світи нижнього едіакарію: 9 – під верхньоєдіакарськими відкладами, 10 – контур їхнього поширення під туфовою товщею нижнього едіакарію; 11 – олігоміктові теригенні відклади поліської серії (середній-верхній рифей) та горбашівської світи (нижній едіакарій); 12 – сили титанистих габро-долеритів пізнього едіакарію? і контур їхнього поширення; 13 – архейсько-нижньопротерозойський кристалічний фундамент; 14 – кар'єри, що розкрили туфову товщу; 15 – свердловини, що розкрили туфову товщу, та їхній номер; 16 – державні кордони. На колонках: 17 – цеоліт-сметитові вулканічні туфи, 18 – туффіти, 19 – базальти, 20 – вулканоміктові алевроліти, 21 – олігоміктові пісковики і гравеліти, V₁ – стратони нижнього едіакарію (gb – горбашівська світа, bb – бабинська світа та бабинські верстви пригоринської світи, lc1 – лучичівські верстви), sl – слутська світа, hm – хоморські верстви)

Fig. 1. Scheme of the distribution and structure of a layer of zeolite-smectite volcanic tuffs of the Lower Ediacaran in the south-western part of the SEP according to (Melnychuk, 2008): 1-3 – distribution areas of zeolite-smectite tuff layers (a – with layers of tuffites): 1 – under the strata of the Lower Ediacaran Volyn series, 2 – under the strata of the Upper Ediacaran Mohyliv-Podillya series, 3 – under the Mesozoic-Cenozoic sediments; 4 – outline of the cover of tholeiitic basalts in the tuff layer; 5 – contour of studied copper mineralization in horizons 2A and 2B; 6 – isopachites of the tuff layer; 7 – volcanogenic-sedimentary strata of the lower Ediacaran; 8 – facial boundaries; 9-10 – covers of olivine basalts of the Zabolotyya suite of the Lower Ediacaran: 9 – under the Upper Ediacaran deposits, 10 – the outline of their distribution under the tuff layer of the Lower Ediacaran; 11 – oligomictic terrigenous sediments of the Polissya series (Middle-Upper Riphean) and Gorbashiv suite (Lower Ediacaran); 12 – strength of late Ediacaran titanic gabbro-dolerites? and the outline of their distribution; 13 – Archean-Lower Proterozoic crystalline foundation; 14 – quarries that revealed the tuff layer; 15 – wells that revealed the tuff layer and their number; 16 – state borders. On the columns: 17 – zeolite-smectite volcanic tuffs, 18 – tuffites, 19 – basalts, 20 – volcanomictic siltstones, 21 – oligomictic sandstones and gravelites, V₁ – Lower Ediacaran strata (gb – Gorbashiv suite, bb – Babyno suite and Babyno strata of Prygorynsk suite, lc1 – Luchychi strata), sl – Slutsk suite, hm – Khomor strata)

Породи бабинської світи залягають по-різному на лежачих нижче породах: згідно на відкладах заболотівської світи, незгідно на породах горбашівської світи та польської серії. В межах апікальних частин Гірницького та Хотешівського підняття утворення бабинської світи відсутні. Отже, можна констатувати, що названі утворення характеризуються складними і нерівнозначними умовами залягання і поширення.

Гіпсометрично глибина залягання поверхні змінюється від -368,5 м (св. 11) до 0,8 м (св. 14). Товщина відкладів дуже мінлива: від значень, близьких до 0 м поблизу підняття, до майже 170 м (169,6 м) у південно-західній частині площі (св. 5840).

За оновленою стратиграфічною схемою неопротерозою Волино-Поділля в розрізі волинської серії виділяють п'ять світ (знизу вверху) (Мельничук В., Мельничук Г., 2022):

1. горбашівська – гравеліто-пісковикова з домішками пірокластики (15–60 м);
2. заболотівська – базальтова з прошарками туфів (0–345 м);
3. бабинська – туфова з окремими потоками базальтів і пізолітів (90–235 м);
4. лучичівська – складена кількома (до п'яти) покривами базальтів, розшарованих пачками лавокластичних брекчій (0–117 м);
5. ратненська – базальтова зі шлейфами лавокластичних брекчій, горизонтами туфів, туфітів і туфоконгломератів (50–195 м).

Пірокластичні утворення вказаних підрозділів мають важливе геологічне (зокрема й петрологічне) та металогенічне значення. Збір, вивчення та аналіз геологічних матеріалів дозволяє розкрити особливості формування вулканічних утворень, їхнє поширення в межах Ратненсько-Камінь-Каширської площі, генетичний зв'язок з ефузивною частиною формації, характер поширення самородномідного зруденіння та його генезис.

Ми вважаємо, що отримані нові дані актуальні не лише для згаданої площі, яка займає приблизно 1100–1200 км² в центральній та західній частинах Волинсько-Поліського прогину, але поширюються на всю територію розвитку трапової формації у південно-західній частині СЄП. Вони дають змогу об'єктивно істотно доповнити, а певною мірою й переглянути наші уявлення на формування волинської серії та самородномідного зруденіння як її невід'ємної складової.

Аналіз попередніх досліджень, формулювання проблеми, актуальність її вирішення

Найраніші роботи, в яких йдеться мова про пірокластичні породи трапової формації, належать польським геологам Ю. Токарському і М. Каменському. Ними вперше розглянуто хімізм туфових утворень, які, щоправда, фігурували під назвами «трахітів» і «латитів».

Після Другої світової війни трапову формацію і, зокрема, туфи Західної Волині почали вивчати радянські геологи. Це знані дослідники «базальтової» проблематики північно-західного схилу Українського щита Л.Г. Бернадська, Б.Я. Воловник, Т.А. Кленова, Г.П. Шраменко, З.Г. Ушакова та ін., а також колектив авторів відомої монографії «Мінералогія вивержених комплексів Західної Волині» (Лазаренко та ін., 1960).

У праці М.П. Семененка зі співавторами (Семененко та ін., 1976) туфи і туфогенно-осадкові породи лише згадуються як обов'язкові компоненти розрізу трапової формації, але будь-яка їхня характеристика відсутня.

Доволі детально вулканічні утворення трапової формації та її пірокластичну складову схарактеризовано у колективній монографії, присвяченій пірокластичним породам України (Ткачук, 1977). В цій книзі детально описано відміни туфів, які ідентифіковано у складі трапової формації Західної Волині.

Основним джерелом надходження інформації в подальші роки, яка стосується не лише туфів, але й трапової формації загалом і супровідного самородномідного зруденіння, були такі праці, як (Шумлянський та ін., 1991), звітні матеріали за результатами планових геологознімальних робіт масштабів 1:200 000 і 1:50 000, тематичні роботи, що проводилися науковцями НАН України, насамперед Інституту геологічних наук. Їхні результати видавалися у вигляді тематичних збірників під загальною назвою «Наукові праці Інституту фундаментальних досліджень», окремі з яких були присвячені мідно-базальтовій тематиці, наприклад (Мідь..., 2002). На сучасному етапі продовжується вивчення пірокластичних порід (Мельничук, 2008, 2010, 2022). У цьому контексті дуже важливі й інформативні дані про генезис самородної міді, отримані за ізотопним складом міді (Bornhorst, Mathur, 2017; Brown, 2018). Однак, оскільки вони загалом відображають авторські погляди лише на генетичну модель (в альтернативній інтерпретації) формування унікальних

самородноідних родовищ на п-ві Ківіно (штат Мічиган, США), то їх складно поширити на досліджувані нами перспективно міднорудні пірокластичні комплекси.

Отже, якщо загалом пірокластичний матеріал усіх стратифікованих одиниць волинської серії піддавався низці досліджень, то туфи, які входять до їхнього складу, вивчалися спорадично. Звідси випливає потреба комплексних досліджень повних розрізів бабинської світи і зорянської товщі (від підшови до покрівлі), в яких фіксується значна перевага експлозивного матеріалу, на предмет вивчення просторового поширення і мінерального складу, виявлення петрографічних і петрохімічних особливостей та генетичного значення туфів загалом і пізолітових туфів зокрема. Їхні знахідки надають важливу інформацію для палеовулканогенних і палеогеографічних реконструкцій та прогнозування і пошуків корисних копалин, пов'язаних з трапами. У такому контексті наголосимо на значній поширеності вулканокластичних утворень в трапових формаціях світу (Ross et al., 2005). У підсумку це й визначає актуальність нашої роботи, насамперед у зв'язку з перспективами міденосності.

Фактичний матеріал та методологія досліджень

Польові геологічні дослідження включали опис штупів і керн, відбір проб для аналітичних визначень. Для вивчення і складання типового розрізу бабинської світи використано керновий матеріал зі св. 4558.

Мінералогічні дослідження. Діагностування мінералів проводили за допомогою рентгенофазового аналізу (Львівський національний університет ім. Івана Франка, геологічний факультет). Ідентифікацію глинистих мінералів здійснювали за результатами рентгенометричного аналізу, який застосовують при дослідженні твердих речовин з кристалічною структурою (Михеев, 1957; Дриц, Сахаров, 1976). Головним методом рентгенометричного аналізу є дебаєвський або порошковий, що ґрунтується на дифракції рентгенівського проміння. Дифрактограми знімали на апараті ДРОН-3 за таких параметрів: Си-антикатод; К α – випромінювання, напруга – 40 кВ; сила струму – 25 мА; швидкість обертання 1°/хв; інтервал знімання – 4–65°.

Прозорі та прозоро-поліровані шліфи вивчали на поляризаційних мікроскопах OLYMPUS CX41 та ПОЛАМ 312.

Геохімічні дослідження. Вміст основних хімічних компонентів порід встановлювали методом валового хімічного аналізу, вміст міді визначали методом атомно-абсорбційного аналізу (хімічна лабораторія відділу геохімії осадових товщ нафтогазоносних провінцій ІГГК НАН України, аналітики Л.К. Білик, В.Л. Крижевич).

Результати та їхнє обговорення

З огляду на анонсовану мету, нами вперше проведено комплексні геолого-структурні, петрографічні, мінералогічні, петрохімічні дослідження туфів бабинської світи для більш чіткого розуміння як умов формування цього специфічного об'єкта, так і їхнього генетичного і прикладного значення.

Геолого-структурні дослідження. Нами проведено аналіз товщин і гіпсометрії рельєфу палеоповерхні у розрізах численних свердловин, які розкрили утворення бабинської світи в межах Ратненсько-Камінь-Каширської площі, де бабинська світа має найзначніше поширення в південно-західній та північно-західній частинах площі дослідження.

В результаті вдалося з'ясувати важливі нюанси розподілу товщин і рельєфу палеоповерхні у розрізі бабинської світи по вертикалі і латералі (по площі), реальну картину яких відображають побудовані нами відповідні карти (подібно до базальтів лучичівської світи (Naumko et al., 2021)).

Свердловини, які перетнули утворення бабинської світи, приурочені до ділянок з максимальною товщиною. Це слугувало основою для побудови карти рельєфу палеоповерхні пірокластичних утворень бабинської світи (рис. 2, а) та карти товщини (рис. 2, б), зокрема, в межах Ратненсько-Камінь-Каширської площі. При цьому був застосований метод інтерполяції для всіх свердловин, пробурених на сьогодні в її межах.

Варто зазначити, що просторове розташування різних за формою ділянок зростання або досягнення максимальної товщини відкладів бабинської світи не є хаотичним, а утворює доволі чітку картину, яка безперечно зумовлена тектонічною історією. З одного боку, це кільцеве розташування зазначених ділянок навколо підняття, що розташоване в центральній частині площі досліджень, з іншого – фрагменти ланцюжкового поширення, яке має добре проявлене просторове розташування. Основними напрямками такого ланцюжкового розташування є (за ступенем прояву) північно-західне та північно-східне.

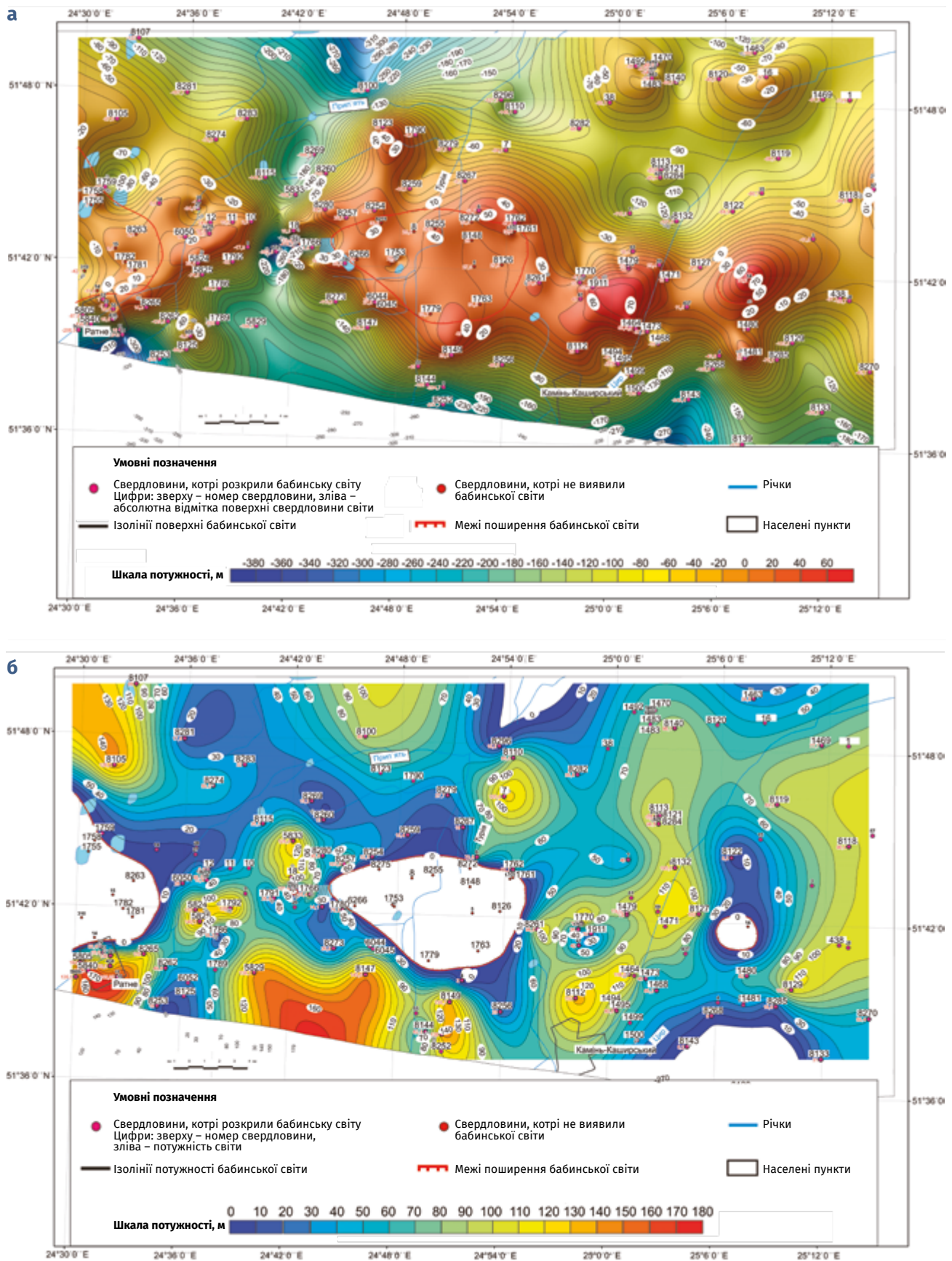


Рис. 2. а) Карта рельєфу палеоповерхні пірокластичних утворень бабинської світи в межах Ратненсько–Камінь-Каширської площі. М 1:100 000. Склад І.В. Репін за безпосередньої участі Н.В. Нестерович (Бацевич); б) Карта товщин пірокластичних утворень бабинської світи в межах Ратненсько–Камінь-Каширської площі. М 1:100 000. Склад І.В. Репін за безпосередньої участі Н.В. Нестерович (Бацевич)

Fig. 2. а) Relief map of the paleosurface of the pyroclastic formations of the Babynska suite within the limits of the Ratne–Kamin-Kashyrsk Area. Scale 1:100,000. Compiled by I.V. Repin with the direct participation of N.V. Nesterovych (Batsevych); б) Map of the thicknesses of pyroclastic formations of the Babynska suite within the limits of the Ratne–Kamin-Kashyrsk Area. Scale 1:100,000. Compiled by I.V. Repin with the direct participation of N.V. Nesterovych (Batsevych)

Останнє на сході площі, у східній частині Волинсько-Поліського прогину, поступово переорієнтовується у субмеридіональне і далі на схід та північ у межах західної частини прогину поступово втрачає свої чіткі контури.

Товщина світи в межах досліджуваної території досягає 170 м.

Петрографічні дослідження. Для отримання чіткої картини в петрографічному плані було детально макро- і мікроскопічно вивчено від підшови до покрівлі розріз св. 4558. При макроскопічному вивченні керн св. 4558 (Нестерович, 2014; Бацевич та ін., 2023) встановлено, що в бабинській світі кілька разів на різних глибинах трапляється прошарок псефітових туфів. Між цими псефітовими прошарками розмірність уламків у туфах зменшується до псамітової та алевритової. Все це дає підставу для виділення у розрізі туфів бабинської світи низки ритмів, кожен з яких розпочинається з прошарку псефітових туфів і завершується їхньою дрібноуламковою відміною. Так, якщо аналізувати розріз від підшови до покрівлі, то можна виділити кілька ритмів, які розташовані на таких глибинних інтервалах: I ритм – 236–225 м (товщина 11 м); II ритм – 225–217 м (товщина 8 м); III ритм (найповніше наповнений) – 217–208,5 м (товщина 8,5 м); IV ритм – 208,5–202 м (товщина 6,5 м) (рис. 3).

За агрегатним станом туфи літо-, вітро- та вітро-літокластичні (рис. 4, а–е). Забарвлення туфів різне: буре (червонувато-буре), зелене з переходами до сіро-зеленого. Зміна забарвлення (як правило, це поступові переходи) утворює свою шаруватість, яка не корелюється з шаруватістю, зумовленою розмірністю уламків. Характерною ознакою туфів є низький вміст у них акцесорних мінералів, представлених поодинокими зернами циркону, апатиту, рутилу і бариту. Цемент – базального і порового типу, найчастіше вторинні глинисті мінерали – монтморилоніт, хлорит та ін., а також анальцим та інші цеоліти. Інколи у складі цементу є халцедон.

Мікроскопічні дослідження показали, що у кожному із виділених ритмів бабинської світи присутні алевритові, псамітові, псефітові і змішані (псаміто-псефітові, псефіто-псамітові, алеврито-псамітові, псаміто-алевритові, пеліто-алевритові) відміни. Серед встановленого розмаїття відмін переважають псамітові (з домішкою псефітового матеріалу) та змішані, зокрема алеврито-псамітові туфи, а алевритові і псефітові – підпорядковуються.

Найповнішу картину складу туфових утворень бабинської світи відображає III ритм товщиною 8,5 м (217–208,5 м). Його внутрішнє наповнення характеризується присутністю всіх виділених

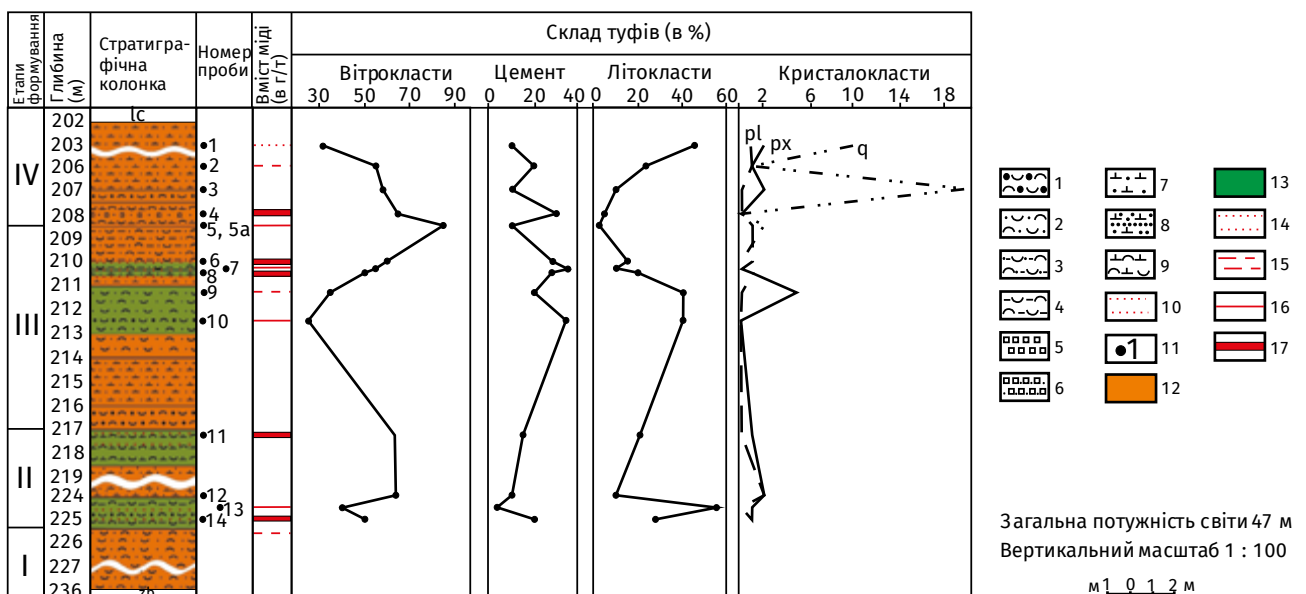


Рис. 3. Структурно-текстурні і речовинні особливості туфів бабинської світи за розрізом св. 4558. Відміни туфів (1–9): 1 – псефітові, 2 – псамітові, 3 – алевритові, 4 – пелітові, 5 – псаміто-псефітові, 6 – псефіто-псамітові, 7 – алеврито-псамітові, 8 – псаміто-алевритові, 9 – алеврито-пелітові, 10 – вкраплення міді; 11 – точка відбору проби (1 – номер зразка); забарвлення туфів (12–13): 12 – буре, 13 – зелене; вміст міді (в г/т) (14–17): 14 – менше 120, 15 – 120–500, 16 – понад 500, 17 – понад 1000

Fig. 3. Structural, textural and material features of the Babyno suite tuffs according to the section of well 4558. Legend: tuffs (1–9): 1 – psephytic, 2 – psammitic, 3 – siltstone, 4 – pelitic, 5 – psamito-psephytic, 6 – psephyto-psamitic, 7 – silt-psamitic, 8 – psamito-silt, 9 – silt-pelitic; 10 – inclusion of copper; 11 – sampling point (1 – sample number); color of tuffs (12–13): 12 – brown, 13 – green; copper content (in g/t) (14–17): 14 – less than 120, 15 – 120–500, 16 – more than 500, 17 – more than 1000

відмін, включно і з перехідними, послідовність нашарування туфів в яких така (знизу вверху): псефітові – алеврито-псамітові – псамітові – алевритові. Неповним ритмом слід вважати перший (236–225 м), складений лише псамітовою відміною.

Вміст міді коливається від 70 (в IV ритмі) до 4800 г/т (в I ритмі). Варто зазначити, що туфи сіро-зеленого кольору збагачені більшою мірою самородною міддю порівняно з бурими туфами.

Туфи бабинської світи по покрівлі перекриваються базальтами лучичівської світи. Водночас особливості складу туфів, форма уламків, відсутність чітких ознак обкатаності, дуже обмежена присутність ксеногеногенних компонентів, особливо у підшві світи та у складі окремих

ритмів, відсутність серед цементувальної маси чітких ознак осадового походження, наявність фрагментів вітрокластичних утворень з явними ознаками спікання, чітка приуроченість мідної мінералізації до тих інтервалів розрізу, які представлені грубоуламковими компонентами – все це дає підстави вважати товщу туфів у розрізі автохтонною, тобто такою, що не зазнала переміщень.

Крім цього, різний колір уламків, особливо це стосується базальтів сірого, червоно-бурого і чорного кольорів, може свідчити, що частина з них потрапила до туфів при руйнуванні прижерлових частин консолідованої частини вулкана, інша частина – фрагменти викинутої лави.

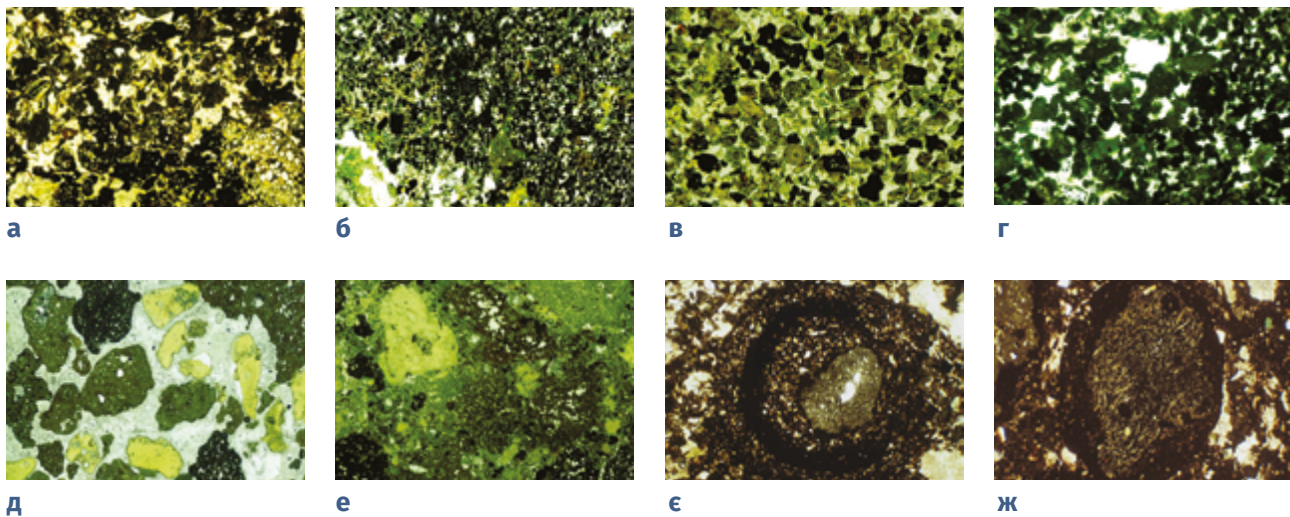


Рис. 4. а) Туф літокластичний псамітовий з поодинокими псефітовими порфіровими пемзоподібними літоїдними фрагментами палагонізованого скла та численними уламками базальтів. Шліф – 4558/1. Глибина – 203,0 м. Відстань від покрівлі туфового утворення – 14,0 м. Ширина поля зору – 4 мм. Нік. ||; б) Границя псамо-аледритової та псефопсамітової відмін туфів, в яких переважають зашлаковані уламки базальтів та значно менше зміненого вулканічного скла. Шліф – 4558/3. Глибина – 207,0 м. Відстань від покрівлі туфового утворення – 18,0 м. Ширина поля зору – 7 мм. Нік. ||; в) Літо-вітрокластичний туф з хлорит-анальцимовим цементом сортової псамітової. Шліф – 4558/6. Глибина – 210,0 м. Відстань від покрівлі туфового утворення – 21,0 м. Ширина поля зору – 4 мм. Нік. ||; г) Пемзоподібна туфова відміна, складена з частково спечених фрагментів палагонізованого скла. Структура псамітова. Шліф – 4558/11. Глибина – 217,3 м. Відстань від покрівлі туфового утворення – 28,3 м. Ширина поля зору – 7 мм. Нік. ||; д) Вітро-літокластичний туф псамітовий з анальцимовим цементом. Шліф – 4558/10. Глибина – 212,5 м. Відстань від покрівлі туфового утворення – 23,5 м. Ширина поля зору – 7 мм. Нік. ||; е) Літокластичний туф псефітовий. Шліф – 4558/13. Глибина – 224,5 м. Відстань від покрівлі туфового утворення – 35,5 м. Ширина поля зору – 7 мм. Нік. ||; ж) Ядро пізоліту, складене ошлакованим базальтом, оболонка – трьома шарами попелового матеріалу різної розмірності. Бабинська світа. Св. 5871. Глибина – 491,9 м. Зр. 5871/1. Ширина поля зору – 4 мм. Нік. II; з) Ядро пізоліту, складене гіалопелітовим базальтом. Бабинська світа. Св. 5871. Глибина – 491,9 м. Зр. 5871/1. Ширина поля зору – 2 мм. Нік. II

Fig. 4. а) Lithoclastic psammite tuff with isolated psephytic porphyry pumice-like lithoid fragments of palagonitized glass and numerous fragments of basalts. Grit – 4558/1. Depth – 203.0 m. Distance from the roof of the tuff formation – 14.0 m. The width of the field of view is 4 mm. Nikol II; б) The boundary of the psamo-siltstone and psephopsamitic tuffs, which are dominated by slag fragments of basalts and much less altered volcanic glass. Grit – 4558/3. Depth – 207.0 m. Distance from the roof of the tuff formation – 18.0 m. The width of the field of view is 7 mm. Nikol II; в) Lithovitroclastic tuff with chlorite-analcime cement is graded psammite. Grit – 4558/6. Depth – 210.0 m. Distance from the roof of the tuff formation – 21.0 m. The width of the field of view is 4 mm. Nikol II; г) A pumice-like tuff formation composed of partially sintered fragments of palagonitized glass. The structure is psammitic. Grit – 4558/11. Depth – 217.3 m. Distance from the roof of the tuff formation – 28.3 m. The width of the field of view is 7 mm. Nikol II; д) Vitrolithoclastic psammite tuff with analcime cement. Grit – 4558/10. Depth – 212.5 m. Distance from the roof of the tuff formation – 23.5 m. The width of the field of view is 7 mm. Nikol II; е) Lithoclastic psephytic tuff. Grit – 4558/13. Depth – 224.5 m. Distance from the roof of the tuff formation – 35.5 m. The width of the field of view is 7 mm. Nikol II; ж) The pisolite core is composed of slag basalt, the shell is composed by three layers of ash material of different dimensions. Babynska suite. Well 5871. Depth – 491.9 m. Sample 5871/1. The width of the field of view is 4 mm. Nikol II; з) The pisolite core is composed of hyalopelitic basalt. Babynska suite. Well 5871. Depth – 491.9 m. Sample 5871/1. The width of the field of view is 2 mm. Nikol II

Для бабинської світи характерні знахідки пізолітових туфів (Нестерович и др., 2014), які лише згадувалися у літературі (наприклад (Мельничук, 2008)), але до нас їх практично не вивчали.

Виявлено багат шарову концентрично-зональну будову пізолітових туфів (рис. 4, є). Ядро деяких «градин» складене уламками базальтів (рис. 4, ж) з афіровою, гіалопелітовою або інтерсертальною структурою. У деяких «градинах» уламки базальтів у центральній частині відсутні, натомість ядро гомогенне, склад якого відповідає попеловому туфу з реліктовою вітрокластичною структурою. У тих випадках, коли ядро складене уламками базальту, воно займає більшу частину поперечного перетину «градини», а там, де ядро складене попеловим туфом, пемзою, – половину або меншу половину площі перетину «градини».

Ядро оточене обляміркою, яка може складатися з кількох шарів товщиною до 0,5 мм. Перехід від ядра до облямірки різкий. Шарувата будова чітко простежується. Зазначимо, що розмір уламків у шарах облямірки зменшується від краю ядра у напрямку до зовнішнього шару облямірки.

Матрикс за своїм складом відповідає туфам. Туф в основному аповітрокластичний з невеликою домішкою кристалокластів. Останні добре збереглися і представлені псамітовими (до 0,7 мм) уламками кристалів плагіоклазу і піроксену. Вітрокласти сильно розкладені і заміщені вторинними мінералами: халцедоном, кварцем, хлоритами. Пізоліти цементуються псамо-алевритовим туфовим матеріалом. Розмір пізолітів змінюється від 4,8 до 6,2 мм. Форма ізометрична або близька до еліпсоїдальної з максимальним видовженням у шліфах 4,1:4,8.

Наявність в товщі порід відкладів цього генетичного типу свідчить про вулканічний вибух у субаеральних умовах і вказує на наземну (або ж плитководну морську) ситуацію седиментації (Ботвинкина, 1974), зазвичай поблизу центрів виверження. Позаяк в досліджених нами відкладах трапляються роздрібнені кульки пізолітів і не спостерігається їхня певна орієнтація у породі, рідше трапляються відсортовані «градини» за розміром, які орієнтовані паралельно шаруватості, практично без роздрібнених кульок, то можна говорити про їхнє субаквальне походження.

У багатьох провінціях світу в аналогічних відкладах трапових формацій також виявлені не лише туфи, але й лапілієві туфи і туфобрекції (Ross et al., 2005), що свідчить про загальну близькість до центрів виверження.

Мінералогічні дослідження. З огляду на те, що більшість мінералів у бабинських туфах знаходяться у тонкодисперсному стані, нами для вивчення їхнього мінерального складу було застосовано рентгенофазовий аналіз.

Так, у сірurato-зелених туфах із св. 4510/9 на глибині 392,6 м виявили цеоліти (анальцим із характерними піками 0,56; 0,343; 0,293 нм; мезоліт – 0,64; 0,343; 0,253 нм; ломонтит – 0,73; 0,323; 0,30 нм); пірит – 0,305; 0,278; 0,1625; 0,1475 нм; монтморилоніт – 1,5; 0,333; 0,293; 0,256; 0,251 нм (рис. 5, а).

У туфах червоно-бурого кольору із св. 4510/5 на глибині 319,6 м визначили цеоліти (анальцим, з тими ж характерними піками, що і в сірurato-зелених туфах св. 4510/9, ломонтит); гетит – 0,419; 0,354; 0,272 нм; монтморилоніт – 1,4; 0,333; 0,329; 0,292 нм і залізисто-магнезіальний хлорит – 1,4–1,47; 0,69–0,73; 0,46–0,476; 0,361 нм та ін. Монтморилоніт і хлорити трапляються в більшій кількості у сірurato-зелених туфах, чим пояснюється їхнє зелене забарвлення. А от колір червоних туфів пояснюється високим вмістом гетиту-гідрогетиту, які утворилися при окисненні вулканічного скла і піриту (рис. 5, б).

Дрібно-пізолітовий туф із св. 4510/15 на глибині 401,9 м за мінеральним складом подібний до червоно-бурих туфів: цеоліти (анальцим, ломонтит, мезоліт); гетит, монтморилоніт (рис. 5, в).

В результаті виконаних рентгенометричних досліджень пелітової фракції червоно-бурих і сірurato-зелених туфів, за (Семущин, 1986), вдалося визначити її мінеральний склад: глинисті мінерали (смектит, хлорити, гідрослюда), анальцим, ломонтит, мезоліт (вперше виявлено), пірит, гематит, гетит, кварц, моноклінний піроксен, плагіоклаз, калієвий польвовий шпат, іліт.

Аналіз отриманих результатів дав можливість з'ясувати, що сірurato-зелені туфи містять меншу кількість гетиту, гематиту, але більше хлориту, монтморилоніту, ломонтиту й анальциму, ніж червоно-бурі. Саме наявністю гетиту, гематиту зумовлено забарвлення червоно-бурих туфів.

У літературі також опубліковані дані про різнозабарвленість туфового матеріалу. У статті (Emetz et al., 2004) згадується про туфи різного забарвлення, але їхніх детальних досліджень не було проведено. У праці (Środof et al., 2019) також вказується на наявність туфів зеленого і бурого забарвлення, причому туфи зеленого кольору відрізняються від коричневих лише меншою кількістю гематиту та більшою кількістю урану,

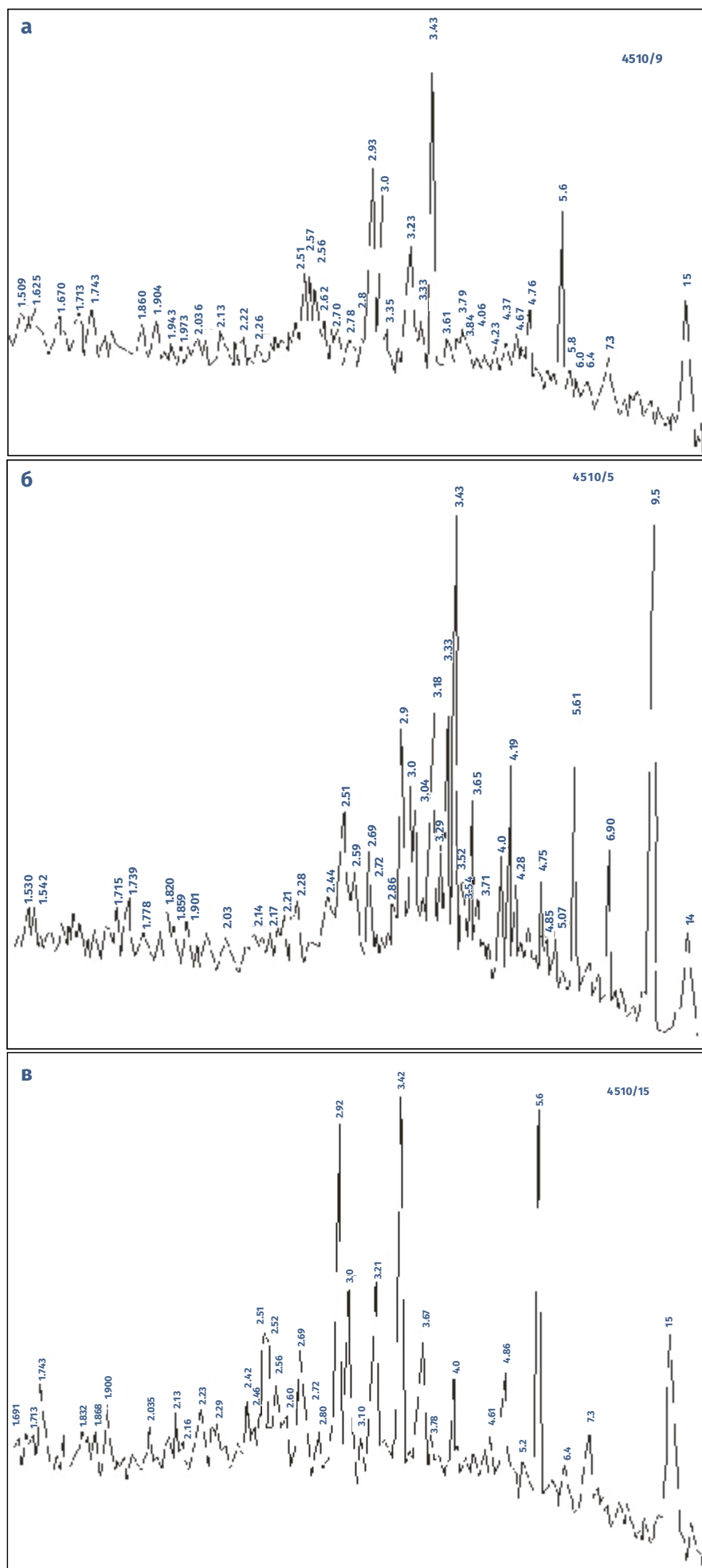


Рис. 5. Рентгенограма: а) сірувато-зелених туфів, б) червоно-бурих туфів, в) пізолітових туфів

Fig. 5. X-ray of: а) grayish-green tuffs, б) red-brown tuffs, в) piroclastic pisolithic tuffs

що відповідає більшому відновленню місцевого середовища (винесення заліза, збагачення ураном), але не дозволяє дійти висновку, чи це гідротермальна зміна, чи це результат пізнішого процесу. У межах трапових провінцій світу, зокрема у межах трапової формації Декану (Індія) (Kale et al., 2020), згадується про перешарування базальтів із пірокластичним матеріалом червоного, зеленого, сірого кольорів. У монографії (Мельничук, 2022) вказується, що за хімічним складом зеленоколірні туфи значно ближчі до толеїтових базальтів, ніж червоноколірні. Це пояснюється їхніми порівняно слабшими специфічними гідротермально-метасоматичними

перетвореннями, вираженими у розвитку по вулканічному склу, уламках і в цементі хлоритів і смектитів групи сапоніту.

Отже, отримані дані доповнюють оригінальні літературні матеріали мінералогічного дослідження цеоліт-смектитових туфів Волині (Шумлянський та ін., 1991; Мельничук, 2008, 2022 та ін.).

Петрохімічні дослідження. На основі представницьких хімічних аналізів туфів бабинської світи (св. 4558) проведено петрохімічні перерахунки за (Ефремова, Стафеев, 1985) (табл. 1) (рис. 6, а). Ці оригінальні дані також зображено на класифікаційній діаграмі AFM ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$) (рис. 6, б).

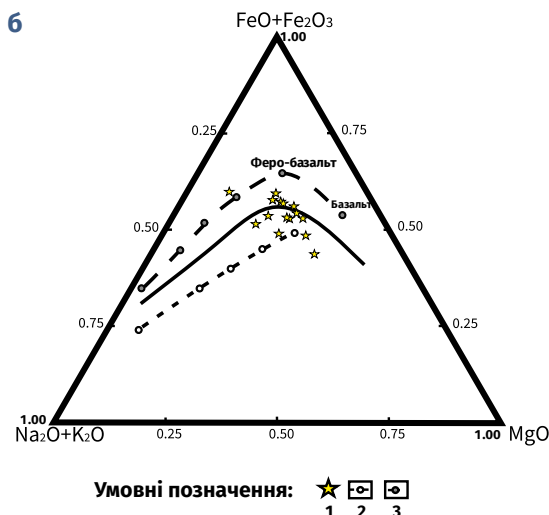
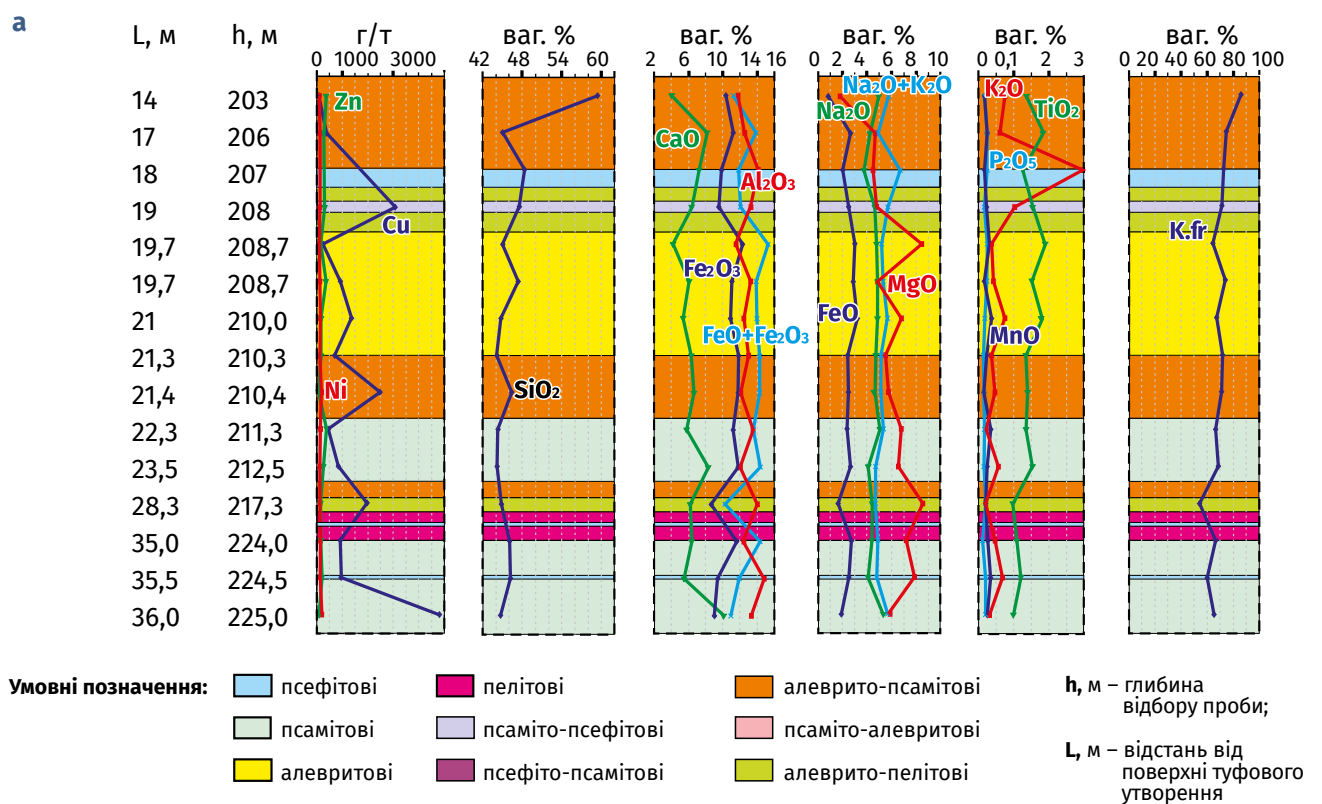


Рис. 6. а) Варіації вмістів з глибиною міді, нікелю, цинку, головних петрогенних компонентів, петрохімічних параметрів туфів бабинської світи за розрізом св. 4558; **б)** Розташування туфів бабинської світи трапової формації Західної Волині (св. 4558) на класифікаційній діаграмі AFM ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$), за (Wager, Deer, 1939). Умовні позначення: 1 – туфи бабинської світи, 2 – тренд порід вапняково-лужної серії, 3 – тренд порід толеїтової серії

Fig. 6. a) Variations of contents with depth of copper, zinc, main petrogenic components, petrochemical parameters of Babynska suite tuffs according to the section of well 4558; **б)** The location of Babynska suite tuffs of continental flood basalts of the Western Volyn (well 4558) on the AFM classification diagram ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$), за (Wager, Deer, 1939). Conventional designations: 1 – Babynska suite tuffs, 2 – trend of rocks of the calcareous-alkaline series, 3 – trend of rocks of the tholeiitic series

Таблиця 1. Хімічний склад та петрохімічні параметри туфів бабинської світи породно-рудних комплексів трапової формації Західної Волині (св. 4558 (розріз максимальної товщини – 22 м))**Table 1.** Chemical composition and petrochemical parameters of tuffs of the Babynska suite tuffs of rock-ore complexes of the continental flood basalts of Western Volyn (well 4558 (section of maximum power – 22 m))

№ проби	1	2	3	4	5	5а	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Глибина відбору, м	203	206	207	208	208,7	208,7	210	210,3	210,4	211,3	212,5	217,3	224	224,5	225	
Вміст оксидів, мас.%	SiO ₂	59,39	45,03	48,31	47,56	45	47,38	44,76	44,23	46,4	44,4	44,19	44,88	46,15	46,19	44,82
	TiO ₂	1,37	1,85	1,26	1,54	1,91	1,53	1,8	1,35	1,41	1,36	1,54	1	1,11	1,22	0,99
	Al ₂ O ₃	11,8	12,52	14,15	13,24	11,5	13,24	12,48	13	12,09	13,49	12,02	14,01	12,4	14,8	13,3
	Fe ₂ O ₃	10,35	11,23	9,88	9,56	12,3	11,06	10,86	11,83	11,79	11,21	11,75	8,62	11,61	9,41	9,06
	FeO	0,84	2,66	1,97	2,5	3	2,84	3,19	2,43	2,46	2,35	2,65	1,6	2,72	2,53	1,91
	CaO	4,05	8,17	7,25	6,43	4,22	6,11	5,39	6,35	6,64	5,82	8,34	6,22	6,39	5,53	10,17
	MgO	1,81	4,68	4,5	4,82	8,5	4,89	6,79	5,55	5,77	6,78	6,6	8,59	7,19	7,9	5,82
	MnO	0,17	0,26	0,18	0,23	0,3	0,17	0,38	0,24	0,17	0,35	0,25	0,21	0,27	0,35	0,24
	K ₂ O	0,76	0,61	2,97	1,02	0,37	0,42	0,75	0,38	0,48	0,24	0,57	0,2	0,48	0,68	0,3
	Na ₂ O	5	4,27	3,76	4,69	4,82	4,91	4,91	4,75	4,61	5,08	4,13	4,47	4,43	4,12	5,36
	P ₂ O ₅	0,17	0,25	0,26	0,17	0,25	0,23	0,19	0,14	0,15	0,17	0,16	0,2	0,12	0,2	0,21
	H ₂ O	1,06	2,58	1,65	2,7	2,78	2,39	3,63	2,87	2,13	2,59	2,81	4,89	2,97	2,44	2,68
	впн	3,53	5,8	4,05	5,5	4,84	4,69	4,59	6,49	6,36	6,25	5,22	5,18	4,18	4,79	4,72
	Сума	100,3	99,91	100,19	99,96	99,79	99,86	99,72	99,61	100,46	100,09	100,23	100,07	100,02	100,16	99,58
Cu, г/т	70	370	-	3070	230	930	1360	690	2490	460	840	1960	920	950	4800	
Ni, г/т	90	110	-	110	100	120	130	110	170	130	120	120	130	140	200	
Zn, г/т	380	300	-	310	150	360	180	180	80	370	250	150	150	190	100	
all	0,91	0,67	0,87	0,78	0,48	0,70	0,60	0,66	0,60	0,66	0,57	0,74	0,58	0,75	0,79	
Na ₂ O/K ₂ O	6,58	7,00	1,27	4,60	13,03	11,69	6,55	12,50	9,60	21,17	7,25	22,35	9,23	6,06	17,87	
f	14,37	20,42	17,61	18,42	25,71	20,32	22,64	21,16	21,43	21,70	22,54	19,81	22,63	21,06	17,78	
К.ф.	86,08	74,80	72,48	71,45	64,29	73,98	67,42	71,98	71,18	66,67	68,57	54,33	66,59	60,18	65,34	
Fm	39,32	66,18	54,30	55,59	80,22	63,00	70,82	71,54	68,56	71,06	74,11	61,12	71,79	63,33	57,68	

За коефіцієнтом глиноземистості ($a' = \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MgO})$), який добре корелює з відотною кількістю кольорових і лейкократових мінералів у гірських породах, усі досліджувані проби туфової товщі належать до двох відмін: низькоглиноземисті ($a' < 0,75$) та помірноглиноземисті ($a' = 0,75-1$).

За значеннями петрохімічного показника на основі вмісту лугів, а саме $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$, досліджувані породи можна об'єднати у три групи: 1) $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} > 4$ мас. % – домінувальна група туфів бабинської світи натрієвої серії; 2) $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 1-4$ мас. % – калієво-натрієва серія (в це поле потрапляє один зразок з глибини відбору 207 м).

За коефіцієнтом фемічності ($f' = \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{TiO}_2$), що відображає в породах загальну кількість фемічних оксидів, досліджувана товща в основному меланократова ($f' = 21-23$) та мезократова ($f' = 16-21$), лише одна проба потрапляє у поле лейкократових відмін ($f' < 16$) – глибина відбору 203 м.

Коефіцієнт фракціонування (залізистості) (К.ф. = $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}) \times 100 / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MgO})$, мас. %) складає 54,33–86,08 мас. %.

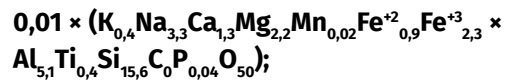
Для більшості проб трапової формації загальна магнезійність ($fm = 100 \times (\text{MgO} + \text{Fe} + 2\text{Fe}_2\text{O}_3) / \text{SiO}_2$, мас. %) дорівнює $fm = 39,32-80,22$ мас. %.

Показово, що відповідно до діаграми AFM ($A = (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$, $F = (\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$, $M = \text{MgO}$), за (Wager, Deer, 1939), окреслилася незначна тенденція еволюції вулканізму в напрямку від вапняково-лужних порід до толеїтових (див. рис. 6, б).

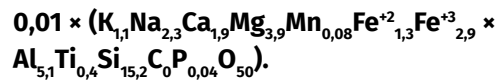
Петрохімічні перерахунки порід виконані за методом А.А. Маракушева (метод протонного еквівалента ΔZ), який призначений для зіставлення мінералів і гірських порід на основі розрахункових величин спорідненості до протону і запропонований як метод петрохімічних перерахунків на термодинамічній основі (Степанов та ін., 2013). При цьому бралися до уваги туфи червоно-бурого і сірувато-зеленого кольорів з різних глибин (за розрізом св. 4492). Виявилося, що енергетичний пай катіонів у породах із глибиною збільшується, однак він відрізняється для червоно-бурих і сірувато-зелених туфів: для перших перебуває в межах 800 кДж, для других – 1250 кДж.

За даними петрохімічних перерахунків розраховували еквівалентні формули порід (наведено середнє значення) для:

1. червоно-бурих туфів –



2. сірувато-зелених туфів –



Привівши величину ΔZ гірської породи до одного протону, з'ясували, що сірувато-зелені туфи більш основні. Проаналізувавши еквівалентні формули порід, виявили, що у сірувато-зелених туфах зростає кількість Fe^{+2} . Добре також видно, що сірувато-зелені туфи містять приблизно вдвічі більшу кількість магнію. В туфах магній присутній у хлоритах, чим і зумовлене забарвлення сірувато-зелених туфів. Сірувато-зелені туфи насичені більшою мірою калієм. Вміст інших елементів істотно не змінюється у різних за забарвленням туфах. Водночас наголосимо, що концентрації самородної міді істотно зростають у туфах сірувато-зеленого кольору порівняно із такими туфів червоно-бурого кольору, до прикладу, за розрізом св. 4558 досягаючи 4800 г/т (глибина відбору 225 м) і 2490 г/т (глибина відбору 210,4 м) (див. рис. 3).

Генетичне значення пірокластичних відкладів.

Пірокластичні відклади серед вулканічних утворень завжди відіграють роль своєрідних реперів, які символізують певні етапи формування та становлення вулканічних товщ і формацій загалом. Аналогічне значення мають ці утворення і у складі трапової формації Західної Волині. Особливий інтерес становлять пізолітові туфи, які були виявлені в межах бабинської світи і мають вагоме генетичне значення (Нестерович и др., 2014; Нестерович, 2014). Їхні знахідки надають важливу інформацію для палеовулканогенних і палеогеографічних реконструкцій (Котова, 1966). Зокрема, наявність туфів вказує на нагромадження автохтонної тефри зі своєрідною текстурою. Розташовані вони в межах проміжної або віддаленої зони виверження. Присутність відкладів цього генетичного типу свідчить про вулканічний вибух у субаеральних умовах і вказує на наземну (або ж плитководну морську) ситуацію седиментації (Ботвинкина, 1974), зазвичай поблизу центрів виверження.

Прикладне значення. Перспективні сфери використання цеоліт-сметитових туфів Західної Волині такі (Мельничук, 2008, 2022): в сільському господарстві – як міндобриво, стабілізатор рослинного живлення, для зберігання насіння; в будівельній індустрії – виготовлення цегли,

черепиці, керамічної плитки, цементу, керамзиту, як пігменти для фарб та кольорових бетонів; у природоохоронних заходах – меліорація радіоактивно-забруднених ґрунтів та очистка стічних вод від NH_4 ; як в'язучий матеріал – для окатування руд і добрив. Корисні копалини у трапах просторово і генетично тісно пов'язані, тому доцільність їхнього комплексного видобутку і переробки не викликає сумнівів. До найперспективніших для освоєння із розвіданих родовищ можуть бути віднесені родовища Рафалівського поля, у породних комплексах якого вдало поєднуються базальти, цеоліт-сметитові туфи, самородна мідь та супутні метали, виробні камені. Концентрації розсіяно-вкрапленої міді в базальтах і туфах рідко перевищують 0,3 %. Проте з огляду на стратиформний характер, значне поширення по площі, наявність потужних рудовмісних інтервалів (до 7–8 м), даний тип зруденіння слід вважати перспективним на виявлення покладів руд із відносно низькими вмістами міді, але зі значними її ресурсами і запасами.

Висновки

1. За даними комплексних прецизійних досліджень схарактеризовано особливості просторового поширення і мінерального складу, петрографічних і петрохімічних показників, генетичного і практичного значення туфів бабинської ефузивно-пірокластичної світи (V_{bb}) трапової формації Західної Волині у зв'язку з міденосністю.
2. Проаналізовано товщини і гіпсометрію рельєфу палеоповерхні за розрізами численних свердловин, які розкрили утворення бабинської світи у межах її найзначнішого поширення, та з'ясовано важливі елементи її будови по вертикалі і латералі (по площі), реальну картину яких відображають побудовані карти товщин і рельєфу палеоповерхні пірокластичних утворень світи, зокрема на Ратненсько–Камінь-Каширській площі. Розташування різних за формою ділянок зростання або досягнення максимальної товщини відкладів бабинської світи утворює доволі чітку картину, безперечно зумовлену тектонічною історією. З одного боку, це кільцеве розташування зазначених ділянок навколо підняття, що розташоване в центральній частині площі досліджень, з іншого – фрагменти ланцюжкового поширення, яке має добре проявлене просторове розташування.
3. В результаті петрографічного вивчення розрізу відкладів бабинської світи доведено їх утворення в режимі гравітаційного осадження пірокластичного матеріалу з нагромадженням туфових відкладів на стадії неповного застигання вулканічного матеріалу і формування грубої, неритмічної шаруватості, без чітких ознак перевідкладення, тобто вулканоміктового походження. Про це свідчать також ознаки спеченості, відсутність обкатаності, поступові переходи між туфами різної розмірності, просторовий розподіл туфових утворень за розмірністю уламків та їхнім співвідношенням у розрізі. Ці міркування підтверджуються опосередкованими фактами, такими як рельєф поверхонь, на яких залягають туфи відповідних стратиграфічних підрозділів, а також не зафіксованими ознаками інтенсивного розмиву, різкими формами тощо. Знахідки пізолітових туфів свідчать про близькість до центрів виверження в субаквальних-субаеральних умовах.
4. Мінеральний склад пелітової фракції червоно-бурих і сірувато-зелених туфів такий: глинисті мінерали (сметит, хлорити, гідрослюда), анальцим, ломонтит, мезоліт (вперше виявлено), пірит, гематит, гетит, кварц, моноклінний піроксен, плагіоклаз, калієвий польовий шпат, іліт. Акцентовано увагу на відмінностях мінерального складу різнозбарвлених туфів. Зокрема, аналіз отриманих результатів дав можливість з'ясувати, що сірувато-зелені туфи містять більше хлориту, монтморилоніту, ломонтиту і анальциму, але менше гетиту-гідрогетиту і гематиту, ніж червоно-бурі. Водночас саме наявністю гетиту-гідрогетиту і гематиту, утворених при окисненні вулканічного скла і піриту, зумовлено забарвлення червоно-бурих туфів. За даними петрохімічних перерахунків виявлено кореляцію сірувато-зелених туфів і самородної міді та різницю енергетичного паю катіонів для червоно-бурих і сірувато-зелених туфів – відповідно 800 і 1250 кДж. Зазначено, що сірувато-зелені туфи містять більшу кількість Fe^{2+} , калію, приблизно удвічі більшу кількість магнію. В туфах магній присутній у хлоритах, чим і зумовлене забарвлення сірувато-зелених туфів. Туфи червоного кольору містять більшу кількість гематиту.
5. Отримані результати в генетичному плані надають важливу інформацію для палеовулканогенних і палеогеографічних реконструкцій,

в практичному – сприяють підвищенню оцінки перспектив міденосності вулканогенних товщ трапової формації та можуть бути запропоновані для використання виробничими організаціями геологічного профілю. У підсумку наголошуємо на нагальній потребі подальшого детального вивчення самородної міді, пов'язаної з основними ефузивами Західної Волині, і комплексу супровідних мідь мінералів та особливостей процесу форму-

вання мідного зруденіння. Вона визначається тим, що в низці регіонів подібні родовища мають велике практичне значення (як приклад, загальновідома трапова формація на п-ові Ківіно (Мічіган, США), а також перспективні трапи Декану (Індія), на які звернули увагу лише нещодавно (Alexander & Thomas, 2011).

Насамкінець висловлюємо велику вдячність Я.О. Косовському за наданий кам'яний матеріал.

За даними комплексних прецизійних досліджень виявлено просторове поширення і мінеральний склад, з'ясовано петрографічні і петрохімічні особливості та генетичне і практичне значення туфів бабинської ефузивно-пірокластичної світи трапової формації Західної Волині у зв'язку з міденосністю. Проаналізовано товщини і гіпсометрію рельєфу палеоповітряної пірокластичних утворень бабинської світи та з'ясовано важливі елементи її будови по вертикалі і латералі (по площі), реальну картину яких відображають побудовані карти товщин і рельєфу палеоповітряної пірокластичних утворень світи, зокрема на Ратненсько-Камінь-Каширській площі. Доведено утворення туфів бабинської світи в режимі гравітаційного осадження пірокластичного матеріалу з нагромадженням туфових відкладів на стадії неповного застигання вулканічного матеріалу і формування грубої, неритмічної шаруватості, без чітких ознак перевідкладення, тобто вулканоміктового походження. Виявлено відмінності мінерального складу і петрохімії туфів різного забарвлення: сірувато-зелених і червоно-бурих. Акцентовано увагу на збагаченості самородною міддю туфів сірувато-зеленого забарвлення і запропоновано варіанти можливого пояснення цієї кореляції. Отримані результати в генетичному плані надають важливу інформацію для палеовулканогенних і палеогеографічних реконструкцій, в практичному – сприяють підвищенню оцінки перспектив міденосності вулканогенних товщ трапової формації та можуть бути запропоновані для використання виробничими організаціями геологічного профілю.

Список літератури

- Ботвинкина Л.Н. Генетические типы отложений областей активного вулканизма. Москва: Наука, 1974. С. 108–116. (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 263).
- Бацевич Н.В., Наумко І.М., Федоришин Ю.І. Петрографічна характеристика пірокластичного матеріалу у межах бабинської світи і зорянської товщі трапової формації Західної Волині. *Від Мінералогії і Геогнозії до Геохімії, Петрології, Геології та Геофізики: фундаментальні і прикладні тренди XXI століття*: Зб. пр. Всеукр. конф. (MinGeolIntegration XXI–2023) (Київ, 27–29 верес. 2023 р.). Київ: КНУ ім. Тараса Шевченка, 2023. С.97–100.
- Бацевич Н.В., Наумко І.М., Федоришин Ю.І. Туфи бабинської світи трапової формації Західної Волині: петрографія, петрохімія, генетичне і прикладне значення. *Проблеми прикладних геологічних наук і шляхи їх подолання (до 160-річчя від дня народження В.І. Вернадського)*: Зб. матеріалів Всеукр. конф. (Київ, 19–20 верес. 2023 р.) / НАН України, Ін-т геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка. Київ, 2023. С. 52–57.
- Дриц В.А., Сахаров Б.А. Рентгеноструктурний аналіз смешано-слоєних мінералів. Москва: Наука, 1976. 256 с.
- Ефремова С.В., Стафеев К.Г. Петрохимические методы исследования горных пород. Справочное пособие. Москва: Недра, 1985. 511 с.
- Зиновенко Г.В. Балтийско-Приднестровская зона перикратонных опусканий: Гарецкий Р.Г. (ред.). Минск: Наука и техника, 1986. 215 с.
- Котова Л.Н. Пепловые лапилли из девонской вулканогенно-осадочной серии хребта Тарбагатай. *Литология и полез. ископаемые*. 1966. № 2. С. 58–64.
- Лазаренко Є.К., Матковський О.І., Винар О.М., Шашкіна В.П., Гнатів Г.М. Мінералогія вивержених комплексів Західної Волині. Львів: Вид-во Львів. ун-ту, 1960. 510 с.
- Лазаренко Є.К., Воловник Б.Я. Нові дані про будову вулканогенної товщі волинської серії західної окраїни Руської платформи. *Геол. журн.* 1969. Т. 29, вип. 1 (124). С. 12–22.
- Мельничук В.Г. Товща цеоліт-сметитових туфів у нижньовендських трапах південно-західної частини Східно-Європейської платформи, їх походження та перспективи використання. *Зб. наук. пр. Ін-ту геол. наук НАН України*. 2008. Вип. 1. С. 104–111.
- Мельничук В.Г. Геологія та міденосність нижньовендських комплексів південно-західної частини Східно-європейської платформи: автореф. дис. ... д-ра геол. наук. Київ, 2010. 36 с.
- Мельничук В.Г. Міденосні трапи Волині і суміжних територій Східної Європи. Рівне: НУВГП, 2022. 328 с.
- Мельничук В.Г., Матеюк В.В. Туфи Волино-Поділля як новий вид мінеральних ресурсів. *Проблеми раціонального використання, охорони і відтворення природно-ресурсного потенціалу України*. Чернівці: Рута, 2000. С. 133–134.
- Мельничук В., Мельничук Г. Оновлена стратиграфічна схема неопротерозою Волино-Поділля. *Проблеми геології України*: Зб. наук. пр. за результатами XIII Всеукр. наук. конф. (Львів, 3–5 жовт. 2022 р.). Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2022. С. 36–45.
- Мідь Волині. *Наук. пр. Ін-ту фундамент. досліджень: Шумлянський В.О. (відп. ред.)*. Київ, 2002. 112 с.
- Михеев В.И. Рентгенометрический определитель минералов. Москва: Госгеолтехиздат, 1957. 862 с.
- Нестерович Н.В. Геохімія флюїдів середовища формування міденосних парагенезів у вулканітах трапової формації зчленування Волинського палеозойського підняття і Волино-Подільської монокліналі: автореф. дис. ... канд. геол. наук (привірюється до доктора філософії). Львів, 2014. 20 с.
- Нестерович Н.В., Косовський Я.А., Наумко І.М., Федоришин Ю.І. Пірокластичні пизоліти трапової формації сєверо-западної Волині (Луковско-Ратновская горстовая зона). *Отечественная геология*. 2014. № 1. С. 41–47.
- Приходько В.Л., Косовський Я.А., Іванів І.Н. Перспективи міденосності вулканогенних образований волинської серії Луковско-Ратновської горстової зони. *Геол. журн.* 1993. № 4 (271). С. 138–143.

- Семененко М.П., Савченко М.А., Клушин В.І. Прип'ятський вал (глибинна структура, магматизм та металоносність). Київ: Наукова думка, 1976. 179 с.
- Семущин В.Н. Рентгенографический определитель цеолитов. Новосибирск: Наука, 1986. 128 с.
- Степанов В.Б., Генералова Л.В., Дворжак Т.С. Методичні вказівки з лабораторних занять з курсів «Аналіз петрохімічних даних» і «Геодинамічні реконструкції». Львів, 2013. Ч. 1. 44 с.
- Ткачук Л.Г. (отв. ред.). Пирокластические породы Украины. Киев: Наукова думка, 1977. 156 с.
- Шумлянський В.О., Деревська К.І., Сингаївський Є.Д., Чернишова Н.С. Мідно-цеолітова мінералізація у базальтових туфах венду на західному схилі Українського щита і природа мінералізуючих розчинів. *Доп. АН УРСР*. 1991. № 9. С. 136–139.
- Alexander P.O. & Thomas H. Copper in Deccan Basalts (India): review of the abundance and patterns of distribution. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología*. 2011. No. 79–81. (Rosario, 01-07-2011). P 107–112. ISSN 1666-115X.
- Bornhorst T.J., Mathur R. Copper Isotope Constraints on the Genesis of the Keweenaw Peninsula Native Copper District. Michigan, USA. *Minerals*. 2017. Iss. 7 (10). P. 185. <https://doi.org/10.3390/min7100185>
- Brown A.C. Copper Isotope Constraints on the Genesis of the Keweenaw Peninsula Native Copper District, Michigan, USA: A Comment. *Minerals*. 2018. Iss. 8 (11). P. 506. <https://doi.org/10.3390/min8110506>
- Emetz A., Piestrzynski A., Zagnitko V. Geological framework of the Volhyn copper fields with a review of the Volhyn flood basalt province (western margin of the East-European Craton). *Ann. Soc. Geol. Pol.* 2004. No. 74. P. 257–265.
- Kale V.S., Bodas M., Chatterjee P., Pande K. Emplacement history and evolution of the Deccan Volcanic Province, India. *Episodes*. 2020. No. 43. P. 278–299. <https://doi.org/10.18814/EPIUGS/2020/020016>
- Naumko I., Batsevych N., Fedoryshyn Yu., Pavlyuk M., Myshchyshyn Yu., Repyn I. Peculiarities of the distribution of thickness and paleo-surface relief of basalts of Luchychi strata (Western Volyn). *Geodynamics*. 2021. No. 1 (30). P. 36–47. <https://doi.org/10.23939/jgd.2021.01.036>
- Narkiewicz, M., Maksym, A., Malinowski, M., Grad, M., Guterch, A., Petecki, Z., Probulski, J., Janik, T., Majdanski, M., Sroda, P., Czuba, W., Gaczynski, E., Jankowski, L. Transcurrent nature of the Tesisseyre-Tornquist Zone in Central Europe: results of the POLCRUST-01 deep reflection seismic profile. *Intern. Journ. of Earth Sciences*. 2015. Vol. 104 (3). P. 775–796. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00531-014-1116-4>
- Ross P.-S., Ukstins Peate I., Mc Clintock M.K., Xu Y.G., Skilling I.P., White J.D.L., and Houghton B.F. Mafic volcanoclastic deposits in flood basalt provinces: a review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2005. Vol. 145. P. 281–314. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2005.02.003>
- Środoń Jan, Kuzmenkova Oksana, Stanek Jan, Petit Sabine, Beaufort Daniel, Gilg H. Albert, Liivamägi Sirle, Goryl Magdalena, Marynowski Leszek, Szczerba Marek. Hydrothermal alteration of the Ediacaran Volyn-Brest volcanics on the western margin of the East European Craton. *Precambrian Research*. June 2019. Vol. 325. P. 217–235.
- Wager L.R., Deer W.A. Geological investigations in East Greenland, Part 3. *The Petrology of the Skaergaard intrusion Kangerdlugssaug, East Greenland*. – Medd. Gronland, 1939. Bd. 105, No. 4. 355 p.
- Batsevych N.V., Naumko I.M., Fedoryshyn Yu.I. 2023. Petrographic characteristics of the pyroclastic material within the limits of the Babynska Suite and Zoryanska thickness of the continental flood basalts of Western Volyn. *From Mineralogy and Geognosy to Geochemistry, Petrology, Geology and Geophysics: fundamental and applied trends of the 21st century: Proceedings of the All-Ukrainian Conference (MinGeoIntegration XXI–2023)* (Kyiv, September 27–29, 2023). Kyiv: Taras Shevchenko KNU, p. 97–100 (in Ukrainian).
- Batsevych N.V., Naumko I.M., Fedoryshyn Yu.I. 2023. The Babynskao suite tuffs of continental flood basalts of the Western Volyn: petrography, petrochemistry, genetic and applied significance. *Problems of applied geological sciences and ways to overcome them (to the 160th anniversary from the birth of V.I. Vernadskyi): Collection of materials of the All-Ukrainian Scientific Conference* (Kyiv, September 19–20, 2023) / NAS of Ukraine, M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation. Kyiv, p. 52–57 (in Ukrainian).
- Bornhorst, T.J., Mathur, R. 2017. Copper Isotope Constraints on the Genesis of the Keweenaw Peninsula Native Copper District. Michigan, USA. *Minerals*, 7 (10): 185. <https://doi.org/10.3390/min7100185>
- Botvinkina L.N. Genetic types of deposits in areas of active volcanism. 1974. Moscow: Nauka. P. 108–116. (Works of the Geological Institute of the USSR Academy of Sciences; Vol. 263) (in Russian).
- Brown, A.C. 2018. Copper Isotope Constraints on the Genesis of the Keweenaw Peninsula Native Copper District, Michigan, USA: A Comment. *Minerals*, 8 (11): 506. <https://doi.org/10.3390/min8110506>
- Copper in Volyn. 2002. *Scientific works of the Institute of Fundamental Research*. (Res. ed. V.O. Shumlyanskyi). Kyiv (in Ukrainian).
- Drits V.A., Sakharov B.A. 1976. X-ray structural analysis of mixed-layer minerals. Moscow: Nauka (in Russian).
- Efremova S.V., Stafeev K.G. 1985. Petrochemical methods for studying rocks. Reference manual. Moscow: Nedra (in Russian).
- Emetz A., Piestrzynski A., Zagnitko V. 2004. Geological framework of the Volhyn copper fields with a review of the Volhyn flood basalt province (western margin of the East-European Craton). *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 74: 257–265.
- Kale V.S., Bodas M., Chatterjee P., Pande K. 2020. Emplacement history and evolution of the Deccan Volcanic Province, India. *Episodes*, 43: 278–299. <https://doi.org/10.18814/EPIUGS/2020/020016>
- Kotova L.N. 1966. Ash lapilli from the Devonian volcanogenic-sedimentary series of the Tarbagatai ridge. *Lithology and minerals*, 2: 58–64 (in Russian).
- Lazarenko E.K., Volovnik B.Ya. 1969. New data about the volcanic rocks of the Volyn series of the western edge of the Russian platform. *Geologičnij žurnal*, 29, 1 (124): 12–22 (in Ukrainian).
- Lazarenko Ye.K., Matkovskiy O.I., Vynar O.M., Shashkina V.P., Hnativ H.M. 1960. Mineralogy of the eruptive complexes of Western Volyn. Lviv: Publisher of Lviv University (in Ukrainian).
- Melnychuk V., Melnychuk G. 2022. Updated stratigraphic scheme of the Volyno-Podillia Neoproterozoic. Problems of the geology of Ukraine: *Collection of scientific works based on the results of the 13th All-Ukrainian Scientific Conference* (Lviv, October 3–5, 2022). Lviv: LNU named after Ivan Franko, p. 36–45 (in Ukrainian).
- Melnychuk V.G. 2010. Geology and copper-bearing Lower Vendian trappean complexes of south-western part of the East-European platform. (Unpublished of Doctor Geology thesis). Kyiv (in Ukrainian).
- Melnychuk V.G. 2008. A zeolite-smectite layer of tuffs in lower-vendian trap-rocks of south-west parts of east-european platform, their origins and prospect of the use. *Collection of science Ave. of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 1: 104–111 (in Ukrainian).

References

Alexander P.O. & Thomas H. 2011. Copper in Deccan Basalts (India): review of the abundance and patterns of distribution. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología*, 79–81, (Rosario, 01-07-2011): 107–112. ISSN 1666-115X

- Melnychuk V.G. 2022. Copper ladders of Volyn and neighboring territories of Eastern Europe. Rivne: NUVHP (in Ukrainian).
- Melnychuk V.G., Mateyuk V.V. 2000. Volyno-Podillia tuffs as a new type of mineral resources. *Problems of rational use, protection and reproduction of the natural resource potential of Ukraine*. Chernivtsi: Ruta, p. 133–134 (in Ukrainian).
- Mikheev V.I. 1957. X-ray determinant of minerals. Moscow: Gosgeoltekhizdat (in Russian).
- Narkiewicz, M., Maksym, A., Malinowski, M., Grad, M., Guterch, A., Petecki, Z., Probulski, J., Janik, T., Majdanski, M., Sroda, P., Czuba, W., Gaczynski, E., Jankowski, L. 2015. Transcurrent nature of the Teisseyre-Tornquist Zone in Central Europe: results of the POLCRUST-01 deep reflection seismic profile. *Int. J. of Earth Sciences*, 104 (3): 775–796. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00531-014-1116-4>
- Naumko I., Batsevych N., Fedoryshyn Yu., Pavlyuk M., Myshchysyn Yu., Repyn I. 2021. Peculiarities of the distribution of thickness and paleo-surface relief of basalts of Luchychi strata (Western Volyn). *Geodynamics*, 1 (30): 36–47. <https://doi.org/10.23939/jgd.2021.01.036>
- Nesterovych N.V. 2014. Geochemistry of fluids of formation medium of copper-bearing parageneses in volcanites of the trappean formation of junction areas of the Volyn Paleozoic uplift with the Volyn-Podillya monocline. (Extended abstract of Candidate Geology thesis). (equivalent to Philosophy Doctor). Lviv (in Ukrainian).
- Nesterovych N.V., Kosovskiy Ya.A., Naumko I.M., Fedoryshyn Yu.I. 2014. Pyroclastic pisolithes of the trappean formation in the North-Western Volyn (Lukiv-Ratno horst zone). *Native geology*, 1: 41–47 (in Russian).
- Prikhodko V.L. Kosovskiy Ya.A., Ivaniv I.N. 1993. Prospects for the copper content of volcanogenic formations of the Volyn series of the Lukov-Ratno horst zone. *Geologičnij žurnal*, 4 (271): 138–143 (in Russian).
- Ross P.-S., Ukstins Peate I., Mc Clintock M.K., Xu Y.G., Skilling I.P., White J.D.L., and Houghton B.F. 2005. Mafic volcanoclastic deposits in flood basalt provinces: a review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 145: 281–314. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2005.02.003>
- Semenenko M.P., Savchenko M.A., Klushin V.I. 1976. Pripyat shaft (deep structure, magmatism and metal content). Kyiv: Naukova Dumka (in Ukrainian).
- Semushin V.N. 1986. X-ray determinant of zeolites. Novosibirsk: Nauka (in Russian).
- Shumlyanskyi V.O., Derevska K.I., Syngavivskyi E.D., Chernyshova N.S. 1991. Copper-zeolite mineralization in Vendian basaltic tuffs on the western slope of the Ukrainian Shield and the nature of mineralizing solutions. *Reports of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR*, 9: 136–139 (in Ukrainian).
- Środoń Jan, Kuzmenkova Oksana, Stanek Jan, Petit Sabine, Beaufort Daniel, Gilg H. Albert, Liivamägi Sirle, Goryl Magdalena, Marynowski Leszek, Szczurba Marek. June 2019. Hydrothermal alteration of the Ediacaran Volyn-Brest volcanics on the western margin of the East European Craton. *Precambrian Research*, 325: 217–235.
- Stepanov V.B., Generalova L.V., Dvorhak T.S. 2013. Methodical instructions for laboratory classes from the courses “Analysis of Petrochemical Data” and “Geodynamic Reconstruction”. Part 1. Lviv (in Ukrainian).
- Tkachuk L.G. (Resp. ed.). 1977. Pyroclastic rocks of Ukraine. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
- Wager L.R., Deer W.A. 1939. Geological investigations in East Greenland, Part 3. *The Petrology of the Skaergaard intrusion Kangerdlugssaug, East Greenland*. – Medd. Gronland. Bd. 105. No. 4. 355 p.
- Zinovenko G.V. 1986. The Baltic-Transnistrian zone of pericratonic lowerings. (Ed. R.G. Garetsky). Minsk: Nauka i tehnika (in Russian).

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.2.307302>

УДК 552.33 (477)

E-mail: tsymbaloleksandra1@gmail.com,
<https://orcid.org/orcid:0000-0002-8800-9899>;
dubyna_a@ukr.net,
<https://orcid.org/0000-0002-6003-4873>;
kryvdik@ukr.net,
<https://orcid.org/0000-0002-8356-1115>

*Corresponding author /

Автор для кореспонденції:

С.Г. Кривдік, kryvdik@ukr.net

Received / Надійшла до редакції:

09.11.2023

Received in revised form /

Надійшла у ревізованій формі:

10.03.2024

Accepted / Прийнята:

25.05.2024

Keywords: alkaline-ultrabasic rocks; alkaline gabbroids; depletion; HFSE; REE; northwestern region of the Ukrainian Shield.

Ключові слова: лужно-ультраосновні породи; лужні габброїди; деплетация; HFSE; REE; північно-західний район Українського щита.

Петрологічні та геохімічні особливості лужних порід північно-західного району Українського щита

О.Ю. Цимбал¹, О.В. Дубина^{1,2}, С.Г. Кривдік^{1*}

¹ Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України; ² Навчально-науковий інститут «Інститут геології» Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, Київ, Україна

Petrological and geochemical peculiarities of alkaline rocks in the North-Western region of the Ukrainian Shield

O.Yu. Tsybmal¹, O.V. Dubyna^{1,2}, S.G. Kryvdik^{1*}

¹ M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine; ² Educational and Scientific Institute "Institute of Geology" of Taras Shevchenko Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

The data of chemical composition and content of trace elements in alkaline-ultrabasic rocks of the north-western region of the Ukrainian Shield are summarized. The occurrences of alkaline rocks of this composition were discovered as results of drilling in four areas (Horodnytsa, Hlumcha, Bolyarka, Hubkiv). They are presented by small hypabyssal intrusions, stock- and dike-like bodies. The rocks are represented by the jacupirangite-melteigite series, which belong to high-Mg (Mg# 0.7–0.8) varieties. Less common are alkaline and subalkaline gabbroids found in thin apophyses and veins near alkaline-ultrabasic bodies. It is assumed that these gabbroids were formed as a result of crust material contamination of the primary alkaline-ultrabasic melts. The alkaline-ultrabasic rocks of all occurrences have high Cr (233–2737 ppm) and Ni (95–1022 ppm), but are unusually depleted in incompatible elements (Nb, Ta, Zr, Hf, REE, Y), with moderate Ba and Sr. Their geochemical features sharply differ from similar rocks, carbonatite and alkaline complexes known as in the Ukrainian Shield and other regions of the world. Despite the primitive composition of alkaline-ultrabasic rocks and anomalous REE depletion, their chondrite-normalized patterns have negative slopes and are similar to differentiated rocks with a prevailing of LREE (La/Yb = 6–16). The petrogenesis of such primitive and trace-element depleted alkaline-ultrabasic rocks is enigmatic. We suppose that these unusual geochemical features are the result of primary melt(s) generation from mantle source and their evolution by a similar way. For the alkaline rocks of the Horodnytsa, Hlumcha intrusions, and possibly the Hubkiv occurrence, the primary melts arose through partial melting of garnet (with amphibole?) peridotites. At the same time, the primary melt for the Bolyarka intrusion was generated by partial melting of spinel peridotite, probably in a shallower environment. The anomalous depletion at HFSE and REE can be considered as the result of specific conditions of partial melting of depleted mantle source at low temperature and pressure, when refractory minerals concentrating these elements (rutile, amphibole) remained in the restite, or due to early crystallization and fractionation of concentrating minerals (perovskite, apatite).

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

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

Цитування: Цимбал О.Ю., Дубина О.В., Кривдік С.Г. Петрологічні та геохімічні особливості лужних порід північно-західного району Українського щита. *Геологічний журнал*. 2024. № 2 (387). С. 35–62. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.2.307302>

Citation: Tsybmal O.Yu., Dubyna O.V., Kryvdik S.G. 2024. Petrological and geochemical peculiarities of alkaline rocks in the North-Western region of the Ukrainian Shield. *Geologichnij zhurnal*, 2 (387): 35–62. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.2.307302>

Вступ

За останні 20–30 років у північно-західному районі (Житомирська і Рівненська обл.) Українського щита (УЩ) було виявлено чотири невеликі інтрузії та кілька дайок лужних і сублужних порід. Це визначило цей район як нову провінцію лужного магматизму в межах УЩ. Раніше лужні породи були відомі в Приазов'ї, Побужжі та Середньому Придніпров'ї (Малотерсянський масив), а також у межах та на окраїнах Коростенського та Корсунь-Новомиргородського плутонів. До недавнього часу вважалося, що в цій новій провінції наявні тільки лужно-ультраосновні породи якупірангіт-мельтейгітової серії, які дійсно там є домінуючими. Проте за результатами детальних петрологічних досліджень виявилось, що лужно-ультраосновні породи в цьому районі також просторово асоціюють із дайковими основними породами сублужного або лужного ряду, які іноді важко відрізнити від слабо-

розкристалізованих лужно-ультраосновних порід гіпабісального дайкового типу. Обидва типи порід представлені магnezіальними різновидами, а за вмістом несумісних елементів-домішок їх можна трактувати як продукти кристалізації слабо диференційованих (примітивних) мантійних розплавів.

Невеликі інтрузії цих порід поширені на захід від Коростенського плутону на площі близько 100 × 100 км переважно серед гранітоїдів житомирського комплексу (рис. 1). Хоча досліджувані породи загалом подібні між собою в петрологічному та геохімічному аспектах, проте кожен з їхніх проявів характеризується деякими особливостями, які розглядаються нижче.

Мета роботи – узагальнення результатів опублікованих раніше досліджень лужних порід північно-західної району УЩ з останніми авторськими доповненнями та петрогенетична інтерпретація наявних матеріалів.



Рис. 1. Розташування проявів лужно-ультраосновних порід у північно-західній частині УЩ: 1 – інтрузії лужно-ультраосновних порід; 2 – плагіограніти, плагіомігматити, граніти апліто-пегматоїдні (AR₃); 3 – гнейси і сланці біотитові, графіт-біотитові (PR₁); 4 – гнейси і амфіболіти (AR₃); 5 – мігматити (PR₁); 6 – гранодіорити, діорити, монзоніти, габро, піроксеніти (PR₁); 7 – метадіабази, метаандезити, метапорфірити (PR₂); 8 – граніти і гранодіорити (PR₂); 9 – габро і габро-норити; 10 – габро-анортозити і анортозити; 11 – граніти рапаківі; 12 – сублужні граніти (PR₂); 13 – кварцити, кварцито-пісковики (PR₂); 14 – діабази, порфірити, кварцові порфіри, трахіандезити (PR₃); 15 – пісковики кварцові, конгломерати, гравеліти, діабази (PR₃); 16 – розломи; 17 – межі УЩ на дорифейському зрізі

Fig. 1. The occurrences of alkaline-ultrabasic rocks of the North-Western part of the Ukrainian Shield: 1 – intrusions of alkaline-ultrabasic rocks; 2 – plagiogranites, plagiomigmatites, aplite-pegmatoid granites (AR₃); 3 – biotite and graphite-biotite gneisses and schists (PR₁); 4 – gneisses and amphibolites (AR₃); 5 – migmatites (PR₁); 6 – granodiorites, diorites, monzonites, gabbro, pyroxenites (PR₁); 7 – metadiorites, metaandesites, metaporphyrites (PR₂); 8 – granites and granodiorites (PR₂); 9 – gabbro and gabbro-norites; 10 – gabbro-anorthosite and anorthosite; 11 – rapakivi granites; 12 – subalkaline granites; 13 – quartzites, quartzite-sandstones (PR₂); 14 – diabases, porphyrites, quartz porphyries, trachyandesites (PR₃); 15 – quartz sandstones, conglomerates, gravels, diabases (PR₃); 16 – faults; 17 – boundaries of the Ukrainian Shield on the Pre-Ryphean section

Методи досліджень. Використано традиційні петрологічні дослідження прозорих шліфів, класичні хімічні аналізи головних типів порід. Хімічний склад головних і акцесорних мінералів визначався як у концентратах хімічним методом, так і за допомогою електронної міроскопії. Особливості хімізму досліджуваних порід вивчалися на основі 127 хімічних аналізів петрогенних елементів, виконаних у хімічній лабораторії ІГМР ім. М.П. Семененка НАН України та ЦЛ ПДРГП «Північгеологія». Дані про геохімічні особливості досліджуваних порід ґрунтуються на визначенні концентрації основних елементів-домішок (12 аналізів) методом ICP MS (Acme Laboratories, Ванкувер, Канада).

Геологічне положення інтрузій лужно-ультраосновних порід та коротка їх характеристика

Городницька інтрузія лужно-ультраосновних порід – це перша знахідка лужно-ультраосновних порід у північно-західному районі УЩ (Цымбал и др., 1997). Невелика дайкоподібна інтрузія була розкрита трьома свердловинами, за якими її потужність змінюється від 10–15 до 30 м. Ізотопний вік акцесорного циркону (2111 ± 12) млн років (Цымбал и др., 2007). Порооди цієї інтрузії представлені олівіновими мельтейгітами та якупірангітами (табл. 1), які переважають в нижній (придонній) частині інтрузії. За даними петрографічних досліджень серед останніх виділялися малопотужні інтервали більш лейкократових різновидів (шари, ділянки?) ійолітового складу, які, на жаль, не аналізувалися. Якщо інтервали із ійолітовими ділянками й аналізувалися, то результати хімічного аналізу відповідають мельтейгіту. Тобто, ійоліти утворюють малопотужні виділення (таксити) в меланократовій мельтейгітовій матриці.

Головні породоутворювальні мінерали цих порід – клінопіроксен (діопсид, акмітвісний діопсид, хромдіопсид, зрідка егірин-діопсид), олівін (форстерит) і нефелін. Підпорядковане значення мають амфіболи паргаситового складу (в тому числі хромвісні), які в одних випадках явно заміщують піроксен, а в інших – можуть трактуватися як пізньюмагматичні мінерали. Аналізи піроксену, олівіну, нефеліну та амфіболів частково наводилися в попередній публікації (Цымбал и др., 1997). Останнім часом (поки ця стаття перебувала в редакції «Геологічного журналу») з'явилися окремі статті авторів по олівінах, піроксенах (Цымбал, Кривдік, 2023а, 2023б), амфіболах (Цымбал, Кривдік, 2024) і по фенітах Городницької інтрузії

(Кривдік, Цымбал, 2023а). В останній наводиться розріз Городницької інтрузії. Крім згаданих породоутворювальних мінералів, було виявлено хромшпінеліди, в тому числі глибинного походження (Цымбал и др., 1997), піропи (Цымбал та ін., 2015), а також такі характерні для гіпабісальних лужно-ультраосновних порід мінерали, як перовськіт і титанистий ($10,5\% \text{TiO}_2$) андрадит. Перовськіт до теперішнього часу достовірно було виявлено в кімберлітах Приазов'я. Можливо, цей мінерал є у вулканітах лужно-ультраосновного складу в Дніпровсько-Донецькій западині. По суті, знахідку перовськіту в породах Городницької інтрузії можна вважати другою в Україні, а такий високотитанистий андрадит є першою знахідкою в кристалічних породах України.

Майже всі породи розраховуються на такі головні норми, як діопсид + геденбергіт, форстерит + фаяліт і нефелін із порівняно невеликою кількістю альбіту та ортоклазу (альбіт і ортоклаз могли розраховуватися з кальсилітового і кремнеземистого (SiO_2) мінералів нефеліну). В окремих аналізах з якупірангітів і мельтейгітів розраховується в незначній кількості енстатитовий і феросилітовий мінерали, які входять до складу модального клінопіроксену (якщо $(\text{Ca} + \text{Na})$ в кристалохімічній формулі мінералу $< 1,0$).

Всі різновиди порід Городницької та й інших інтрузій мають високу магнезіальність ($\text{Mg}\# = \text{Mg}/(\text{Fe} + \text{Mg})$) (0,70–0,83) та низький коефіцієнт агпаїтності ($\text{PI} = (\text{Na} + \text{K})/\text{Al} = 0,26\text{--}0,65$, за винятком двох аналізів з Губківської ($\text{PI} = 1,07$ і $1,0$) та одного з Болярківської ($\text{PI} = 1,00$) інтрузій, а також ендоконтактних альбіт-діопсидових порід, де PI сягає до 0,98. В породах з високим PI піроксен представлений егірином або егірин-діопсидом (Цымбал, Кривдік, 2023б).

За співвідношенням ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) та SiO_2 породи Городницької інтрузії розташовуються в полі як лужних, так і сублужних порід, а окремі аналізи попадають в поле пікритів і перидотитів (нормальної лужності). В значній кількості досліджуваних якупірангітів і меланомельтейгітів вміст SiO_2 дещо вищий порівняно з типовими («класичними») однойменними породами з масивів карбонатитових комплексів та інших лужних порід. Це зумовлено передусім тим, що досліджувані породи мають непомірно низький вміст (як для такого типу порід) таких несилікатних мінералів, як апатит, титаномагнетит, перовськіт і, відповідно, оксидів TiO_2 , P_2O_5 , CO_2 , а також мало $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$, що разом підвищує вміст SiO_2 (див. табл. 1).

Таблиця 1. Хімічний та нормативний склад лужно-ультраосновних порід Городницької інтрузії
Table 1. Chemical and normative composition of alkaline-ultrabasic rocks of Horodnytsa intrusion

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Sample	421/ 106,1	421/ 106,4	420/ 104,4	420/ 99,7	420/ 70,4	421/ 100	421/ 80	421/ 73,1	420/ 74,5	420/ 74,5	420/ 83,6	420/ 19	420/ 24,4	420/ 29,4	421/ 87	420/ 89	420/ 42	420/ 42	420/ 42	420/ 44,5	420/ 46,5	420/ 46,5
SiO₂	46,23	49,59	44,06	42,54	43,44	45,28	44,21	43,91	45,1	43,72	43,32	42,74	45,06	44,59	44,12	42,44	43,89	41,04	43,92	43,75	43,32	43,01
TiO₂	0,41	0,48	0,26	0,27	0,27	0,41	0,51	0,34	0,6	0,48	0,25	0,27	0,39	0,42	0,42	0,46	0,41	0,29	0,27	0,27	0,36	0,3
Al₂O₃	6,71	5,09	4,36	9,26	9,3	5,9	6,33	7,03	7,24	8,95	10,04	9,73	9,65	11,24	10,47	9,37	9,59	10,89	12,42	12,9	11,68	11,97
Fe₂O₃	2,84	1,52	4,33	4,85	5,08	3,2	4,08	4,31	4,85	5,49	3,79	3,94	4,2	4,56	4,79	4,45	4,51	3,96	3,45	2,93	4,22	3,64
FeO	4,29	4,58	3,71	4,64	4,9	4,15	4,79	4,44	5,72	5,51	4,36	4,68	4,21	3,89	4,07	5,72	4,77	5,00	4,64	4,57	5,57	4,95
MnO	0,17	0,16	0,17	0,2	0,19	0,17	0,24	0,19	0,23	0,2	0,19	0,19	0,15	0,17	0,16	0,19	0,19	0,19	0,12	0,15	0,14	0,15
MgO	17,32	15,06	21,44	17,79	17,18	18,06	17,27	18,35	14,2	13,87	17,37	18,3	14,93	12,97	13,81	17,06	15,31	19,39	13,16	13,21	13,1	14,72
CaO	16,11	16,05	14,64	13,54	12,6	16,81	16,73	14,86	15,83	15,86	12,69	12,32	15,62	15,13	14,64	12,61	14,34	9,17	13,33	13,44	13,86	12,45
Na₂O	1,68	2,63	0,6	1,14	0,86	1,00	1,05	0,93	1,33	1,48	1,7	1,7	2,14	2,32	2,56	2,48	1,96	3,70	4,30	4,30	4,00	4,08
K₂O	0,7	0,7	0,32	0,62	1,00	0,3	0,4	0,55	0,6	0,62	0,74	0,74	0,81	0,94	0,74	1,00	0,77	0,94	1,22	1,04	0,83	1,01
P₂O₅	0,13	0,03	0,08	0,1	0,1	0,09	0,11	0,1	0,14	0,15	0,07	0,1	0,12	0,08	0,13	0,12	0,11	0,16	0,1	0,11	0,1	0,12
CO₂	1,33	2,88	1,76	1,19	0,91	2,91	1,05	1,56	1,61	1,26	0,4	1,12	1,12	0,98	1,05	1,05	1,07	1,02	1,02	1,15	0,8	1
S	0,05	0,05	0,06	0,09	0,07	0,13	0,06	0,08	0,08	0,14	0,09	0,04	0,06	0,05	0,1	0,07	0,08	0,01	0,09	0,08	0,12	0,08
H₂O	0,11	0,14	0,32	0,23	0,28	0,2	0,15	0,24	0,32	0,11	0,19	0,14	0,08	0,17	0,2	0,16	0,17	0,21	0,09	0,11	0,09	0,13
LOI	1,73	0,98	3,44	3,21	3,75	0,98	2,64	2,8	1,83	1,52	4,55	3,59	1,61	1,98	2,19	2,54	2,48	3,73	1,36	1,46	1,42	1,99
Total	99,81	99,94	99,55	99,67	99,93	99,59	99,62	99,69	99,68	99,36	99,75	99,6	100,15	99,49	99,45	99,72	99,65	99,7	99,49	99,47	99,61	99,6
Na₂O+K₂O	2,38	3,38	0,92	1,76	1,86	1,3	1,45	1,48	1,93	2,10	2,44	2,44	2,95	3,26	3,30	3,48	2,73	4,64	5,52	5,34	4,83	5,09
Mg/(Fe+Mg)	0,82	0,82	0,83	0,78	0,76	0,82	0,78	0,80	0,71	0,66	0,80	0,80	0,77	0,74	0,74	0,76	0,75	0,80	0,75	0,77	0,75	0,76
Na+K/Al	0,52	0,98	0,30	0,26	0,27	0,33	0,35	0,30	0,38	0,34	0,35	0,36	0,43	0,43	0,47	0,55	0,43	0,65	0,67	0,63	0,63	0,65

Таблиця 1. Хімічний та нормативний склад лужно-ультраосновних порід Городницької інтрузії (закінчення)
Table 1. Chemical and normative composition of alkaline-ultrabasic rocks of Horodnytsa intrusion (ending)

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Sample	421/ 106,1	420/ 104,4	420/ 104,4	420/ 99,7	420/ 70,4	421/ 100	421/ 80	421/ 73,1	420/ 46,5	420/ 46,5	420/ 74,5	420/ 83,6	420/ 19	420/ 24,4	420/ 29,4	421/ 87	420/ 89	420/ 42	420/ 44,5	420/ 46,5	420/ 46,5	
Normative composition (сiрw)																						
Ap	0,31	0,07	0,19	0,24	0,24	0,21	0,26	0,24	0,33	0,36	0,17	0,24	0,28	0,19	0,31	0,29	0,26	0,39	0,24	0,26	0,24	0,29
Ilm	0,79	0,92	0,52	0,53	0,53	0,79	1,00	0,67	1,17	0,93	0,50	0,53	0,75	0,82	0,82	0,90	0,80	0,58	0,52	0,52	0,70	0,58
Cal	3,09	6,63	4,18	2,81	2,16	6,72	2,47	3,67	3,75	2,93	0,96	2,66	2,59	2,29	2,46	2,46	2,51	2,42	2,37	2,67	1,85	2,33
Mag	4,20	2,23	6,55	7,31	7,68	4,71	6,11	6,47	7,21	8,14	5,78	5,96	6,18	6,79	7,16	6,65	6,74	6,00	5,10	4,34	6,24	5,41
Pyr	0,11	0,11	0,13	0,20	0,15	0,28	0,13	0,18	0,17	0,30	0,20	0,09	0,13	0,11	0,22	0,15	0,17	0,02	0,19	0,17	0,26	0,17
An	8,88	0,02	8,62	19,04	19,35	10,90	11,75	13,85	12,32	16,32	18,50	17,45	14,56	17,96	15,34	11,83	15,56	10,79	11,20	13,10	11,69	11,66
Alb	5,34	20,44	5,30	5,98	7,59	8,60	2,07	7,77	11,54	6,06	4,28	6,13	3,81	4,80	5,97	1,25	5,50	2,46	—	—	—	0,07
Ort	4,22	4,19	1,97	3,81	6,16	1,80	2,44	3,36	3,64	3,75	4,60	4,56	4,86	5,71	4,51	6,09	4,69	5,80	5,45	5,83	2,91	6,12
Di	45,19	42,55	41,08	30,66	28,18	39,55	47,53	37,49	39,35	38,69	32,11	27,40	40,58	38,07	37,86	31,48	35,73	20,62	33,99	32,26	35,79	30,91
Hed	4,63	6,48	2,01	2,57	2,62	3,33	4,73	3,02	5,60	4,76	3,00	2,71	3,59	2,98	2,80	4,05	3,71	2,15	4,76	4,82	5,89	4,19
En	—	—	6,81	—	1,89	5,82	—	—	0,08	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Fs	—	—	0,38	—	0,20	0,56	—	—	0,01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Fo	16,18	12,78	20,95	22,31	20,79	15,10	15,69	20,96	12,58	12,20	21,48	24,42	13,28	10,89	12,54	20,46	15,94	28,64	12,39	13,07	11,68	16,31
Fa	2,09	2,46	1,30	2,36	2,44	1,61	1,97	2,13	2,26	1,90	2,53	3,05	1,49	1,08	1,17	3,33	2,09	3,77	2,19	2,47	2,43	2,80
Ne	4,97	1,12	—	2,19	—	—	3,85	0,20	—	3,66	5,88	4,81	7,90	8,33	8,86	11,04	6,28	16,38	20,10	20,13	18,69	19,15
Leu	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,49	0,35	1,64	—

*Примітка: 1, 2 – ендоконтактова фація (контативної якупірангіти); 3-7 – якупірангіти збагачені форстеритом; 8 – середній склад із п'яти аналізів збагачених форстеритом якупірангітів; 9-16 – олівіної якупірангіти з деяко підвищеним вмістом нефеліну; 17 – середній склад якупірангіту із восьми аналізів (ан. 9-16); 18-21 – меланократові олівінові мелтеїгіти; 22 – середній склад меланократового олівінового мелтеїгіту з чотирьох аналізів (ан. 18-21).

*Note: 1, 2 – endocontact facies (contaminated jacupirangites); 3-7 – jacupirangites enriched in olivine; 8 – average chemical composition of jacupirangite enriched in olivine (an. 3-7); 9-16 – olivine jacupirangites with some increased nepheline contents; 17 – average composition of jacupirangite (an. 9-16); 18-21 – melanocratic olivine melteigite (an. 18-21).

Якщо порода складається з 60–80 % діопсиду (47–53 % SiO_2) і 20 % нефеліну (43–44 % SiO_2), то вміст SiO_2 може досягати 50 % і більше, тобто таких значень, як у основних породах. Незначний вміст несиликатних мінералів дещо понижує розрахований вміст SiO_2 , але здебільшого він все ж таки вищий порівняно з однотипними та однойменними породами з інших регіонів, як це чітко проявляється на діаграмі $\text{MgO} - \text{SiO}_2$ (рис. 2). Ще контрастніше це видно на діаграмі $\text{MgO} - \text{TiO}_2$ (див. рис. 2). Виходячи з цих міркувань, діаграма $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{SiO}_2$ не наводиться, оскільки діаграми $\text{MgO} - \text{TiO}_2$ і $\text{MgO} - \text{SiO}_2$ є, на нашу думку, більш інформативними і розділяють досліджувані та однотипні породи з інших регіонів.

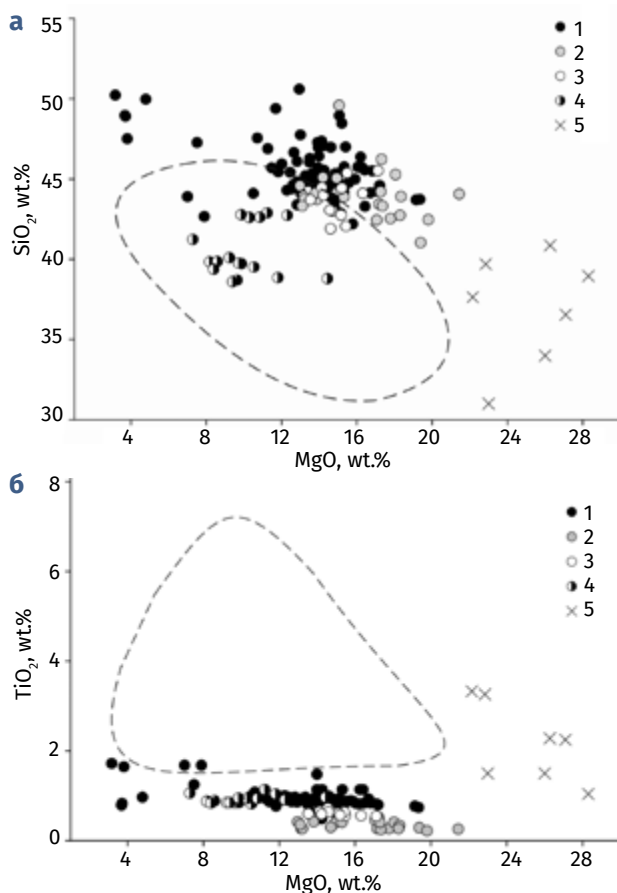


Рис. 2. Діаграми $\text{SiO}_2 - \text{MgO}$ та $\text{TiO}_2 - \text{MgO}$ лужних порід північно-західної частини УЩ. Інтрузії: 1 – Глумчанська; 2 – Городницька; 3 – Болярківська; 4 – Губківська; 5 – лужні пікріти Східно-Африканської рифтової зони (Белоусов и др., 1974), Кольського півострова (Арзамасцев и др., 1988; Калинин, Арзамасцев, 1991; Русанов и др., 1989, 1993), Маймеча-Котуйської провінції (Егоров, 1991). Пунктирна лінія – поле гіпабісальних і ефузивних порід Східно-Африканської рифтової зони, Хібінського масиву і Кольського півострова

Fig. 2. Diagrams $\text{SiO}_2 - \text{MgO}$ and $\text{TiO}_2 - \text{MgO}$ of alkaline rocks of the North-Western part of the Ukrainian Shield. Intrusions: 1 – Hlumcha; 2 – Horodnitsa; 3 – Bolyarka; 4 – Hubkiv; 5 – alkaline picrites of the East-African rift (Belousov et al., 1974), Kola peninsula (Arzamastsev et al., 1988; Kalinkin, Arzamastsev, 1991; Rusanov et al., 1989, 1993), the Maimecha-Kotui province (Egorov, 1991). Dotted line – field of hypabissal and effusive rocks from the East African rift, the Khibina massif and Kola peninsula

Зауважимо, що підвищений вміст SiO_2 спостерігався в лужно-ультраосновних породах з едо-контактів інтрузій (див. табл. 1), що, вочевидь, зумовлено контамінацією розплаву кислим матеріалом вміщувальних гранітоїдів. У таких контамінованих різновидах порід зменшується (аж до повного зникнення) вміст олівіну та нефеліну. В деяких випадках фіксувалися гібридні безнефелінові породи альбіт-діопсидового складу.

Губківський прояв (від с. Губків, Рівненська обл.) є на теперішній час крайнім західним проявом лужно-ультраосновних порід північно-західного району (див. рис. 1). Породи були розкриті лише однією свердловиною, яка перетнула три зближені малопотужні (1,1; 1,65 і 1,0 м) дайки. За результатами петрографічних досліджень і хімічного аналізу діагностовані як олівінові нефелініти або мельтейгіт-порфіри. За співвідношенням $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ та SiO_2 ці породи розташовуються у полі мелілітитів, що, очевидно, і було підставою до віднесення цих порід до олівін-мелілітових меланонфелінітів у роботі (Баран, 2012). Незважаючи на можливість кристалізації меліліту в породах такого складу, достовірно меліліт не було виявлено. Про можливість існування меліліту в лужно-ультраосновних породах північно-західної частини УЩ можуть свідчити поодинокі знахідки зерен хуаніту (продукт заміщення меліліту) (Кривдик, Цымбал, 2023б) серед амфіболів (у препараті – шашка з епоксиду для мікрозондових досліджень) Болярківського і Глумчанського проявів. В деяких аналізах з порід Губківського прояву розраховується нормативний ларніт (Ca_2SiO_4), що могло б свідчити про наявність меліліту. Проте це зумовлено тим, що під час виконання хімічного аналізу таких порід не визначався вміст CO_2 (який, вочевидь, входить (включено) у LOI) і відповідно замість нормативного кальциту розраховується ларніт (табл. 2).

На діаграмі $\text{SiO}_2 - \text{MgO}$ нефелініти Губківського прояву розташовуються в полі гіпабісальних і вулканічних лужно-ультраосновних порід Східно-Африканського рифту (Белоусов и др., 1974), Кольського півострова (Арзамасцев и др., 1988; Русанов и др., 1989, 1993; Калинин, Арзамасцев, 1991) і Маймеча-Котуйської провінції (Егоров, 1991). Проте порівнювані породи чітко розрізняються за вмістом титану (див. рис. 2). В той же час розглянуті вище якупірангіт-мельтейгіти Городницької інтрузії, а також лужні породи ділянки Глумча (розглядаються нижче) тільки частково попадають в це поле. Нефелініти та мельтейгіт-порфіри Губківського прояву відрізняються від мельтейгіт-якупірангітів

Таблиця 2. Хімічний та нормативний склад лужно-ультраосновних порід (мельтейгіт-порфірів) Губківської інтрузії (св. С-А-33)
Table 2. Chemical and normative composition of alkaline-ultrabasic rocks (melteigite-porphyrtes) of Hubkiv intrusion (bore-hole C-A-33)

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Deep, m	12,95	13,15	13,2	13,5	14,05	14,45	14,55	14,7	15,3	15,8	16,3	16,5	16,8	17	19,35	19,9	20	TS-3
SiO ₂	42,89	38,86	38,8	41,24	42,74	39,84	39,86	39,72	38,7	39,52	39,76	40,1	38,6	39,38	42,62	42,6	42,78	43,40
TiO ₂	1,14	1,04	0,97	1,06	0,91	0,88	0,89	0,85	0,85	0,82	0,85	0,85	0,85	0,84	0,94	0,94	0,95	0,96
Al ₂ O ₃	13,48	11,42	10,95	15,04	11,58	13,88	15,06	12,86	13,6	18,88	13,38	13,9	13,69	13,47	12,5	12,5	12,44	12,33
Fe ₂ O ₃	7,41	5,83	5,95	6,90	4,79	6,47	5,27	5,49	5,85	5,54	5,37	5,44	5,54	5,31	5,19	5,50	5,33	1,58
FeO	4,77	4,67	4,43	4,10	5,08	3,44	4,26	4,15	4,26	4,10	4,26	4,10	4,20	4,10	4,59	4,26	4,59	8,04
MnO	0,18	0,20	0,22	0,20	0,19	0,22	0,21	0,21	0,19	0,20	0,19	0,19	0,20	0,19	0,19	0,20	0,19	0,17
MgO	11,24	11,81	14,44	7,29	12,31	8,18	8,59	9,88	9,64	10,53	9,72	9,23	9,4	8,4	10,85	10,3	9,86	10,24
CaO	5,63	10,65	10,33	9,02	8,36	10,89	11	11,38	10,23	11,44	10,98	10,52	11,44	11,6	10,3	11,0	11,0	10,77
Na ₂ O	4,97	5,35	5,15	7,18	6,61	7,17	6,25	6,75	8,33	6,06	7,00	6,83	5,68	7,41	5,66	5,5	5,44	4,85
K ₂ O	1,78	1,62	1,4	1,17	1,54	1,22	1,25	1,16	0,84	1,09	1,09	1,00	1,33	1,06	1,42	1,52	1,19	1,16
P ₂ O ₅	0,21	0,16	0,16	0,18	0,14	0,16	0,39	0,15	0,09	0,12	0,11	0,1	0,19	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15
CO ₂	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,61
SO ₃	0,67	0,62	0,65	0,62	0,76	0,49	0,5	0,5	0,68	0,67	0,68	0,55	0,6	0,6	0,65	0,67	0,69	—
S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,25
LOI	5,31	7,54	6,33	5,68	4,68	6,7	6,35	6,5	6,33	6,72	6,15	6,69	7,9	7,14	4,81	4,81	4,93	4,80
Total	99,5	99,66	99,53	99,57	99,64	99,5	99,77	99,51	99,51	99,53	99,51	99,5	99,57	99,64	99,8	99,85	99,5	100,83
Na ₂ O+K ₂ O	6,75	6,97	6,55	8,35	8,15	8,39	7,50	7,91	9,17	7,15	8,09	7,83	7,01	8,47	7,08	7,02	6,63	6,01
Mg/Mg+Fe	0,63	0,68	0,72	0,55	0,70	0,61	0,62	0,65	0,64	0,67	0,55	0,64	0,64	0,62	0,67	0,66	0,65	0,65
(Na+K)/Al	0,75	0,92	0,91	0,87	1,08	0,94	0,77	0,96	1,07	0,59	0,95	0,89	0,79	0,99	0,87	0,86	0,82	0,75
Normative composition (CIPW)																		
An	12,39	4,95	5,29	8,08	—	4,12	11,96	3,36	—	23,95	4,59	6,78	11,05	2,68	7,20	7,72	9,00	8,94
Alb	21,01	—	—	7,77	4,41	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,40	1,92	5,74	5,25
Ort	11,29	—	—	7,44	9,72	—	1,53	—	—	—	—	2,18	—	—	8,94	9,56	7,53	7,26
Acm	—	—	—	—	0,73	—	—	—	0,72	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Di	12,18	33,04	29,92	29,66	30,50	41,21	31,70	35,23	29,95	14,18	34,51	36,04	31,15	35,00	33,18	36,14	34,64	25,21
Hed	0,41	2,36	1,47	0,64	3,66	—	3,09	2,59	2,32	0,93	2,90	2,71	2,44	3,07	3,15	2,58	3,46	10,03
Fo	17,10	11,88	17,59	4,06	13,03	2,14	5,88	7,26	8,55	14,19	7,19	5,84	7,98	4,67	9,39	7,40	7,17	10,73
Fa	0,73	1,07	1,09	0,11	1,98	—	0,72	0,67	0,84	1,17	0,76	0,56	0,79	0,52	1,13	0,67	0,90	5,40
Ne	10,52	24,50	23,08	28,85	27,08	33,84	29,01	31,63	38,41	25,98	32,19	31,97	26,37	34,82	23,33	23,27	20,97	20,69
Leu	—	8,24	7,03	—	—	6,15	5,05	5,83	4,23	5,17	5,48	3,34	6,80	5,37	—	—	—	—
Lar	—	2,10	2,79	—	—	0,17	—	2,67	4,15	4,34	1,90	—	2,30	3,36	—	—	—	—
Ap	0,52	0,41	0,40	0,45	0,35	0,40	0,98	0,38	0,23	0,28	0,28	0,25	0,49	0,35	0,37	0,37	0,37	0,37
Ilm	2,32	2,17	2,00	2,17	1,85	1,82	1,82	1,75	1,75	1,59	1,75	1,76	1,78	1,74	1,90	1,90	1,93	1,93
Mt	11,53	9,28	9,35	10,77	6,68	10,06	8,25	8,63	8,85	8,21	8,45	8,59	8,86	8,42	8,01	8,49	8,27	2,43
Hem	—	—	—	—	—	0,09	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Городницької інтрузії загалом вищим вмістом лугів (і відповідно нефеліну), вищим PI (частіше 0,8–0,9, рідше перевищує одиницю (1,07–1,08)) та нижчим – MgO (див. табл. 2). Також породи ділянки Губкова дещо вирізняються вищим вмістом TiO_2 , що інколи перевищує 1 %, тоді як у Городницькій інтрузії цей показник рідко досягає 0,5 %. Разом з тим губківські лужно-ультраосновні породи, як і загалом по району, залишаються низькотитанистими порівняно з типовими представниками цієї родини порід в інших регіонах (див. рис. 2).

Серед фемічних мінералів Губківського прояву найбільш дослідженими є амфіболи, серед яких переважають низькоглиноземисті різновиди (рихтерити), з доволі високим (як для такого типу мінералів) вмістом TiO_2 (до 3,20 %), іноді трапляються магнорибекіти. Серед клінопіроксенів виявлено проміжні між діопсидом та егірином різновиди (егірин-діопсиди), є також егірини. Серед піроксенів також трапляються різновиди з підвищеним вмістом TiO_2 (до 1,50–1,65 %), чим вони відрізняються від клінопіроксенів з інших проявів лужно-ультраосновних порід району.

Загалом, досліджувані породи Губкова за вмістом MgO та SiO_2 є найближчими до типових однойменних порід в інших регіонах, хоч, як зазначалося вище, за геохімічними особливостями вони залишаються специфічними.

Болярківська інтрузія (с. Болярка) локалізується близько 10 км на захід від с. Ємільчине і приблизно на такій же відстані на південний схід від с. Мала Глумча. Породи інтрузії було розкрито двома свердловинами, за даними яких вони представлені дайкою потужністю близько 10 м із крутим (до вертикального) заляганням і падінням на південний захід. Вік порід інтрузії за цирконом 2100 млн років (Цымбал и др., 2007), дані K-Ar датування по різних типах амфіболу дають вік в інтервалі від (2000 ± 25) до (1885 ± 40) млн років (Цымбал и др., 2008).

Серед лужно-ультраосновних порід дайки переважають олівінові мельтейгіти, підпорядковане значення мають олівінові якупірангіти і рідше трапляються йоліти. За хімічним і мінеральним складом порід та особливостями фемічних мінералів Болярківська дайка є проміжною між Городницькою інтрузією і дайками Губківського прояву (табл. 3). Піроксени представлені переважно Cr-вмісними діопсидами, але трапляються і перехідні між діопсидом та егірином егірин-діопсиди. Амфіболи мають широкий діапазон варіацій хімічного складу – від паргаситів, близьких

до таких Городницької та Глумчанської інтрузій, через проміжні серії паргасит – Mg-катофорит – (Mg-тараміт) і до Mg-рихтеритів і зрідка серії Mg-рибекіт – Mg-арфведсоніт.

За вмістом SiO_2 і (Na_2O+K_2O) досліджувані породи можна класифікувати як лужні і частково сублужні. Проте за низькою титанистістю на діаграмах MgO – SiO_2 та MgO – TiO_2 (див. рис. 2) (і низьким вмістом несумісних елементів-домішок) досліджувані породи чітко відрізняються від типових лужно-ультраосновних порід, характерних для карбонатитових і лужних комплексів інших регіонів (Східно-Африканської рифтової зони, Кольського півострова (іванівський комплекс) і Маймеча-Котуйської провінції, в тому числі УЩ (Приазов'я)). Зауважимо, що в породах Болярки дещо вищий вміст TiO_2 порівняно з такими Городниці і Глумчи (див. табл. 3, рис. 2), але вони все ще залишаються низькотитанистими, як і породи інших проявів досліджуваного району. В них також вищий PI (до 1,00). Можливо, в незмінених породах був в незначній кількості наявний і меліліт, оскільки, як згадувалося вище, були знахідки мінералу, який розраховується на кристалохімічну формулу хуаніту.

Глумчанська ділянка є найбільшим проявом лужно-ультраосновних порід у досліджуваному районі, де виявлено власне Глумчанську інтрузію розміром 250×180 м, а також дайковий пояс (комплекс) Покошівської зони північно-східного простягання. Пояс дайок простягається в північно-східному напрямку на відстань близько 2,75 км (Кривдик и др., 2003). Вік інтрузії за акцесорним цирконом сягає (2016 ± 15) млн років (Цымбал и др., 2007). Породи Глумчанської інтрузії представлені переважно амфіболізованими якупірангітами або меланомельтейгітами. Породи більш розкриталізовані порівняно з розглянутими вище Болярківської та Губківської інтрузій. Розкриталізованість порід Глумчанської інтрузії, приміром, така ж або дещо інтенсивніша, як і в Городницькій інтрузії. Проте породи Глумчанської інтрузії доволі сильно змінені (амфіболізовані та альбітизовані). Первинний нефелін заміщується шпреуштейном, альбітом, цеолітами і серицитом. З первинних мінералів менш змінені залишився тільки клінопіроксен (діопсид, акмітвмісний діопсид). Псевдоморфози дрібного вторинного амфіболу заміщують навіть олівін. Проте в породах залишився амфібол, який, ймовірно, є пізньомагматичним (або й частково первинним). Він утворює порівняно крупні зерна зональної будови.

Таблиця 3. Хімічний та нормативний склад лужно-ультраосновних порід (олівінових мельтейгітів) Болярківської інтрузії
Table 3. Chemical and normative composition of alkaline-ultrabasic rocks (olivine melteigites) of Bolyarka intrusion

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Rock	Xen	Ol-Mlt	Ol-Mlt	Ol-Mlt	Ol-Mlt	Ol-Mlt	Ol-Mlt	Ol-Mlt	Ol-Mlt	Ol-Mlt	Ol-Mlt		
Deep, m	43,35	47,6	53,7	58,2	63,5	37	48	49	51	58,3	59	Ts-4	Ts -5
SiO ₂	48,28	44,47	43,7	45,37	43,06	42,06	41,9	42,76	45,52	44,36	44,1	43,99	44,44
TiO ₂	1,14	0,65	0,6	0,56	0,72	0,64	0,64	0,59	0,55	0,61	0,56	0,59	0,57
Al ₂ O ₃	20,05	10,36	11,27	9,21	11,02	11,37	11,37	10,33	8,81	9,85	9,34	10,26	9,46
Fe ₂ O ₃	2,82	4,88	5,5	4,8	4,45	5,02	3,96	4,07	4,26	3,19	2,91	1,63	1,51
FeO	7,8	4,73	4,02	4,41	4,98	4,42	5,29	5,23	5,62	5,62	5,71	8,31	7,7
Cr ₂ O ₃	0,046	0,15	0,15	0,14	0,093	0,12	0,12	0,12	0,14	0,09	0,09	0,15	0,14
NiO	0,01	0,029	0,034	0,037	0,022	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	—	—
CoO	0,003	0,006	0,006	0,007	0,006	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	—	—
MnO	0,12	0,17	0,17	0,17	0,13	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,18	0,16
MgO	4,9	14,14	13,53	15,48	14,56	15,42	14,6	15,16	17,12	15,12	16,32	14,23	15,20
CaO	1,03	9,55	8,68	11,42	11,02	9,36	9,95	10	7,49	10,78	12,52	8,71	10,89
Na ₂ O	5,01	4,62	5,96	3,45	5,06	4,67	4,52	4,52	3,98	3,88	2,84	5,24	4,17
K ₂ O	5,6	1,39	1,34	0,58	0,77	1,52	1,49	1,22	1,29	1,2	1,75	0,84	0,61
P ₂ O ₅	0,08	0,15	0,15	0,07	0,09	0,22	0,18	0,18	0,15	0,12	0,12	0,24	0,14
CO ₂	0,11	1,06	1,06	0,73	2,79	—	—	—	—	—	—	1,03	0,87
SO ₃	0,1	0,42	0,42	0,52	0,42	0,48	0,15	0,15	0,15	0,5	0,5	—	—
S _{tot}	0,03	0,17	0,16	0,21	0,17	—	—	—	—	—	—	0,15	0,15
F	0,2	0,1	0,09	0,05	0,05	—	—	—	—	—	—	—	—
H ₂ O	0,33	0,25	0,32	0,24	0,26	0,1	0,2	0,16	0,36	0,02	0,02	—	—
LOI	2,64	4,08	4,14	3,62	3,34	4,03	5,36	5,2	4,32	4,42	3,19	4,20	3,70
Total	99,65	99,8	99,67	99,53	99,73	99,64	99,74	99,74	99,67	99,65	99,86	100,35	100,27
Mg/Mg+Fe	0,46	0,73	0,73	0,76	0,74	0,75	0,75	0,75	0,76	0,76	0,78	0,72	0,75
Na+K/Al	0,71	0,88	1,00	0,68	0,83	0,82	0,80	0,85	0,90	0,78	0,70	0,93	0,79
Na ₂ O+K ₂ O	10,61	6,01	7,3	4,03	5,83	6,19	6,01	5,74	4,27	5,08	4,59	6,08	4,78
Normative composition (CIPW)													
An	2,55	5,08	—	10,13	6,64	7,66	7,30	5,12	3,04	8,10	9,70	2,10	5,55
Di	—	25,71	26,80	31,72	21,50	29,23	30,59	32,43	24,61	32,52	37,04	24,34	30,57
Hed	—	2,26	1,23	2,22	2,16	2,14	4,18	4,18	3,11	5,25	5,92	7,73	8,38
Alb	22,97	14,29	13,80	16,65	14,87	0,74	—	1,79	15,85	5,17	—	9,06	6,07
Ort	34,08	8,55	8,26	3,57	4,62	9,51	5,07	7,66	8,04	7,50	0,70	5,23	3,78
Fo	8,81	17,33	16,19	17,81	18,80	18,98	17,18	17,58	23,51	17,36	17,66	18,28	17,88
Fa	8,17	1,92	0,97	1,57	2,38	1,76	2,97	2,87	3,76	3,54	3,57	7,34	6,19
Ne	10,84	12,74	19,90	5,52	13,97	20,45	21,49	20,48	10,09	14,14	11,72	20,42	16,75
Leu	—	—	—	—	—	—	3,37	—	—	—	7,90	—	—
Ap	0,20	0,38	0,38	0,17	0,22	0,54	0,44	0,44	0,37	0,29	0,29	0,59	0,34
Flu	0,49	0,22	0,20	0,11	0,11	—	—	—	—	—	—	—	—
Pyr	0,07	0,38	0,35	0,46	0,37	—	—	—	—	—	—	0,34	0,33
Ilm	2,23	1,28	1,19	1,11	1,39	1,29	1,29	1,19	1,10	1,23	1,11	1,18	1,13
Ca	0,26	2,51	2,51	1,73	6,44	—	—	—	—	—	—	0,67	0,52
Cor	5,11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mt	4,21	7,36	8,31	7,24	6,55	7,70	6,11	6,27	6,51	4,89	4,40	2,72	2,51

*Примітки. Ан. 2-5 – св. 904; ан. 6-11 – св. 904В. Xen – ксеноліт (змінений ксеноліт); Ol-Mlt – олівіновий мельтейгіт.

*Notes: An. 2-5 from 904 dill-hole; an. 6-11 – 904B dill-hole. Xen – shale xenolith (altered xenolith); Ol-Mlt – olivine melteigite.

Таблиця 4. Хімічний та нормативний склад лужних порід Глумчанської ділянки
Table 4. Chemical and normative composition of alkaline rocks of Hlumcha area

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Drill-holes	635	635	636	127	127	127	127	127	127	127	127	127	133	133	136	136	136	136	136	140	140	140	141
Deep, m	17,7	18	19,3-20	29,0	29,8	30,1	31,0	32,3	33,1	33,5	34,2	34,7	29,0	30,0	18,1	26,8	45,4	60,0	61,4	72,6	72,7	73,4	17,5
SiO₂	44,64	44,8	46,67	46,42	46,37	45,54	45,74	45,42	45,76	45,75	45,56	45,71	45,44	45,94	47,07	44,86	46,98	50,60	47,55	44,96	47,75	46,96	48,96
TiO₂	1,44	1,12	1,28	1,14	0,82	1,14	1,14	0,94	1,14	0,83	1,14	0,86	0,77	0,90	0,49	0,64	0,99	0,86	1,08	1,48	0,92	0,89	0,79
Al₂O₃	12,07	13,18	12,61	10,81	10,90	10,99	9,91	10,90	10,97	9,43	9,67	11,62	12,69	12,28	10,71	11,90	11,15	10,27	13,96	11,24	12,01	11,20	22,78
Fe₂O₃	1,69	5,57	2,89	4,96	6,43	4,49	4,48	4,73	5,20	7,10	5,06	5,61	5,86	6,38	4,54	5,06	2,46	1,93	2,31	3,44	3,11	2,65	2,29
FeO	10,01	4,97	7,72	4,52	2,84	5,63	4,95	5,67	5,17	3,68	4,45	3,38	3,50	3,31	5,67	7,32	7,99	7,36	7,68	6,97	6,68	7,22	5,05
MnO	0,14	0,15	0,15	0,25	0,16	0,31	0,24	0,24	0,24	0,18	0,16	0,15	0,16	0,18	0,23	0,23	0,21	0,16	0,15	0,19	0,14	0,19	0,06
MgO	13,78	15,36	13,16	13,99	16,20	14,26	16,26	15,17	15,33	16,05	16,42	13,94	11,83	12,01	14,24	13,62	14,62	12,94	10,71	13,99	13,00	13,96	3,69
CaO	6,16	6,16	7,39	9,29	7,75	8,22	8,25	7,98	8,02	7,62	9,67	9,43	8,59	8,86	8,88	7,80	5,06	6,58	3,79	5,49	3,28	5,35	2,86
Na₂O	3,49	3,02	3,28	4,30	4,02	3,90	3,60	4,10	3,80	4,16	3,50	3,76	3,95	3,81	1,58	1,20	1,80	2,32	3,53	3,20	2,65	2,21	2,09
K₂O	2,6	1,32	2,3	1,10	1,64	1,49	1,99	1,60	1,60	1,45	1,40	1,05	2,62	2,21	2,02	2,99	4,28	2,94	4,41	4,69	4,69	4,29	7,55
P₂O₅	0,36	0,17	0,25	0,22	0,15	0,22	0,18	0,26	0,24	0,20	0,36	0,17	0,20	0,17	0,18	0,41	0,22	0,21	0,26	0,30	0,23	0,24	1,24
CO₂	1,01	—	0,77	—	0,11	—	—	—	—	0,51	—	1,79	1,54	1,54	0,33	0,58	0,28	0,18	0,18	1,00	1,45	1,50	0,18
SO₃	—	—	—	—	0,07	—	—	—	—	0,07	—	0,07	0,02	0,05	0,57	0,06	0,09	0,08	0,80	—	2,17	1,22	0,02
S	0,13	0,25	—	0,03	0,03	0,04	0,03	—	—	0,03	0,02	0,03	—	—	—	—	—	—	—	0,73	0,87	0,49	0,01
F	—	—	—	—	0,05	—	—	—	—	0,05	—	0,08	0,05	0,07	0,11	0,16	0,12	0,12	0,07	—	0,10	0,10	0,12
-H₂O⁻	0,1	0,76	0,06	0,10	0,28	0,05	0,04	0,04	0,07	0,24	0,15	1,36	0,02	0,02	0,28	0,04	0,10	0,64	0,10	0,29	0,15	0,01	0,01
LOI	1,8	3,59	1,15	2,48	2,39	3,30	2,81	2,69	2,19	2,93	2,77	4,12	3,98	3,54	3,37	3,57	3,82	3,19	3,59	2,94	4,37	4,49	2,22
Cr₂O₃	0,13	0,07	0,13	—	0,12	—	—	—	—	0,13	—	0,13	0,07	0,08	0,16	0,13	0,07	0,07	0,07	—	0,08	0,07	0,04
NiO	—	—	—	—	0,05	—	—	—	—	0,05	—	0,03	0,05	0,06	0,06	0,05	0,07	0,06	0,05	—	0,07	0,07	0,01
Total	99,62	100,49	99,81	99,48	99,83	99,49	99,55	99,70	99,66	99,56	100,16	99,96	99,71	99,72	99,20	99,78	99,72	99,49	99,14	98,89	98,97	99,79	99,63
Na₂O+K₂O	6,09	4,34	5,58	5,40	5,66	5,39	5,59	5,70	5,40	5,61	4,90	4,81	6,57	6,02	3,60	4,19	6,08	5,26	7,194	7,89	7,34	6,50	9,64
Mg/Mg+Fe	0,68	0,73	0,69	0,74	0,77	0,72	0,76	0,73	0,74	0,74	0,76	0,75	0,71	0,70	0,72	0,67	0,72	0,72	0,66	0,71	0,71	0,72	0,48
Na+K/Al	0,71	0,49	0,63	0,76	0,77	0,73	0,81	0,78	0,73	0,89	0,75	0,63	0,74	0,71	0,45	0,44	0,68	0,68	0,76	0,92	0,79	0,74	0,51

Таблиця 4. Хімічний та нормативний склад лужних порід Глумчанської ділянки (продовження)
 Table 4. Chemical and normative composition of alkaline rocks of Hlumcha area (continuation)

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Drill-holes	635	635	636	127	127	127	127	127	127	127	127	127	133	133	136	136	136	136	136	140	140	140	141
Deep, m	17,7	18	19,3-20	29,0	29,8	30,1	31,0	32,3	33,1	33,5	34,2	34,7	29,0	30,0	18,1	26,8	45,4	60,0	61,4	72,6	72,7	73,4	17,5
Normative composition (CIPW)																							
An	9,81	19,25	13,07	7,16	7,26	8,40	5,17	6,82	8,36	3,10	6,71	12,24	9,48	10,27	18,74	19,04	10,39	9,52	12,43	2,51	5,26	12,38	5,07
Di	7,38	8,46	11,10	28,55	23,52	22,73	26,05	22,64	22,34	24,11	29,91	17,44	17,49	18,14	15,71	8,96	7,41	13,09	2,33	11,54	—	1,92	—
Hed	2,71	—	—	1,95	—	2,92	2,18	2,82	1,92	—	1,51	0,14	0,33	—	2,41	1,98	2,03	3,84	0,82	1,84	—	0,43	—
En	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17,25	6,68	—	9,67	—	—	31,13	12,76	3,86
Fs	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,03	1,69	—	3,25	—	—	6,43	3,31	2,59
Alb	13,98	23,52	18,36	17,11	17,21	15,50	10,64	13,10	15,05	20,66	11,54	26,16	17,12	21,17	9,95	10,07	12,97	19,77	18,52	5,64	8,28	10,86	17,96
Ort	15,72	8,11	13,78	6,70	9,92	9,15	12,15	9,75	9,70	8,81	8,49	6,35	15,91	13,35	12,33	18,22	26,25	17,98	26,98	28,37	27,95	25,72	45,65
Fo	22,21	25,14	19,69	15,89	21,30	18,48	20,87	19,94	20,19	20,97	19,70	19,21	15,53	15,54	8,48	16,93	24,07	12,34	18,60	21,25	1,07	15,15	3,88
Fa	10,29	1,72	6,52	1,37	—	3,00	2,21	3,14	2,19	—	1,26	0,19	0,37	—	1,64	4,73	8,35	4,58	8,24	4,28	0,24	4,33	2,87
Ne	8,80	1,66	5,30	11,04	9,29	10,18	11,29	12,28	9,72	8,16	10,22	3,20	9,26	6,20	—	—	1,20	—	3,78	11,96	—	—	—
Ap	0,85	0,41	0,59	0,53	0,37	0,53	0,43	0,62	0,57	0,49	0,86	0,42	0,49	0,42	0,45	1,02	0,55	0,52	0,65	0,71	0,56	0,59	3,05
Flu	—	—	—	—	0,06	—	—	—	—	0,04	—	0,11	0,04	0,09	0,17	0,20	0,18	0,18	0,06	—	0,13	0,13	—
Then	—	—	—	—	0,13	—	—	—	—	0,13	—	0,13	0,04	0,09	1,04	0,11	0,17	0,15	1,47	—	3,88	2,20	0,04
Pyr	0,28	0,55	—	0,07	0,07	0,09	0,07	—	—	0,07	0,04	0,07	—	—	—	—	—	—	—	1,58	1,86	1,05	0,02
Chr	0,30	0,11	0,19	—	0,18	—	—	—	—	0,20	—	0,20	0,11	0,12	0,24	0,20	0,11	0,11	0,11	—	0,12	0,10	0,05
Ilm	2,80	2,21	2,47	2,23	1,59	2,25	2,24	1,84	2,22	1,62	2,22	1,67	1,50	1,75	0,96	1,25	1,95	1,69	2,12	2,88	1,76	1,71	1,54
Ca	2,35	—	1,78	—	0,26	—	—	—	—	1,19	—	4,16	3,60	3,58	0,78	1,36	0,66	0,42	0,42	2,33	3,33	3,46	0,42
Cor	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9,60
Mt	2,51	8,40	4,25	7,41	7,33	6,76	6,71	7,07	7,73	10,16	7,53	8,32	8,73	8,89	6,80	7,57	3,70	2,90	3,47	5,11	4,55	3,90	3,40
Hem	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,29	—	—	—	0,39	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблиця 4. Хімічний та нормативний склад лужних порід Глумчанської ділянки (продовження)
Table 4. Chemical and normative composition of alkaline rocks of Hlumcha area (continuation)

No	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
Drill-holes	141	141	141	141	141	141	141	142	142	142	142	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143
Deep, m	18,4	23,3	24,8	40,2	40,3	73	76,5	47,8	84,9	85,3	85,5	37,1	37,1	37,9	38	38,1	38,8	39	39,2	39,5	40	40,1	41,5	41,7
SiO₂	48,91	49,97	43,9	47,37	42,66	48,47	47,28	49,39	45,7	47	46,29	44,83	46,1	46,05	45,3	44,23	45,33	44,85	44,07	44,76	44,72	44,65	44,86	44,57
TiO₂	0,83	0,97	1,68	0,87	1,68	0,77	0,97	0,91	0,87	0,82	0,81	0,97	0,93	0,93	0,87	0,82	0,87	0,91	0,9	0,88	0,9	0,96	0,97	0,93
Al₂O₃	23,24	18,99	16,51	12,29	20,45	10,5	12,46	11,69	12,52	10,47	12,43	11,47	11,74	11,48	10,96	9,42	10,95	11,45	10,96	10,01	10,94	12,67	11,95	10,66
Fe₂O₃	2,93	1,75	4,4	2,42	1,66	1,68	1,99	2,96	4,97	4,41	3,34	4,48	4,27	3,87	3,78	3,85	3,98	4,65	4,47	4,55	4,44	4,65	4,49	4,44
FeO	5,12	6,65	8,8	6,43	9,55	7,22	7,39	7,31	8,72	7,06	8,73	5,4	5,58	6,52	5,61	5,95	4,89	4,83	5,11	4,94	4,28	4,83	4,83	4,28
MnO	0,06	0,09	0,1	0,18	0,12	0,24	0,15	0,16	0,25	0,17	0,19	0,17	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,17	0,16	0,16	0,17
MgO	3,71	4,79	7,01	14,13	7,9	15,2	13,92	11,69	11,48	15,4	13,5	12,84	12,82	13,48	14,18	17,12	14,85	13,3	13,04	15,56	14,65	12,62	13,38	13,83
CaO	2,53	4,4	9,03	8,81	3,54	6,73	3,62	5,83	6,05	6,27	5,28	9,63	8,79	8,52	9,00	8,5	8,9	9,57	10,77	9,72	9,62	9,22	9,9	10,75
Na₂O	1,98	2,35	1,87	0,97	2,74	0,91	2,39	2,57	3,16	2,11	2,36	5,38	3,95	4,95	3,88	3,67	3,82	4,2	4,51	4,15	5,13	4,42	3,95	4,84
K₂O	7,45	6,32	3,02	2,82	5,6	4,39	4,69	3,61	1,92	3,08	3,13	1,27	1,27	1,43	1,8	2,56	1,45	1,42	1,58	1,53	1,04	0,82	0,91	1,04
P₂O₅	0,81	1,22	1,25	0,1	0,82	0,13	0,22	0,31	0,16	0,16	0,26	0,21	0,14	0,22	0,17	0,18	0,15	0,16	0,2	0,19	0,2	0,19	0,13	0,16
CO₂	0,17	0,17	0,18	0,22	—	0,26	0,62	0,55	2,46	0,91	1,47	0,86	0,87	0,84	0,85	0,8	0,86	0,85	1,8	0,8	0,8	0,86	0,84	0,81
SO₃	0,02	0,37	0,02	0,01	—	0,1	0,05	0,22	0,07	0,05	0,05	1,47	1,46	0,57	0,55	0,58	0,47	0,45	0,45	0,56	0,32	0,27	0,15	0,27
S	0,01	0,16	0,01	0,01	0,21	0,04	0,02	0,09	0,03	0,02	0,02	0,58	0,56	0,23	0,21	0,24	0,19	0,18	0,17	0,2	0,13	0,11	0,06	0,11
F	0,12	0,13	0,13	0,17	—	0,25	0,19	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,08	0,07	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,08	0,05
—H₂O—	0,02	0,01	0,05	0,07	0,39	0,06	0,03	0,13	0,01	0,21	0,04	0,3	0,19	0,4	0,07	0,22	0,19	0,03	0,26	0,06	0,02	0,1	0,24	0,16
LOI	2,27	1,67	2,3	3,46	2,36	3,56	4,48	2,94	4,01	2,7	3,48	2,27	2,45	1,7	3,11	2,38	3,66	3,68	3,67	2,83	3,07	4,06	3,75	3,41
Cr₂O₃	0,044	0,042	0,058	0,07	—	0,034	0,099	0,1	0,097	0,1	0,1	0,093	0,076	0,11	0,098	0,12	0,095	0,084	0,082	0,104	0,093	0,06	0,07	0,096
NiO	0,011	0,024	0,027	0,074	—	0,074	0,061	0,091	0,081	0,13	0,11	0,085	0,073	0,085	0,083	0,108	0,078	0,072	0,088	0,094	0,088	0,075	0,071	0,088
Total	99,89	99,24	99,96	99,99	99,08	99,91	99,72	99,56	99,99	99,88	100,01	99,1	98,35	99,51	99	99,08	99,19	99,35	99,62	99,48	99,34	99,39	99,42	99,26
Na₂O+K₂O	9,43	8,67	4,89	3,79	8,34	5,30	7,08	6,18	5,08	5,19	5,49	6,65	5,22	6,39	5,68	6,23	5,27	5,62	6,09	5,68	6,17	5,24	4,86	5,88
Mg/Mg+Fe	0,46	0,51	0,49	0,75	0,56	0,76	0,73	0,68	0,61	0,71	0,67	0,71	0,71	0,71	0,74	0,76	0,76	0,72	0,72	0,75	0,76	0,71	0,73	0,75
Na+K/Al	0,49	0,56	0,38	0,38	0,52	0,60	0,72	0,70	0,58	0,65	0,58	0,89	0,67	0,84	0,76	0,94	0,72	0,74	0,83	0,85	0,87	0,64	0,63	0,85

Таблиця 4. Хімічний та нормативний склад лужних порід Глумчанської ділянки (продовження)
 Table 4. Chemical and normative composition of alkaline rocks of Hlumcha area (continuation)

No	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	
Drill-holes	141	141	141	141	141	141	141	142	142	142	142	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
Deep, m	18,4	23,3	24,8	40,2	40,3	73	76,5	47,8	84,9	85,3	85,5	37,1	37,1	37,9	38	38,1	38,8	39	39,2	39,5	40	40,1	41,5	41,7	
Normative composition (СІРW)																									
An	6,32	12,99	28,38	21,55	12,59	12,32	9,98	10,73	13,40	10,36	14,53	8,52	15,81	6,90	9,31	3,74	10,38	10,04	6,66	6,22	4,99	13,71	13,13	5,38	5,38
Di	—	—	4,27	13,42	—	11,56	1,37	8,21	—	9,46	0,51	23,06	15,13	19,16	20,45	22,72	20,19	22,99	24,42	26,21	27,36	19,00	22,12	31,54	31,54
Hed	—	—	2,11	2,91	—	2,94	0,37	2,37	—	1,80	0,16	2,39	1,81	3,54	2,86	2,93	2,01	2,13	2,79	2,25	1,85	1,89	2,20	2,25	2,25
En	5,21	5,69	—	8,69	—	5,97	—	5,50	9,29	2,54	4,02	—	2,02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Fs	3,20	4,29	—	2,16	—	1,74	—	1,83	3,55	0,56	1,48	—	0,28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Alb	16,98	17,75	15,06	8,40	3,95	7,27	16,28	20,82	26,66	17,85	20,02	15,73	24,14	17,52	14,79	4,56	17,58	15,64	12,05	11,26	13,07	20,55	17,89	10,94	10,94
Ort	44,97	37,97	18,22	17,20	34,14	26,76	28,85	21,88	11,51	18,54	18,85	7,52	7,59	8,49	10,90	15,38	8,82	8,63	9,49	9,20	6,30	5,02	5,56	6,33	6,33
Fo	2,97	4,51	11,10	15,00	14,22	19,43	24,84	14,40	13,82	22,52	21,03	14,97	16,31	17,42	18,73	22,99	20,13	16,42	15,19	19,13	17,32	16,63	16,94	14,62	14,62
Fa	2,01	3,76	6,95	4,11	10,50	6,26	8,36	5,27	5,82	5,42	8,52	1,96	2,47	4,07	3,31	3,74	2,54	1,93	2,19	2,08	1,48	2,10	2,13	1,32	1,32
Ne	—	—	0,52	—	10,82	—	2,40	—	—	—	—	10,97	—	11,28	8,22	12,54	6,79	9,69	12,86	11,24	15,86	8,85	8,47	15,94	15,94
Ap	1,99	2,98	3,07	0,25	1,96	0,32	0,55	0,76	0,39	0,39	0,64	0,51	0,34	0,53	0,42	0,44	0,37	0,40	0,49	0,47	0,49	0,47	0,32	0,40	0,40
Flu	—	—	—	0,32	—	0,47	0,32	0,03	0,07	0,07	0,04	0,08	0,12	0,07	0,11	0,11	0,10	0,09	0,08	0,08	0,06	0,07	0,12	0,05	0,05
The	0,04	0,67	0,04	0,02	—	0,18	0,09	0,40	0,13	0,09	0,09	2,61	2,62	1,02	1,00	1,05	0,86	0,82	0,81	1,01	0,58	0,50	0,27	0,49	0,49
Pyr	0,02	0,34	0,02	0,02	0,46	0,09	0,04	0,20	0,06	0,04	0,04	1,23	1,20	0,49	0,46	0,52	0,41	0,39	0,37	0,43	0,28	0,24	0,13	0,24	0,24
Chr	0,07	0,06	0,09	0,11	—	0,05	0,15	0,15	0,14	0,15	0,15	0,14	0,11	0,16	0,15	0,18	0,14	0,13	0,12	0,16	0,14	0,09	0,11	0,15	0,15
Ilm	1,61	1,87	3,26	1,71	3,29	1,51	1,92	1,77	1,68	1,59	1,57	1,85	1,79	1,78	1,69	1,58	1,70	1,78	1,74	1,70	1,75	1,89	1,90	1,82	1,82
Ca	0,39	0,39	0,42	0,52	—	0,61	1,47	1,28	5,68	2,11	3,41	1,96	2,00	1,92	1,98	1,85	2,01	1,99	4,16	1,85	1,86	2,02	1,97	1,90	1,90
Cor	9,89	4,14	—	—	5,58	—	—	—	0,50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mt	4,34	2,58	6,51	3,62	2,48	2,51	3,00	4,40	7,31	6,51	4,94	6,51	6,26	5,64	5,62	5,67	5,94	6,94	6,59	6,71	6,60	6,98	6,73	6,63	6,63

Таблиця 4. Хімічний та нормативний склад лужних порід Глумчанської ділянки (продовження)
Table 4. Chemical and normative composition of alkaline rocks of Hlumcha area (continuation)

No	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73
Drill-holes	143	143	143	143	143	144	144	144	144	144	144	144	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145
Deep, m	42,3	43,5	45,8	66,7	67	21,3	21,7	23,4	24,1	27	31,4	32	76,4	76,8	76,9	77,2	77,6	78	78,6	78,8	79,5	81,6	81,9	82,7	91	91,4
SiO₂	44,5	46,65	45,2	43,4	43,25	42,2	44,6	43,3	44,1	44,3	44,75	48,95	42,86	43,68	45,33	45,41	44,13	44,2	44,38	46,89	44,99	43,7	43,73	43,84	44,99	45,51
TiO₂	0,89	0,87	0,95	0,92	0,86	0,89	0,8	0,83	0,99	1	0,91	0,89	0,83	0,93	0,91	0,97	0,93	0,85	0,92	0,94	0,87	0,77	0,74	0,92	0,97	0,84
Al₂O₃	11,2	12,27	12,12	11,61	10,74	10,95	9,63	10,78	13,04	12,96	11,45	10,42	10,47	11,2	12,34	12,25	11,32	10,74	12,59	11,97	10,49	9,59	9,66	11,51	10,96	10,35
Fe₂O₃	4,18	3,24	2,9	4,1	4,35	6,7	4,7	5,24	5,75	5,37	3,7	2,05	3,08	5,12	4,97	4,51	2,24	5,75	4,59	4,91	4,21	4,86	4,5	4,53	4,62	4,21
FeO	4,89	5,82	6,47	9,59	9,02	5,74	4,92	5,13	6,47	5,57	6,8	7,17	6,12	4,72	4,72	6,17	7,77	4,03	5,2	5,19	7,06	4,64	5,06	4,85	5,91	6,97
MnO	0,16	0,16	0,16	0,27	0,26	0,2	0,19	0,19	0,19	0,2	0,2	0,16	0,17	0,2	0,19	0,19	0,17	0,19	0,19	0,21	0,22	0,18	0,18	0,18	0,2	0,23
MgO	14,49	12,65	13,27	12,82	14,82	15,78	17,22	16,44	10,5	12,28	15,05	15,07	15,14	14,84	13,61	12,45	16,72	15,31	12,54	11,27	15,91	19,16	19,35	14,63	14,63	16,82
CaO	9,89	8,22	8,8	4,58	4,77	6,48	8,25	7,33	8,35	8,02	8,25	5,9	7,17	8,44	7,59	8,05	4,91	7,82	8,86	7,85	5,19	5,74	6,55	8,35	7,37	5,26
Na₂O	3,69	4,15	2,73	2,73	2,4	3,32	3,75	3,69	4,36	4,28	0,71	1,59	2,43	4,4	3,54	3,75	1,6	4,41	4,47	1,73	3,08	2,86	3,07	3,78	3,52	2,41
K₂O	0,98	1,63	3,45	3,63	3,76	2,09	0,91	1,75	0,64	1,18	3,95	3,88	5,13	1,42	2,67	2,18	4,6	1,53	1,11	3,7	3,16	3,41	2,71	1,63	2,79	3,12
P₂O₅	0,12	0,16	0,19	0,14	0,12	0,07	0,11	0,09	0,18	0,12	0,18	0,17	0,18	0,16	0,21	0,21	0,38	0,17	0,12	0,35	0,21	0,14	0,13	0,15	0,22	0,19
CO₂	0,84	0,8	0,8	3,19	2,57	1,76	0,82	1,1	1,62	1,36	0,73	0,14	2,96	1,17	0,91	0,91	0,14	1,21	1,22	1,35	1,28	0,4	0,8	1,83	0,95	0,95
SO₃	0,35	0,7	0,47	0,94	0,15	0,27	0,27	0,45	0,42	0,42	0,12	0,12	0,37	0,22	0,17	0,05	0,45	0,12	0,2	0,22	0,12	1,4	0,12	0,72	0,1	0,07
S	0,14	0,28	0,19	0,37	0,06	0,11	0,11	0,18	0,17	0,17	0,05	0,05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
F	0,06	0,08	0,14	0,08	0,05	0,08	0,05	0,06	0,06	0,06	0,1	0,22	0,07	0,05	0,07	0,07	0,11	0,04	0,04	0,08	0,06	0,06	0,06	0,04	0,06	0,08
-H₂O⁻	0,02	0,06	0,23	0,21	0,09	0,28	0,17	0,07	0,01	0,27	0,41	0,42	0,04	0,08	0,12	0,48	1,22	0,28	0,06	0,12	0,48	0,45	0,45	0,5	0,54	0,35
LOI	4,05	3,14	3,1	4,95	4,9	4,73	4,05	4,39	4,67	4,17	3,54	3,17	5,94	4,72	3,44	3,39	4,69	4,27	4,37	4,23	4,16	3,74	3,68	4,73	3,32	3,76
Cr₂O₃	0,081	0,064	0,078	0,08	0,08	0,086	0,109	0,092	0,06	0,072	0,082	0,09	0,089	0,074	0,082	0,082	0,088	0,095	0,065	0,07	0,084	0,1	0,11	0,062	0,072	0,092
NiO	0,08	0,073	0,075	0,08	0,082	0,094	0,09	0,094	0,063	0,071	0,086	0,09	0,088	0,084	0,058	0,065	0,088	0,076	0,07	0,06	0,088	0,11	0,1	0,077	0,075	0,092
Total	99,2	99,1	99,49	98,9	99,41	99,33	99,33	99,35	99,36	99,59	99,66	99,6	99,7	99,99	99,66	99,68	99,64	99,44	99,48	99,37	99,72	99	99,57	99,24	99,65	99,86
Na₂O+K₂O	4,67	5,78	6,18	6,36	6,16	5,41	4,66	5,44	5,00	5,46	4,66	5,47	7,56	5,82	6,21	5,93	6,20	5,94	5,58	5,43	6,24	6,27	5,78	5,41	6,31	5,53
Mg/Mg+Fe	0,75	0,72	0,72	0,63	0,67	0,70	0,77	0,75	0,62	0,68	0,73	0,75	0,75	0,74	0,73	0,68	0,75	0,75	0,71	0,68	0,72	0,79	0,79	0,74	0,72	0,74
Na+K/Al	0,64	0,70	0,68	0,73	0,75	0,71	0,74	0,74	0,60	0,64	0,48	0,65	0,91	0,78	0,71	0,70	0,67	0,83	0,68	0,57	0,81	0,88	0,83	0,69	0,80	0,71

Таблиця 4. Хімічний та нормативний склад лужних порід Глумчанської ділянки (закінчення)
Table 4. Chemical and normative composition of alkaline rocks of Hlumcha area (ending)

No	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73		
Drill—holes	143	143	143	143	143	144	144	144	144	144	144	144	144	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145		
Deep, m	42,3	43,5	45,8	66,7	67	21,3	21,7	23,4	24,1	27	31,4	32	76,4	76,8	76,9	77,2	77,6	78	78,6	78,8	79,5	81,6	81,9	82,7	91	91,4		
Normative composition (CIPW)																												
An	12,76	12,75	12,52	1,31	6,62	10,06	7,97	9,56	16,07	14,50	17,31	10,7	3,91	7,63	10,77	10,61	12,22	5,60	12,12	15,2	6,06	8,30	5,15	12,49	6,38	8,70		
Di	22,55	15,09	16,44	—	—	7,81	20,43	14,51	9,84	11,59	12,29	10,	8,07	19,50	14,71	15,39	6,07	19,16	17,10	9,52	7,06	12,83	15,96	12,30	16,19	7,01		
Hed	2,25	2,66	3,42	—	—	0,65	1,67	1,17	1,82	1,40	2,37	2,52	1,44	1,54	1,30	2,77	1,43	0,72	2,22	1,29	1,33	0,50	1,38	1,20	2,28	1,23		
En	—	—	—	12,8	—	—	—	—	—	—	6,4	—	—	—	—	—	—	—	11,17	—	—	—	—	—	—	—	—	
Fs	—	—	—	5,01	—	—	—	—	—	—	—	1,75	—	—	—	—	—	—	—	1,73	—	—	—	—	—	—	—	
Alb	16,29	22,46	5,58	17,20	17,65	17,96	18,96	15,25	30,15	23,98	5,11	13,07	1,39	14,99	14,85	16,74	2,53	17,86	19,55	13,64	16,75	7,85	6,76	19,99	11,97	17,11		
Ort	6,00	9,85	20,81	21,77	22,83	12,76	5,57	10,69	3,90	7,16	24,04	23,66	31,21	8,68	16,21	13,24	28,43	9,37	6,79	22,6	19,25	20,60	16,54	9,92	16,92	18,97		
Fo	18,88	17,67	18,30	13,74	26,58	25,92	24,51	24,95	15,71	18,24	23,06	19,22	24,58	20,45	19,62	17,33	28,55	21,46	17,11	9,41	26,34	30,01	29,68	22,30	20,95	27,93		
Fa	2,38	3,93	4,81	5,92	9,51	2,74	2,53	3,68	2,78	5,61	5,80	5,54	2,05	2,20	3,94	8,52	1,02	2,81	1,61	6,26	1,49	3,24	2,74	3,72	6,21			
Ne	7,41	4,75	8,05	—	1,20	5,00	6,55	7,58	2,74	5,62	0,14	—	9,36	11,93	8,00	8,42	4,63	10,83	9,90	—	5,04	4,07	10,43	4,39	9,72	1,84		
Ap	0,30	0,39	0,47	0,34	0,30	0,17	0,27	0,22	0,45	0,30	0,45	0,42	0,45	0,40	0,52	0,52	0,96	0,42	0,30	0,87	0,52	0,34	0,32	0,37	0,54	0,47		
Flu	0,09	0,11	0,23	0,12	0,07	0,14	0,07	0,10	0,07	0,09	0,15	0,40	0,09	0,05	0,08	0,08	0,11	0,03	0,05	0,06	0,06	0,08	0,08	0,04	0,06	0,11		
The	0,64	1,27	0,85	1,69	0,27	0,49	0,50	0,83	0,77	0,76	0,22	0,22	0,68	0,40	0,31	0,09	0,84	0,22	0,37	0,40	0,22	2,54	0,22	1,32	0,18	0,13		
Pyr	0,31	0,61	0,41	0,80	0,13	0,24	0,24	0,39	0,37	0,37	0,11	0,11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,60	—	—	—	—		
Chr	0,12	0,11	0,12	0,15	0,12	0,13	0,17	0,14	0,09	0,11	0,12	0,14	0,13	0,11	0,12	0,12	0,14	0,14	0,10	0,10	0,13	0,15	0,17	0,09	0,11	0,14		
Ilm	1,75	1,69	1,84	1,77	1,68	1,75	1,57	1,63	1,94	1,95	1,78	1,74	1,62	1,83	1,78	1,89	1,85	1,67	1,81	1,85	1,70	1,49	1,45	1,80	1,89	1,64		
Ca	1,98	1,86	1,86	7,36	6,01	4,13	1,93	2,59	3,80	3,17	1,71	0,33	6,93	2,75	2,13	2,13	0,33	2,85	2,87	3,17	3,00	0,93	1,88	4,29	2,22	2,22		
Cor	—	—	—	3,97	0,57	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
Mt	6,28	4,80	4,29	6,03	6,48	10,04	7,06	7,85	8,60	7,99	5,53	3,07	4,60	7,68	7,40	6,72	3,40	8,64	6,89	7,36	6,29	7,20	6,74	6,77	6,88	6,28		

Примітки: Т-3 – дайкові порфіроподібні нефелінові габроїди; 4-12 – амфіболізовані, мелятеїти й якупірангіти Глумчанської інтрузії; 13-34 – різноманітні піроксен-олівін-польовошпатові породи, ділянками з незначним вмістом нефеліну (лужні та сульфурні габроїди); 35-52 – дайкові олівін-піроксен-польовошпат-нефелінові габроїди типу малін'їтів, Покосівська зона; 53-73 – подібні нефелінімісні габроїди з інших ділянок Глумчанської площі.
 Notes: 1-3 – dike porphyry-like nepheline gabbroids; 4-12 – amphibolized melteites and jacupirangites of Hlumcha intrusion; 13-34 – different dike pyroxene-olivine-feldspar rocks locality with low contents of nepheline (alkaline and subalkaline gabbroids); 35-52 – dike olivine-pyroxene-feldspar nepheline gabbroids of malignant type, Pokosiv zone; 53-73 – similar nepheline-bearing gabbroids from another parts of Hlumcha area

За результатами мікрозондових досліджень коричнево-жовтий амфібол можна класифікувати як збагачений Ті (до 2,90 % TiO_2) паргасит. Дрібний вторинний амфібол більш низькотемпературний; його хімічний склад не визначався, за оптичними характеристиками він подібний до низькоглиноземистх амфіболів типу тремоліту або рихтериту.

Дайкові породи також представлені олівіновими мельтейгіт-порфірами, які інтенсивно змінені. Для них характерні порфірові або порфіроподібні структури. Первинні вкрапленики частіше були представлені олівіном (заміщений серпентином та вторинним амфіболом). У деяких зразках збереглися вкрапленики або ксенокристи розміром до 3 мм безбарвного в шліфах клінопіроксену, які в шліфах мають «віспуватий» вигляд (побиті цятками). Такий «віспуватий» піроксен по краях заміщується амфіболами або однорідним блідо-зеленим піроксеном, подібним до такого у мікротекстурах дайкових порід. В останніх також спостерігалися хресто- або розеткоподібні зростки вкраплеників клінопіроксену, що свідчить про гіпабісальну кристалізацію порід. Можливо, що «віспуваті» піроксени є інтрателуричними утвореннями і винесені з глибших горизонтів (магматичних камер). На жаль, їхній склад (як і вкраплеників піроксену в дайках) залишився не визначеним.

Інтенсивними постмагматичними змінами дайкових мельтейгіт-порфірів пояснюється їхнє розташування у калієвій області на діаграмі $Na_2O - K_2O$ (див. рис. 3) на відміну від плутонічних лужних порід інших інтрузій або дайкових порід Губківського прояву. Висока частка K_2O узгоджується із значним вмістом вторинного амфіболу та заміщенням нефеліну.

В малопотужних прожилковоподібних апофізах дайок і тонких (перші міліметри) прожилках було виявлено дещо незвичні різновиди порфірових лужних порід (Кривдик и др., 2003) з мікротекстурами бурувато-коричнюватого ферікерсутиту. Подібний дрібний амфібол наявний і в дрібнозернистій суттєво польовошпатовій масі. Вміст такого амфіболу іноді перевищує половину об'єму породи. Через інтенсивні вторинні зміни дайкових порід, а також розкристалізованих різновидів Глумчанської інтрузії (св. 127) не завжди вдається визначити їхню належність до певного виду. Допоміжним методом такої діагностики може бути розрахунок на норми (CIPW). Як видно з табл. 4, в більшості порід Глумчанської ділянки і покошівських дайок розраховується нормативний нефелін від перших до 16 %, тобто стільки ж, як це властиво якупірангітам і меланомельтейгітам. Проте в деяких породах розраховувалися енстатит і феросиліт (разом до 20 % і більше), що характерно для безнефелінових порід.

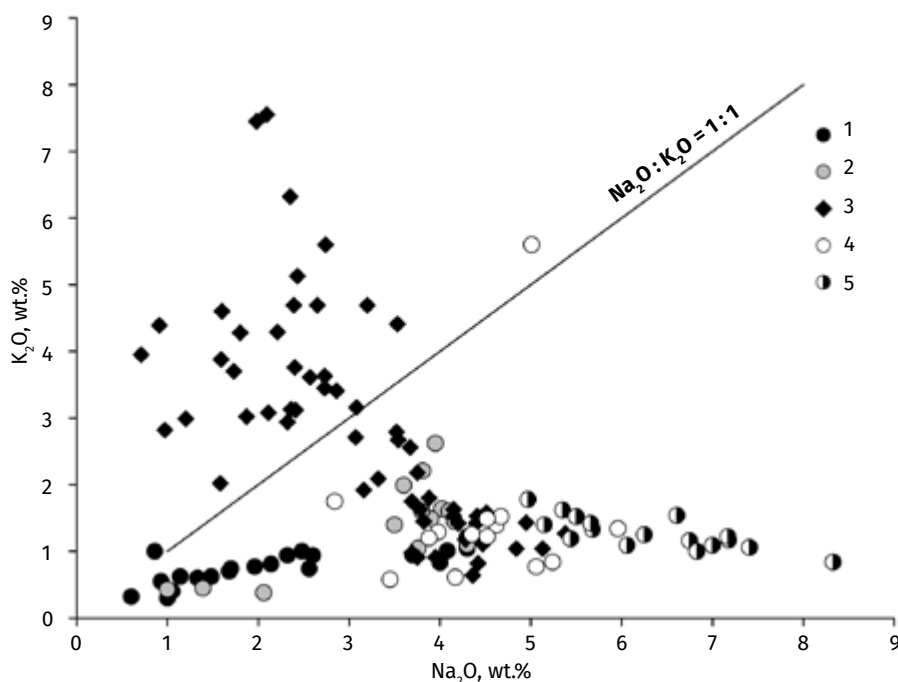


Рис. 3. Співвідношення Na_2O та K_2O у досліджуваних лужних породах. Умовні позначення: 1 – Городницька інтрузія; 2 – олівінові якупірангіти і мельтейгіти Глумчанської ділянки; 3 – мельтейгіт-порфіри, там же; 4 – Боярківська інтрузія; 5 – Губківський прояв

Fig. 3. Correlation of Na_2O and K_2O in the studied alkaline rocks. Symbols: 1 – Horodnytsa intrusion; 2 – olivine jacupirangites and melteigites of the Hlumcha area; 3 – melteigite porphyries, ibid; 4 – Bolyarka intrusion 5 – Hubkiv intrusion

Крім того, в таких «ортопіроксенвмісних» породах часто спостерігається підвищений вміст нормативного анортиту, ортоклазу й альбіту, яких загалом більше, ніж у лужно-ультраосновних породах. Тобто, асоціація ортопіроксену і плагіоклазу (анортит + альбіт) може свідчити про те, що серед дайкових порід наявні також сублужні або й лужні (нефелінвмісні) габроїди типу есекситів (з олівіном і калішпатом). Згадувані породи апофіз і прожилків (св. 635, 636) із ферикерсутитом також варто розглядати як лужні (з нормативним нефеліном) габроїди типу есекситів (див. табл. 4). Тобто, у Глумчанській ділянці наявні як переважно лужно-ультраосновні (безпольовошпатові або низькопольовошпатові) породи якупірангіт-мельтейгітової серії, так і сублужні або й лужні габроїди есекситового (або й іншого) типу.

Геохімічні особливості

Зауважимо, що елементи-домішки визначалися для власне лужно-ультраосновних порід, які переважають у досліджуваних інтрузіях. Тоді як геохімічно не охарактеризованими залишилися різновиди порід, які за хімічним складом класифікуються як габроїди (сублужні і лужні (з нефеліном) їхні різновиди).

Походження останніх та генетичний зв'язок із лужно-ультраосновними породами району досліджень залишається не з'ясованим. Можливо, це контаміновані гранітоїдами рами лужно-ультраосновні розплави, особливо в тонких апофізах та прожилках, як це зазначалося вище і в роботі (Кривдик и др., 2003).

В попередніх публікаціях (Цымбал и др., 1997; Кривдик и др., 2003) акцентувалося на тому, що за геохімічними і петрологічними особливостями лужно-ультраосновні породи північно-західної частини УЩ є специфічними або й унікальними. Серед усіх відомих лужних порід України (УЩ, зона зчленування УЩ зі складчастим Донбасом, Дніпровсько-Донецька западина) це найменш диференційовані різновиди. Зважаючи на це, вони відзначаються високими значеннями $Mg\#$ і водночас підвищеними концентраціями Cr, Co і Ni, що узгоджується із кристалізацією зі слабо диференційованого магматичного розплаву. Незважаючи на слабку диференційованість, вдається прослідкувати помірне накопичення Nb, Ta і REE та пониження Cr, Ni і Co із зменшенням у породах вмісту MgO (див. рис. 4), що узгоджується із фракційною кристалізацією початкового розплаву.

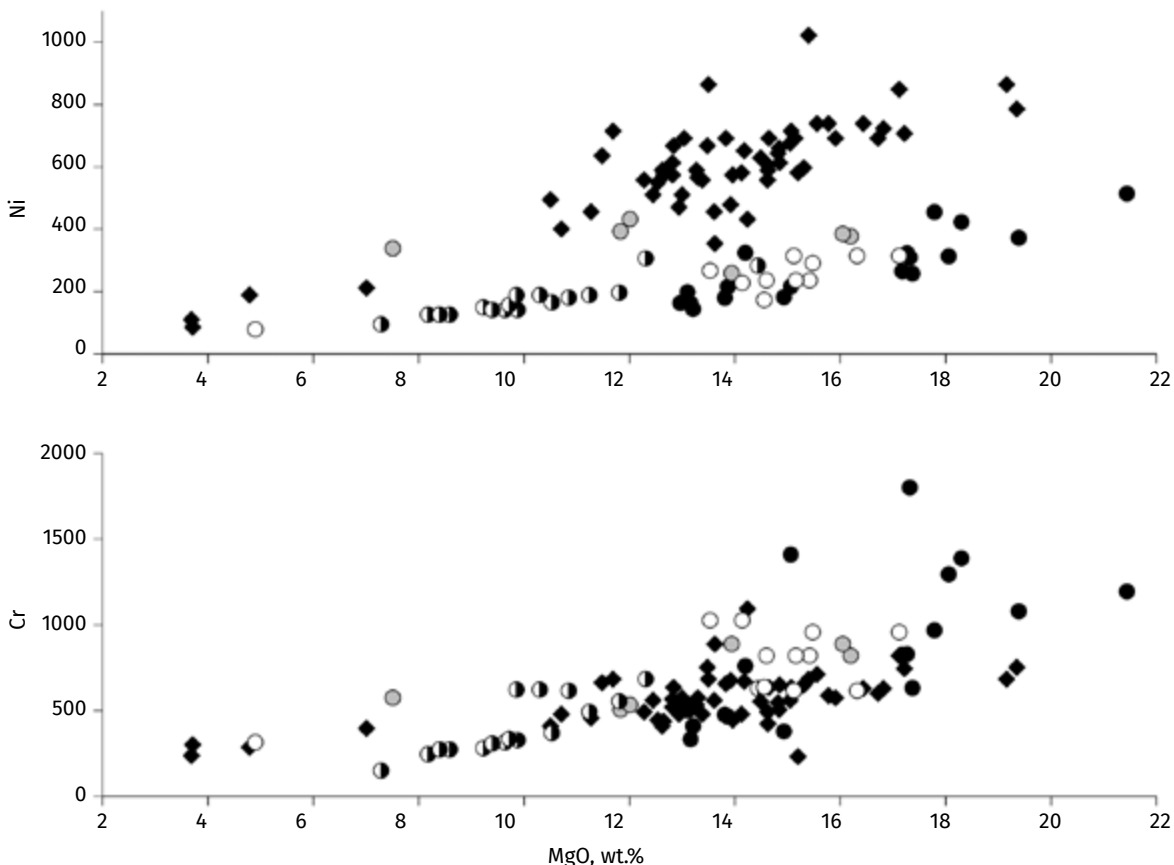


Рис. 4. Кореляція вмісту Cr, Ni і MgO в досліджуваних лужних породах північно-західної частини УЩ. Умов. позначення див. на рис. 3
Fig. 4. Correlation of Cr, Ni, and MgO contents in alkaline rocks of the northwestern part of the Ukrainian Shield. The symbols see Fig. 3

Вміст фосфору, як і некогерентних елементів, у лужних породах є дуже низьким і в більшості наявних аналізів не перевищує 0,15 % P_2O_5 . Мінералогічний аналіз вказує, що головним концентратом фосфору є апатит. Кореляційний зв'язок найбільш чітко прослідковується між P_2O_5 та TiO_2 і CaO , а для порід Городницької інтрузії і Губківського прояву виявлено позитивну залежність між P_2O_5 та концентрацією Sr, Ba та Y.

Крім того, породи мають надзвичайно низьку концентрацію HFSE та REE за помірної LILE (табл. 5), які є аномально низькими, що, вочевидь, зумовлено слабкою диференційованістю досліджуваних лужних порід. Так, в усіх зразках фіксуються низький вміст Zr і Hf, REE (44–82 ppm), з переважанням, як це властиво лужно-ультраосновним породам, LREE, та дуже низький – Nb (3,5–12 ppm). Концентрація Sc (25–35 ppm) у породах Губківського прояву і Болярківської інтрузії подібна до такої із первинних розплавів нефелінітового, базанітового і лужно-базальтового складу.

Тобто в досліджуваних лужних породах вміст REE навіть нижчий, ніж у типових толеїтових базальтах. Проте, якщо в базальтах хондрит-нормовані спектри REE мають субгоризонтальні (недиференційовані) спектри, то в досліджуваних породах вони мають негативний нахил (див. рис. 5), що характерно для типових лужних порід (а також кімберлітів).

У хондрит-нормованих спектрах REE (див. рис. 5) із порід усіх інтрузій та проявів простежується слабка тенденція до збагачення LREE ($(La/Yb)_{ch} = 4,45–11,45$), що є наслідком їхньої низької концентрації у породах, незначної диференційованості вихідних розплавів та низької сумісності REE із головними мінералами. При цьому однойменні плутонічні породи Чернігівського карбонатитового масиву та Дністровсько-Бузького блоку різко відрізняються як збагаченням REE (особливо LREE), так і більш диференційованими спектрами ($(La/Yb)_{ch} = 18–232$). Незважаючи на ступінь збагачення LREE, на всіх спектрах меланократових лужних порід присутні лише помірні негативні або позитивні Eu-аномалії.

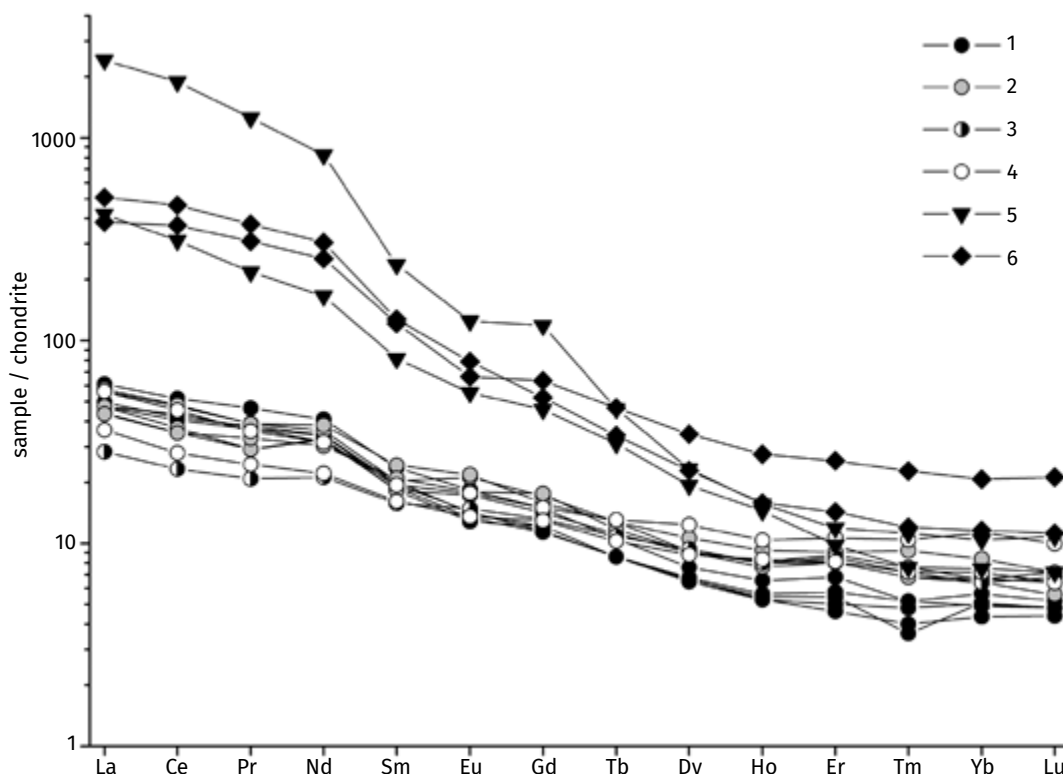


Рис. 5. Хондрит-нормовані спектри REE порід якупірангіт-мельтейгітового складу із різних частин УЩ. Північно-Зхідний мегаблок: 1 – якупірангіт-мельтейгітова серія, Городницька інтрузія; 2 – якупірангіти, Глумчанська інтрузія; 3 – мельтейгіт-порфір, Губківський прояв; 4 – олівінові мельтейгіти, Болярківська інтрузія; Дністровсько-Бузький мегаблок: 5 – лужний піроксеніт і мельтейгіт (Дубина, 2015); Приазовський мегаблок: 6 – лужний піроксеніт і мельтейгіт, Чернігівський масив (Дубина, 2015). Концентрації у хондриті, за даними (Sun, McDonough, 1995)

Fig. 5. Chondrite-normalized REE patterns of jacupirangite-melteigite rocks from different parts of the Ukrainian Shield. North-Western megablock: 1 – jacupirangite-melteigite rocks, Horodnytsa intrusion; 2 – jacupirangites, Hlumcha intrusion; 3 – melteigite-porphyr, Hubkiv occurrence; 4 – olivine melteigites, Bolyarka intrusion; Dniester-Bug megablock: 5 – alkaline pyroxenite and melteigite (Dubyna, 2015); Azov megablock: 6 – alkaline pyroxenite and melteigite, Chernihivka massif (Dubyna, 2015). Normalisation values of the chondrite after (Sun, McDonough, 1995)

Таблиця 5. Хімічний склад та вміст елементів-домішок (за даними ICP MS) в лужно-ультраосновних породах північно-західної частини УЩ
Table 5. Chemical composition and minor element concentration in alkaline-ultrabasic rocks in North-Western part of Ukrainian Shield

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Massif	Hub	Bol	Bol	Hor	Hor	Hor	Hor	Hor	Hlm	Hlm	Hlm	Hlm
Rock	MelP	OLMel	OLMel	Mel	Mel	OLij	En	OLja	AmJa	AmJa	AmJa	AmJa
Drill-holes	A33	—	—	420	421	420	421	421	127	127	127	127
Deep, m	TS-3	TS-4	TS-5	29,4	44,5	44,5	106,1	104,4	30,1	32,3	33,1	34,2
SiO ₂	43,40	43,99	44,44	44,59	43,75	—	46,23	44,06	45,74	45,42	45,76	45,56
TiO ₂	0,96	0,59	0,57	0,42	0,27	—	0,41	0,26	1,14	0,94	1,14	1,14
Al ₂ O ₃	12,33	10,26	9,46	11,24	12,9	—	6,71	4,36	9,91	10,90	10,97	9,67
Fe ₂ O ₃	10,71	10,90	10,06	4,56	2,93	—	2,84	4,33	4,48	4,73	5,20	5,06
FeO	—	—	—	3,89	4,57	—	4,29	3,71	4,95	5,67	5,17	4,45
MnO	0,17	0,18	0,16	0,17	0,15	—	0,17	0,17	0,24	0,24	0,24	0,16
MgO	10,24	14,23	15,20	12,97	13,21	—	17,32	21,44	16,26	15,17	15,33	16,42
CaO	10,77	8,71	10,89	15,13	13,44	—	16,11	14,64	8,25	7,98	8,02	9,67
Na ₂ O	4,85	5,24	4,17	2,32	4,3	—	1,68	0,6	3,6	4,10	3,80	3,5
K ₂ O	1,16	0,84	0,61	0,94	1,04	—	0,7	0,32	1,99	1,60	1,60	1,4
P ₂ O ₅	0,15	0,24	0,14	0,08	0,11	—	0,13	0,08	0,18	0,26	0,24	0,36
Cr ₂ O ₃	0,09	0,15	0,14	—	—	—	—	—	0,22	—	—	0,22
Ni	199,0	328,0	368,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
H ₂ O	—	—	—	0,17	0,11	—	0,11	0,32	0,04	—	—	0,15
CO ₂	—	—	—	0,98	1,15	—	1,33	1,76	—	0,04	0,07	—
LOI	4,80	4,20	3,70	1,98	1,46	—	1,73	3,44	2,81	2,69	2,19	2,77
TOT/C	0,44	0,28	0,22	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TOT/S	0,25	0,15	0,15	0,05	0,08	—	0,05	0,06	0,03	—	—	0,02
Total	99,66	99,60	99,62	99,49	99,47	—	99,91	99,55	99,84	99,70	99,66	100,55
Ba	211	350	215	146,9	86	83,2	112,5	59,7	168,8	227,8	226,7	200,1
Sr	822,6	592,8	482,8	638,3	569,6	557,6	501,1	304,9	530,2	468,3	763,4	409,9
Rb	40,50	27,40	16,40	19	24,6	23,0	66,6	14,1	30,1	36,3	37,6	31,6
Nb	5,3	6,0	3,8	8,4	6,4	6,3	7,8	3,5	7,1	10,1	12,5	8,6
Ta	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,1	0,4	0,6	0,7	0,4
Zr	50,4	46	38,1	27,8	19,1	19,7	24,5	125,2	49,2	58,3	73,3	53,2
Hf	1,60	1,30	1,20	0,8	0,7	0,7	0,9	1,1	1,4	1,6	1,9	1,4
Th	0,70	1,20	0,60	0,8	0,4	0,3	1,2	0,6	0,4	0,7	0,7	0,4
U	0,20	0,40	0,20	0,2	<0,1	0,2	0,3	1	0,2	0,2	<1	0,2
Y	13,50	18,20	12,80	9,7	8,4	8,4	8,5	11,1	12,4	13,4	14,5	12
La	6,70	13,30	8,60	14,5	11,2	11,2	11,8	10,4	11,2	13,4	13,7	10,3
Ce	14,30	27,80	17,10	31,8	24,8	26,6	25,5	21,6	22,8	29	29,5	21,5
Pr	1,93	3,32	2,28	4,3	3,41	3,44	3,52	2,7	2,7	3,63	3,6	3,06
Nd	9,70	14,40	10,10	18,7	15,6	14,5	15,7	15	14,8	16,4	17,5	13,8
Sm	2,33	2,88	2,39	3,5	2,8	3	2,9	2,7	2,7	3	3,6	3,1
Eu	0,83	0,99	0,76	1,03	0,75	0,79	0,8	0,72	0,97	1,19	1,22	1,01
Gd	2,63	2,98	2,58	2,97	2,26	2,42	2,28	2,42	2,83	3,4	3,15	3,5
Tb	0,39	0,47	0,37	0,38	0,31	0,31	0,31	0,31	0,4	0,46	0,46	0,42
Dy	2,31	3,04	2,16	1,87	1,65	1,63	1,59	1,67	2,23	2,25	2,61	2,25
Ho	0,44	0,57	0,46	0,36	0,29	0,3	0,29	0,31	0,42	0,45	0,51	0,44
Er	1,36	1,70	1,30	1,09	0,8	0,87	0,74	0,92	1,29	1,4	1,45	1,29
Tm	0,18	0,26	0,18	0,13	0,12	0,09	0,1	0,13	0,17	0,19	0,23	0,17
Yb	1,03	1,82	1,16	0,91	0,81	0,82	0,7	0,79	1,08	1,07	1,35	1,03
Lu	0,17	0,25	0,16	0,13	0,12	0,12	0,11	0,12	0,16	0,18	0,18	0,14
Mo	0,5	0,50	0,50	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0,2	0,1	0,3
W	<0,5	<0,5	<0,5	<1	<1	<1	<1	1	<1	<1	<1	<1
Be	7	7	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ni	148,7	221,8	252,7	199,4	224,2	218,1	236,7	428,4	239,4	280,3	319,3	280,9
V	217,0	179,0	166,0	168	142	141	120	109	153	145	177	153
Co	46,40	53,40	54,60	48,7	48,7	49,3	45,6	63,5	49,7	54,4	56,6	55,4
Cs	5,20	4,80	2,60	1,9	1,4	1,3	13,1	3,5	3,8	4,3	5	3,4
Ga	15,50	12,70	10,00	11,6	8,8	9,9	7,1	6,3	13,5	13,1	17,4	13,1
Cu	124,9	76,80	175,1	89,3	105,3	102,4	52,5	39,2	132,3	56,6	57,3	62,3
Pb	1,90	3,70	2,70	1,8	1,9	1,8	2	1,2	0,8	3	0,8	1,1
Zn	43,00	51,00	29,00	27	26	24	20	22	21	29	29	25
As	0,90	<0,5	<0,5	0,5	0,7	0,6	<0,5	<0,5	0,5	<0,5	0,6	0,6
Sc	23	25	35	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Eu/Eu*	1,02	1,03	0,94	0,98	0,91	0,90	0,95	0,86	1,07	1,14	1,11	0,94
REE	44	74	50	82	65	66	66	60	64	76	79	62
Zr/Nb	9,5	7,7	10,0	3,3	3,0	3,1	3,1	35,8	6,9	5,8	5,9	6,2
Ce/Y	1,1	1,5	1,3	3,3	3,0	3,2	3,0	1,9	1,8	2,2	2,0	1,8
La/Yb	6,5	7,3	7,4	15,9	13,8	13,7	16,9	13,2	10,4	12,5	10,1	10,0

*Примітки. Інтрузії: Hub – Губків; Bol – Болярка; Hor – Городницька; Hlm – Глумчанська. Порооди: MelP – мейтеїгіт-порфіри; OLMel – олівіновий мейтеїгіт; Mel – мейтеїгіти меланократові; OLij – іюліт олівінемісний; En – ендоконтактова фація; OLja – якупірангіт олівінемісний; AmJa – амфіболізований якупірангіт.

*Notes. Intrusions: Gub – Hubkiv; Bol – Bolyarka; Hor – Horodnytsa; Hlm – Hlumcha. Rocks: MelP – melteigite porphyre; OLMel – olivine melteigite; Mel – melanocratic melteigites; OLij – olivinebearing ijolite; En – endotact facies; OLja – olivinebearing jacupirangite; AmJa – amphibolized jacupirangite.

** – ppb

В породах північно-західної частини УЩ Eu/Eu^* наближається до одиниці (0,86–1,14), тоді як в аналогічних породах з інших частин УЩ внаслідок вищої диференційованості ($Mg\#$ 0,45–0,54) проявлені помірні або мінімальні Eu -аномалії (Eu/Eu^* 0,74–0,96).

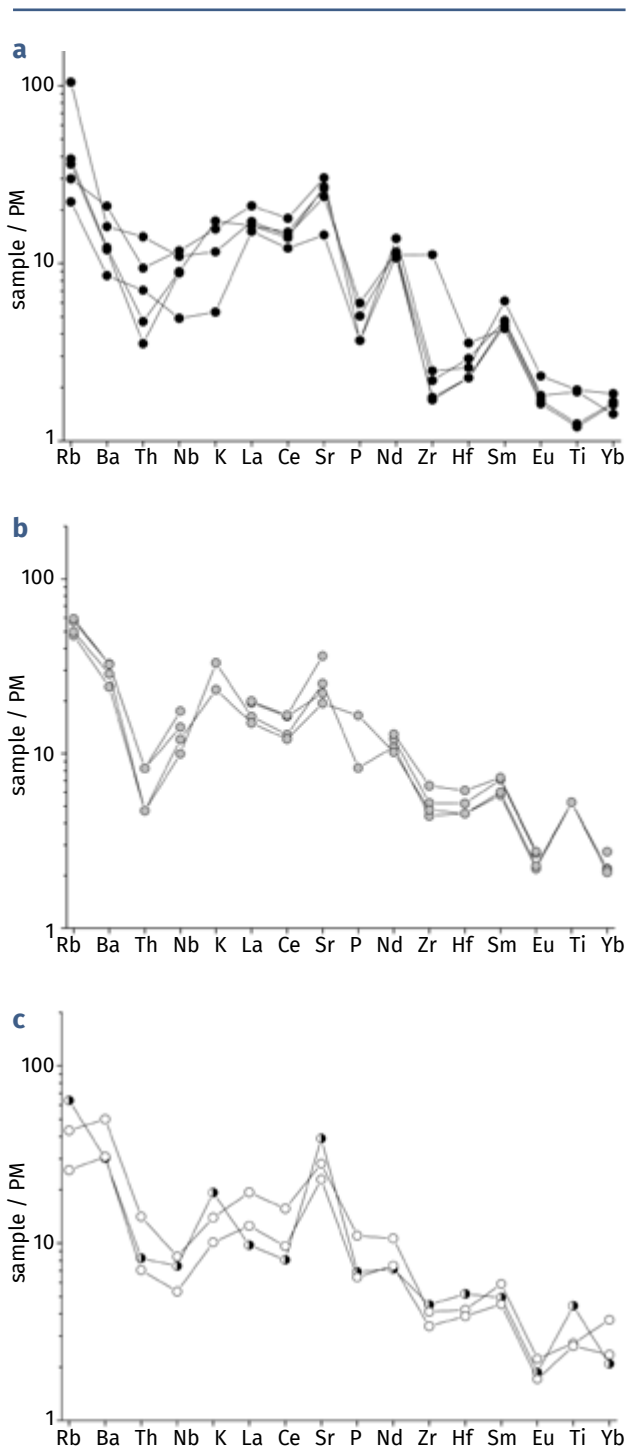


Рис. 6. Спектри рідкісних елементів, нормовані до примітивної мантії для лужних порід північно-західної частини УЩ. Концентрації елементів у примітивній мантії, за даними (Sun, McDonough, 1989). Умов. позначення див. на рис. 5

Fig. 6. Primitive mantle-normalized patterns of alkaline rocks of the North-Western part of the Ukrainian Shield. The primitive mantle data are from (Sun, McDonough, 1989). The symbols see Fig. 5

Спектри несумісних елементів, нормовані до примітивної мантії (рис. 6) лужних порід північно-західної частини УЩ, мають подібні закономірності їхнього розподілу в усіх проявах і демонструють, як згадувалося вище, суттєву деплетованість на більшість з них, окрім Rb, Sr, Nd і Sm. Найбільші негативні піки пов'язані із Th, Nb, Zr, Hf, REE і P.

На діаграмі Zr – Nb чітко проявляються два позитивних тренди (рис. 7): перший для Городницької інтрузії, а другий для порід з інших інтрузій. Такий розподіл свідчить, що обидва елементи поведилися як несумісні під час диференціації розплавів, за відсутності (або несуттєвої) асиміляції коровим матеріалом, а для Городницької інтрузії – на можливе раннє фракціонування Nb-вмісної фази. Повністю виключати асиміляцію не можна, оскільки принаймні один зразок олівінового якупірангіту із Городницької інтрузії відхиляється від загального тренду через високий, як для цих порід, вміст Zr (125 ppm), що разом із іншими геохімічними характеристиками цього зразка (пониженою концентрацією Sr і Ba та зменшенням відношення Ce/Yb) може свідчити про контамінацію (див. табл. 5).

Ізотопія. Ізотопні співвідношення Sr визначалися в апатитах із трьох досліджуваних проявів. За даними (Цымбал и др., 2011), співвідношення $^{87}Sr/^{86}Sr$ у апатитах Болярківської інтрузії знаходиться в межах 0,70223–0,70298, Глумчанської сягає 0,702054, Городницької – 0,70215–0,7028.

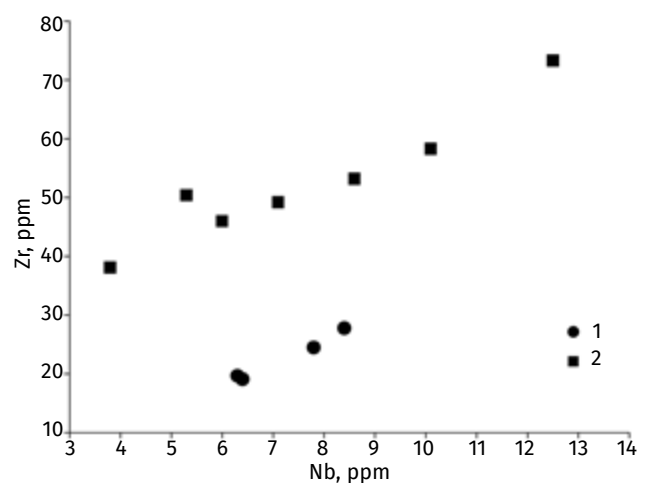


Рис. 7. Кореляція вмісту Zr і Nb у досліджуваних лужно-ультраосновних породах північно-західної частини УЩ: 1 – Городницька інтрузія (за винятком зразка, збагаченого на Zr); 2 – породи Глумчанської і Болярської інтрузій та Губківської ділянки

Fig. 7. Correlation of Zr and Nb contents in alkaline-ultrabasic rocks of the North-Western part of the Ukrainian Shield: 1 – Horodnytsa intrusion (except for the sample enriched in Zr, see Tabl. 5); 2 – rocks of the Hlumcha and Bolyarka intrusions and the Gubkiv area

Sm-Nd ізотопні дослідження є нечисленними (неопубліковані дані С.М. Цимбала) і відомі лише для Городницької та Глумчанської інтрузій, для яких співвідношення $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}(t)$ дорівнює 0,510094 і 0,509834–0,509997, відповідно ($\epsilon\text{Nd} +3,46$ і $-0,4 \div +1,5$, відповідно), що вказує на генерацію первинних розплавів із деплетованої мантії з домішкою збагаченого матеріалу.

Обговорення

Джерело первинних розплавів. Загальноприйнятою є думка про те, що верхня мантія має перидотитовий склад. Примітивні лужні, збіднені кремнеземом розплави, такі як меланефеліти, нефеліти і базаніти, можуть утворюватися за незначної частки плавлення перидотитових джерел за високого тиску. Тому найбільш імовірним джерелом виникнення примітивних нефелін нормативних розплавів розглядається гранатовий перидотит, який, як найбільш вірогідне джерело виникнення лужних ультраосновних розплавів, розглядався і в роботі (Кривдик и др., 2003). Значну глибину зародження первинних розплавів із перидотитового субстрату підтверджують оцінки тиску за ксенокристами хромшпінелідів і гранатів із Болярківської і Городницької інтрузій (Цимбал та ін., 2015). Отримані дані для цих інтрузій вкладаються у діапазон 2,0–2,6 і 3,0–3,1 GPa, відповідно, що охоплює поле як шпінелевих

левих (Болярківська інтрузія), так і гранатових (Городницька інтрузія) мантійних перидотитів, перехід між якими оцінюється в 2,5–3,0 GPa, еквівалентний глибині 75–90 км (Robinson, Wood, 1998). Оскільки інтрузії досліджуваних лужних порід приурочені до глибинних розломів мантійного закладання, амплітуда зміщення поверхні М у яких досягає 5–7 км, а в зоні Сарненсько-Варварівської зони 8–10 км (Кривдик и др., 2003; Цымбал и др., 2008), то, ймовірно, декомпресійне часткове плавлення мантійного субстрату відбувалося на менших глибинах.

Суттєве фракціонування HREE ($\text{Dy}/\text{Yb} > 2$) у більшості аналізів із лужних порід підтверджує попередні висновки про те, що первинні розплави виникали за часткового плавлення гранатових перидотитів. Тоді як нижчі значення тиску, отримані для ксенокристів мантійних мінералів у породах Болярківської інтрузії, корелюють із пониженим відношенням Dy/Yb (1,7–1,9) і можуть вказувати на виплаву первинного розплаву із менш глибинного резервуару, подібного до шпінелевих перидотитів. Подібні результати отримуємо за співвідношеннями $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{ch}}$ і $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{ch}}$ (рис. 8), де майже усі точки, за винятком порід Болярської інтрузії та одного аналізу якупірангіту Глумчанської інтрузії, потрапляють у область розплавів, які генеруються із гранатових перидотитів за незначного парціального плавлення.

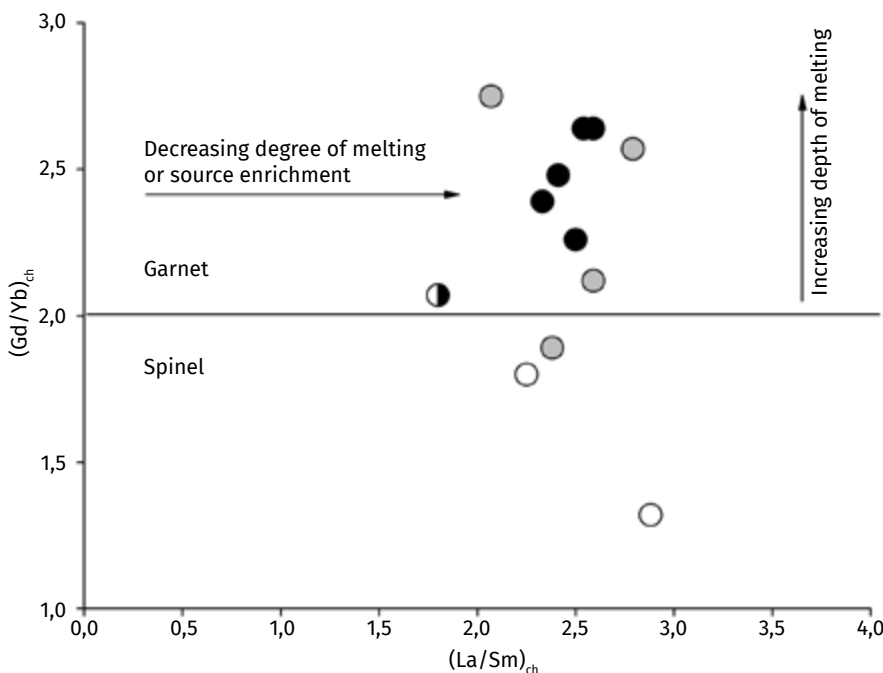


Рис. 8. Діаграма $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{ch}} - (\text{La}/\text{Sm})_{\text{ch}}$, яка використовується для визначення участі шпінелевих або гранатових перидотитів у генерації розплавів та ступеня їх часткового плавлення. Діаграма вказує на змішані гранат- і шпінельвмісні резервуари для зародження первинних розплавів лужних порід північно-західної частини УЩ та зростаючу глибину плавлення. Концентрації у хондриті, за даними (Sun, McDonough, 1995). Умов. позначення див. на рис. 5

Fig. 8. The $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{ch}} - (\text{La}/\text{Sm})_{\text{ch}}$ diagram used to determine the involvement of spinel or garnet peridotites in the melt generation and the degree of their partial melting. The diagram indicates mixed garnet- and spinel-bearing sources for the appearance of primary melts for intrusions of the North-Western part of the Ukrainian Shield and the increasing depth of melting. Concentrations in chondrite according to (Sun, McDonough, 1995). The symbols see Fig. 5

Моделювання часткового плавлення поширених порід верхньої мантії, засноване на фракціонуванні REE (наприклад, графік Sm/Yb – La/Sm), дає можливість розділити процеси плавлення, які відбуваються в полі стабільності гранатового перидотиту, від тих, що відбуваються в полі стабільності шпінелевого перидотиту, через значне фракціонування HREE гранатом. На рис. 9 більшість точок утворюють досить компактну групу у полі, яке обмежене лініями парціального плавлення гранатових і шпінелевих перидотитів. За пониженим співвідношенням Sm/Yb від цієї групи відхиляються зразки із Болярківської інтрузії, а за пониженим La/Sm – мельтейгіт-порфір Губківського прояву. Крім того, ця діаграма свідчить про те, що часткове плавлення лише гранатового перидотиту або шпінелевого перидотиту не може пояснити такі співвідношення цих елементів у досліджуваних породах. Виходячи з такого розподілу, первинні розплави для Городницької і Глумчанської інтрузій виникали за подібного ступеня часткового плавлення як результат змішування виплавки із мантійних перидотитів різного складу або внаслідок парціального плавлення амфібол-гранатового перидотиту. Крім того, для порід цих двох проявів проявляється негативна кореляція за Ce/Yb і вмістом Yb, що також підтверджує виникнення первинних розплавів переважно за рахунок мантійних гранатвмісних перидотитів (плавлення шпінелевих перидотитів має викликати позитивну залежність).

Утворення первинних розплавів Болярківського інтрузиву відбувалось переважно через парціальне плавлення шпінелевих перидотитів, можливо, з незначним додаванням розплаву із амфібол-гранатових або гранатових перидотитів. В цілому, таке розташування точок для Болярківського інтрузиву корелює як із даними, наведеними на рис. 8, так і попередніми висновками щодо РТ-умов магмогенерації (Цимбал та ін., 2015). Положення єдиного аналізу Губківського прояву на лінії парціального плавлення амфібол-гранатового перидотиту припускає, що висновки про умови і джерело генерації первинних розплавів для Городницького і Глумчанського інтрузивів є справедливими і для цього прояву. Зміщення від загальної групи може зумовлюватися більшим ступенем часткового плавлення або додаванням нижньокорового матеріалу.

Кристалізація первинних розплавів. Петрологічні дослідження, підкріплені експериментальними даними, свідчать, що головним процесом, відповідальним за утворення лужно-ультраосновних асоціацій, є фракційна кристалізація первинного розплаву олівін-меланефелінового складу. Високий вміст MgO, Cr і Ni в акупірангіт-мельтейгітових породах невеликих інтрузій північно-західної частини УЩ дозволяє розглядати їх як близькі аналоги первинних глибинних розплавів. Якщо високі концентрації Ni і Co пов'язані переважно із олівіном, то Cr входить

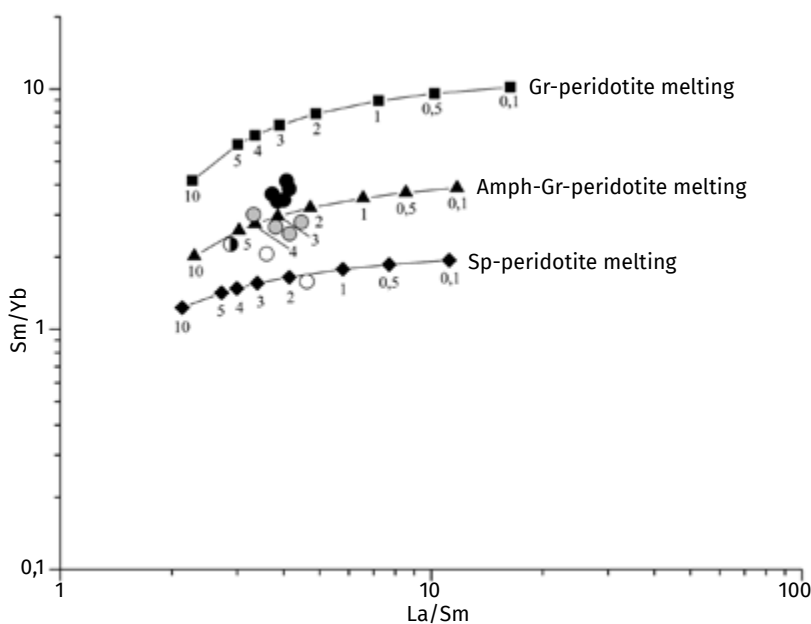


Рис. 9. Діаграма Sm/Yb – La/Sm із кривими рівноважного парціального плавлення мантійних перидотитів. Цифри на модельних кривих вказують на відсоток плавлення. Прийнятий мінеральний склад (Sun, McDonough, 1995): гранатовий перидотит (ol 0,57, орх 0,16, срх 0,14, grt 0,13), амфібол-гранатовий перидотит (ol 0,55, орх 0,19, срх 0,07, grt 0,08, amph 0,13), шпінелевий перидотит (ol 0,56, орх 0,22, срх 0,19, sp 0,03). Концентрація REE у мантійному резервуарі приймалася рівною РМ (Sun, McDonough, 1989). Коefіцієнти розподілу мінерал/розплав, за даними (Adam, Green, 2003). Умов. позначення див. на рис. 5

Fig. 9. Sm/Yb – La/Sm diagram with equilibrium partial melting curves of mantle peridotites. The numbers on the model curves indicate the percentage of melting. The assumed mineral composition (Sun, McDonough, 1995): garnet peridotite (ol 0.57, орх 0.16, срх 0.14, grt 0.13); amphibole-garnet peridotite (ol 0.55, орх 0.19, срх 0.07, grt 0.08, amph 0.13); spinel peridotite (ol 0.56, орх 0.22, срх 0.19, sp 0.03). The REE concentration in the mantle reservoir was assumed to be equal to primitive mantle (Sun, McDonough, 1989). Mineral/melt partition coefficients from (Adam and Green, 2003). The symbols see Fig. 5

до складу піроксенів та амфіболів, а також до наявних у всіх типах порід Cr-шпінелідів, у тому числі глибинних (алмазоносною асоціації), та ксенокристів хромистого піропу (Цымбал и др., 1997; Цимбал та ін., 2015). Останні могли зберегтися в умовах досить швидкого підйому меланефелітового розплаву із джерела магмоутворення.

На діаграмі La/Sm – La (рис. 10) усі зразки розташовуються вздовж тренду часткового плавлення, що підтверджує їхню кристалізацію із слабо диференційованого первинного розплаву, за незначної ролі фракційної кристалізації. Незважаючи на незначне фракціонування первинних мантієвих розплавів, умови їх генерації сприяють, внаслідок низьких ступенів плавлення, концентруванню некогерентних елементів. Тобто, підйому і кристалізації материнських лужних ультраосновних розплавів мали б передувати процеси, які суттєво деплетували їх на некогерентні елементи, або умови генерації таких розплавів відхилялися від звичайних.

Наявні в літературі дані про розподіл елементів-домішок у головних мінеральних фазах лужно-ультраосновних серій дають підстави припускати накопичення як REE, Y, так і HFSE в кінцевих дериватах, представлених частіше йолітами та нефеліновими сієнітами. З огляду на те, що коефіцієнти розподілу ($D^{min/liq}$) для згаданих елементів у ранніх кристалічних фазах (олівін, клінопіроксен) значно менші одиниці, має відбуватися концентрування некогерентних елементів у більш

диференційованих розплавах, аналоги яких в досліджуваних інтрузіях відсутні. Причини їх відсутності можуть пояснюватися як невеликими об'ємами первинного розплаву, який проникав на рівень сучасного ерозійного зрізу, і як результат його швидкої розкристалізації, або міграцією більш диференційованих порцій розплаву з наступною кристалізацією у вищі горизонти кори, можливо із формуванням вулканічних споруд на поверхні. Внаслідок ерозійного зрізу як вулканічні утворення, так і гіпабісальні частини вертикально розтягнутих магматичних камер могли знищуватися із збереженням придонної частини або підвідних магматичних каналів. Наразі така гіпотеза не зовсім узгоджується із гіпабісальними ознаками розкристалізації лужних порід (Цымбал и др., 2008). Гіпотетично під час ранніх етапів диференціації первинних лужних розплавів можуть кристалізуватися REE-збагачені фази, наприклад перовськіт. Незважаючи на невеликий вміст у мантії, перовськіт може бути основним концентратором літофільних елементів, зокрема REE (Kato et al., 1996; Wang et al., 2000). Крім того, за даними (Veksler, Tepteleev, 1990), перовськіт є більш стабільним, порівняно з титанітом, в нефелін нормативних ненасичених кремнеземом лужних розплавах.

Раннє фракціонування подібних REE-збагачених мінеральних фаз знаходить підтвердження у низці масивів лужно-ультраосновних порід або їх асоціації із карбонатитами.

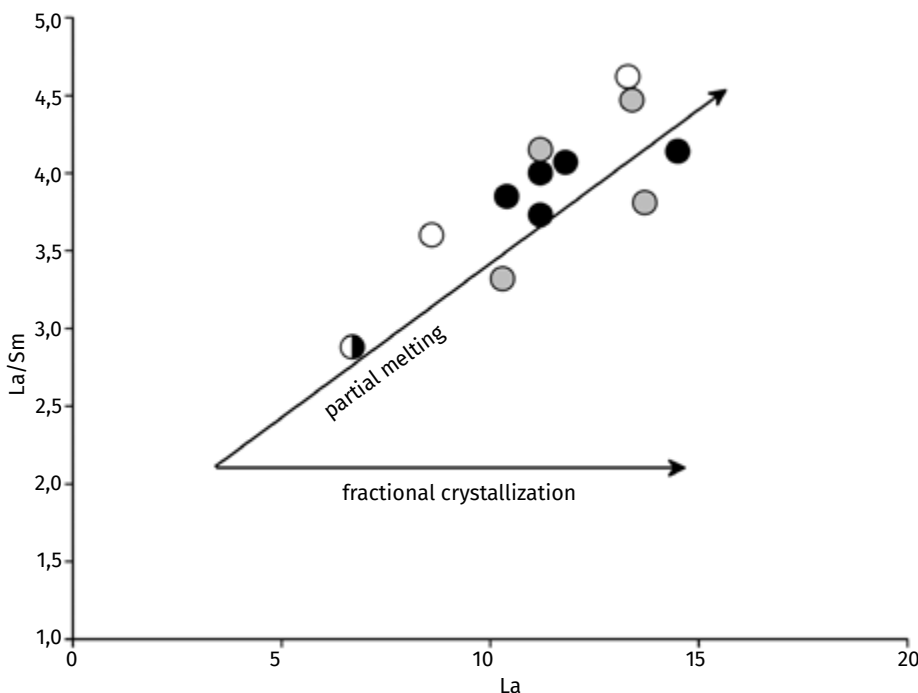


Рис. 10. Діаграма La/Sm – La для лужно-ультраосновних порід північно-західної частини УЩ. Діаграма показує, що більшість аналізованих порід під час еволюції зазнали лише часткового плавлення та не несуть ознак фракційної кристалізації. Умов. позначення див. на рис. 5

Fig. 10. La/Sm – La diagram for alkaline-ultrabasic rocks of the North-Western part of the Ukrainian Shield. The diagram shows that most of the analyzed rocks have suffered only partial melting during evolution, without fractional crystallization. The symbols see Fig. 5

Так, серед плутонічних порід Oldoinyo Lengai описано клінопіроксенітові (якупірангітові) кумулати, які містять до 28 % перовськіту (Dawson et al., 1995). В масивах Кугда, Гулі та Одіхінча згадуються олівінові та клінопіроксеніві породи з великою кількістю первинно перовськіту. Враховуючи високі $D^{\text{min/liq}}$ (Onuma et al., 1981; Corgne, Wood, 2002; Chakhmouradian et al., 2013) для Nb, REE та особливо Th, виявлені для перовськіту, навіть незначне його фракціонування на ранньому етапі кристалізації може суттєво збіднювати розплав на ці елементи.

Іншим мінералом, який потенційно може в значних кількостях акумулювати REE, є апатит, беручи до уваги високі значення відомих $D^{\text{Ap/sil liq}}$ у силікатних розплавах (Prowatke, Klemme, 2006). Оскільки у деяких лужних базальтах трапляються амфібол- і апатит-збагачені ксеноліти (Exley, Smith, 1982), то часткове плавлення таких багатих на фосфор мантійних порід призведе до підвищення у розплаві концентрації P_2O_5 , необхідного для його насичення і початку кристалізації апатиту. В іншому випадку, зважаючи на незначну диференційованість первинних розплавів і низьку концентрацію P_2O_5 у досліджуваних лужних породах, можливість раннього фракціонування апатиту видається малоімовірною, хоча на даному етапі досліджень повністю її виключити неможливо, оскільки навіть у найбільш примітивних меланефелінітах Хібінського півострова вміст P_2O_5 може досягати 1 % і вище. В іншому випадку під час кристалізації ранніх силікатів (олівін, клінопіроксен, гранат) фосфор як несумісний елемент повинен нагромаджуватися у більш диференційованих порціях розплаву.

Таким чином, можливість раннього фракціонування перовськіту (і потенційно апатиту) може викликати виявлену у лужних породах Волинського блоку деплетованість на REE, меншою мірою їхнє фракціонування впливає на концентрацію HFSE. Для останніх $D^{\text{Ap/sil liq}}$ є значно нижчими за одиницю (Prowatke, Klemme, 2006), тоді як експериментальні дані визначення $D^{\text{Per/liq}}$ (Corgne, Wood, 2002) вказують на їх зростання із пониженням тиску ($D_{\text{Nb}}^{\text{Per/liq}}$ 1,46, $D_{\text{Ta}}^{\text{Per/liq}}$ 2,95, $D_{\text{U}}^{\text{Per/liq}}$ 3,02 і $D_{\text{Th}}^{\text{Per/liq}}$ 5,24, для $P = 3$ GPa). Відповідно, гіпотетичне фракціонування перовськіту узгоджується із негативними аномаліями Nb і Th, які проявляються на спайдерграмах (див. рис. 6), проте не пояснює їхню деплетованість на Zr і Hf, для яких $D^{\text{Per/sil liq}} < 1$ (0,08 і 0,09, відповідно). Крім того, фракціонуванням перовськіту можна пояснити і досить значні

варіації Nb/Ta в різних інтрузіях. У мельтейгіті Губківського прояву і Глумчанської інтрузії це відношення близьке до хондритового (17,6), тоді як у Болярському і, особливо, Городницькому інтрузивах воно вище (19–20 і 21–35, відповідно; див. табл. 5). Оскільки Ta є більш сумісним із перовськітом, порівняно із Nb (Corgne, Wood, 2002), розплав буде збіднюватися на Ta більш інтенсивно, що позначатиметься на зростанні Nb/Ta. Іншим можливим поясненням зростання Nb/Ta відношення є особливості часткового плавлення рутилвмісних (?) мантійних порід.

Більш ефективною мінеральною фазою, яка може суттєво вплинути на розподіл HFSE в процесах часткового плавлення мантійних порід, викликаючи деплетацію часткових розплавів, є рутил (титаніт?). Рутил є поширеною акцесорною фазою еклогітів і зрідка присутній у метасоматизованих перидотитах. Оскільки він може містити до 4–6 % Nb_2O_5 , концентрація Nb і Ta в цьому мінералі значною мірою позначається на їх концентрації у мантійних породах і, відповідно, на розплавах, які із них генеруються. Враховуючи незначну частку парціального плавлення мантійних порід, необхідну для генерації лужних розплавів, а також температуру плавлення, яка, за даними (Цимбал та ін., 2015), не перевищувала 1100 °C, рутил як тугоплавка фаза є стабільним і не переходить у силікатний розплав (Green, Pearson, 1986; Ryerson, Watson, 1987; Klemme et al., 2002). Оскільки рутил має високі коефіцієнти розподілу для HFSE (Jenner et al., 1993; Foley et al., 2000) і залишається у релікті, первинні розплави будуть деплетовані на ці елементи. Частіше утворення силікатних розплавів із такими геохімічними характеристиками пов'язують із частковим плавленням еклогітів в острівно-дугових тектонічних обстановках, де залежно від тиску і температури плавлення низькотемпературні розплави, що утворюються за помірних тисків, демонструють негативні аномалії HFSE. Припускається, що розплави, які утворилися за часткового плавлення еклогіту і тиску менше ніж 3 GPa, через наявність залишкового рутилу в процесі плавлення, будуть мати негативні аномалії HFSE, тоді як розплави, згенеровані на глибших горизонтах, не проявлятимуть деплетації на ці елементи і можуть фактично транспортувати Nb та інші HFSE у вищезалігаючі мантійні породи («мантійний клин»). Їхня реакція із мантійними перидотитами над зоною субдукції може призвести до кристалізації вторинного рутилу (Kogiso et al., 1998; Yaxley,

Green, 1998). Відповідно, часткове плавлення цих перидотитів також спричиняє деплетованість на некогерентні елементи, як і у випадку плавлення еклогітів.

Тобто, за геохімічними особливостями досліджувані лужно-ультраосновні породи подібні до утворень, які властиві областям стиснення земної кори типу субдукції (або обдукції). За даними (Шумлянський, 2012), житомирські гранітоїди, які переважають серед вміщувальних порід, за геохімічними особливостями також подібні до субдукційних утворень. Зазначимо, що, за наявними геохронологічними даними, вік житомирських гранітів і досліджуваних лужних порід доволі близький (приблизно 2 млрд років) (Цымбал и др., 2011). Тобто, через незначний період часу після формування житомирських гранітів і з появою досліджуваних лужних порід могли зберегтися подібні геодинамічні умови стиснення земної кори.

Висновки

В північно-західному районі УЩ існує низка лужно-ультраосновних порід якупірангіт-мельтейгітового складу, що зближені за часом утворення (приблизно 2 млрд років) і просторово приурочені до зон глибинних розломів. В деяких ділянках лужно-ультраосновних порід виявлено також лужні габроїди (тонкі апофізи і прожилки), а в Городницькій інтрузії – альбіт-діопсидові породи, які можуть представляти результат контамінації гранітоїдним матеріалом первинного лужно-ультраосновного розплаву. Петрогенезис досліджуваних порід трактується неоднозначно, проте вони є поки що унікальними, відмінними

від типових лужно-ультраосновних порід інших регіонів. Первинні розплави в усіх проявах характеризувалися достатньо примітивним хімічним складом (високий вміст MgO, Cr та Ni), але відрізняються від подібних порід суттєвою деплетацією несумісних елементів (Nb, Ta, Zr, Hf, REE) за помірної концентрації Sr і Ba. Подібність за вмістом як петрогенних елементів, так і характерних елементів-домішок може свідчити про виплавку первинних розплавів(у) із мантійних порід схожого складу та їхню еволюцію за подібним механізмом. Співвідношення Gd/Yb та La/Sm в лужних породах Городницької і Глумчанської інтрузій та менш вивченої Губківської ділянки вказують на генерацію первинних розплавів за незначної частки плавлення гранатових (амфіболвмісних?) перидотитів. Первинний розплав для Болярківської інтрузії зароджувався за часткового плавлення шпінелевого перидотиту, ймовірно у менш глибинних обстановках. Умови генерації первинних розплавів, отримані за геохімічними даними, узгоджуються із розрахунками РТ-умов плавлення мантійних порід за ксенокристами хромшпінелідів і гранату.

Зважаючи на невеликий об'єм первинних лужних розплавів, які досягнули сучасного ерозійного зрізу, і значну швидкість їх підйому, розплави зазнали несуттєвої кристалізаційної диференціації. Тому аномальна деплетованість на HFSE і REE є або результатом специфічних умов зародження розплавів за понижених температур і тиску, коли у реститі залишалися мінерали-концентратори цих елементів (рутил, амфібол), або наслідком ранньої кристалізації і фракціонування їх мінералів-концентраторів (перовськіт, апатит).

Узагальнено дані про хімічний склад та вміст елементів-домішок у лужно-ультраосновних породах північно-західного району Українського щита. Породи такого складу виявлено за результатами бурових робіт на чотирьох ділянках (Городницька, Глумчанська, Болярківська, Губківська). Вони утворюють невеликі гіпабісальні інтрузії, штоко- та дайкоподібні тіла. Породи представлені якупірангіт-мельтейгітовою серією, всі різновиди яких кристалізувалися із високомагнезійних (Mg# 0,7–0,8) первинних розплавів. Менш розповсюдженими є лужні та сублужні габроїди, виявлені у тонких апофізах і прожилках відокремлених від дайок лужно-ультраосновних порід. Припускається, що ці габроїди утворилися в процесі контамінації мантійних лужно-ультраосновних розплавів коровим матеріалом. Лужно-ультраосновні породи всіх проявів мають високий вміст Cr (233–2737 ppm) і Ni (95–1022 ppm), але незвично деплетовані несумісними елементами-домішками (Nb, Ta, Zr, Hf, REE, Y) за помірної Ba і Sr. За геохімічними особливостями вони відмінні від однотипних порід як відомих карбонатитових та лужних комплексів Українського щита, так і світу. Незважаючи на примітивний склад лужно-ультраосновних порід та аномальну збідненість REE, хондрит нормовані спектри останніх подібні до таких у диференційованих породах (з переважанням LREE). Петрогенезис таких примітивних лужно-ультраосновних порід трактується неоднозначно, проте вони є поки що унікальними, відмінними від однотипних порід інших регіонів. Геохімічні особливості порід свідчать про виплавку первинних розплавів(у) із мантійних порід схожого складу та їхню еволюцію за подібним механізмом. Для лужних порід Городницької і Глумчанської інтрузій та, можливо, Губківської ділянки генерація первинних розплавів відбувалась за парціального плавлення гранатових (амфіболвмісних?) перидотитів. Первинний розплав для Болярківської інтрузії зароджувався за часткового плавлення шпінелевого перидотиту, ймовірно, у менш глибинних обстановках. Аномальна деплетованість на HFSE і REE розглядається як результат специфічних умов зародження первинних розплавів за понижених температур і тиску, коли у реститі залишалися тугоплавкі мінерали-концентратори цих елементів (рутил, амфібол), або через ранню кристалізацію і фракціонування мінералів-концентраторів (перовськіт, апатит).

Список літератури

- Арзамасцев А.А., Каверина В.А., Полежаева Л.И. Дайковые породы Хибинского массива и его обрамления. Апатиты, 1988. 86 с. (Препр. / Кол. науч. центр АН СССР. Геол. ин-т).
- Баран А.М. Геологія сублужних і лужних базит-ультрабазитів Новоград-Волинського блоку (Волинський мегаблок Українського щита): автореф. ... канд. геол. наук. Київ, 2012. 20 с.
- Белоусов В.В., Герасимовский В.И., Горячев А.В., Добровольский В.В., Капица А.П., Логачев Н.А., Милановский Е.Е., Поляков А.И., Рыкунов Л.И., Седов В.В. Восточно-Африканская рифтовая система. Т. 3. Геохимия, сейсмология, основные результаты. Москва: Наука, 1974. 288 с.
- Дубина О.В. Геохімія лужних порід Українського щита: автореф дис. ... д-ра геол. наук. Київ, 2015. 42 с.
- Егоров Л.С. Йолит-карбонатитовый плутонизм. Ленинград: Недра, 1991. 260 с.
- Калинкин М.М., Арзамасцев А.А. Щелочные ультрамафиты в трубках взрыва Терского берега Кольского полуострова: новый тип палеозойского магматизма. Докл. АН СССР. 1991. Т. 316, № 3. С. 702–706.
- Кривдік С.Г., Цимбал О.Ю. Особливості процесу фенітизації в екзоконтактових ореолах лужно-ультраосновних порід північно-західної частини Українського щита. Геол. журн. 2023а. № 3 (384). С. 33–44.
- Кривдік С., Цимбал О. Деякі другорядні мінерали лужно-ультраосновних порід північно-західної частини Українського щита та їхнє петрогенетичне значення. Мінерал. зб. 2023б. № 73. С. 22–26.
- Кривдік С.Г., Цимбал С.Н., Гейко Ю.В. Протерозойский щелочно-ультраосновный магматизм северо-западной части Украинского щита как индикатор кимберлитообразования. *Мінерал. журн.* 2003. Т. 25, № 5/6. С. 57–69.
- Русанов М.С., Арзамасцев А.А., Шевченко С.А. Ивановский вулcano-плутонический комплекс – новое проявление щелочного магматизма в Кольском регионе. Апатиты, 1989. 29 с. (Препр. / Кол. науч. центр АН СССР. Геол. ин-т).
- Русанов М.С., Арзамасцев А.А., Хмелинский В.И. Новый вулcano-плутонический комплекс Кольской щелочной провинции. *Отеч. геология.* 1993. № 10. С. 46–52.
- Цимбал О.Ю., Кривдік С.Г. Олівіни лужно-ультраосновних порід північно-західного району. *Геохімія та рудоутворення.* 2023а. Вип. 44. С. 9–13.
- Цимбал О.Ю., Кривдік С.Г. Піроксени лужно-ультраосновних порід північно-західної частини Українського щита. *Мінерал. журн.* 2023б. Т. 45, № 4. С. 48–56.
- Цимбал О.Ю., Кривдік С.Г. Амфіболи лужно-ультраосновних порід північно-західної частини Українського щита. *Мінерал. журн.* 2024. Т. 46, № 3. С. 67–80.
- Цымбал С.Н., Щербаков И.Б., Кривдик С.Г., Лабузный В.Ф. Щелочно-ультраосновные породы Городницкой интрузии (северо-запад Украинского щита). *Мінерал. журн.* 1997. Т. 19, № 3. С. 61–80.
- Цымбал С.Н., Гейко Ю.В., Кривдик С.Г., Баран А.Н., Цымбал Ю.С. Болярковская интрузия щелочно-ультраосновных пород (северо-запад Украинского щита). *Материалы междунар. науч. конф. «Актуальные проблемы геологии Беларуси и смежных территорий»*, Минск, 9–10 дек. 2008 г. Минск, 2008. С. 35–40.
- Цымбал С.Н., Степанюк Л.М., Цымал Ю.С., Гейко Ю.В. Возраст щелочно-ультраосновных пород Болярковской интрузии (северо-западная часть Украинского щита). *Мінерал. журн.* 2011. Т. 33, № 2. С. 66–71.
- Цимбал С.М., Цимбал Ю.С., Соболев В.Б. Ксенокристи мантийних мінералів із лужно-ультраосновних порід Болярківської інтрузії (Волинський мегаблок Українського щита). *Мінерал. журн.* 2015. Т. 37, № 4. С. 5–20.
- Цымбал С.Н., Шумлянский Л.В., Богданова С.В., Биллстрем Ш. Щелочно-ультраосновные породы северо-запада Украинского щита: возраст, изотопия, геохимия. *Щелочной магматизм Земли и его рудоносность: материалы междунар. совещ.*, Донецк, 10–16 сент. 2007 г. Киев: Логос, 2007. С. 248–250.
- Шумлянський Л.В. Петрологія і геохронологія породних комплексів Північно-Західного району Українського щита та його західного схилу: автореф. дис. ... д-ра геол. наук. Київ, 2012. 35 с.
- Adam J., Green T.H. Trace element partitioning between mica and amphibole-bearing garnet lherzolite and hydrous basanitic melt: 1. experimental results and the investigation of controls on partitioning behaviour. *Contrib. Mineral. Petrol.* 2006. Vol. 152. P. 1–17.
- Chakhmouradian A.R., Reguir E.P., Kamenetsky V.S., Sharygin V.V., Golovin A.V. Trace-element partitioning in perovskite: Implications for the geochemistry of kimberlites and other mantle-derived undersaturated rocks. *Chemical Geology.* 2013. Vol. 353. P. 112–131. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemgeo.2013.01.007>
- Corgne A., Wood B.J. CaSiO₃ and CaTiO₃ perovskite-melt partitioning of trace elements: Implications for gross mantle differentiation. *Geophys. Res. Lett.* 2002. Vol. 29, No. 19. P. 391–394. DOI: 10.1029/2001GL014398
- Dawson J.B., Smith J.V., Steele I.M. Petrology and mineral chemistry of plutonic igneous xenoliths from the carbonate volcano, Oldoinyo Lengai, Tanzania. *Journal of Petrology.* 1995. Vol. 36, No. 3. P. 797–826.
- Exley R.A., Smith J.V. The role of apatite in mantle enrichment processes and in the petrogenesis of some alkali basalt suites. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1982. Vol. 46, No. 8. P. 1375–1384. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(82\)90273-3](https://doi.org/10.1016/0016-7037(82)90273-3)
- Foley S.F., Barth M.G., and Jenner G.A. Rutile/melt partition coefficients for trace elements and an assessment of the influence of rutile on the trace element characteristics of subduction zone magmas. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 2000. Vol. 64. P. 933–938.
- Green T.H., Pearson N.J. Ti-rich accessory phase saturation in hydrous mafic-felsic compositions at high P,T. *Chemical Geology.* 1986. Vol. 54. P. 185–201.
- Jenner G.A., Foley S.F., Jackson S.E., Green T.H., Fryer B.J., Longerich H.P. Determination of partition coefficients for trace elements in high-pressure-temperature experimental run products by laser ablation microprobe-inductively coupled plasma mass spectrometry. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1993. Vol. 57. P. 5099–5103.
- Kato T., Othani E., Ito Y., Onuma K. Element partitioning between silicate perovskites and calcic ultrabasic melt. *Phys. Earth Planet. Inter.* 1996. Vol. 96. P. 201–207.
- Klemme S., Blundy J.D., Wood B.J. Experimental constraints on major and trace element partitioning during partial melting of eclogite. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2002. Vol. 66, No. 17. P. 3109–3123.
- Kogiso T., Hirose K., Takahashi E. Melting experiments on homogeneous mixtures of peridotite and basalt: Application to the genesis of ocean island basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.* 1998. Vol. 162. P. 45–61.
- Sun S.S., McDonough W.F. 1989. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes. In: Saunders A.D., Norry M.J., Eds., *Magmatism in the Ocean Basins*, Geological Society, London, Special Publications, 42. P. 313–345. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>
- Sun S.S., McDonough W.F. The composition of the Earth. *Chemical Geology.* 1995. Vol. 120, No. 3–4. P. 223–253. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)00140-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)00140-4)
- Onuma N., Ninomiya S., Nagasawa H. Mineral/groundmass partition coefficients for nepheline, melilite, clinopyroxene and perovskite in melilite-nepheline basalt, Nyiragongo, Zaire. *Geochemical Journal.* 1981. Vol. 15. P. 221–228.

- Prowatke S., Klemme S., Trace element partitioning between apatite and silicate melts. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2006. Vol. 70. P. 4513–4527.
- Robinson J.A.C., Wood B.J. The depth of the spinel to garnet transition at the peridotite solidus. *Earth Planet. Sci. Lett.* 1998. Vol. 164. P. 277–284.
- Ryerson F.J., Watson E.B. Rutile saturation in magmas: Implications for Ti-Nb-Ta depletion in island-arc basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.* 1987. Vol. 86. P. 225–239.
- Veksler V.I., Teptev M.P. Condition for crystallization and concentration of perovskite-type mineral in alkaline magmas. *Lithos*. 1990. Vol. 26, No. 1/2. P. 177–189.
- Wang W., Gasparik T., Rapp R.P. Partitioning of rare earth elements between CaSiO₃ perovskite and coexisting phases: Constraints on the formation of CaSiO₃ inclusions in diamonds. *Earth Planet. Sci. Lett.* 2000. Vol. 181. P. 291–300.
- Yaxley G.M., Green D.H. Reactions between eclogite and peridotite: Mantle reformation by subduction of oceanic crust. *Schweiz. Mineral. Petrol. Mitteil.* 1998. Vol. 78. P. 143–255.
- Kalinkin M.M., Arzamastsev A.A. 1991. Alkaline ultramafites in explosive pipes of Terskiy coast of Kola peninsula: a new type of Paleozoic magmatism. *Doklady of Soviet Union Academia*, 316, 3: 702–706 (in Russian)
- Kato T., Othani E., Ito Y., Onuma K. 1996. Element partitioning between silicate perovskites and calcic ultrabasic melt. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 96: 201–207.
- Klemme S., Blundy J.D., Wood B.J. 2002. Experimental constraints on major and trace element partitioning during partial melting of eclogite. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 66, 17: 3109–3123.
- Kogiso T., Hirose K., Takahashi E. 1998. Melting experiments on homogeneous mixtures of peridotite and basalt: Application to the genesis of ocean island basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 162: 45–61.
- Kryvdik S., Tsymbal O. 2023a. Features of the fenitization in excontact halos of alkaline-ultrabasic rocks of the northwestern part of the Ukrainian Shield. *Geologičnij žurnal*, 3 (384): 33–44 (in Ukrainian)
- Kryvdik S., Tsymbal O. 2023b. Some minor minerals of alkaline-ultrabasic rocks of the northwestern part of the Ukrainian Shield and their petrogenetic significance. *Mineral. collection*, 73: 22–26 (in Ukrainian)
- Kryvdik S.G., Tsymbal S.N., Geiko Yu.V. 2003. Proterozoic alkaline-ultrabasic magmatism of the North-Western part of the Ukrainian Shield as kimberlite formation indicator. *Mineral. Journ. (Ukraine)*, 25, 5/6: 57–69 (in Russian).
- Onuma N., Ninomiya S., Nagasawa H. 1981. Mineral/groundmass partition coefficients for nepheline, melilite, clinopyroxene and perovskite in melilite-nepheline basalt, Nyiragongo, Zaire. *Geochem. Journ.*, 15: 221–228.
- Prowatke S., Klemme S., 2006. Trace element partitioning between apatite and silicate melts. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 70: 4513–4527.
- Robinson J.A.C., Wood B.J. 1998. The depth of the spinel to garnet transition at the peridotite solidus. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 164: 277–284.
- Rusanov M.S., Arzamastsev A.A., Khmelinskiy V.I. 1993. A new volcano-plutonic complex of Kola alkaline province. *Otchestvennaya Geologia*, 10: 46–52 (in Russian).
- Rusanov M.S., Arzamastsev A.A., Shevchenko S.A. 1989. Ivanovskiy volcano-plutonic complex – a new occurrence of alkaline magmatism in Kola region. Apatyty. (Preprint / Science Kola Centre) (in Russian).
- Ryerson F.J., Watson E.B. 1987. Rutile saturation in magmas: Implications for Ti-Nb-Ta depletion in island-arc basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 86: 225–239.
- Shumlyansky L.V. 2012. Petrology and geochronology of rock of the North-Western district of the Ukrainian Shield and its western slope. Abstract Doctor Geol.–Sci. Kyiv (in Ukrainian).
- Sun S.S., McDonoug W.F. 1995. The composition of the Earth. *Chemical Geology*, 120, 3–4: 223–253. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)00140-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)00140-4)
- Sun S.S., McDonough W.F. 1989. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes. In: Saunders A.D., Norry M.J., Eds., *Magmatism in the Ocean Basins*, Geological Society, London, Special Publications, 42: 313–345. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>
- Tsymbal O.Yu., Kryvdik S.G. 2023a. Olivines of alkaline-ultrabasic rocks of the northwestern region. *Geochemistry and ore formation.*, 44: 9–13 (in Ukrainian)
- Tsymbal O.Yu., Kryvdik S.G. 2023b. Pyroxenes of alkaline-ultrabasic rocks of the northwestern part of the Ukrainian Shield. *Mineral. Journ. (Ukraine)*, 45, 4: 48–56 (in Ukrainian)
- Tsymbal O.Yu., Kryvdik S.G. 2024. Amphiboles of alkaline-ultrabasic rocks of the northwestern part of the Ukrainian Shield. *Mineral. Journ. (Ukraine)*, 46, 3: 67–80 (in Ukrainian)

- Tsymbal S.M., Tsymbal Yu.S., Sobolev V.B. 2015. Mante xenocrysts from alkaline-ultrabasic rocks in the Bolyarka intrusion (Volyn megablock, the Ukrainian Shield). *Mineral. Journ. (Ukraine)*, 37, 4: 5–20 (in Ukrainian).
- Tsymbal S.N., Geiko Y.V., Kryvdik S.G., Baran A.N., Tsymbal Y.S. 2008. Bolyarkovskaya intrusion of alkaline-ultrabasic rocks (North-Western of the Ukrainian Shield). *Materials Intern. Scientific Conf. "Actual problems of geology of Belarus and adjacent territories"*, Minsk, December 9–10, 2008. Minsk, p. 35–40 (in Russian).
- Tsymbal S.N., Shcherbakov I.B., Kryvdik S.G., Labuznyi V.F. 1997. Alkaline-ultrabasic rocks of Gorodnitsa intrusion (North-Western part of the Ukrainian Shield). *Mineral. Journ. (Ukraine)*, 19, 3: 61–80. (in Russian).
- Tsymbal S.N., Shumlyansky L.V., Bogdanova S.V., Billström S. 2007. Alkaline-ultrabasic rocks of the northwest of the Ukrainian Shield: age, isotopy, geochemistry. *Alkaline Earth Magmatism and its Ore-bearing: Proceedings of the International Conference, Donetsk, September 10-16, 2007*. Kyiv: Logos, p. 248–250 (in Russian).
- Tsymbal S.N., Stepaniuk L.M., Tsymbal Yu.S., Geiko Yu.V. 2011. Geological age of alkaline-ultrabasic rocks from Bolyarka intrusion (North-Western part of the Ukrainian Shield). *Mineral. Journ. (Ukraine)*, 33, 2: 66–71 (in Russian).
- Veksler V.I., Teptev M.P. 1990. Condition for crystallization and concentration of perovskite-type mineral in alkaline magmas. *Lithos*, 26, 1/2: 177–189.
- Wang W., Gasparik T., Rapp R.P. 2000. Partitioning of rare earth elements between CaSiO_3 perovskite and coexisting phases: Constraints on the formation of CaSiO_3 inclusions in diamonds. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 181: 291–300.
- Wang W., Gasparik T., Rapp R.P. 2000. Partitioning of rare earth elements between CaSiO_3 perovskite and coexisting phases: Constraints on the formation of CaSiO_3 inclusions in diamonds. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 181: 291–300.
- Yaxley G.M., Green D.H. 1998. Reactions between eclogite and peridotite: Mantle refertilisation by subduction of oceanic crust. *Schweiz. Mineral. Petrol. Mitteil.*, 78: 143–255.

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.2.300093>

6814.2024.2.300093

УДК 553.93/.97+552.578.2.061.3 (477)

E-mail: ariadna.v.ivanova@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0001-6540-5605>;
gavryltsev@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-4234-2282>

***Corresponding author /
Автор для кореспонденції:**
A.V. Ivanova, ariadna.v.ivanova@gmail.com

Received / Надійшла до редакції:
20.06.2023

**Received in revised form /
Надійшла у ревізованій формі:**
10.05.2024

Accepted / Прийнята:
05.06.2024

Keywords: coal bearing; oil and gas bearing; paragenetic connections; vitrinite; liptinite; hydrocarbons.

Ключові слова: вугленосність; нафтогазоносність; парагенетичні зв'язки; вітриніт; ліптиніт; вуглеводні.

Парагенетичні зв'язки вугленосних та нафтогазоносних формацій (на прикладі Доно-Дніпровського прогину)

А.В. Іванова*, В.Б. Гаврильцев

Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна

Paragenetic relations of coal-bearing and oil- and gas-bearing formations (example of the Don-Dnieper trough)

A.V. Ivanova*, V.B. Gavryltsev

Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The relationship between coal-bearing and oil-and-gas-bearing formations is a fundamental problem in geology. The aim of this study is to determine the paragenetic relationships between hydrocarbons with coal-bearing sediments. This is achieved through the analysis of hydrocarbon composition, hydrocarbons deposits distribution, connection with petrographic types and degree of coalification of the coal in the Don-Dnieper trough. It provides various examples of the coexistence and palaeogeographic connectivity of coal, oil, and gas-bearing formations, which is a widespread occurrence in many basins worldwide. During both peat accumulation and the transformation of organic matter from peat to coal, the Don-Dnieper trough was located in the equatorial range of paleo-latitudes. This observation is significant because it sheds light on the conditions that existed during the formation of coal in this region. This text describes the petrographic composition and degree of coalification of the concentrated and scattered organic matter in the Don-Dnieper trough. These characteristics determine the formation of liquid and gaseous hydrocarbons. Based on the distribution of hydrocarbon deposits in the Don-Dnieper trough, and their consistency with petrographic coal types and degree of coalification, carboniferous deposits are classified into several categories: coal-bearing, gas-carbon-bearing, coal-gas-bearing, gas-bearing, oil-gas-bearing, gas-oil-bearing, oil-bearing, and limited oil-bearing. The distribution of coal deposits of a certain age, the degree of coalification, and the composition of organic matter are consistent with the presence of liquid or gaseous hydrocarbons. The additional data obtained strongly support the concept of a paragenetic connection between coal-bearing and hydrocarbon-containing formations.

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

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

Цитування: Іванова А.В., Гаврильцев В.Б. Парагенетичні зв'язки вугленосних та нафтогазоносних формацій (на прикладі Доно-Дніпровського прогину). *Геологічний журнал*. 2024. № 2 (387). С. 63–80. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.2.300093>

Citation: Ivanova A.V., Gavryltsev V.B. 2024. Paragenetic relations of coal-bearing and oil- and gas-bearing formations (example of the Don-Dnieper trough). *Geologichnij zhurnal*, 2 (387): 63–80. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.2.300093>

Вступ

Питання парагенетичних зв'язків вугленосних та нафтогазоносних формацій – це одна з фундаментальних проблем геології, яка має як теоретичне, так і велике практичне значення.

Генетичний зв'язок вуглеводневих газів з вугіллям та їх метаморфогенне походження встановлені і не викликають особливих питань (Вассоевич, 1977; Штах и др., 1978; Брижанев, Галазов, 1983; Ермаков, Скоробогатов, 1984; Аммосов и др., 1987; Еремін, Гагарин, 1998; Іванова, 2001; та ін.). Зокрема, метаморфогенний (термогенний) генезис метану Донецького басейну переконливо доведений на підставі аналізу хімічного та ізотопного складу горючих газів, відібраних з вугільних пластів Південно-Західного Донбасу (Привалов и др., 2004, 2010).

Разом з тим з'являється все більше свідчень, що гумусове вугілля є генератором не тільки газоподібних, але і рідких вуглеводнів (ВВ). Вагомим аргументом на користь цієї тези є наявність нафтопроявів у різних вугільних басейнах світу (Littke, Ten Haven, 1989; Wilkins, George, 2002; Yalçın et al., 2002; Sykes et al., 2014 та ін.). Зокрема, нафто- та бітумопрояви зафіксовані у вугленосних відкладах ряду шахт Південно-Західного Донбасу з помірними значеннями вуглефікаційних перетворень органічної речовини (ОР). Як газові, так і нафтові родовища карбонового віку відомі на півночі та північному заході Донбасу, наявність нафто-газопроявів зафіксована по всій площі Західного Донбасу (Атлас..., 1998; Петрологический..., 2006; Привалов и др., 2010; Жикаляк и др., 2012 та ін.).

Мета роботи – з'ясувати наявність парагенетичних зв'язків вуглеводневих родовищ з вугленосними відкладами на підставі аналізу складу ВВ, характеру розподілу їх покладів і сполученості з петрографічними типами та ступенем вуглефікації вугілля Доно-Дніпровського прогину (ДДП).

Матеріалом для статті слугували напрацьовані авторів з вітринітової термометрії у рамках вивчення палеогеотермічного та палеотектонічного режиму регіону, катагенетичних перетворень порід і вугілля та його генераційної здатності (Іванова, 2001, 2006; Іванова, Зайцева, 2012; Іванова, Гаврильцев, 2021; Ivanova, Gavryltsev, 2022 та ін.), а також літературні дані про характеристики та розташування вуглеводневих родовищ (Атлас..., 1998 та ін.). Були використані вуглепетрографічні, вітринітової термометрії,

статистичні методи. Моделювання палеообстановки виконано за допомогою інструментарію PALEOMAP Project (Scotese, 2016).

Залежність вуглеводневої генерації від ступеня катагенезу ОР. ОР, як сконцентрована у вугільних пластах (концентрована – КОР), так і розсіяна в породах (РОР), здатна генерувати ВВ. У результаті накопичення осадків і тектонічного занурення осадкових порід відбувається підвищення температури – основного фактора метаморфогенного перетворення ОР, що супроводжується утворенням вуглеводневих газів (Вассоевич, 1977; Брижанев, Галазов, 1983; Ермаков, Скоробогатов, 1984; Еремін, Гагарин, 1998; Іванова, 2001, 2006; Привалов и др., 2010; Іванова, Гаврильцев, 2021 та ін.).

При вуглефікації, крім летких продуктів, ОР генерує і високомолекулярні органічні сполуки, тобто має не тільки газо-, а й нафтоматеринський потенціал (Косенко, Левенштейн, 1968; Штах и др., 1978; Тиссо, Вельте, 1981; Неручев, Рогозина, 1992; Gürdal, Yalçın, 2000; Yalçın et al., 2002; Van Koeverden et al., 2010; Kalinowski, Gurba, 2020). Утворення нафтоподібних продуктів спостерігається в діапазоні вуглефікації від довгополуменевого (Д) до жирного та перехідного до коксівного (Ж–ЖК) вугілля з показником R^o відбиття вітриніту (ПВВ) – 0,5–1,3 % (Штах и др., 1978; Анциферов и др., 2004; Van Koeverden et al., 2010). За даними В.В. Касьянова зі співавторами (Касьянов и др., 1999), які вивчали вугленосні відклади нижнього карбону на продовженні Західного Донбасу в межах Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ), рідкі ВВ розповсюджені у відкладах карбону з вугіллям низької та середньої стадій вуглефікації від довгополуменевого (Д) та газового (Г) до Ж–ЖК. У відкладах з вугіллям марок від коксівного (К) до пісного (П) рідкі ВВ трапляються зрідка, а в антрацитах (А) і напівантрацитах (НА) взагалі не виявлені.

Вуглеводневий газ генерується у всьому діапазоні метаморфогенного перетворення кам'яного вугілля з максимумом в області розвитку вугілля Ж та коксівного (К) з ПВВ 1,3–1,8 % (Штах и др., 1978; Еремін, Гагарин, 1998; Касьянов и др., 1999; Анциферов и др., 2004).

Проте високою метаноносністю характеризується і більш високометаморфізоване вугілля аж до НА та низькометаморфізованих А (Анциферов и др., 2004). Зростання газоносності з підвищенням метаморфізму пояснюється не тільки генерацією ОР метаморфогенних газів,

а і властивостями вугілля як газовмісного середовища (Забигайло, Широков, 1972; Эттингер, Еремін, 1980; Еремін, Гагарин, 1998; Flores, 1998; Іванова, 2001; Архипов і др., 2003; Іванова, Зайцева, 2018 та ін.). У ряді метаморфізму сорбційна газоемність зростає від вугілля низьких стадій метаморфізму до вищих, що пояснюється його природною активацією та зміною дисперсних показників (співвідношення розміру та характеру пор і ендогенної тріщинуватості) (Еттингер, Еремін, 1980). Зростання кількості газу на пізніх стадіях катагенезу пояснюється не тільки зміною порової структури вугілля, а і деструкцією рідких ВВ, які стають додатковим джерелом газу (Архипов і др., 2003).

В найбільш метаморфізованих А метаноносність знижується до повної її відсутності, що пояснюється розкладенням метану та утворенням при взаємодії з водою вуглекислого газу і водню (Забигайло, Широков, 1972; Эттингер, Еремін, 1980; Брижанев, Галазов, 1983). Щодо форм знаходження газу у вугіллі, то він може перебувати у стані вільному, сорбованому та клатратному (газогідратному). Вільний газ займає поровий простір (крупні мікропори, макропори, мікротріщини), кількість газу в якому залежить від тиску та температури гірського масиву. Основна кількість газу утримується в мікропорах (менше 10 мкм) у сорбованому та клатратному стані. Надлишкові об'єми мігрують та накопичуються в зонах розвантаження, якими є зони розломів, склепіння антикліналей, колекторські горизонти. При наявності екранованої пастки можуть створюватися невеликі газові родовища (Анциферов і др., 2004).

Залежність генерації ВВ від петрографічного складу вугілля. Генерація ВВ залежить не тільки від елементного складу вугілля, який пов'язаний зі ступенем термічної зрілості ОР, але і від складу його мікрокомпонентів. З позиції генерації метану мікрокомпоненти гумусового вугілля створюють ряд, в якому максимальним газоутворюючим потенціалом відзначаються вітриніт і ліптиніт (Бартошинська та ін., 2002; Іванова, Зайцева, 2018 та ін.). Основна генерація вуглеводневих газів починається для цих мікрокомпонентів з вугілля стадії Ж (ПВВ – 0,85 %) (Еремін, Гагарин, 1998). Причому вітриніт, що відноситься до III типу керогену, генерує, за даними (Тиссо, Вельте, 1981), максимум легких ВВ. Це підтверджується значною кореляційною залежністю між природною метаноносністю та вмістом

у пробах мацералів групи вітриніту (Іванова, 2001; Привалов і др., 2004; Іванова, Зайцева, 2012). За даними (Касьянов і др., 1999), при метаморфізмі карбонового вугілля ДДЗ кларенового складу, збагаченого компонентами групи вітриніту, відбувається газоутворення.

Але, як показали численні дослідження, вітриніт генерує також і рідкі ВВ. За даними (Littke, Ten Haven, 1989), вітриніт генерує меншу кількість рідких продуктів з дещо іншим молекулярним складом. У даному разі варто відзначити значну роль в генераційних і сорбційних властивостях ступеня відновленості вугілля, який проявляється якісною відмінністю вітриніту у вугіллі одного і того ж ступеня метаморфізму. Колір вітриніту відновленого вугілля є більш яскравим, а збереженість рослинної структури краща. Відновлене вугілля порівняно з невідновленим характеризується більшим виходом легких, більшим вмістом водню і вуглецю та меншим – кисню (Игнатченко и др., 1979; Петрологический..., 2006). У світі поняття відновленості не використовується, увага зосереджується на ступені збагаченості вітриніту воднем. Констатується, що збагачений воднем вітриніт має підвищений потенціал для генерації рідких ВВ (Wilkins, George, 2002; Привалов і др., 2004; Petersen, 2006; Van Koeverden et al., 2010).

Максимальні бітумогенераційні і газоматеринські можливості має ліптиніт (II тип керогену), який генерує як газоподібні, так і більш важкі ВВ (нафту та жирні гази) (Тиссо, Вельте, 1981; Ермаков, Скоробогатов, 1984; Mukhopadhyay et al., 1991; Бартошинська та ін., 2002; Yalçın et al., 2002; Привалов і др., 2004; Van Koeverden et al., 2010; Скоробогатов, 2019).

Відносно нафтогенеруючого потенціалу різних компонентів групи ліптиніту дані досить суперечливі. За (Wilkins, George, 2002), такі мацерали, як альгінит, кутиніт і субериніт, більш схильні до утворення нафтопродуктів, ніж спориніт і резиніт. Проте наводяться дані про наявність нафтогенераційного потенціалу спориніту карбонового вугілля таких регіонів, як Донбас, ДДЗ, південна частина Норвезького Баренцева моря (Касьянов і др., 1999; Привалов і др., 2010; Van Koeverden et al., 2010).

За рахунок сапропелевої частини ОР також зростає частка гомологів метану та рідких ВВ (Mukhopadhyay et al., 1991).

Щодо генеруючих властивостей інертиніту висновки дослідників досить неоднозначні.

За даними (Еттингер, Еремін, 1980), генерація газів для інертиніту розпочинається на стадії НА. Інші науковці (Бартошинська та ін., 2002) вважають, що інертиніт завдяки клітинній будові і відповідно високій внутрішньофрагментарній пористості акумулює вільні гази, генеровані іншими мікрокомпонентами, а згодом, зі зміною термобаричних умов, легко їх віддає.

Мікрокомпоненти вугілля відрізняються і за своїми сорбційними властивостями. Дослідження карбонового вугілля басейну Зонгулдак (на північному заході Туреччини) показало, що адсорбційна здатність вугілля зростає зі збільшенням вмісту вітриніту, ліптиніту та зменшенням вмісту інертиніту. Багате вітринітом вугілля має підвищену питому поверхню, а отже, підвищену газопоглинальну здатність (Gürdal, Yalçın, 2000; Yalçın et al., 2002). За даними (Бартошинська та ін., 2002), максимальною сорбційною ємністю характеризується вугілля, яке складене не менше, як на 75 % з вітриніту і семівітриніту.

Палеогеографічна сполученість вугленосних і нафтогазоносних басейнів. Співіснування та палеогеографічна сполученість вугленосних та нафтогазоносних формацій різного віку відзначається для багатьох басейнів світу та широко проявляється на Північно- і Південно-Американському та Євразійському континентах

(Егоров, 1975; Wilkins, George, 2002; Тимофеев А.А., Тимофеев В.А., 2004; Скоробогатов, 2019 та ін.). За даними, наведеними в роботах (Геология..., 1973, 1978; Матвеев, 1979; Нефтяные..., 1987; Высоцкий и др., 1990; Ahlbrandt et al., 2000; Charpentier et al., 2008; Tewalt et al., 2008; Bird et al., 2013; Zhang et al., 2015; Shao et al., 2020; Opluštil, Schneider, 2023), авторами побудована карта розподілу вугленосних басейнів карбону та сполучених з ними нафтогазоносних басейнів і провінцій (рис. 1).

Дослідники, які провели палеоширотний аналіз як для материнських порід, так і для порід-колекторів (Irving et al., 1974), встановили, що понад 80 % усієї нафти фанерозою знаходиться в породах-колекторах із палеоширотною прив'язкою меншою 30°, а понад 60 % – в безпосередній близькості від екватора. Таке саме розташування справедливе й для нафтоматеринських порід. Тобто палеоседиментаційні басейни, як під час накопичення нафтоматеринських порід, так і на час дозрівання ОР, коли вона могла генерувати ВВ, знаходилися в приекваторіальному діапазоні широт. Автори згаданого дослідження шкодують щодо відсутності на той час досконаліших карт тектонічних плит, які б дозволили реконструювати зміщення земної кори на час до крейдяного періоду. Ці дослідники виділяють чотири групи

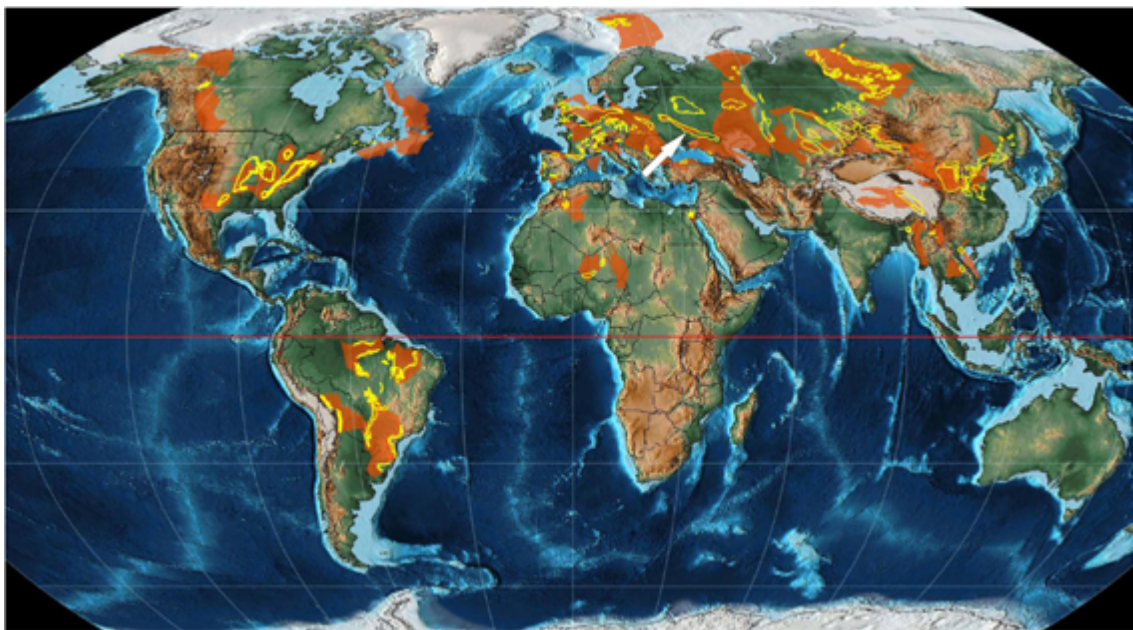


Рис 1. Розподіл вугленосних басейнів карбону (жовтий контур) та сполучених з ними нафтогазоносних басейнів та провінцій (помаранчева заливка). Стрілка вказує на місце знаходження Доно-Дніпровського прогину

Fig. 1. Distribution of Carboniferous coal-bearing basins (outlined in yellow) and associated oil and gas-bearing basins and provinces (filled in orange). The Don-Dnieper depression is indicated by the arrow. (Constructed in the PALEOMAP Project (Scotese, 2016) using data from (Golitsyn et al., 1973; Pogrebnov et al., 1978; Matveev, 1979; Maksimov, 1987; Vysotsky et al., 1990; Ahlbrandt et al., 2000; Charpentier et al., 2008; Tewalt et al., 2008; Bird et al., 2013; Zhang et al., 2015; Shao et al., 2020; Opluštil, Schneider, 2023))

факторів, що визначають виникнення ВВ, зокрема нафти: (1) клімат (особливо температура), (2) мінеральні поживні речовини, (3) тектонічні фактори, що контролюють початкове формування басейну, та (4) тектонічні фактори, що контролюють збереження нафти. Причому всі ці фактори детерміновані тектонікою літосферних плит.

Моделювання палеообстановки за допомогою інструментарію PALEOMAP Project (Scotese, 2016) показало, що як на початку, так і наприкінці карбону більшість виділених нами вугленосних та нафтогазоносних площ були сконцентровані в палеоширотному діапазоні $\pm 30^\circ$ (рис. 2, 3). Винятком становили басейни азійські (Сибіру, Казахстану, Китаю) та Південної Америки. ДДП знаходився в приекваторіальному діапазоні палеоширот як під час торфонакопичення, так і після перетворення ОР торфу у вугілля (від Б до А) з відповідним вуглеводневим потенціалом. При цьому спостерігалися всі визначальні фактори виникнення ОР та ВВ: екваторіальний чи субекваторіальний клімат, що сприяв розквіту тро-

пічних заболочених лісів кам'яновугільного періоду та відкладанню евапоритів ранньої пермі з утворенням якісних покришок; мінеральні поживні речовини, в тому числі у вигляді вулканічного попелу, джерелом якого могли бути центри вулканічної діяльності Північного Кавказу (Тектоника..., 1951; Ivanova, Zaitseva, 2022); тектонічний розвиток прогину забезпечив формування структур, локалізацію та збереження покладів ВВ, за винятком відкритого Донбасу (Забигайло, Широков, 1972; Іванова, 2001; Анциферов и др., 2004; Привалов та ін., 2010 та ін.). Вихід басейну за межі приекваторіального поясу здійснився лише в пізньому тріасі (232,9 млн років).

Взаємообумовленість утворення рідких і газоподібних ВВ у вугленосних відкладах ДДП. У прогині просторово поєднуються вугленосні та нафтогазоносні родовища, розподіляючись зонально в залежності від типу та ступеня вуглефікації ОР вмісних порід. Вугленосні відклади підстеляють нафтогазоносні, а продуктивні комплекси закономірно переходять один в одній по площі.

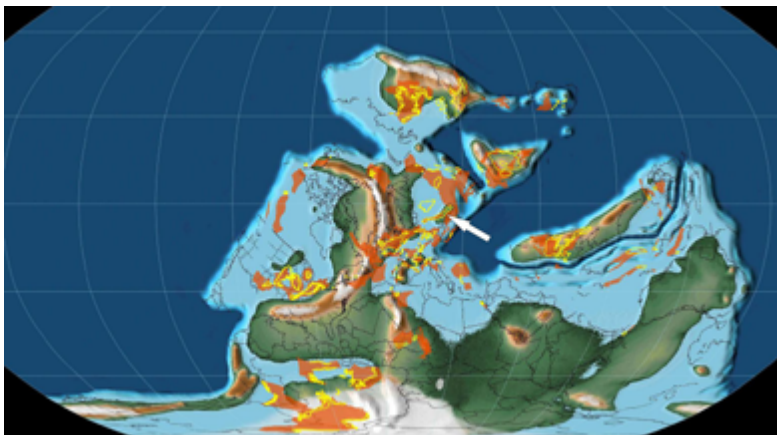


Рис. 2. Розподіл вугленосних (жовтий контур) і нафтоносних (помаранчева заливка) басейнів у ранньому карбоні (359,2 млн років). Кольорова гамма відображає палеотопографічні/палеобатиметричні відмітки: синій колір – океан; відтінки блакитного – шельф, зеленого – низини, коричневого – височини-нагір'я; білий колір – високогір'я

Fig. 2. Distribution of coal-bearing (outlined in yellow) and oil-bearing (filled in orange) basins in the Early Carboniferous (359.2 Ma). The color scheme represents the paleotopographical/paleobathymetric markings: blue color – Ocean; shades of light blue – Shelf, green – Lowlands, brown – Uplands; white color – High Mountains. (Golitsyn et al., 1973; Pogrebnov et al., 1978; Matveev, 1979; Maksimov, 1987; Vysotsky et al., 1990; Ahlbrandt et al., 2000; Charpentier et al., 2008; Tewalt et al., 2008; Bird et al., 2013; Zhang et al., 2015; Shao et al., 2020; Opluštil, Schneider, 2023)

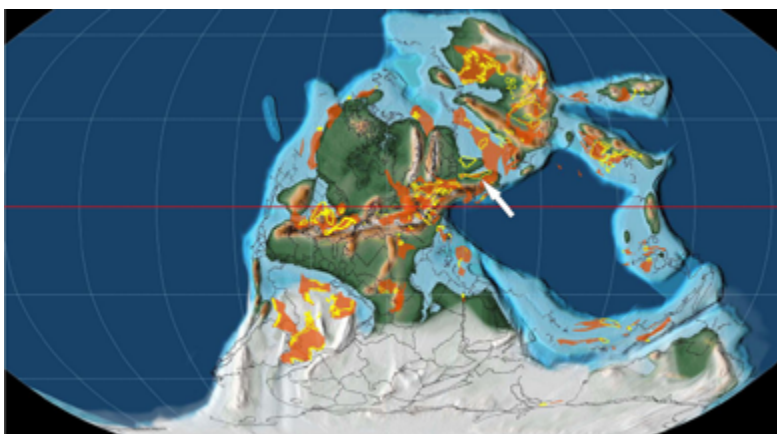


Рис. 3. Розподіл вугленосних (жовтий контур) і нафтоносних (помаранчева заливка) басейнів у пізньому карбоні (296,8 млн років). Опис кольорової гамми наведено на рис. 2

Fig. 3. Distribution of coal-bearing (outlined in yellow) and oil-bearing (filled in orange) basins in the Late Carboniferous (296.8 Ma). The color range is described in Fig. 2. (Constructed in the PALEOMAP Project (Scotese, 2016) using data from (Golitsyn et al., 1973; Pogrebnov et al., 1978; Matveev, 1979; Maksimov, 1987; Vysotsky et al., 1990; Ahlbrandt et al., 2000; Charpentier et al., 2008; Tewalt et al., 2008; Bird et al., 2013; Zhang et al., 2015; Shao et al., 2020; Opluštil, Schneider, 2023))

У відкладах верхнього девону, що представлені осадовими та вулканогенними породами, в межах ДДЗ виявлена лише РОР (Іванова, 2012).

Вугленосні відклади на території ДДП представлені комплексом карбонатно-теригенних порід карбону. В Донбасі пласти та прошарки вугілля трапляються по всьому розрізу товщі карбону – від верхньовізейських відкладів до верхньокам'яновугільних. Причому вугленосність нижнього карбону, що пов'язана з лагунними обстановками, спостерігається лише у смузі вздовж південно-західного борту басейну, охоплюючи Південний і Західний Донбас. На північний схід від цієї смуги лагунні фації змінюються морськими. Середній карбон вугленосний по всій площі Донбасу. Основні запаси вугілля Донбасу приурочені до відкладів середнього карбону, частково – до нижнього, Західного Донбасу – до нижнього, частково до середнього (Геологія..., 1963; Привалов и др., 2010).

У ДДЗ у бортових та прибортових частинах розвинуті нижньо- та середньокам'яновугільні вугленосні відклади, в межах центрального грабена – від нижньо- до верхньокам'яновугільних. Відклади, що мають промислове значення, приурочені до її південно-східної частини, прилеглої до вугленосних районів Західного Донбасу, до південного схилу та Чернігівсько-Брагинського виступу. В межах останнього, за даними (Майданович, Шульга, 1990), досить значна вугленосність спостерігається у візейських, особливо серпуховських відкладах, що наближується до показників вугленосності південно-східної частини ДДЗ. Підвищеною вугленосністю відзначаються середньокам'яновугільні відклади башкирського, меншою мірою московського ярусів.

Сумарні потужності КОР змінюються на південному сході ДДЗ у нижньому карбоні від 4,3 до 50 м, у середньому – від 13 до 80 м. На північному заході вони становлять 0,7–8,6 м (нижній карбон) і 0,8–3,3 м (середній карбон) (Лапчинский, Нестеренко, 1984; Майданович, Шульга, 1990).

Вміст РОР у цілому по ДДЗ у південно-східній частині западини варіює від 0,5 до 5,0 % (до 8 % у вуглистих породах), у північно-західних районах знижується до 0,5–3,0 % (Ермаков, Скоробогатов, 1984; Шпак, Лукин, 1986). Значення КОР/РОР для ДДЗ у цілому становить 0,9, на південному сході змінюється від 0,5 до 2,5. У відкладах нижнього карбону РОР превалює над КОР. У середньому карбоні значення КОР/РОР для ДДЗ сягають 2,2, на південному сході коливається від 0,6 до 2,8 (Лапчинский, Нестеренко, 1984).

РОР сапропелевого та гумусово-сапропелевого складу поширена у відкладах верхнього девону, нижнього та низів середнього карбону. Сапропелеве та ліптобіолітове вугілля частіше спостерігається в нижньому карбоні в асоціації з вугіллям інших петрографічних типів. Частина сапропелевої компоненти у вугіллі нижнього карбону зменшується з північного заходу на південний схід і вгору за розрізом. У розрізі від московського ярусу середнього карбону до триасу включно в складі РОР переважає гумусова органіка (Ермаков, Скоробогатов, 1984; Шпак, Лукин, 1986).

На ранньокам'яновугільних етапах як у Донбасі, так і в ДДЗ, що являли собою єдину область торфонакопичення, останнє відбувалося в малообводнених і проточних болотах розчленованого лагунно-морського узбережжя, з досить стійкою областю торфонакопичення і малими швидкостями занурення, що сприяло сильному розкладанню вихідного рослинного матеріалу та його первинному окисненню. Переважає вугілля гумусове, яке частіше представлене кларено-дюренами і дюренами, маловідновленого і перехідного генетичних типів. Найбільш поширені компоненти групи вітриніту, вміст яких складає за усередненими даними по різних зонах регіону від 50 до 63 %. У вугіллі переважають волокнистий вітриніто-атрит і геліфіковані фрагменти рослин. Серед ліпоїдних мікрокомпонентів, вміст яких складає за усередненими даними 15–24 %, сягаючи інколи 30–39 %, превалює мікро- і макроекзінит. Група інертиніту, вміст якої становить в середньому 22–34 %, представлена переважно структурними та безструктурними фюзинізованими і семіфюзинізованими тканинами (Игнатченко и др., 1979; Ivanova et al., 2018). Серед сапропелевого вугілля в ДДЗ та Донбасі поширені переважно сапропеліто-гуміти, що складені кенелями. Основним компонентом їх є мікроекзінит, у невеликій кількості присутні водорості типу Pila. Виявлений в ДДЗ зразок кенелі вміщує вітриніту 40 %, ліптиніту 48 %, фюзиніту 10 %, альгініту 2 %. В кенелях Донбасу фюзиніт не виявлений (Ищенко, 1952; Игнатченко и др., 1979).

У середньо- та пізньокам'яновугільні епохи торфонакопичення відбувалося в обстановках обводнених болотяних алювіально-дельтових приморських низовин з досить високими швидкостями занурення, що сприяло формуванню гумусового вугілля кларенового та дюрено-кларенового складу, в основному від-

новленого генетичного типу. В складі вугілля превалюють мікрокомпоненти групи вітриніту, які складають 65–97 % органічної маси. В порівнянні з вугіллям нижнього карбону збільшується кількість структурних компонентів, представлених геліфікованими фрагментами тканин різного функціонального призначення. Неструктурні компоненти складені вітриніто-атритом і вітриніто-десмітом. Вміст мікрокомпонентів групи ліптиніту сягає від 1–5 до 23 %. В цій групі переважають різні за морфологією, розмірами і збереженістю мікро- та макроекзиніт і кутиніт. Мікрокомпоненти групи інертиніту за усередненими даними трапляються в кількості від 1–10 до 25 % і представлені в основному структурними фіюзинітом і семіфіюзинітом (Игнатченко и др., 1979; Ivanova et al., 2018).

В пізньому карбоні вугленосність поступово зменшується. Наступна інверсія, складкоутворення та ерозія, що розпочалися на рубежі

карбон–перм (Майданович, Радзивилл, 1984; Иванова, 2016; Иванова, Гаврильцев, 2021), остаточно поклали край процесам вугленакопичення в Донбасі.

На території ДДЗ поклади ВВ виявлені в стратиграфічному діапазоні від верхнього девону до юри включно. Газові та газоконденсатні поклади як за кількістю, так і за запасами превалюють над нафтовими. Майже 98 % запасів ВВ приурочені до комплексів від турнейсько-нижньовізейського до верхньокам'яновугільно-пермського. Максимальна кількість запасів (48,3 %) зосереджена у відкладах верхнього карбону–нижньої пермі, що забезпечується наявністю надійних покришок (пластів глин та кам'яної солі нижньої пермі). У нижньокам'яновугільних відкладах вміщується 44,1 % запасів ВВ. Регіональним флюїдоупором слугують карбонатні відклади нижнього візе (карбонатна плита), глиниста товща верхнього візе, серпухову та карбонатно-глинисті відклади нижньобашкирського під'ярусу.

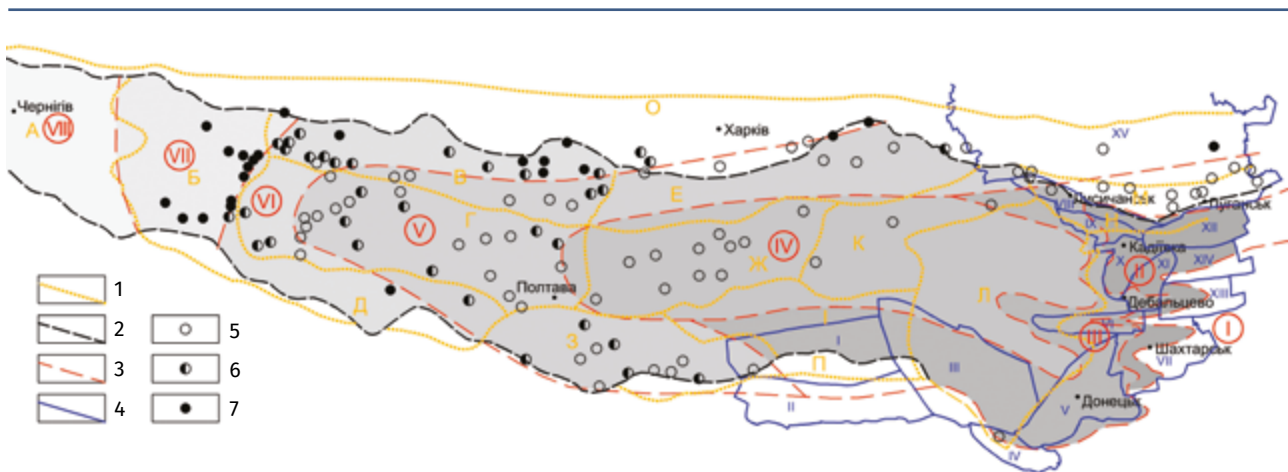


Рис. 4. Зональне районування Доно-Дніпровського прогину. 1 – границі нафтогазоносних районів, 2 – крайові розломи, 3 – границі виділених авторами зон; 4 – границі геолого-промислових районів Донбасу. Родовища: 5 – газові та газоконденсатні, 6 – нафтогазові та нафтогазоконденсатні, 7 – нафтові. Геолого-промислові райони Донбасу та їх номери: I – Лозівський, II – Павлоградсько-Петропавлівський, III – Красноармійський, IV – Південнодонбаський, V – Донецько-Макіївський, VI – Центральний, VII – Чистяково-Сніжнянський, VIII – Лисичанський, IX – Мар’ївський, X – Алмазний, XI – Селезнівський, XII – Луганський, XIII – Боково-Хрустальський, XIV – Оріхівський, XV – Старобільський. Нафтогазоносні райони (Атлас..., 1998): А – Чернігівсько-Брагинський перспективний, Б – Монастирищенсько-Софіївський нафтоносний, В – Талалаївсько-Рибальський нафтогазоносний, Г – Глинсько-Солохівський газонафтоносний, Д – Антонівсько-Білоцерківський нафтогазоносний, Е – Рябухінсько-Північно-Голубівський газонафтоносний, Ж – Машівсько-Шебелінський газонафтоносний, З – Руденківсько-Пролетарський нафтогазоносний, І – Жовтнево-Лозівський перспективний, К – Співаківський газонафтоносний, Л – Кальміус-Бахмутський газонафтоносний, М – Красноріцький газонафтоносний, Н – Лисичанський перспективний, О – Північного борту нафтогазоносний, П – Південного борту перспективний. Римські цифри в колах – номери виділених авторами зон (див. текст)

Fig. 4. Zoning of the Don-Dnieper depression. 1 – borders of oil and gas-bearing areas, 2 – marginal faults, 3 – borders of the zones defined by the authors; 4 – boundaries of geological and industrial regions of Donbas. Fields: 5 – gas and gas-condensate, 6 – oil-gas and oil-gas-condensate, 7 – oil. Geological and industrial regions of Donbas and their numbers: I – Lozivskiy, II – Pavlogradsko-Petropavlivskiy, III – Krasnoarmiskiy, IV – Pivdennodonbaskiy, V – Donetsk-Makiivskiy, VI – Centralnyi, VII – Chistyakovo-Snizhnianskiy, VIII – Lysichanskiy, IX – Mar’ivskiy, X – Almaznyi, XI – Selezniivskiy, XII – Luhanskiy, XIII – Bokovo-Khrustalniy, XIV – Orihivskiy, XV – Starobilskiy. Oil and gas-bearing areas (Ivanov, 1998): A – Chernihivsko-Braginskiy promising, B – Monastyrshchensko-Sophiivskiy oil-bearing, B – Talalaivsko-Rybalskiy oil-and-gas bearing, G – Glynsko-Solokhivskiy gas-bearing, D – Antonivsko-Bilotserkiivskiy oil-and-gas bearing, E – Ryabukhinsko-Pivnichno-Holubivskiy gas-bearing, Z – Mashivsko-Shebelinskiy gas-bearing, Z – Rudenkiivsko-Proletarskiy oil-and-gas-bearing, I – Zhovtnevo-Lozivskiy promising, K – Spivakiivskiy gas-bearing, L – Kalmius-Bakhmutskiy gas-bearing, M – Krasnoritskiy gas-bearing, N – Lysichanskiy promising, O – Pivnichnoho bortu oil and gas-bearing, P – Pivdennoho bortu promising. The Roman numerals in the circles indicate the zones defined by the authors (refer to the text)

В середньому карбоні спостерігаються пласти глини у відкладах башкирського та московського ярусів, що слугують зональними та локальними покривками з невисокими екрануючими властивостями. Тому середньокам'яновугільний комплекс відзначається невеликою нафтогазонасністю (5,2 %) (Ермаков, Скоробогатов, 1984; Атлас..., 1998).

З урахуванням розподілу на території ДДП вуглеводневих покладів, їх узгодження з петрографічними типами вугілля та ступенем його вуглефікації, спираючись на запропоноване в 1970-х рр. Х.Ф. Джамаловою та С.П. Нестеренко зональне районування, відклади карбону підрозділяються на вугленосні, газувугленосні, вуглегазонасні, газонасні, нафтогазонасні, газонафтонасні, нафтонасні та обмежено нафтонасні (рис. 4). При зонуванні використані карти просторового розміщення родовищ ВВ у Дніпровсько-Донецькій газонафтонасній області (Товстюк, 2009), нафтогазогеологічного районування Східного нафтогазонасного регіону (Атлас..., 1998), метаморфізму вугілля Донецького басейну (Левенштейн і др., 1991). Варто зазначити, що спроби районування території Донбасу з огляду на газонасність вугленосних формацій та метаморфізм вугілля проводилися і раніше (Орда, 1968; Брижанев, Галазов, 1983; Брижанев і др., 1990; Анциферов і др., 2004).

Зона розвитку вугленосних відкладів (I). Вугленосними є площі розвитку середньокам'яновугільних відкладів значної частини відкритого Донбасу, що вміщують високометаморфізовані А та зазнали максимального інверсійного підйому та дегазації. За А.М. Брижаньовим (Брижанев, Галазов, 1983), території розвитку А груп А/12–А/14 (суперантрацитів) характеризуються екстремально низькою газонасністю або повною відсутністю метану. Негативний вплив метаморфізму на метанонасність простежується в Східному Донбасі, частково в Оріхівському, Боково-Хрустальському та Чистяково-Сніжнянському геолого-промислових районах. Зона характеризується повною відсутністю скупчень вуглеводневих газів (Брижанев і др., 1990; Анциферов і др., 2004). Але варто зазначити, що інверсійний підйом, який, за нашими даними (Іванова, Гаврильцев, 2021), сягав у Південно-Західному Донбасі 6,3 км, міг бути основним фактором дегазації і тих відкладів карбону, ОР яких ще не досягла найвищої стадії вуглефікації.

Зона розвитку газувугленосних відкладів (II).

До газувугленосних належать відклади ряду районів Північно-Східного, Південно-Західного та Західного Донбасу з вугіллям середніх та помірно високих стадій вуглефікації (див. таблицю). Вугленосність пов'язана в основному з відкладами середнього карбону, за винятком Павлоградсько-Петропавлівського та Південнодонбаського районів, де вугленосними є нижньокам'яновугільні відклади. Розповсюдження газу у вмісних породах має обмежений характер. У колекторах тріщинного та тріщино-порового типу можлива наявність локальних скупчень метану (Газонасність..., 1979; Брижанев і др., 1990). Середня метанозбагаченість становить від 0,3 до 6 м³/т добового видобутку вугілля (Геологія..., 1963; Іванова, Зайцева, 2018). Газонасність не перевищує 5–10 м³/т м. (Газонасність..., 1979).

Газувугленосні відклади містять вугілля різного ступеня метанонасності. Нестійкий характер виділення газу і відносно невелика газонасність пов'язані зі складною геологічною будовою території Донбасу, складчаста тектоніка якого ускладнена системою насувів, мілкою складчастістю, різноамплітудними розривними порушеннями, що призвело до нерівномірної дегазації вуглепородних масивів (Геологія..., 1963).

Газ, що утримується вугіллям, метановий. Склад газу (з вугільних пластів I_{3-7}) наведено в таблиці. Етан превалує над пропаном, що характерно для вугільних газів (Скоробогатов, 2019). У деяких районах (Лисичанському, Алмазно-Мар'їнському, Боково-Хрустальському) спостерігається наявність у складі ВВ водню в середньому від часток до 1,5 %, що знаходиться переважно в сорбованому стані. Основною корисною копалиною території є вугілля. Метан може видобуватися як супутній газ шляхом буріння випереджувальних свердловин та впровадження комплексної дегазації вугільних родовищ (Жикаляк, 2009).

Зона розвитку вуглегазонасних відкладів (III).

До вуглегазонасних варто віднести відклади нижнього та середнього карбону, що вміщують як вугілля, так і поклади газу. В колекторах порового та тріщинно-порового типів можливо поширення промислових покладів і локальних скупчень вуглеводневих газів (Брижанев і др., 1990). Зону III за структурно-тектонічними ознаками слід розбити на підзони (А, Б, В).

Таблиця. Склад природних газів (%) та характеристика вугілля за ступенем вуглефікації
Table. Composition of natural gases (%) and characteristics of coal based on the coalification degree

Зони	метан CH ₄	етан C ₂ H ₆	пропан C ₃ H ₈	бутан nC ₄ H ₁₀	ізобутан iC ₄ H ₁₀	пентан C ₅ H ₁₂	вуглекислий газ CO ₂	азот N ₂	гелій He	Ступінь вуглефікації, марка / ПВВ (R ^o , %)		
										C ₁	C ₂	C ₃
Зона II	67,0–99,0	0,2–0,8	0,1–0,2	–	–	–	0,2–3,9	4,0–30,3	0,01–0,10	Від Г–Ж до НА та слабо метаморфізованих А		
A	82,4–94,7	0,2–7,6	0,2–2,3	0,1–1,1	0,08–0,30	0,01–0,40	0,1–1,7	1,2–9,9	До 0,1	Д		
Б1	89,7–92,0	0,1–2,0	0,002–0,010	0,001–0,002	0,001–0,003	0,0001–0,0016	0,1–0,3	7,4–7,8	0,2–0,3	–		
Б2	80,8–93,5			0,1–0,3			0,0–0,7	5,4–17,8	0,1–0,4	Д–П		
Б3	77,7–95,4			Сл.–6,2			0,0–1,0	2,4–18,9	0,0–0,3	–		
Б4	83,1			2,0			0,6	14,0	0,06	–		
В	71,3–98,4	0,1–1,9	0,07–0,40	0,1	–	–	0,2–4,5	0,55–27,5	–	Д–Г		
Зона IV	62,5–95,5	1,7–4,9	0,3–3,7	0,01–0,60	0,01–0,30	0,01–0,50	0,1–2,1	0,03–28,2	0,02–0,10	Ж–П (0,83–2,15) К, ПС, П (1,71–2,39) Г–К (0,70–1,37)		
Зона V	55,1–97,9	0,1–21,3	0,1–11,9	0,003–5,80	0,003–3,60	0,003–2,80	0,01–5,30	0,02–16,50	0,01–0,20	Б–Ж (0,45–0,94) Д–К (0,52–1,37) Б–Д (0,45–0,52)		
Зона VI	60, –88,1	1,2–20,0	0,7–8,6	0,6–4,2	0,2–1,6	Сл.–1,0	0,03–4,10	1,8–12,3	Сл.–0,3	БД–Ж (0,48–1,12) Б–ГЖ (0,48–0,90) Б–Д		
Зона VII	48,5–58,3	6,4–18,2	8,4–15,2	2,3–5,7	1,2–2,6	0,4–4,1	0,4–2,8	5,6–22,1	0,01–0,04	Д–Ж (0,52–1,09) Б–БД –		

Примітка. В таблиці використані дані роботи (Попов и др., 1970; Газоносность..., 1979; Атлас..., 1998; Иванова, 2012).
 Note. The table uses the data of the work (Popov et al., 1970; Kravtsov, 1979; Atlas..., 1998; Ivanova, 2012).

А. Старобільська площа на південному схилі Воронезького масиву відповідно до нафтогазо-геологічного районування належить до Красноріцького газонасного району та частково до Північного борту і включає низку газових родовищ. Вугленосними є відклади як нижнього, так і середнього карбону, з якими і пов'язані поклади газу. Частіше газонасними є відклади середнього карбону, що вміщують в основному вугілля стадії Д. Поклади газових родовищ залягають на глибині від 0,5–1,0 до 3,0–3,3 км. За типами поклади пластові, склепінчасті, іноді тектонічно екрановані, деякі літологічно обмежені. За структурою пустотного простору виділяються колектори порові та тріщинно-кавернозно-порові (Атлас..., 1998, Гірничий..., 2004). Склад газу наведено в таблиці. Етан превалює над пропаном, що характерно, як зазначено вище, для вугільних газів. Відношення ізобутану до нормального бутану менше одиниці. Середній вміст водню у вільній фазі складає 1,15 %, змінюючись в межах 0,06–4,82 %, в сорбованій – 9,5 % при коливаннях 0,14–18 % (Газонасність..., 1979). Співвідношення стабільних ізотопів вуглецю $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ становить 89,44–92,75, що, за І.В. Гринбергом (Гринберг, Петриковская, 1965), відповідає вугільним метановим газам.

Б. Геолого-промислові райони складчастого Донбасу, а саме Північно- і Південно-Західного Донбасу, які примикають до Бахмутської та Кальміус-Торецької улоговин. На крилах та замиканні цих улоговин газонасність сягає максимальних значень (Попов и др., 1970). Підзона частково належить до Кальміус-Торецького газонасного району. Газонасність пов'язана тут в основному з вугленосними відкладами середнього карбону (нижнього в Південно-Донбаському районі), що вміщують вугілля від Д до П. Середня метанозбагаченість вугільних пластів сягає від 7 до 15–20 м³/т і більше добового видобутку вугілля (Геологія..., 1963). На перспективних площах Південно-Західного Донбасу глибина зони газового вивітрювання коливається в межах від 50–80 до 300–450 м. Газонасність становить від 15–20 до 25–28 м³/т с. б. м. Газонасність вуглевмісних порід зазвичай не перевищує 0,5–1,0 м³/т. Підвищена газонасність (3–8 м³/т) характерна для порід, збагачених вугільною органікою, та для пісковиків, які перспективні на пошуки дрібних покладів вільного газу (Іванова, Зайцева, 2012).

Підзона включає Лаврентіївське газове родовище, склад газу якого подано в таблиці (Б1). Склад газів з вугільних пластів наведений для

вугілля нижнього та середнього карбону приконтурної зони Кальміус-Торецької улоговини (Б2, Б3) та для вугілля середнього карбону північно-східного крила Бахмутської улоговини (Б4).

Вміст водню у газі вугільних пластів Південно-Західного Донбасу коливається від 0,3 до 2,0 %. Констатується метаморфогенне походження водню (Газонасність..., 1979; Анциферов и др., 2004). Вищі концентрації водню були зафіксовані у вільних фракціях газу з вугілля у зонах впливу тектонічних порушень, у безпосередній близькості від зчленування Донбасу з Приазовським кристалічним масивом. Вміст водню в газі становив тут від 0,3 до 6,3 %, максимум – 38,8 % (Анциферов и др., 2004).

Варто зазначити, що гази вугільних пластів ідентичні або близькі за складом газам газових родовищ Північного Донбасу та Лаврентіївського родовища, що свідчить про спільність їх походження (Широков и др., 1969; Анциферов и др., 2004 та ін.).

В. Територія підзони належить до північного схилу Українського щита. В Західному Донбасі, а саме в північно-східній частині Павлоградсько-Петропавлівського району та в межах Лозівської площі газонасність пов'язана в основному з вугленосними відкладами нижнього та середнього карбону з вугіллям марок від Д до Г. Середня метанозбагаченість вугільних пластів північної частини Павлоград-Петропавлівського району в межах полів шахт Героїв Космосу і «Західно-Донбаська» на глибині 173–250 м сягає 9,3–12,2 м³/т, шахти «Терновська» на глибині 250–300 м – 12–15 м³/т. Метанонасність на глибині 400–500 м на цих шахтах становить у середньому 10–11,2 м³/т с.б.м., абсолютна метанозбагаченість – 16,7–54,1 м³/хв. (Геологія..., 1963; Жикаляк и др., 2012; Іванова, Зайцева, 2018).

Склад природних газів нижче поверхні метанової зони наведено в таблиці (В). Дані про вміст водню у вугіллі відсутні. Вмісні породи вміщують від 0,0–0,1 до 3,5–5,3 % водню (Газонасність..., 1979). Але закольматованість тектонічних порушень глинистим матеріалом, що робить їх водогазонепроникними екранами (Жикаляк и др., 2012), та низький рівень вуглефікації ОР Західного Донбасу не дає підстав очікувати тут великої кількості водню. За характеристикою компонентного складу гази ідентичні вугільним газам Центрального Донбасу.

Як і в зоні II, сучасний розподіл газів дуже нерівномірний і залежить від гірничо-геологічних умов залягання вугільних пластів, петрографічного складу вугілля та ступеня його вуглефікації, характеру розривних порушень, літологічного складу вмісних товщ, потужності та складу покриву, умов циркуляції підземних вод тощо.

Зона розвитку газоносних відкладів (IV).

До газоносних відносяться підсольові теригенні і теригенно-карбонатні відклади верхнього карбону та нижньої пермі, які містять газові та газоконденсатні родовища. Вони підстиляються товщами девону і вугленосного карбону та перекриваються соленосними відкладами нижньої пермі. Відповідно до нафтогазогеологічного районування ця територія відноситься в основному до Машівсько-Шебелинського, Співаківського та Кальміус-Бахмутського газоносних районів (див. рис. 4).

Відклади нижнього карбону, що залягають на глибинах понад 4–5 км, вміщують дюренове та кларено-дюренове вугілля досить високих стадій вуглефікації, яке вже вичерпало свій нафтогенераційний потенціал і генерує газоподібні ВВ. У відкладах середнього карбону, які підстиляють газовмісну товщу порід, вугілля кларенового та дюрено-кларенового складу також досягло досить високих стадій вуглефікації і генерує газові та газоконденсатні ВВ. Вугілля аналогічного складу верхнього карбону середньої стадії вуглефікації генерує в основному вуглеводневі гази (див. таблицю).

Вугленосна товща карбону, де розташовані ці родовища, не піддавалася процесам дегазації (Косенко, Левенштейн, 1968). Розвантаження газів могло відбуватися тільки у вищезалігаючі товщі верхнього карбону та нижньої пермі з потужними поровими колекторами. Хемогенна нижньопермська товща як надійний флюїдоупор протистояла подальшій вертикальній міграції газів.

Газові та газоконденсатні поклади залягають частіше на глибинах від 0,25–0,5 до 3,0–4,3 км. Розповсюджені поклади пластові або масивно-пластові, склепінчасті, тектонічно екрановані, іноді літологічно обмежені. Типи колекторів – поровий, порово-тріщинний, кавернозно-тріщинний, тріщинно-поровий (Атлас..., 1998, Гірничий..., 2004).

Склад природних газів основних родовищ зони IV (Шебелинське, Єфремівське, Машівське, Ведмедівське, Миролюбівське, Співаківське,

Розпашнівське) наведено у таблиці. Як і у вуглегазоносних відкладах, етан превалює над пропаном, відношення ізобутану до нормального бутану менше одиниці. Конденсат характеризується нафтно-метановим, рідше ароматично-нафтно-метановим та метано-нафтенним складом, малосірчистий.

Порівняння хімічного складу, а також компонентного складу важких вуглеводневих газів вугільних пластів Донбасу та газових родовищ дозволило зробити висновок про їх повну хімічну подібність (Косенко, Левенштейн, 1968).

Зона розвитку нафтогазоносних відкладів (V).

Відповідно до нафтогазогеологічного районування виділена зона включає газонафтоносний Глинсько-Солохівський район, нафтогазоносні райони – Антонівсько-Білоцерківський, Руденківсько-Пролетарський, Талалаївсько-Рибальський, Північного борту і газоносний район Рябухинсько-Північно-Голубівський (див. рис. 4).

Промислова нафтогазоносність в центральній частині западини та в межах Талалаївсько-Рибальського району пов'язана з відкладами карбону–нижньої пермі, частіше карбону (Геологія..., 1989; Атлас..., 1998). Основним джерелом ВВ є продукуюча кам'яновугільна товща. Наявність в деяких родовищах покладів у відкладах нижньої пермі (Глинсько-Розбишівське, Качанівське нафтогазоконденсатні) та мезозою (Більське газоконденсатне; Рибальське нафтогазоконденсатне; Сагайдацьке та Радченківське нафтогазові) пов'язана з міграцією ВВ у верхні горизонти завдяки структурно-тектонічним і структурно-літологічним особливостям цих підняттях. У прибортових частинах западини (райони Д, Е) та північній бортовій (район О) нафтогазоносність пов'язана з відкладами нижнього та середнього карбону.

Нижньокам'яновугільні відклади вміщують кларено-дюренове та дюренове вугілля з сапропельовою компонентою низьких і середніх стадій вуглефікації, яке генерує як рідкі, так і газоподібні ВВ. У відкладах середнього карбону вугілля кларенового та дюрено-кларенового складу також знаходиться на низьких і середніх стадіях вуглефікації і генерує газові, газоконденсатні та рідкі ВВ. Вугілля аналогічного складу верхнього карбону низьких стадій вуглефікації не реалізувало свій генераційний потенціал (див. таблицю).

Розповсюджені поклади газоконденсатні, нафтогазові, нафтогазоконденсатні та газоконденсатні з нафтовою обляміркою. Поклади залягають на глибині від 0,4–0,5 до 5,0–5,8 км у центральній частині западини, в південній і північній прибортових частинах глибина залягання не перевищує 4,0–4,2 км. Поклади пластові, багатопластові, іноді масивно-пластові, склепінчасті, тектонічно екрановані або літологічно обмежені. Тип колектора найчастіше поровий, а також тріщинно-поровий, квернозно-тріщинно-поровий, тріщинний (Атлас..., 1998, Гірничий..., 2004).

Склад природних газів наведено у таблиці. Як і у вуглегазоносних відкладах етан превалює над пропаном, відношення ізобутану до нормального бутану менше одиниці. Нафта частіше нафтенно-метанова та ароматично-нафтенно-метанова, в основному малосірчиста, від мало- до високопарафіністої, за густиною в основному легка. Конденсат нафтенно-метановий, рідше ароматично-нафтенно-метановий, малосірчистий.

Зона розвитку газонафтоносних відкладів (VI). Відповідно до нафтогазогеологічного районування ця територія відноситься до західної частини Глинсько-Солохівського газонафтоносного району, в південноприбортовій зоні – до Антонівсько-Білоцерківського нафтогазоносного району, в північноприбортовій зоні – до західної частини Талалаївсько-Рибальського нафтогазоносного району.

Промислова газонафтоносність в центральній частині западини пов'язана з відкладами нижньої пермі-карбону. В межах Талалаївсько-Рибальського та Антонівсько-Білоцерківського районів продуктивними є відклади нижнього та середнього карбону.

Кларено-дюренове та дюренове вугілля з сапропелевою складовою нижньокам'яно-вугільних відкладів низьких і середніх стадій вуглефікації генерує як рідкі, так і газоподібні ВВ. У відкладах середнього карбону вугілля кларенового та дюрено-кларенового складу також знаходиться на низьких і середніх стадіях вуглефікації і генерує рідкі та газоконденсатні ВВ. Вугілля аналогічного складу верхнього карбону низької стадії вуглефікації ще не реалізувало свій генераційний потенціал (див. таблицю).

Вуглеводневі поклади залягають на глибині від 0,2–1,0 до 3,0–4,0 км. Розповсюджені поклади в основному нафтогазоконденсатні, рідше

нафтові і газоконденсатні. Поклади нафти масивно-пластові і пластові. Газоконденсатні скупчення склепінчасті, пластові та багатопластові, інколи літологічно і стратиграфічно обмежені та тектонічно екрановані. Колектори карбонатно-теригенні, за типом порові, рідше тріщинно-порові (Атлас..., 1998, Гірничий..., 2004).

Склад газів наведено у таблиці. Етан превалює над пропаном. Відношення ізобутану до нормального бутану менше одиниці.

За груповим складом ВВ нафта частіше нафтенно-метанова, а також ароматично-метанова, ароматично-нафтенно-метанова, метано-нафтенно-метанова, малосірчиста, від мало- до високопарафіністої, за густиною в основному легка. Конденсат, як правило, нафтенно-метановий, малосірчистий (Атлас..., 1998).

Зона розвитку нафтоносних відкладів (VII). Відповідно до нафтогазогеологічного районування (Атлас..., 1998), виділена зона відноситься до Монастирищенсько-Софіївського нафтоносного району. Промислова нафтоносність пов'язана тут тільки з відкладами нижнього карбону (Геологія..., 1989). Вони вміщують кларено-дюренове та дюренове з сапропелевою складовою вугілля низької та середньої стадій вуглефікації, що генерує рідкі ВВ. ОР відкладів середнього карбону, яке знаходиться на буровугільній стадії, ще не досягло необхідного для генерації ВВ ступеня вуглефікації (див. таблицю).

Нафтові поклади, що залягають на глибинах від 1,3–1,8 до 4,0–4,8 км, в основному пластові та багатопластові, пов'язані з склепінними тектонічно екранованими пастками. Колектори теригенні і карбонатні, за типом порові, тріщинно-порові, тріщинні (Атлас..., 1998, Гірничий..., 2004). Нафта переважно нафтенно-метанова, малосірчиста, від мало- до високопарафіністої, за густиною легка (Атлас..., 1998).

Склад супутніх газів наведено у таблиці. Відношення ізобутану до нормального бутану менше одиниці. Етан превалює над пропаном на родовищі Гайове. В родовищах Монастирищенське, Маківське, Щурівське вміст пропану перевищує вміст етану, що загалом є характерною рисою для нафтових газів (Скоробогатов, 2019). Ця невідповідність компонентного складу гомологів метану може бути пов'язана з тектонічною, геотермічною та геохімічною історією існування нафти в покладі.

Зона обмежено нафтоносна (VIII). Відповідно до нафтогазогеологічного районування, крайня північно-західна частина ДДЗ віднесена до Чернігівсько-Брагинського перспективного району. Варто зазначити, що кам'яновугільні відклади Чернігівського сегменту, що зазнали впливу пізньодевонського вулканізму, характеризуються більш високими палеотемпературними показниками в порівнянні з прилеглими частинами западини (Іванова, Гаврильцев, 2021; Ivanova, Gavryltsev, 2022). Палеотемператури тут змінювались від 100–120 °С на глибині 3 км до 130–140 °С на глибині 3,5 км. Тобто вугільна органіка, досягнувши стадій вуглефікації Д–Г, могла генерувати рідкі ВВ. Увесь розріз пермі та карбону в межах Чернігівсько-Брагинського виступу різко редукований, бо зазнав інверсійного підйому з амплітудою від 0,75 до 1,8 км (Іванова, Гаврильцев, 2021). Девон представлений переважно вулканогенними утвореннями. Але наявність хомогенних нижньопермських відкладів в якості регіонального флюїдоупору дозволяє припускати наявність в розрізі карбону–пермі незначних покладів нафти.

Автори не виключають, що сучасні геодинамічні процеси, які супроводжуються воднево-вуглеводневою дегазацією Землі (Лукин, Шестопалов, 2018), можуть активізувати хід катагенетичного перетворення ОР, стимулюючи генерацію ВВ і забезпечуючи їх поповнення. Ознаки сучасної активізації ендеогенних процесів у літосфері ДДЗ виявлені в межах Ізюмського та Донбаського сегментів (Гордиенко, Усенко, 2003; Гордієнко та ін., 2006). Зокрема, в Ізюмському сегменті прояви активізації (підняття поверхні Землі за останні 3 млн років на 50 м і більше, корові землетруси, прояви аномально високих пластових тисків і гідрохімічних інверсій) збігаються з від'ємною гравітаційною аномалією (Іванова, Гаврильцев, 2021). Таким чином, у вуглеводневій родовища Ізюмського сегменту, що характеризується наявністю проникної зони, не виключений сучасний додатковий приплив ВВ. У Донбаському сегменті підняття поверхні Землі за останні 3 млн років досягли 100–150 м. Але умови накопичення покладів ВВ, які внаслідок активізації геодинамічних процесів могли надходити по численних проникних розломних зонах у літифікованих породах карбону і девону, на основній території басейну несприятливі (Гордиенко, Усенко, 2003).

Висновки

Отримані додаткові дані про співіснування та палеогеографічну узгодженість нафтогазоносних та вугленосних кам'яновугільних формацій світу, про узгодженість складу ВВ газів та характер розподілу покладів ВВ зі ступенем вуглефікації та петрографічними типами вугілля ДДП є вагомими аргументами на користь концепції парагенетичного зв'язку вугленосних та вуглеводнево-вмісних формацій.

Моделювання обстановки формування вугленосних відкладів ДДП показало, що, як під час торфонакопичення, так і після перетворення торфу у вугілля (від Б до А), прогин знаходився в приекваторіальному діапазоні палеоширот ($\pm 30^\circ$).

На підставі розподілу по території ДДП покладів ВВ, їх узгодженості з петрографічними типами вугілля та ступенем його вуглефікації запропоновано підрозділити відклади карбону на вугленосні, газувугленосні, вуглегазоносні, газоносні, нафтогазоносні, газонафтоносні, нафтоносні та обмежено нафтоносні. Для Донбасу за ступенем газоносності характерна черговість площ від зони з повною відсутністю скупчень ВВ газів (I зона) до зони локальних скупчень та промислових покладів ВВ газів (III зона). Для ДДЗ притаманна зміна зон розвитку відкладів від газоносних (зона IV) до нафтоносних та обмежено нафтоносних (VII–VIII). Відповідні виділені зони закономірно змінюють одна одну зі сходу на захід.

Сучасні геодинамічні процеси, які супроводжуються воднево-вуглеводневою дегазацією Землі, можуть активізувати хід катагенетичного перетворення ОР, стимулюючи генерацію ВВ і забезпечуючи їх поповнення.

Робота виконана в Інституті геологічних наук НАН України в рамках НДР на тему «Еволюція вугленосних та вуглеводнево-вмісних формацій України» 2019–2023 рр. (КПКВК 6541030).

Подяка. *Автори висловлюють вдячність рецензентам та редакції за слушні зауваження, які дозволили значно покращити представлену роботу.*

Висвітлено взаємозв'язок вугленосних і нафтогазоносних формацій, що є однією з фундаментальних проблем геології. Мета роботи – з'ясувати наявність парагенетичних зв'язків вуглеводневих родовищ з вугленосними відкладами на підставі аналізу складу вуглеводнів, характеру розподілу їх покладів і сполученості з петрографічними типами та ступенем вуглефікації вугілля Доно-Дніпровського прогину. Розглянуті питання залежності вуглеводневої генерації від ступеня катагенезу органічної речовини та від петрографічного складу вугілля. Наведені численні приклади співіснування та палеогеографічної сполученості вугленосних та нафтогазоносних формацій, що характерно для багатьох басейнів світу. Вперше відмічено, що Доно-Дніпровський прогин, як під час торфонакопичення, так і після перетворення органічної речовини торфу на вугілля (від буровугільної стадії до антрациту), знаходився в приекваторіальному діапазоні палеоширот. Надана характеристика концентрованої та розсіяної вугільної органіки Доно-Дніпровського прогину з точки зору її петрографічного складу та ступеня вуглефікації, що обумовлює утворення рідких і газоподібних вуглеводнів. З урахуванням розподілу на території Доно-Дніпровського прогину вуглеводневих покладів, їх узгодженості з петрографічними типами вугілля та ступенем його вуглефікації, відклади карбону підрозділяються на вугленосні, газовугленосні, вуглегазоносні, газозносні, нафтогазоносні, газонафтоносні, нафтоносні та обмежено нафтоносні. Визначено, що наявність рідких і газових вуглеводнів узгоджується з розподілом кам'яновугільних відкладів певного віку, ступенем вуглефікації та складом органічної речовини. Отримані додаткові дані є вагомими аргументами на користь концепції парагенетичного зв'язку вугленосних та вуглеводневомісних формацій.

Список літератури

- Аммосов И.И., Горшков В.И., Гречишников Н.П., Еремин И.В., Прянишников В.К., Степанов Ю.В. Петрология органических веществ в геологии горючих ископаемых. Москва: Наука, 1987. 334 с.
- Анциферов А.В., Тиркель М.Г., Хохлов М.Т., Привалов В.А., Голубев А.А., Майборода А.А., Анциферов В.А. Газоносность угольных месторождений Донбасса. Киев: Наукова думка, 2004. 323 с.
- Архипов А.Я., Голицын М.В., Пронина Н.В. Угольный метан – нетрадиционный источник энергии. *Геология и геохимия горючих ископаемых: Соколов Б.А. (ред.)*. Москва: ГЕОС, 2003. С. 29–38.
- Атлас родовищ нафти і газу України. Т. 1–3: Східний нафтогазоносний регіон: Іванюта М.М. (ред.). Львів: УНГА, 1998.
- Бартошинська Є.С., Узіюк В.І., Бик С.І., Ільчишин А.В. Роль генетичних факторів у формуванні газоносності вугільних покладів. *Геологія і геохімія горючих копалин*. 2002. № 4. С. 46–50.
- Брижанев А.М., Буряченко Р.А., Галазов Р.А., Кирюков В.В., Кращенко С.Д., Ксенда І.М., Куш О.А., Савицкая В.Н. Прогноз горно-геологических условий эксплуатации шахт Донецкого бассейна. *Обз. инф. ЦНИЭИуголь*. 1990. № 4. С. 1–53.
- Брижанев А.М., Галазов Р.И. Метаморфизм как основной фактор метаноносности угольных месторождений. *Сов. геология*. 1983. № 3. С. 19–22.
- Вассоевич Н.Б. Образование углеводородных газов в процессе литогенеза. *Генезис углеводородных газов и формирование месторождений*. Москва: Наука, 1977. С. 20–35.
- Высоцкий И.В., Высоцкий В.И., Оленин В.Б. Нефтегазоносные бассейны зарубежных стран. Москва: Недра, 1990. 405 с.
- Газоносность угольных бассейнов и месторождений СССР. Т. 1: Угольные бассейны и месторождения европейской части СССР: Кравцов А.И. (ред.). Москва: Недра, 1979. 628 с.
- Геология и нефтегазоносность Днепровско-Донецкой впадины. Нефтегазоносность: Шпак П.Ф. (ред.). Киев: Наукова думка, 1989. 204 с.
- Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Т. 1: Угольные бассейны и месторождения юга европейской части СССР: Кузнецов И.А. (ред.). Москва: Госгеолтехиздат, 1963. 1210 с.
- Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Т. 5: Угольные бассейны и месторождения Казахстана. Кн. 2. Бассейны и месторождения мезо-кайнозойского возраста: Голицын М.В., Думлер Л.Ф., Орлов И.В. (ред.). Москва: Недра, 1973. 432 с.
- Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Т. 12: Общие данные по угольным бассейнам и месторождениям СССР: Погребнов Н.И., Тяжнов А.В., Шабаров Н.В. (ред.). Москва: Недра, 1978. 259 с.
- Гірничий енциклопедичний словник. Т. 3: Білецький В.С. (ред.). Донецьк: Схід. вид. дім, 2004. 752 с.
- Гордиенко В.В., Усенко О.В. Глубинные процессы в тектонической сфере Украины. Киев: ИГФМ НАН Украины, 2003. 147 с.
- Гордієнко В.В., Гордієнко І.В., Завгородня О.В., Ковачікова С., Логвінов І.М., Пек Й., Тарасов В.М., Усенко О.В. Дніпровсько-Донецька западина (геофізика, глибинні процеси). Київ: Корвін прес, 2006. 143 с.
- Гринберг И.В., Петриковская М.Е. Исследование изотопного состава органического вещества горючих ископаемых. Киев: Наукова думка, 1965. 148 с.
- Егоров А.И. Палеогеографическая сопряженность карбонных угленосных и нефтегазоносных площадей. *Стратиграфия карбона и геология угленосных формаций СССР*. Москва: Недра, 1975. С. 145–153.
- Еремин И.В., Гагарин И.В. Влияние типа мацералов на кинетику выделения низкомолекулярных соединений при метаморфизме углей. *Химия твердого топлива*. 1998. № 5. С. 9–20.
- Ермаков В.И., Скоробогатов В.А. Образование углеводородных газов в угленосных и субугленосных формациях. Москва: Недра, 1984. 205 с.
- Жикаляк М.В., Нашкерський Л.А. Обґрунтування розвитку комплексної дегазації вугільних родовищ Донбасу. *Геолог України*. 2009. № 3. С. 108–114.
- Жикаляк Н.В., Шайдорова И.М., Свербихин Ю.Г. Горно-геологические условия извлечения газа метана угольных месторождений и шахт Западного Донбасса. *Геотехн. механика*. 2012. Вып. 102. С. 93–102.
- Забигайло В.Е., Широков А.З. Проблемы геологии газов угольных месторождений. Киев: Наукова думка, 1972. 172 с.
- Иванова А.В. Каталог показателей отражения витринита угольной органики осадочной толщи Доно-Днепровского и Преддобруджинского прогибов с установленными палеогеотермическими градиентами и амплитудами вертикальных перемещений тектонических структур. Киев: ИГН НАН Украины, 2012. 98 с.
- Иванова А.В., Гаврильцев В.Б. Палеогеотермические и палеотектонические реконструкции по данным витринитовой термометрии (на примере верхнепалеозойских отложений Днепровско-Донецкой впадины и прилегающих частей Донбасса). *Геофиз. журн.* 2021. Т. 43, № 3. С. 82–105. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i3.236382>
- Игнатченко Н.А., Зайцева Л.Б., Иванова А.В. Петрология углей карбона Днепровско-Донецкой впадины. Киев: Наукова думка, 1979. 134 с.
- Ищенко А.М. Сапропелиты Донецкого бассейна. Киев: Изд-во АН УССР, 1952. 143 с.
- Иванова А.В. Визначення факторів газоносності вугільних пластів Донбасу. *Геол. журн.* 2001. № 1 (295). С. 54–60.
- Иванова А.В. Газоносність вугленосної формації карбону Донбасу. *Геол. журн.* 2006. № 4 (317). С. 82–86.

- Іванова А.В. Генезис і еволюція солоного вугілля України та проблеми його освоєння: автореф. дис. ... д-ра геол. наук. Київ: ІГН НАН України, 2016. 41 с.
- Іванова А.В., Зайцева Л.Б. Геологічні фактори газоносності кам'яновугільних відкладів Кальміус-Торецької улоговини. *Тектоніка і стратиграфія*. 2012. Вип. 39. С. 21–29.
- Іванова А.В., Зайцева Л.Б. Фактори газоносності нижньокам'яновугільних відкладів Західного Донбасу (на прикладі Павлоградсько-Петропавлівського вугленосного району). *Нафтогазова галузь України*. 2018. № 5. С. 14–18.
- Касьянов В.В., Тердовидов А.С., Джамалова Х.Ф., Лакоба М.В. Состав и тип жидких углеводородов в Донбассе. *Уголь Украины*. 1999. № 10. С. 50–51.
- Косенко Б.М., Левенштейн М.Л. О возможности образования промышленных месторождений за счет метаморфогенных газов угленосных толщ (на примере Восточно-Украинского газонефтеносного бассейна). *Материалы по геологии Донецкого бассейна*. Москва: Недра, 1968. С. 100–107.
- Лапчинский Ю.Г., Нестеренко С.П. Масштабы газообразования и газонакопления в Днепровско-Донецкой впадине. *Нефтяная и газовая пром-сть*. 1984. № 3. С. 9–12.
- Левенштейн М.Л., Спирина О.И., Носова К.Б., Дедов С.В., Дубровская О.Г., Попов И.С., Жерновая Г.Г. Комплект карт метаморфизма углей Донецкого бассейна (поверхности палеозоя, срезом: -400 м, -1000 м, -1600 м и на структурных планах угольных пластов c_6^1 и k_2). Масштаб 1:500 000. Киев: ГлавГУ «Укргеологии», 1991. 14 с.
- Лукин А.Е., Шестопалов В.М. От новой геологической парадигмы к задачам региональных геолого-геофизических исследований. *Геофиз. журн.* 2018. Т. 40 (4). С. 3–72. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i4.2018.140610>
- Майданович И.А., Радзивилл А.Я. Особенности тектоники угольных бассейнов Украины. Киев: Наукова думка, 1984. 120 с.
- Майданович И.А., Шульга В.Ф. Карбоновая угленосная формация. *Угленосные формации и вещественный состав углей Днепровско-Донецкой впадины*. Киев: Наукова думка, 1990. С. 91–113.
- Матвеев А.К. Угольные бассейны и месторождения зарубежных стран. Москва: Изд-во МГУ, 1979. 311 с.
- Неручев С.Г., Рогозина Е.А. Общая модель генерации нефти и газа в осадочных породах. *Моделирование нефтегазообразования*. Москва: Наука, 1992. С. 9–14.
- Нефтяные и газовые месторождения СССР: в 2-х кн.: Максимов С.П. (ред.). Москва: Недра, 1987.
- Орда В.Я. Основные черты газового режима средней части Донбасса. *Материалы по геологии Донецкого бассейна*. Москва: Недра, 1968. С. 108–121.
- Петрологический атлас ископаемого органического вещества России: Петров О.В. (ред.). С.-Петербург: ВСЕГЕИ, 2006. 604 с.
- Попов В.С., Джамалова Х.Ф., Иванов Г.П., Лапчинский Ю.Г., Малыгин М.Я., Трушин Ю.И. О перспективах промышленной газоносности Кальмиус-Торецької и Бахмутської котловин. *Развитие газовой промышленности Украинской ССР*. Тр. УкрНИИГАЗа. 1970. Вып. 5. С. 26–36.
- Привалов В.А., Саксенхофер Р.Ф., Изар А. Генетическая идентификация метана и геологическая природа выбросоопасности угольных пластов Донбасса. *Наук. пр. ДонНТУ. Сер. гірн.-геол.* 2004. Вип. 72. С. 75–184.
- Привалов В.О., Панова О.А., Изар А., Альсааб Д. Параметризація термальних режимів, генерації та масопереносу вуглеводневих газів протягом історії геологічного розвитку Донбасу. *Наук. пр. УкрНДМІ НАН України*. 2010. № 6. С. 95–123.
- Скоробогатов В.А. Парагенезис горючих ископаемых в осадочных бассейнах и породах различного типа и возраста. *Вести газ. науки*. 2019. Вип. 41, № 4. С. 4–17.
- Тектоника, вулканизм и этапы формирования структуры Центрального Кавказа. *Тр. Ин-та геол. наук АН СССР. Геол. сер.* 1951. Вып. 131. Москва, 118 с.
- Тимофеев А.А., Тимофеев В.А. Генетические соотношения угленосных толщ и нефтематеринских свит в угленефтегазоносных бассейнах. *Геология угольных месторождений*. Вып. 14. Екатеринбург: Урал. гос. горн. ун-т, 2004. С. 61–72.
- Тиссо Б., Вельте Д. Образование и распространение нефти. Москва: Мир, 1981. 502 с.
- Товстюк З. Звіт про науково-дослідну роботу «Вдосконалення супутникових технологій пошуку та прогнозу покладів вугледовнів на прикладі перспективних об'єктів Азово-Чорноморського регіону та Дніпровсько-Донецької западини» (заключний). Ч. 2. Київ: ЦАКДЗ ІГН НАН України, 2009. 231 с.
- Широков А.З., Забигайло В.Е., Кондратюк И.Т. К проблеме миграции углеводородов в пределах юго-восточного крыла Днепровско-Донецкой впадины. *Геология и геохимия горючих ископаемых*. 1969. Вып. 18. С. 29–35.
- Шпак П.Ф., Лукин А.Е. Условия нефтегазообразования и формирования залежей углеводородов в палеозойских отложениях Днепровско-Донецкой впадины. *Эволюция нефтегазообразования в истории Земли*. Москва: Наука, 1986. С. 119–123.
- Штах Э., Маковски М.-Т., Тейхмюллер М., Тейлор Г., Чандра Д., Тейхмюллер Р. Петрология углей. Москва: Мир, 1978. 554 с.
- Эттингер И.Л., Еремин И.В. Пористость и пустотность каменных углей. *Изв. АН СССР. Сер. геол.* 1980. № 5. С. 124–129.
- Ahlbrandt T.S., Schmoker J.W. (Eds.). U.S. Geological Survey world petroleum assessment 2000. Description and results: DDS-60, 4 CD-ROMs. 2000. <https://doi.org/10.3133/ds60>
- Bird K.J., Brownfield M.E., Charpentier R.R. Supporting data for the U.S. Geological Survey 2012 world assessment of undiscovered oil and gas resources: DDS-69-FF. Reston, VA: U.S. Geological Survey, 2013. <https://doi.org/10.3133/ds69FF>
- Charpentier R.R., Klett T.R., Attanasi E.D. Database for Assessment Unit-scale Analogs (exclusive of the United States). Version 1.0: U.S. Geological Survey Open-File Report 2007-1404. 2008. 61 p. <https://pubs.usgs.gov/of/2007/1404/>
- Flores R.M. Coalbed methane: From hazard to resource. *International Journal of Coal Geology*. 1998. Vol. 35, iss. 1/4. P. 3–26. [https://doi.org/10.1016/S0166-5162\(97\)00043-8](https://doi.org/10.1016/S0166-5162(97)00043-8)
- Gürdal G., Yalçın M.N. Gas adsorption capacity of Carboniferous coals in the Zonguldak basin (NW Turkey) and its controlling factors. *Fuel*. 2000. Vol. 79. P. 1913–1924. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(00\)00050-8](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(00)00050-8)
- Irving E., North E.K., Couillard R. Oil, climate and tectonics. *Can. J. Earth. Sci.* 1974. Vol. 11 (1). P. 1–17.
- Ivanova A.V., Gavryltsev V.B. Paleotemperature reconstructions based on vitrinite thermometry data (on the example of the Upper Paleozoic deposits of the Dnieper-Donets depression and the adjacent margins of the Donbas). *Geofizicheskiy Zhurnal*. 2022. Vol. 44 (5). P. 143–150. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i3.236382>
- Ivanova A.V., Zaitseva L.B. Tonsteins and their role in the formation of the petrographic composition of coals. *Geologičnij žurnal*. 2022. No. 3 (380). P. 57–66. <http://dx.doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2022.3.257499>
- Ivanova A.V., Zaitseva L.B., Spirina O.I. Geotectonic regime of formation of the coal-bearing deposits in the Western Donets Basin (Ukraine). *Geologičnij žurnal*. 2018. No. 1 (362). P. 66–79. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2018.1.126569>
- Kalinowski A.A., Gurba L.W. Interpretation of vitrinite reflectance-depth profiles in the Northern Denison Trough, Bowen Basin, Australia. *International Journal of Coal Geology*. 2020. Vol. 219. 103367. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2019.103367>
- Koeverden van J.H., Karlsen D.A., Schwark L., Chpitsglou A., Backer-Owe K. Oil-prone lower carboniferous coals in the norwegian barents sea: implications for a palaeozoic petroleum system. *Journal of Petroleum Geology*. 2010. Vol. 3 (2). P. 155–182. <https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.2010.00471.x>
- Littke R., Ten Haven H.L. Palaeoecologic trends and petroleum potential of Upper Carboniferous coal seams of Western Germany as revealed by their petrographic and organic geochemical characteristics. *International Journal of Coal Geology*. 1989. Vol. 13, iss. 1. P. 529–574. [https://doi.org/10.1016/0166-5162\(89\)90106-7](https://doi.org/10.1016/0166-5162(89)90106-7)

- Mukhopadhyay P.K., Hatcher P.G., Calder J.H. Hydrocarbon generation from deltaic and intermontane fluviodeltaic coal and coaly shale from the Tertiary of Texas and Carboniferous of Nova Scotia. *Organic Geochemistry*. 1991. Vol. 17. P. 765–783. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(91\)90020-K](https://doi.org/10.1016/0146-6380(91)90020-K)
- Opluštil S., Schneider J. Middle-Late Pennsylvanian tectono-sedimentary, climatic and biotic records in basins of Europe, NW Turkey and North Africa – an overview. *Geological Society, Special Publications*. 2023. Vol. 535. P. 225–291. <https://doi.org/10.1144/SP535-2022-215>
- Petersen Henrik I. The petroleum generation potential and effective oil window of humic coals related to coal composition and age. *International Journal of Coal Geology*. 2006. Vol. 67. P. 221–248. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2006.01.005>
- Scotese C. R. PALEOMAP PaleoAtlas for GPlates and the Paleo-Data Plotter Program. PALEOMAP Project. 2016. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.34367.00166>
- Shao L., Wang X., Wang D., Li M., Wang S., Li Y., Shao K., Zhang C., Gao C., Dong D., Cheng A., Lu J., Ji C., Gao D. Sequence stratigraphy, paleogeography, and coal accumulation regularity of major coal-accumulating periods in China. *Int. J. Coal Sci. Technol.* 2020. Vol. 7, iss. 2. P. 240–262. <https://doi.org/10.1007/s40789-020-00341-0>
- Sykes R., Volk H., George S.C., Ahmed M., Higgs K.E., Johansen P.E., Snowdon L.R. Marine influence helps preserve the oil potential of coaly source rocks: Eocene Mangahewa Formation, Taranaki Basin, New Zealand. *Organic Geochemistry*. 2014. Vol. 66. P. 140–163. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2013.11.005>
- Tewalt S.J., Kinney S.A., Merrill M.D. GIS representation of coal-bearing areas in North, Central, and South America: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1257. 2008. Available online at <https://pubs.usgs.gov/of/2008/1257>
- Wilkins R.W.T., George S.C. Coal as a source rock for oil: a review. *International Journal of Coal Geology*. 2002. Vol. 50. P. 317–361. [https://doi.org/10.1016/S0166-5162\(02\)00134-9](https://doi.org/10.1016/S0166-5162(02)00134-9)
- Yalçın M., Sedat I., Gürdal G., Mann U., Schaefer R.G. Carboniferous coals of the Zonguldak basin (northwest Turkey): Implications for coalbed methane potential. *AAPG Bulletin*. 2002. Vol. 86, No. 7, P. 1305–1328. <https://doi.org/10.1306/61EEDC88-173E-11D7-8645000102C1865D>
- Zhang G., Jin L., Lan L., Zhao Z. Analysis of the orderly distribution of oil and gas fields in China based on the theory of co-control of source and heat. *Natural Gas Industry B*. 2015. Iss. 2 (1). P. 49–76. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ngib.2015.02.005>
- Bird K.J., Brownfield M.E., Charpentier R.R. 2013. Supporting data for the U.S. Geological Survey 2012 world assessment of undiscovered oil and gas resources: DDS-69–FF. Reston, VA: U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/ds69FF>
- Brizhanev A.M., Buryachenko R.A., Galazov R.A., Kiryukov V.V., Kraschenko S.D., Ksenda I.M., Kushch O.A., Savitskaya V.N. 1990. Forecast of Mining and Geological Conditions of Mining Operations in the Donetsk Basin. *Review inf. / TSNIElugol*, 4: 1–53 (in Russian).
- Brizhanev A.M., Galazov R.I. 1983. Metamorphism as the main factor of methane content in coal deposits. *Sov. geologiya*, 3: 19–22 (in Russian).
- Charpentier R.R., Klett T.R., Attanasi E.D. 2008. Database for Assessment Unit-scale Analogs (exclusive of the United States). Version 1.0: U.S. Geological Survey Open-File Report 2007-1404. <https://pubs.usgs.gov/of/2007/1404/>
- Egorov A.I. 1975. Paleogeographical proximity of Carboniferous coal-bearing and oil-and-gas-bearing areas. Carboniferous stratigraphy and geology of coal-bearing formations of the USSR. Moscow: Nedra (in Russian).
- Eremin I.V., Gagarin I.V. 1998. Influence of Maceral Type on the Release Kinetics of Low-Molecular Compounds during Coal Metamorphism. *Khim. Tverd. Topl.*, 5: 9–20 (in Russian).
- Ermakov V.I., Skorobogatov V.A. 1984. Genesis of hydrocarbon gases in coal-bearing and subcarbon-bearing formations. Moscow: Nedra (in Russian).
- Ettinger I.L., Eremin I.V. 1980. Porosity and voidness of hard coals. *Izv. AN SSSR. Ser. geol.*, 5: 124–129 (in Russian).
- Flores R.M. 1998. Coalbed methane: From hazard to resource. *Int. J. Coal Geol.*, 35 (1–4): 3–26. [https://doi.org/10.1016/S0166-5162\(97\)00043-8](https://doi.org/10.1016/S0166-5162(97)00043-8)
- Golitsyn M.V., Dumler L.F., Orlov I.V. (Eds.). 1973. Geology of coal and oil shale deposits of the USSR in 12 volumes. Vol. 5. Coal basins and deposits of Kazakhstan. Book 2. Basins and deposits of Mesozoic-Cenozoic age. Moscow: Nedra (in Russian).
- Gordienko V.V., Gordienko I.V., Zavhorodnya O.V., Kovachikova S., Logvinov I.M., Pek Y., Tarasov V.M., Usenko O.V. 2006. Dni-pro-Donets depression (geophysics, deep processes). Kyiv: Korvin Press (in Ukrainian).
- Gordienko V.V., Usenko O.V. 2003. Deep processes in the Ukraine's tectonosphere. Kyiv: IGF NANU Publishing House (in Russian).
- Grinberg I.V., Petrikovskaya M.E. 1965. Investigation of the isotopic composition of organic matter of fossil fuels. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
- Gürdal G., Yalçın M.N. 2000. Gas adsorption capacity of Carboniferous coals in the Zonguldak basin (NW Turkey) and its controlling factors. *Fuel*, 79: 1913–1924. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(00\)00050-8](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(00)00050-8)
- Ignatchenko N.A., Zaitseva L.B., Ivanova A.V. 1979. Petrology of carboniferous coals of the Dnieper-Donets depression. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
- Irving E., North E.K., Couillard R. 1974. Oil, climate and tectonics. *Can. J. Earth. Sci.*, 11 (1): 1–17.
- Ishchenko A.M. 1952. Sapropelite of the Donets basin. Kyiv: Publishing House of the AN USSR (in Russian).
- Ivanova A.V. 2001. Determining of gassiness factors of coal seams of Donbas. *Geologičnij žurnal*, 1 (295): 54–60 (in Ukrainian).
- Ivanova A.V. 2006. The gas content of the Carboniferous coal-bearing formation of Donbas. *Geologičnij žurnal*, 4 (317): 82–86 (in Ukrainian).
- Ivanova A.V. 2012. Catalog of vitrinite reflection indicators of coal organic matter in sedimentary strata of the Don-Dnieper and Pre-Dobrudzha troughs with established paleogeothermal gradients and amplitudes of vertical movements of tectonic structures. Kyiv: IGN NANU (in Russian).
- Ivanova A.V. 2016. Genesis and evolution of high-chlorine coals of Ukraine and use problems: Author's abstract. dis. ... Doct. Geol. Sci. Kyiv: IGN NANU (in Ukrainian).

References

- Ivanova A.V., Gavryltsev V.B. 2021. Paleogeothermal and paleotectonic reconstructions based on vitrinite thermometry data (on the example of the upper Paleozoic deposits of the Dnieper-Donets depression and adjacent areas of Donbass). *Geofizicheskij Zhurnal*, 43 (3): 82–105. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i3.236382> (in Russian).
- Ivanova A.V., Gavryltsev V.B. 2022. Paleotemperature reconstructions based on vitrinite thermometry data (on the example of the Upper Paleozoic deposits of the Dnieper-Donets depression and the adjacent margins of the Donbas). *Geofizicheskij Zhurnal*, 44 (5): 143–150. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i3.236382>.
- Ivanova A.V., Zaitseva L.B. 2012. Geological Factors of the Gas Content in Carboniferous Deposits of the Kalmius-Toretsk Kettlehole. *Tektonika i stratyografiya*, 39: 21–29 (in Ukrainian).
- Ivanova A.V., Zaitseva L.B. 2018. Gassiness factors in Lower Carboniferous Sediments of the Western Donbas (on the example of the Pavlograd-Petropavlivsk Coal-Bearing Area). *Naftohazova haluz' Ukrainy*, 5: 14–18 (in Ukrainian).
- Ivanova A.V., Zaitseva L.B. 2022. Tonsteins and their role in the formation of the petrographic composition of coals. *Geologičnij žurnal*, 380 (3): 57–66. <http://dx.doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2022.3.257499>
- Ivanova A.V., Zaitseva L.B., Spirina O.I. 2018. Geotectonic regime of formation of the coal-bearing deposits in the Western Donets Basin (Ukraine). *Geologičnij žurnal*, 1 (362): 66–79. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2018.1.126569>
- Ivanyuta M.M. (Ed.). 1998. Atlas of Oil and Gas Fields of Ukraine in 6 volumes. 1–3: Eastern oil and gas-bearing region. Lviv: UNGA (in Ukrainian).
- Kalinowski A.A., Gurba L.W. 2020. Interpretation of vitrinite reflectance-depth profiles in the Northern Denison Trough, Bowen Basin, Australia. *Int. J. Coal Geol.*, 219: 103367. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2019.103367>
- Kasyanov V.V., Terdovidov A.S., Dzhmalova Kh.F., Lakoba M.V. 1999. Composition and Types of Liquid Hydrocarbons in Donbass. *Ugol' Ukrainy*, 10: 50–51 (in Russian).
- Koeverden van J.H., Karlsen D.A., Schwark L., Chpitsglouz A., Backer-Owe K. 2010. Oil-prone lower carboniferous coals in the Norwegian Barents Sea: implications for a Paleozoic petroleum system. *Journal of Petroleum Geology*, 33 (2): 155–182. <https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.2010.00471.x>
- Kosenko B.M., Levenshtein M.L. 1968. On the Possibility of Formation of Industrial Deposits due to Metamorphogenic Gases in Coal-Bearing Strata (Using the Example of the East Ukrainian gas- and oil-bearing basin). In: *Materials on the geology of the Donetsk basin*. Moscow: Nedra (in Russian).
- Kravtsov A.I. (Ed.). 1979. Gas-bearing Properties of the USSR Coal Basins and Deposits in 3 volumes. 1. Coal basins and deposits of the European part of the USSR. Moscow: Nedra (in Russian).
- Kuznetsov I.A. (Ed.). 1963. Geology of coal and oil shale deposits of the USSR in 12 volumes. 1. Coal basins and deposits of the south of the European part of the USSR. Moscow: Gosgeoltekhizdat (in Russian).
- Kuznetsov I.G. 1951. Tectonics, volcanism and stages of formation of the Central Caucasus structure. *Tr. IGN AN SSSR. Geologicheskaya seriya*, No. 131. Moscow, 118 p. (in Russian).
- Lapchinsky Yu.G., Nesterenko S.P. 1984. The scale of gas formation and gas accumulation in the Dnieper-Donets depression. *Neftyanaya i gazovaya promyshlennost*, 3: 9–12 (in Russian).
- Levenshtein M.L., Spirina O.I., Nosova K.B., Dedov V.S. 1991. Set of maps of Coal Metamorphism in the Donets Basin (on the Paleozoic surface, on the levels: –400 m, –1000 m, –1600 m, and on the structural plans of coal seams c_6^1 and k_5) at 1:500,000. Kyiv: Ministry of Geology of the USSR (in Russian).
- Littke R., Ten Haven H.L. 1989. Palaeoecologic trends and petroleum potential of Upper Carboniferous coal seams of Western Germany as revealed by their petrographic and organic geochemical characteristics. *Int. J. Coal Geol.*, 13 (1): 529–574. [https://doi.org/10.1016/0166-5162\(89\)90106-7](https://doi.org/10.1016/0166-5162(89)90106-7)
- Lukin A.E., Shestopalov V.M. 2018. From new geological paradigm to the problems of regional geological-geophysical survey. *Geofizicheskij Zhurnal*, 40 (4): 3–72. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i4.2018.140610> (in Russian).
- Maksimov S.P. (Ed.). 1987. Oil and Gas Fields of the USSR: in 2 volumes. Moscow: Nedra (in Russian).
- Matveev A.K. 1979. Coal basins and deposits of foreign countries. Moscow: MGU Publishing House (in Russian).
- Maydanovich I.A., Radzivil A.Ya. 1984. Features of tectonics of coal basins of Ukraine. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
- Maydanovich I.A., Shulga V.F. 1990. Carboniferous coal-bearing formation. In: *Coal-bearing formations and material composition of coals of the Dnieper-Donets depression*. Kyiv: Naukova Dumka, pp. 91–113 (in Russian).
- Mukhopadhyay P.K., Hatcher P.G., Calder J.H. 1991. Hydrocarbon generation from deltaic and intermontane fluviodeltaic coal and coaly shale from the Tertiary of Texas and Carboniferous of Nova Scotia. *Organic Geochemistry*, 17: 765–783. [https://doi.org/10.1016/0146-6380\(91\)90020-K](https://doi.org/10.1016/0146-6380(91)90020-K)
- Neruchev S.G., Rogozina E.A. 1992. Common Model of Oil and Gas Generation in Sedimentary Rocks. In: *Modeling of oil and gas generation*. Moscow: Nauka (in Russian).
- Opluštil S., Schneider J. 2023. Middle-Late Pennsylvanian tectono-sedimentary, climatic and biotic records in basins of Europe, NW Turkey and North Africa – an overview. *Geological Society, Special Publications*, 535: 225–291. <https://doi.org/10.1144/SP535-2022-215>
- Orda V.Ya. 1968. Main features of the gas regime in the middle part of Donbass. In: *Materials on the geology of the Donets Basin*. Moscow: Nedra (in Russian).
- Petersen Henrik I. 2006. The petroleum generation potential and effective oil window of humic coals related to coal composition and age. *Int. J. Coal Geol.*, 67: 221–248. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2006.01.005>
- Petrov O.V. (Ed.). 2006. Petrological Atlas of Fossil Organic Matter in Russia. St.-Petersburg: VSEGEI (in Russian).
- Pogrebnev N.I., Tyazhnev A.V., Shabarov N.V. (Eds.). 1978. Geology of coal and oil shale deposits of the USSR in 12 volumes. 12. General data on coal basins and deposits of the USSR. Moscow: Nedra (in Russian).
- Popov V.S., Dzhmalova Kh.F., Ivanov G.P., Lapchinsky Yu.G., Malykhin M.Ya., Trushin Yu.I. 1970. On the prospects for industrial gas content in the Kalmius-Toretsk and Bakhmut Kettleholes. In: *Development of the gas industry of the Ukrainian SSR. Tr. UkrNIIGAZA*, 5: 26–36 (in Russian).
- Privalov V.A., Sachsenhofer R.F., Izar A. 2004. Genetic identification of methane and geological nature of coal-and-gas outbursts in coal seams of the Donbas. *Naukovi pratsi DonNTU: Seriya ġirn.-geolog.*, 72: 175–184 (in Russian).
- Pryvalov V.O., Panova O.A., Izar A., Alsaab D. 2010. Parameterization of thermal regimes, generation and mass transfer of hydrocarbon gases during the history of geological development of Donbas. *Naukovi pratsi UkrNDMI NAN Ukrainy*, 6: 95–123 (in Ukrainian).
- Scotese C.R. 2016. PALEOMAP PaleoAtlas for GPlates and the PaleoData Plotter Program. PALEOMAP Project. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.34367.00166>
- Shao L., Wang X., Wang D., Li M., Wang S., Li Y., Shao K., Zhang C., Gao C., Dong D., Cheng A., Lu J., Ji C., Gao D. 2020. Sequence stratigraphy, paleogeography, and coal accumulation regularity of major coal-accumulating periods in China. *Int. J. Coal Sci. Technol.*, 7 (2): 240–262. <https://doi.org/10.1007/s40789-020-00341-0>
- Shirokov A.3., Zabigailo V.E., Kondratyuk I.T. 1969. On the problem of hydrocarbon migration within the southeastern part of the Dnieper-Donets depression. *Geologiya i geokhimiya goryuchikh iskopayemykh*, 18: 29–35 (in Russian).
- Shpak P.F. (Ed.). 1989. Geology and oil and gas potential of the Dnieper-Donets depression. Oil and gas potential. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).

- Shpak P.F., Lukin A.E. 1986. Conditions of oil and gas generation and the formation of hydrocarbon fields in Paleozoic deposits of the Dnieper-Donets depression. In: *Evolution of oil and gas formation in the history of the Earth*. Moscow: Nauka (in Russian).
- Skorobogatov V.A. 2019. Paragenesis of fossil fuels in sedimentary basins and rocks of various types and ages. *Vesti gazovoy nauki*, 41 (4): 4–17 (in Russian).
- Stach E., Mackowsky M.-Th., Teichmüller M., Taylor G.H., Chandra D., Teichmüller R. 1978. *Coal Petrology*: Translated from English under the title *Petrologiya uglei*. Moscow: Mir (in Russian).
- Sykes R., Volk H., George S.C., Ahmed M., Higgs K.E., Johansen P.E., Snowdon L.R. 2014. Marine influence helps preserve the oil potential of coaly source rocks: Eocene Mangahewa Formation, Taranaki Basin, New Zealand. *Organic Geochemistry*, 66: 140–163. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2013.11.005>
- Tewalt S.J., Kinney S.A., Merrill M.D. 2008. GIS representation of coal-bearing areas in North, Central, and South America: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1257. Available online at <https://pubs.usgs.gov/of/2008/125>
- Timofeev A.A., Timofeev V.A. 2004. Genetic relations of coal-bearing strata and oil source suites in coal-oil-gas-bearing basins. *Geologiya ugol'nykh mestorozhdeniy*, 14: 61–72 (in Russian).
- Tissot B., Welte D. 1981. *Formation and distribution of oil*: Translated from English under the title *Obrazovaniye i rasprostraneniye nefi*. Moscow: Mir (in Russian).
- Tovstyuk Z. (Ed.). 2009. Improvement of satellite technologies for the search and forecast of hydrocarbon deposits on the example of promising objects of the Azov-Black Sea region and the Dnieper-Donets basin. Research report. Part 2. State registration number 0105U000926. Kyiv: TSAKDZ IHN NAN Ukrainy (in Ukrainian).
- Vassoevich N.B. 1977. The formation of hydrocarbon gases in the process of lithogenesis. In: *Genesis of Hydrocarbon Gases and the Formation of Fields*. Moscow: Nauka (in Russian).
- Vysotsky I.V., Vysotsky V.I., Olenin V.B. Oil and gas basins of foreign countries. Moscow: Nedra, 1990 (in Russian).
- Wilkins R.W.T., George S.C. 2002. Coal as a source rock for oil: a review. *Int. J. Coal Geol.*, 50: 317–361. [https://doi.org/10.1016/S0166-5162\(02\)00134-9](https://doi.org/10.1016/S0166-5162(02)00134-9)
- Yalçın M., Sedat I., Gürdal G., Mann U., Schaefer R.G. 2002. Carboniferous coals of the Zonguldak basin (northwest Turkey): Implications for coalbed methane potential. *AAPG Bulletin*, 86 (7): 1305–1328. <https://doi.org/10.1306/61EEDC88-173E-11D7-8645000102C1865D>
- Zabigailo V.E., Shirokov A.Z. 1972. Problems of geology of gases of coal deposits. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
- Zhang G., Jin L., Lan L., Zhao Z. 2015. Analysis of the orderly distribution of oil and gas fields in China based on the theory of co-control of source and heat. *Natural Gas Industry B*, 2 (1): 49–76. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ngib.2015.02.005>
- Zhikalyak M.V., Nashkersky L.A. 2009. Justification for the Development of Complex Coal Deposit Degassing in Donbas. *Ukrainian Geologist*, 3: 108–114 (in Ukrainian).
- Zhikalyak N.V., Shaidorova I.M., Sverbikhin Yu.G. 2012. Extracting Methane Gas from Coal Deposits and Mines in Western Donbas: Mining and Geological Conditions. *Geotekhnicheskaya mekhanika*, 102: 93–102 (in Russian).

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.2.306818>

УДК 556.332.42:556.334(477)

E-mail: kolira_igns@i.ua,
<https://orcid.org/0000-0002-6120-4491>;
asukhorebryi.igs.nasu@gmail.com,
<https://orcid.org/0009-0005-8802-0085>;
yark.nasu@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7180-4642>;
golikova.igs.nasu@ukr.net,
<https://orcid.org/0009-0000-8262-3700>

*Corresponding author /
Автор для кореспонденції:
I.L. Koliabina, kolira_igns@i.ua

Received / Надійшла до редакції:
24.06.2023

Received in revised form /
Надійшла у ревізованій формі:
10.03.2024

Accepted / Прийнята:
05.05.2024

Keywords: trace elements; Nemyriv drinking water deposit; water quality; trace elements speciation; geochemical modeling.

Ключові слова: мікроелементи; Немирівське родовище питних вод; якість вод; форми знаходження; геохімічне моделювання.

Мікроелементи підземних вод Немирівського родовища (Україна)

І.Л. Колябіна*, А.О. Сухоребрий, К.К. Ярошенко, Т.О. Голікова

Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна

Trace elements in the groundwater of the Nemyriv deposit (Ukraine)

I.L. Koliabina*, A.O. Sukhorebryi, K.K. Yaroshenko, T.O. Holikova

Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The data obtained and published to date by experts in various fields indicate that there are no absolutely harmful or absolutely beneficial trace elements, the only question is their concentration and speciation in natural waters (including groundwater). The forms of occurrence in natural waters are particularly important for elements that may have different degrees of oxidation (e.g., arsenic, manganese) or a high ability to form complexes with water anions (e.g., nickel). In addition, the possible positive and negative effects of biological exposure to drinking water that meets the quality criteria but has slightly elevated levels of trace elements (the so-called “chronic” effect) are currently being actively discussed. The aim of this study is to determine the speciation of biologically active trace elements in the waters of the Skifska area of the Nemyriv drinking water deposit in the Pivdennyi Buh River basin by geochemical modelling. The modelling was performed using the PHREEQC software. Trace elements found in water in concentrations measured by analytical methods are considered in this paper. The data on the content of 7 elements (As, Mn, Sr, Ni, P, Si and F) in the water of 6 wells in the Skifska area (3 wells in the ravine and 3 wells along the Ustia River) were analysed. It was shown, that Sr, Ni, P and F in the water of the wells considered in the Nemyriv drinking water deposit do not exceed the MPC. The concentration of As exceeds the MPC. Mn concentrations in the wells located in the ravine do not exceed the MPC, but significant excesses are observed in the wells located along the Ustia River. Based on the mineral composition of the rocks, the results of geochemical modelling, and the different supply mechanisms of the wells located in the ravine and along the river, it can be concluded that the manganese is of anthropogenic origin. None of the water in the Skifska area under consideration meet the water quality requirements in terms of the total specific content of pollutants of the first and second hazard classes. The main reason for this discrepancy is the increased concentration of arsenic in the water. However, this is in the relatively safe form of As(V). Phosphorus and arsenic concentrations are largely determined by co-precipitation with iron minerals. Fluorine behaves like a classical halogen in the well water of the Skifska area and is in oxidation state -1, and the main source of fluorine is biotite and fluorite. Strontium and manganese in the well waters of the Skifska area of the Nemyriv deposit are in oxidation degree +2, mainly as Me^{2+} cations. The manganese occurrence in such a oxidation degree indicates its potential bioavailability, so it is necessary to carry out additional analytical studies to determine the concentrations of Mn and organic compounds, perform repeated geochemical modelling, assess the danger of these waters for people and develop additional water treatment measures.

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

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

Цитування: Колябіна І.Л., Сухоребрий А.О., Ярошенко К.К., Голікова Т.О. Мікроелементи підземних вод Немирівського родовища (Україна). *Геологічний журнал*. 2024. № 2 (387). С. 81–94. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.2.306818>

Citation: Koliabina I.L., Sukhorebryi A.O., Yaroshenko K.K., Holikova T.O. 2024. Trace elements in the groundwater of the Nemyriv deposit (Ukraine). *Geologichnij žurnal*, 2 (387): 81–94. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.2.306818>

Вступ

Дослідженню «хімічного складу» тіла людини вже давно приділяється величезна увага в усьому світі. Загалом у живих організмах людини визначено понад 60 хімічних елементів (Chellan and Sadler, 2015; Maret, 2022). Такі елементи, як вуглець (С), водень (Н), азот (N), кисень (O), фосфор (P) і сірка (S), є основними хімічними елементами важливих для життєдіяльності сполук, таких як полісахариди, білки, нуклеїнові кислоти тощо. Група цих елементів навіть отримала свою аббревіатуру, яка походить від хімічного запису цих елементів – SPONCH. Ряд елементів (Fe, Mn, Li, Al, Co, Ni, Cu, Ag, Se, As та ін.) присутні в організмах у дуже малих концентраціях, але вони необхідні для нормального функціонування організмів (Nielsen, 1999, 2014; Sigel et al., 2013; Chellan and Sadler, 2015; Attar, 2020 та ін.).

В той же час мікроелементи у концентраціях, які перевищують певний рівень, індивідуальний для кожного елемента, є токсичними та можуть викликати різні захворювання (Эмели, 1993; Моїсєєв та ін., 2010; Моїсєєв, 2017 та ін.). Наприклад, надлишок фтору може викликати карієс (Jha et al., 2013 та ін.), арсен є сильною отрутою і канцерогеном (Hunter, 2008; Hughes et al., 2011; Hoonjan et al., 2018; Ozturk et al., 2022; Islam et al., 2022; Paul et al., 2023 та ін.). У високих концентраціях стронцій може викликати розвиток «стронцієвого рахіту» (хвороба Кашина-Бека), впливати на стан серцево-судинної системи (D’Haese et al., 2000; Barneo-Caragol et al., 2018, 2019; Borciani et al., 2022; Ru et al., 2024). Надходження в організм надлишку нікелю може викликати алергію, серцево-судинні та ниркові захворювання, фіброз легень, рак легень і носа

(Genchi et al., 2020). Надмірне споживання мангану може призвести до нейродегенеративного розладу, симптоми якого подібні до хвороби Паркінсона (Avila et al., 2013), а також позначитися на роботі опорно-рухової та серцево-судинної систем.

Основний висновок, який можна зробити із даних, отриманих та опублікованих на даний час фахівцями різних галузей, полягає в тому, що немає абсолютно шкідливих або абсолютно корисних мікроелементів, питання лише в їх концентрації та в формі знаходження у природних (в тому числі підземних) водах. Форми знаходження особливо важливі для елементів, які можуть мати різні ступені окиснення (наприклад, арсен, манган) або їм притаманна висока здатність до утворення комплексів з аніонами вод (наприклад, нікель). Крім того, наразі активно обговорюється можливість як позитивного, так і негативного біологічного впливу питних вод, які відповідають критеріям якості, проте з дещо підвищеним вмістом мікроелементів (так званий «хронічний» ефект). Метою даної роботи є визначення методом геохімічного моделювання форм знаходження біологічно активних мікроелементів у водах Немирівського родовища питних вод.

Об’єкти та методи дослідження

Немирівське родовище питних підземних вод розташоване в межах Українського щита в басейні р. Південний Буг. Відповідно до геологічної будови та літології, на досліджуваній території виділено п’ять водоносних горизонтів. Найбільш інтенсивно використовується архей-протерозойський водоносний горизонт (AR-PR), приурочений до зони тріщинуватих порід (Терентієв та ін., 2018).

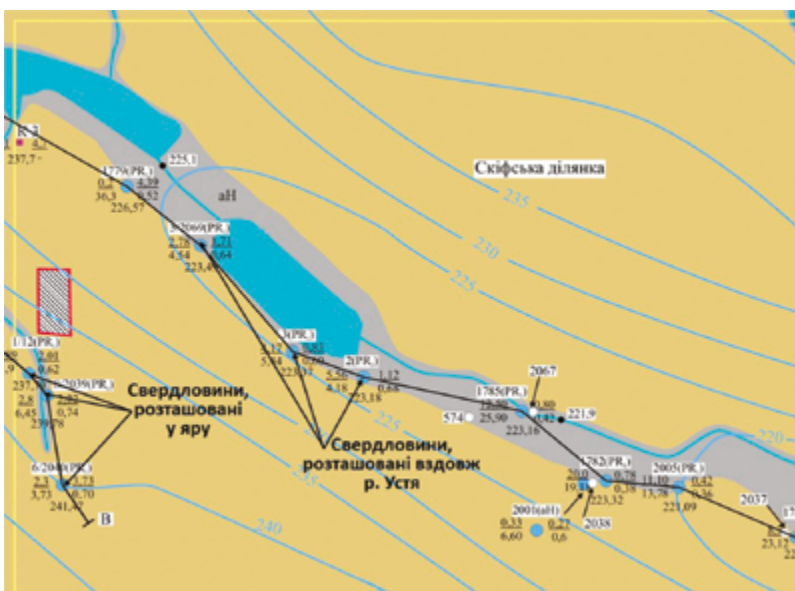


Рис. 1. Схема розташування досліджених свердловин Немирівського родовища питних вод (Терентієв та ін., 2018)

Fig. 1. Scheme of the location of the studied wells of the Nemyriv drinking water deposit (Terentiev et al., 2018)

У межах Немирівського родовища підземних вод експлуатуються декілька водозаборів: водозабір ТОВ «ЛВН ЛІМІТЕД» (ділянки № 1 і 2); водозабір ТОВ «ЛВН ЛІМІТЕД» (Скіфська ділянка); водозабір мінеральних радонових вод ДП «Клінічний санаторій «Авангард» (курортна ділянка); водозабір Немирівського комбінату комунальних підприємств; водозабори заводу ДП «Укрспирт»; водозабори окремих установ м. Немирів. Усі вони облаштовані на архей-протерозойський водоносний горизонт (Терентієв та ін., 2018). У цьому дослідженні ми використали дані про хімічний склад вод та вміст у них мікроелементів для шести свердловин, розташованих на Скіфській ділянці водозабору підземних вод ТОВ «ЛВН ЛІМІТЕД» (рис. 1): три свердловини (св. 1/12, 8/2039 та 6/2040) в яру і три свердловини вздовж р. Устя. Дані взяті зі звіту (Терентієв та ін., 2018).

У даній роботі розглянуті мікроелементи, що знаходяться в водах у концентраціях, які вимірюються аналітичними методами. Були проаналізовані дані про вміст семи елементів (As, Mn, Sr, Ni, P, Si та F).

Моделювання виконано з використанням програми PHREEQC (<https://www.usgs.gov/software/phreeqc-version-3>), яка була розроблена Геологічною службою США та широко використовується в дослідженнях геохімії підземних вод для інтерпретації експериментальних даних. Детально засади використання програми описані у роботах (Parkhurst and Appelo, 1999; Merkel et al., 2007).

Вихідними даними були результати аналізу хімічного складу вод (рис. 2а) та вмісту у них мікроелементів (рис. 2б), які наведені у (Терентієв та ін., 2018).

Всі набори даних були перевірені на збереження балансу заряду:

$$\frac{\sum cat - \sum an}{\sum cat + \sum an} \times 100 < 5 \%, \quad (1)$$

де

$$\sum cat = Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+,$$

$$\sum an = Cl^- + SO_4^{2-} + CO_3^{2-} + HCO_3^-.$$

Всі концентрації мають розмірність мг-екв/дм³.

До модельної системи для імітації складу підземних вод були включені всі сполуки, які потенційно можуть утворюватися у підземній воді з хімічним складом, визначеним у водах свердловин, що розглядаються: іони Ca, Mg, Na, K, As,

Mn, Sr, Ni, P, Si, гідрокарбонату, карбонату, сульфату, хлориду, фтору та фосфору, а також сполуки, які ці іони можуть утворювати між собою.

Результати та їх обговорення

Отримані результати представлені у табл. 1 та на рис. 2–8.

Встановлено, що вміст деяких мікроелементів у водах свердловин, розташованих у яру, значно нижчий (Mn, Ni) або дещо нижчий (Sr, Si), ніж у водах свердловин уздовж р. Устя (рис. 2б). У той же час вміст арсену у водах свердловин, розташованих у яру, дещо вищий, ніж у водах свердловин уздовж р. Устя. Вміст фосфору та заліза в усіх свердловинах є співставним.

Якість вод

Для перевірки відповідності вод Немирівського родовища було виконано порівняння концентрацій мікроелементів з діючими українськими нормами (ДСанПіН 2.2.4-171-10).

Аналіз показав, що концентрація арсену у водах усіх свердловин перевищує ГДК, причому найбільші перевищення спостерігаються у водах свердловин, розташованих у яру (2–3,2 рази). Концентрація As у свердловинах уздовж р. Устя перевищує ГДК менш, ніж у 1,7 рази (табл. 1).

Концентрації мангану у свердловинах, розташованих у яру, не перевищують ГДК (див. табл. 1), проте значні перевищення спостерігаються у свердловинах уздовж р. Устя (6–48 разів). Скоріше за все, цей манган має техногенне походження, можливо, через неконтрольовані скиди промислових вод вище за течією ріки. Оскільки в свердловинах уздовж ріки живлення частково відбувається за рахунок підтягування річних вод (Терентієв та ін., 2018; Стеценко та ін.), забруднені води потрапляють до свердловин, що і зумовлює підвищений вміст Mn в них.

Концентрація інших мікрокомпонентів не перевищує ГДК, за винятком концентрації нікелю у св. 5/2069, яка розташована поблизу р. Устя.

Згідно з діючим законодавством (ДСанПіН 2.2.4-171-10), за наявності у питній воді декількох речовин з однаковою лімітуючою ознакою шкідливості, що належать до першого та другого класів небезпеки, сума відношення концентрацій (C_1, C_2, \dots, C_n) кожної із речовин

до відповідної ГДК не повинна перевищувати одиницю:

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ГДК_n} \leq 1. \quad (2)$$

Серед розглянутих елементів (див. рис. 2) немає елементів, які відносяться до першого класу небезпеки. До елементів другого класу небезпеки належать Sr, Si, F, As (відповідні стовпчики виділені кольором у табл. 1).

Таким чином, для вод свердловин Скіфської ділянки формула (2) набуває вигляду:

$$\frac{C_{As}}{ГДК_{As}} + \frac{C_{Sr}}{ГДК_{Sr}} + \frac{C_{Si}}{ГДК_{Si}} + \frac{C_F}{ГДК_F} \leq 1. \quad (3)$$

Як видно із табл. 1, всі води не відповідають вимозі 3, при цьому більші перевищення притаманні водам свердловин, розташованих у яру, головним чином за рахунок підвищеної концентрації арсену.

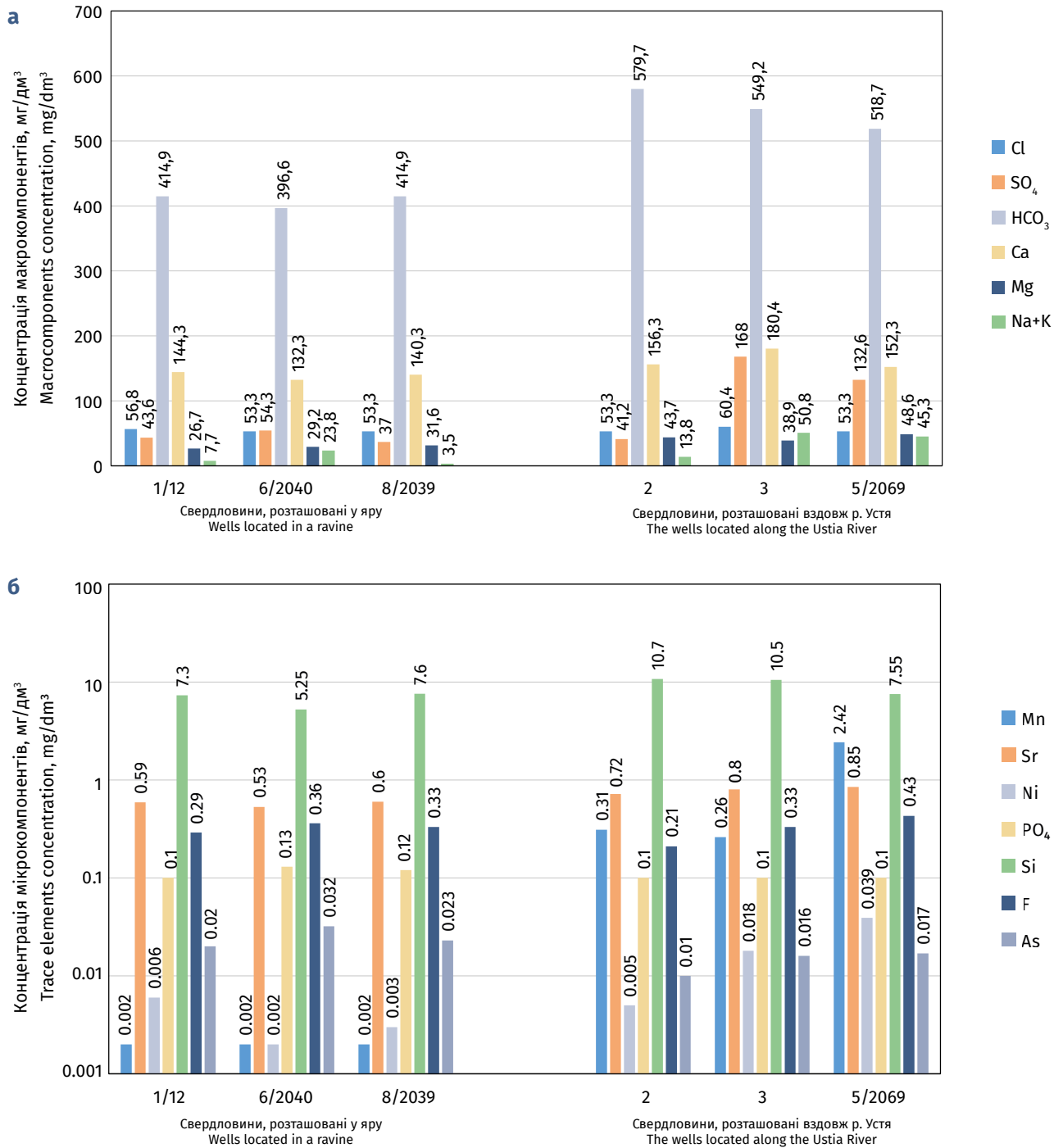


Рис. 2. Вміст макрокомпонентів та мікрокомпонентів у водах свердловин Скіфської ділянки Немірівського родовища питних підземних вод: а) макрокомпоненти; б) мікрокомпоненти

Fig. 2. Contents of macro components and trace elements in well water from the Skifska area of the Nemyriv drinking water deposit: a) macro components; b) trace elements

Таблиця 1. Відношення концентрації мікроелементів до ГДК та показники якості води свердловин Скіфської ділянки Немирівського родовища питних вод**Table 1.** Ratio of trace element concentrations to MPCs and water quality indicators of wells in the Skifska area of the Nemyriv drinking water deposit

№ св.	$C_{As}/ГДК_{As}$	$C_{Mn}/ГДК_{Mn}$	$C_{Sr}/ГДК_{Sr}$	$C_{Ni}/ГДК_{Ni}$	$C_{PO_4}/ГДК_{PO_4}$	$C_{Si}/ГДК_{Si}$	CF/ГДКF	Інтегральний показник, за формулою (3)
1/12	2,00	0,04	0,08	0,30	0,03	0,73	0,24	3,06
6/2040	3,20	0,04	0,08	0,10	0,04	0,53	0,30	4,10
8/2039	2,30	0,04	0,09	0,15	0,03	0,76	0,28	3,42
2	1,00	6,20	0,10	0,25	0,03	1,07	0,18	2,35
3	1,60	5,20	0,11	0,90	0,03	1,05	0,28	3,04
5/2069	1,70	48,40	0,12	1,95	0,03	0,76	0,36	2,93

Форми знаходження мікроелементів у водах Немирівського родовища питних вод

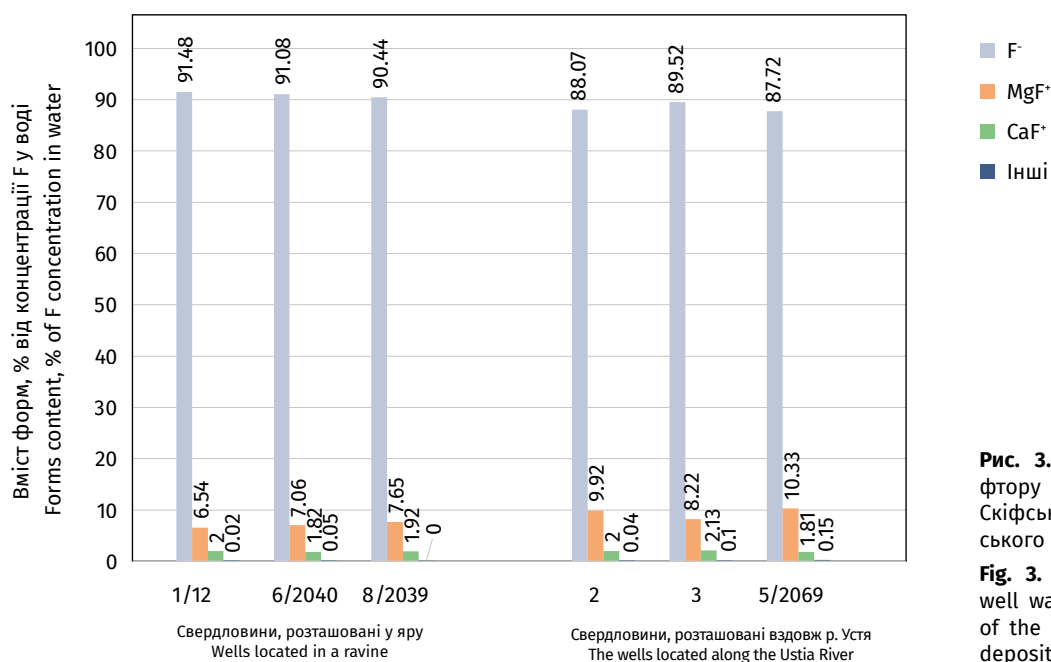
Фтор

Результати моделювання показали, що в умовах вод свердловин Скіфської ділянки фтор поводить себе як класичний галоген і знаходиться у ступені окиснення -1 (рис. 3): основна форма знаходження аніону F^- (87,72–91,48 %), також присутня незначна кількість сполук MeF^+ ($Me = Ca, Mg$). Вміст фторидних комплексів інших металів не перевищує 0,2 % загальної концентрації фтору у воді.

Концентрація іонної форми фтору у водах свердловин уздовж р. Устя дещо нижча, а комплексів MeF^+ ($Me = Ca, Mg$) дещо вища, що зумовлюється більш високою концентрацією кальцію та магнію у водах свердловин уздовж ріки.

Концентрація фтору в природних водах тісно пов'язана з його вмістом у мінералах і породах. Оскільки іонний радіус фтору дуже подібний до радіуса OH^- , він легко заміщує гідроксильні позиції в пізньоутворених мінералах у магматичних породах (Edmunds et al., 2013). Фтор також трапляється в первинних мінералах, особливо в біотитах і амфіболах (наприклад, у гранітах) і в процесах вивітрюванні вивільнюється з них. Джерелом фтору можуть бути апатит, топаз, флюорит.

У породах водоносного горизонту встановлена наявність біотиту та у деяких зразках флюориту (Погонина и др., 1977), які є джерелами надходження фтору у підземні води.

**Рис. 3.** Форми знаходження фтору у водах свердловин Скіфської ділянки Немирівського родовища питних вод**Fig. 3.** Fluoride speciation in well water of the Skifska area of the Nemyriv drinking water deposit

Фосфор

Відповідно до результатів моделювання основною формою фосфору у водах всіх розглянутих свердловин є аніон HPO_4^{2-} (36,36–42,68 %), що є характерним для близько нейтральних величин рН вод у межах району дослідження (рис. 4). Наступними за внеском у загальну концентрацію розчиненого фосфору є гідрофосфат кальцію, аніон H_2PO_4^- та гідрофосфат магнію. Такий порядок розташування форм за значущістю визначається, з одного боку, величинами рН, а з іншого – суттєвими концентраціями кальцію та магнію в водах. Суттєвих відмінностей у розподілі форм у водах свердловин, розташованих у яру та вздовж р. Устя, не спостерігається. Такий розподіл форм фосфору відповідає загальноприйнятим уявленням щодо розподілу неорганічних форм фосфору у природних (в тому числі підземних) водах (Lusk et al., 2017; Kazmierczak et al., 2020).

Важливими механізмами, які контролюють загальну концентрацію фосфору у поверхневих та підземних водах, є сорбція на мінералах заліза (оксидах, гідроксидах), а також співосадження/розчинення з цими мінералами (Audin et al., 2010; Lusk et al., 2017; Kazmierczak et al., 2020). Як було показано раніше (Koliabina et al., 2023), у водах Немирівського родовища відбувається осаження таких мінералів,

як гетит, магнетит, гематит, а також аморфної форми гідроксиду Fe(III) . Таким чином, можна очікувати, що концентрація фосфору буде значною мірою визначатися саме процесами взаємодії з цими мінералами.

Арсен

Результати моделювання показали (рис. 5), що всі досліджувані води містять арсен у формі As(V) , яка зазвичай вважається менш токсичною для організму людини (Genchi et al., 2022; Zhuang et al., 2023). Основною формою знаходження є сполука HAsO_4^{2-} (73–85 %). Концентрація H_2AsO_4^- змінюється від 15 до 27 %. Дуже низька концентрація As(III) у вигляді H_3AsO_3^0 виявлена лише в одній свердловині (св. 5/2069), яка розташована вздовж річки. Такий розподіл форм арсену є типовим для кисневих підземних вод (Cheng et al., 2009). Із збільшенням Eh та зниженням рН вміст HAsO_4^{2-} зменшується, а H_2AsO_4^- збільшується.

У роботі (Koliabina et al., 2023) було показано, що основними механізмами взаємодії арсену природних вод з породами водоносного горизонту Немирівського родовища є сорбція та спільне осаження з мінералами заліза, а арсен має техногенне походження (вилугується із пестицидів, які широко використовуються у сільському господарстві на території дослідження).

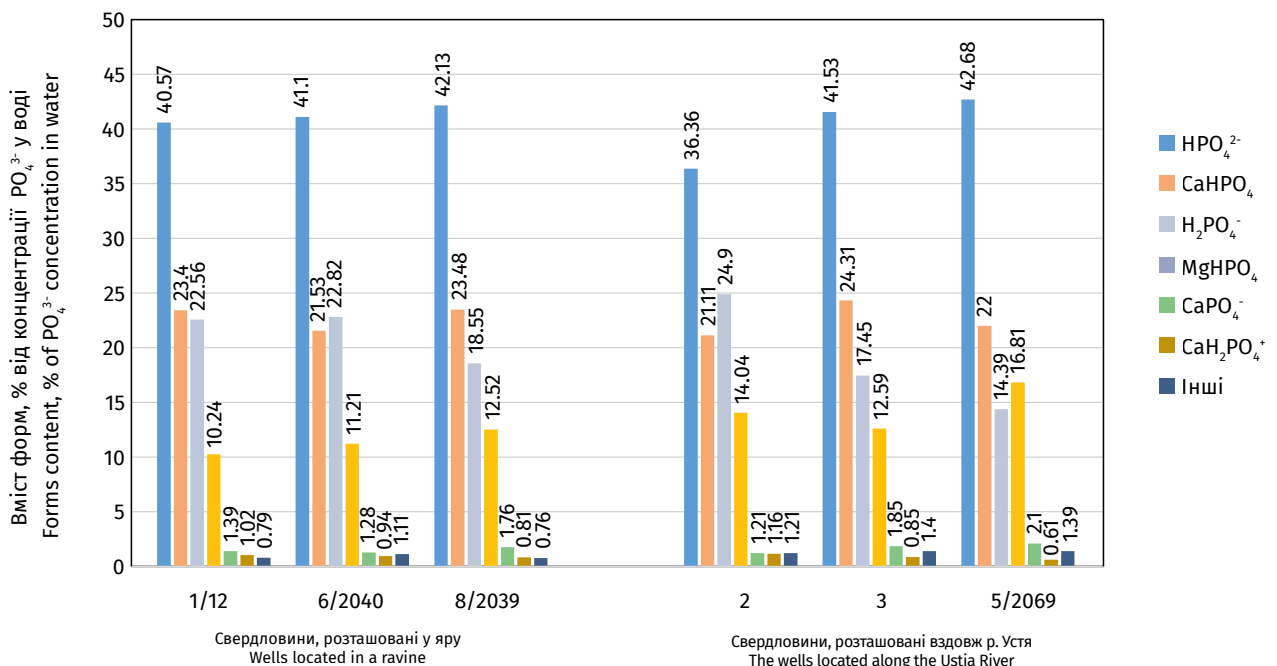


Рис. 4. Форми знаходження фосфору у водах свердловин Скіфської ділянки Немирівського родовища питних вод
 Fig. 4. Phosphorus speciation in well water of the Skifska area of the Nemyriv drinking water deposit

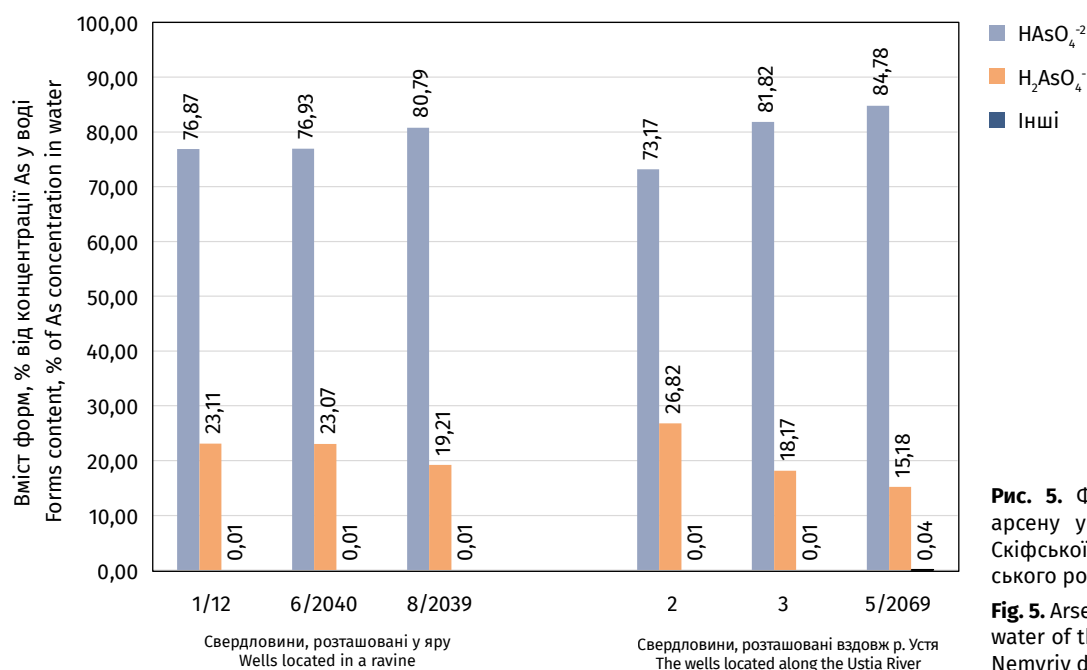


Рис. 5. Форми знаходження арсену у водах свердловин Скіфської ділянки Немирівського родовища питних вод
Fig. 5. Arsenic speciation in well water of the Skifska area of the Nemyriv drinking water deposit

Стронцій та манган

Згідно з результатами моделювання стронцій та манган у водах свердловин Скіфської ділянки Немирівського родовища знаходяться у ступені окиснення +2 головним чином у вигляді катіонів Me^{2+} (рис. 6, 7), що є типовим для двовалентних металів. Наступними за значущістю є сполуки $MeHCO_3^+$ та $MeSO_4^0$ ($Me = Sr, Mn$), що є очікуваним для вод гідрокарбонатного типу, які розповсюджені на території дослідження. Форми мало відрізняються для свердловин, розташованих у яру та вздовж р. Устя, проте у водах свердловин уздовж р. Устя спостерігається дещо менший вміст гідроокисних комплексів та більший вміст гідрокарбонатних комплексів, що визначається більшою концентрацією іонів гідрокарбонату у цих водах.

Стронцій у природних водах може існувати тільки у ступені окиснення +2. Основними чинниками, які впливають на його форми знаходження є рН та вміст природних органічних сполук. В інтервалі рН 2÷11 основною формою є Sr^{2+} (до 100 %) і лише в дуже лужних умовах (рН > 12) відсоток Sr^{2+} зменшується до 30 %, а $SrOH^+$ стає домінуючою формою (Cai et al., 2020). Величини рН у водах Скіфської ділянки знаходяться в близько нейтральній області. Тому можна зробити висновок, що отримані результати моделювання відповідають загальним трендам розподілу форм знаходження стронцію у природних водах у залежності від рН.

Стронцій також може зв'язуватися з природними органічними речовинами (ПОР) шляхом хімічної взаємодії з функціональними групами (карбоксільними та фенольними) та внаслідок електростатичних негативно зарядженої поверхні ПОР та позитивно заряджених іонів Sr^{2+} (Kinniburgh et al., 1996; Koopal et al., 2005; Adusei-Gyamfi et al., 2019). В свою чергу, на ці взаємодії може впливати рН, змінюючи заряд і структуру ПОР (Braghetta et al., 1997; Adusei-Gyamfi et al., 2019). Зокрема, для кальцію було встановлено зростання вмісту комплексів з гуміновою кислотою зі збільшенням величин рН внаслідок зростання негативного заряду гумінової кислоти (Schäfer et al., 1998; Listiarini et al., 2009). Аналогічної поведінки можна очікувати і від стронцію. Через відсутність експериментальних даних врахувати взаємодію стронцію з ПОР не вдалося, але можна припустити, що такі взаємодії будуть відігравати певну, але навряд чи ключову роль.

Знаходження мангану у формі $Mn(II)$ свідчить про його потенційну біологічну доступність для живих організмів на відміну від $Mn(IV)$, який вважається біологічно недоступним (Pierrot and Millero, 2017).

Манган може надходити у поверхневі та підземні води з гірських порід шляхом розчинення мінералів Mn як в окислювальних, так і у відновлювальних умовах (Richardson and Zuñiga, 2021; Farkas et al., 2024). Ці процеси добре досліджені, відбуваються досить швидко та забезпечують

високі концентрації мангану у водах (Richardson and Zuñiga, 2021). У породах водоносного горизонту присутність таких мінералів не встановлена ні для свердловин, розташованих у яру, ні для свердловин уздовж ріки (Погонина и др., 1977). В той же час Mn широко розповсюджений в алюмосилікатних породах і мінералах внаслідок ізоморфного заміщення Ca, Mg і Fe, але в набагато нижчих концентраціях, ніж у породах, які містять мінерали мангану. Розчинення і вивільнення мангану із алюмосилікатів відбувається набагато повільніше та у значно меншій кількості.

У породах водоносного горизонту встановлена наявність алюмосилікатів, які можуть бути потенційним джерелом мангану – польових шпатів, мусковіту та ін. (Погонина и др., 1977). Низька концентрація мангану у водах свердловин, розташованих у яру, відповідає такому механізму його надходження, в той час як висока концентрація у водах свердловин уздовж ріки – ні, хоча мінеральний склад водоносних порід свердловин дуже схожий. Це підтверджує висловлене вище припущення щодо техногенної природи мангану у водах свердловин уздовж ріки.

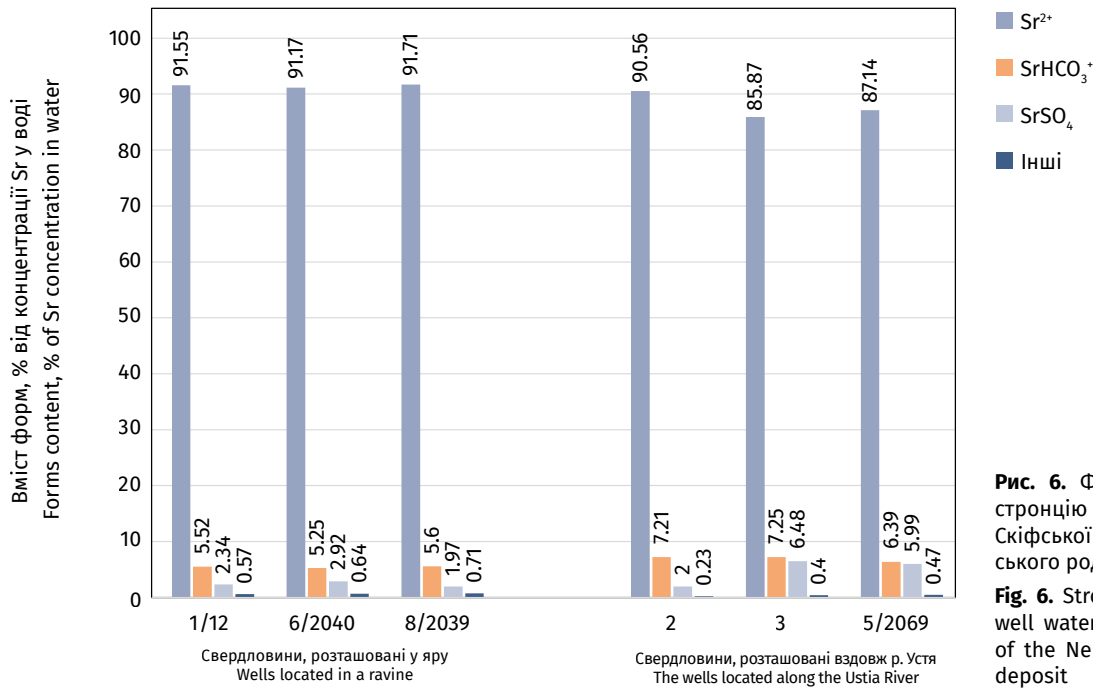


Рис. 6. Форми знаходження стронцію в водах свердловин Скіфської ділянки Немирівського родовища питних вод
Fig. 6. Strontium speciation in well water of the Skifska area of the Nemyriv drinking water deposit

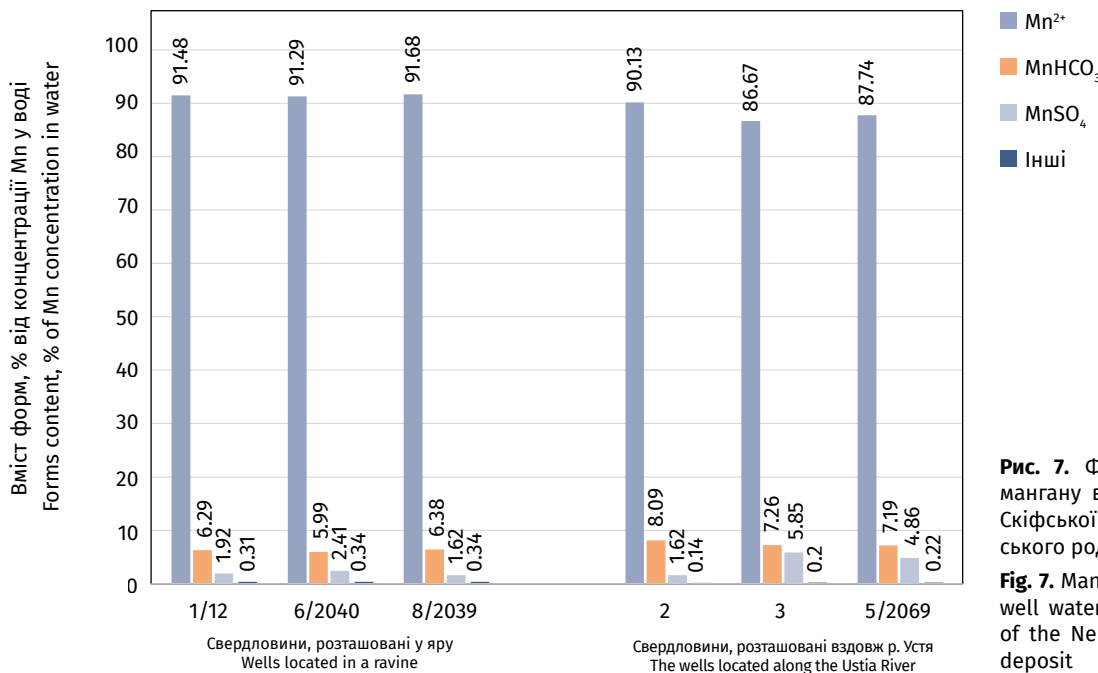


Рис. 7. Форми знаходження мангану в водах свердловин Скіфської ділянки Немирівського родовища питних вод
Fig. 7. Manganese speciation in well water of the Skifska area of the Nemyriv drinking water deposit

Враховуючи значне перевищення ГДК у водах свердловин уздовж р. Устя (див. табл. 1), необхідно обов'язково провести додаткові аналітичні дослідження з визначення концентрацій мангану та органічних речовин, виконати повторне геохімічне моделювання, оцінити вплив цих вод на здоров'я людини та розробити заходи щодо додаткового очищення вод.

Нікель

Результати моделювання показали, що дещо більша різноманітність форм спостерігається для нікелю (рис. 8): основною формою залишається катіон Ni^{2+} (62,47–53,39 %), потім за внеском у загальну концентрацію нікелю у воді йдуть гідрокарбонатні (35,24–28,11 %) та карбонатні (6,91–11,78 %) комплекси. І замикають перелік сполук, вміст яких перевищує 1 % загальної концентрації нікелю, сульфатні комплекси. Загальний вміст інших сполук (гідроксидних, хлоридних, фосфатних, нітратних комплексів) не перевищує 0,5 %. Такий розподіл нікелю по формах відповідає як гідрокарбонатному складу вод на території досліджень, так і хімічним властивостям нікелю.

Варто зазначити, що для нікелю спостерігається достатньо помітна різниця між формами його знаходження у водах свердловин, розташованих у яру та вздовж р. Устя, зокрема за вмістом катіонної форми та гідрокарбонатних комплексів. Ця різниця зумовлюється насамперед більш високим вмістом карбонатів у водах свердловин уздовж річки. Така відмінність у співвідношенні форм стронцію, мангану та

нікелю в залежності від місця розташування свердловин пов'язана із значно більшою схильністю нікелю до комплексоутворення, ніж для Mn та Sr.

Домінування катіонної форми Ni^{2+} є характерним для природних вод (Millero, 2001; Mandal et al., 2002; Doig and Liber, 2007 та ін.). Іншою важливою формою знаходження нікелю у природних водах є комплекси з природними органічними сполуками (Doig and Liber, 2007), але через відсутність вихідних даних ці сполуки в даній роботі не розглядалися.

Висновки

Виконані дослідження з використанням методу геохімічного моделювання дають підстави зробити такі висновки.

Концентрації більшості мікрокомпонентів (Sr, Ni, P, F) у водах розглянутих свердловин Скіфської ділянки Немирівського родовища не перевищують ГДК. Концентрація арсену більше ніж ГДК, причому найбільші перевищення спостерігаються у водах свердловин, розташованих у яру, в порівнянні з водами свердловин уздовж р. Устя. Концентрації мангану у свердловинах, розташованих у яру, не перевищують ГДК, проте значні перевищення спостерігаються у свердловинах уздовж р. Устя. Аналіз мінерального складу порід, результати геохімічного моделювання та різні механізми живлення свердловин, розташованих у яру та вздовж ріки, свідчать про техногенне походження мангану.

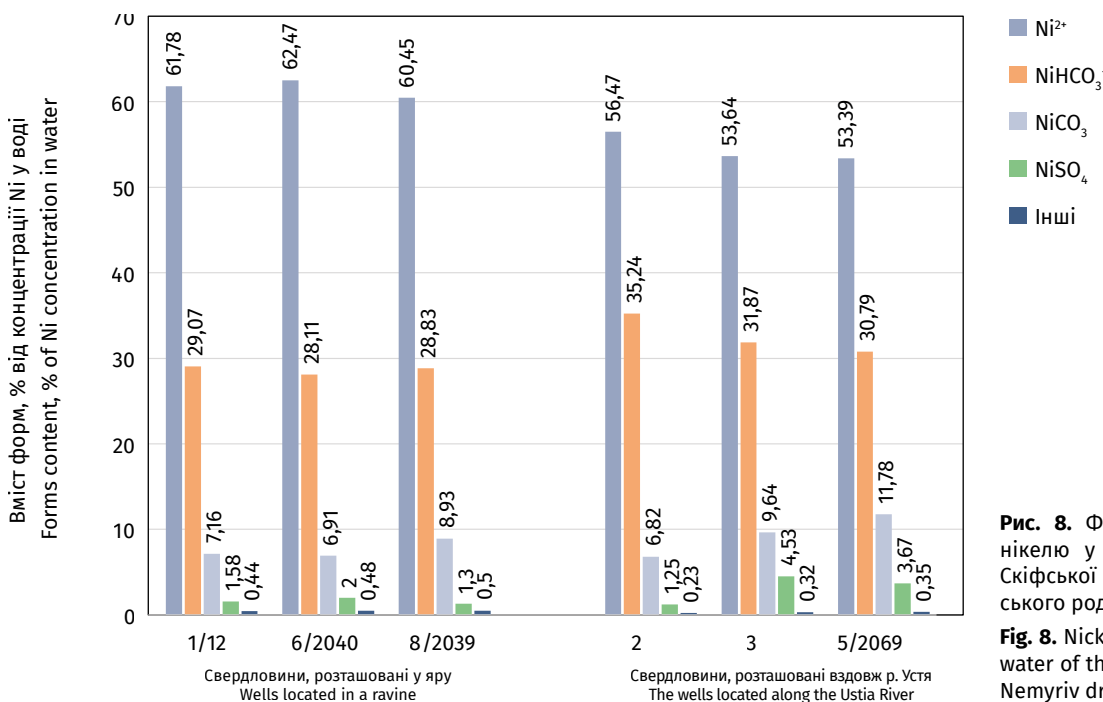


Рис. 8. Форми знаходження нікелю у водах свердловин Скіфської ділянки Немирівського родовища питних вод

Fig. 8. Nickel speciation in well water of the Skifska area of the Nemyriv drinking water deposit

Всі розглянуті води Скіфської ділянки не відповідають вимогам щодо якості води за загальним питомим вмістом забруднювачів першого та другого класу небезпеки. Основною причиною такої невідповідності є підвищена концентрація арсену у водах, проте він знаходиться у відносно безпечній формі As(V).

Основною формою фосфору у водах всіх розглянутих свердловин є аніон HPO_4^{2-} , що є характерним для близько нейтральних величин рН вод у межах району дослідження. Концентрації фосфору та арсену значною мірою визначаються співвідношенням з мінералами заліза.

В умовах вод свердловин Скіфської ділянки фтор поводить себе як класичний галоген і знаходиться у ступені окиснення -1, а основними джерелами фтору є біотит та флюорит, які містяться у породах водоносного горизонту.

Стронцій та манган у водах свердловин Скіфської ділянки Немирівського родовища знаходяться у ступені окиснення +2 головним чином у вигляді катіонів Me^{2+} . Знаходження мангану

у такому ступені окиснення свідчить про його потенційну біологічну доступність. Тому необхідно провести додаткові аналітичні дослідження з визначення концентрацій Mn та органічних сполук, виконати повторне геохімічне моделювання, оцінити небезпеку цих вод для людини і розробити заходи щодо додаткового очищення вод.

Фінансування. Дослідження виконано за конкурсною темою «Стратегічна мінеральна сировина для відновлення економіки України: аналіз ресурсів і запасів, розробка пошукових критеріїв нарощування мінерально-сировинної бази» (№ 0123U100855) за бюджетною програмою КПКВК 6541230 «Науково-дослідні та дослідно-конструкторські (експериментальні) роботи за пріоритетним напрямом «Технології пошуку, видобутку, переробки та використання найважливіших видів мінеральної сировини, проблеми оцінки, збереження та післявоєнного відновлення довкілля» на 2023–2024 роки».

Отримані та опубліковані на даний час дані свідчать про те, що немає абсолютно шкідливих або абсолютно корисних мікроелементів, питання лише в їх концентрації та в формі знаходження у природних (в тому числі підземних) водах. Зокрема, наразі активно обговорюються можливі позитивні та негативні наслідки біологічного впливу питної води, яка відповідає критеріям якості, але має дещо підвищений вміст мікроелементів (так званий «хронічний» ефект). Метою даної роботи є визначення методом геохімічного моделювання форм знаходження біологічно активних мікроелементів у водах Немирівського родовища питних вод у басейні р. Південний Буг. Моделювання виконано з використанням програми PHREEQC. Були проаналізовані дані про вміст мікрокомпонентів у водах трьох свердловин, розташованих в яру, і трьох свердловин уздовж р. Устя Скіфської ділянки Немирівського родовища питних вод. Встановлено, що концентрації більшості мікрокомпонентів (Sr, Ni, P, F) у водах розглянутих свердловин Немирівського родовища не перевищують ГДК. Концентрація As більша за ГДК, причому найзначніші перевищення спостерігаються у водах свердловин, розташованих у яру, в порівнянні з водами свердловин уздовж р. Устя. Концентрації Mn у свердловинах, розташованих у яру, не перевищують ГДК, проте значні перевищення спостерігаються у свердловинах вздовж р. Устя. Аналіз мінерального складу порід, результати геохімічного моделювання та різні механізми живлення свердловин, розташованих у яру та вздовж ріки, свідчать про техногенне походження мангану. Всі розглянуті води Скіфської ділянки не відповідають вимозі якості води за загальним питомим вмістом забруднювачів першого та другого класу небезпеки (ДСанПіН 2.2.4-171-10). Основною причиною такої невідповідності є підвищена концентрація арсену у водах, проте він знаходиться у відносно безпечній формі As(V). Основною формою фосфору у водах всіх розглянутих свердловин є аніон HPO_4^{2-} , що є характерним для близько нейтральних величин рН вод у межах району дослідження. Концентрації фосфору та арсену значною мірою визначаються співвідношенням з мінералами заліза. В умовах вод свердловин Скіфської ділянки фтор поводить себе як класичний галоген і знаходиться у ступені окиснення -1, а основним джерелом фтору є біотит і флюорит. Стронцій і манган у водах свердловин Скіфської ділянки Немирівського родовища знаходяться у ступені окиснення +2 головним чином у вигляді катіонів Me^{2+} . Знаходження мангану у такому ступені окиснення свідчить про його потенційну біологічну доступність. Тому необхідно провести додаткові аналітичні дослідження з визначення концентрацій Mn та органічних сполук, виконати повторне геохімічне моделювання, оцінити небезпеку цих вод для людини і розробити заходи щодо додаткового очищення вод.

Список літератури

- ДСанПіН 2.2.4-171-10. «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 07 березня 2022 р. за № 304/37640
- Моїсєєв А.Ю., Дружина М.О., Моїсєєва Н.П., Шестопалов В.М. Біологічні аспекти застосування природних мінеральних вод. Київ: КІМ, 2010. 124 с.
- Моїсєєв А.Ю. Особенности количественного состава и биологического применения минеральных вод. Киев: КІМ, 2017. 464 с.

- Погонина В.И., Бондарева Л.В., Григорьев В.Н., Сирченко Л.К. Отчет о результатах поисков и предварительной разведки подземных вод для водоснабжения пгт Немиров Винницкой области УССР. Киев, 1977. Т. 1. 233 с.
- Терентієв О.Ю., Мельник А.В., Озерко М.В., Шепель В.І. Геолого-економічна оцінка запасів підземних вод на ділянці Скіфська Немирівського родовища для господарсько-питних та технологічних потреб ТОВ «ЛВН ЛІ-МІТЕД». Київ, 2018. 197 с.

- Стеценко Б.Д., Руденко Ю.Ф., Шестопалов В.М., Саприкін В.Ю. Особливості формування експлуатаційних запасів підземних вод кристалічних порід у районі міста Немирів, Україна. *Мінер. ресурси України*. 2023. Т. 2. С. 42–49. <https://doi.org/10.31996/mru.2023.2.42-49>
- Сухоребрій А.О. Біологічно активні мікроелементи в питних водах четвертинного та бучацького водоносних горизонтів. *Мінер. ресурси України*. 2023. Т. 4. С. 45–47. <https://doi.org/10.31996/mru.2023.4.45-47>
- Эмили Дж. Элементы. Москва: Мир, 1993. 256 с.
- Adusei-Gyamfi J., Ouddane B., Rietveld L., Cornard J-P., Criquet J. Natural organic matter-cations complexation and its impact on water treatment: A critical review. *Water Res.* 2019. Vol. 160. P. 130–147. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.05.064>
- Aliasgharpour M., Farzami M. Trace Elements in Human Nutrition: A Review. *Int. J. Med. Invest.* 2013. No. 2 (3). <http://intjmi.com/article-1-141-en.html>
- Alizadeh M., Kheirouri S., Keramati M. What Dietary Vitamins and Minerals Might Be Protective against Parkinson's Disease? *Brain Sci.* 2023. Vol. 13. 1119. <https://doi.org/10.3390/brainsci13071119>
- Attar T. A mini-review on importance and role of trace elements in the human organism. *Chemical Review and Letters*. 2020. No. 3 (3). P. 117–130. <https://doi.org/10.22034/crl.2020.229025.1058>
- Avila D.S., Puntel R.L., Aschner M. Manganese in health and disease. *Met Ions Life Sci.* 2013. No. 13. P. 199–227. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7500-8_7
- Aydın I., Aydın F., Hamamcı C. Phosphorus speciation in the surface sediment and river water from the Orontes (Asi) River, Turkey. *Water environment research: a research publication of the Water Environment Federation*. 2010. Vol. 82 (11). P. 2265–2271. <https://doi.org/10.2175/106143010x12609736967206>
- Baloch M.Y.J., Talpur S.A., Talpur H.A., Iqbal J., Mangi S.H., Memon S. Effects of Arsenic Toxicity on the Environment and Its Remediation Techniques: A Review. *Journal of Water and Environment Technology*. 2020. Vol. 18 (5). P. 275–289. <https://doi.org/10.2965/jwet.19-130>
- Barneo-Caragol C., Martínez-Morillo E., Rodríguez-González S., Lequerica-Fernández P., Vega-Naredo I., Álvarez Menéndez F.V. Strontium and its role in preeclampsia. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2018. Vol. 47. P. 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.01.003>
- Barneo-Caragol C., Martínez-Morillo E., Rodríguez-González S., Lequerica-Fernández P., Vega-Naredo I., & Álvarez F.V. Increased serum strontium levels and altered oxidative stress status in early-onset preeclampsia. *Free radical biology & medicine*. 2019. Vol. 138. P. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2019.05.001>
- Borciani G., Ciapetti G., Vitale-Brovarone C., Baldini N. Strontium Functionalization of Biomaterials for Bone Tissue Engineering Purposes: A Biological Point of View. *Materials (Basel)*. 2022. Vol. 15 (5). P. 1724. doi:10.3390/ma15051724. PMID: 35268956; PMCID: PMC8911212
- Braghetta A., DiGiano F.A., Ball W.P. Nanofiltration of Natural Organic Matter: pH and Ionic Strength Effects. *J. Environ. Eng.* 1997. Vol. 123. 628–641. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(1997\)123:7\(628\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(1997)123:7(628))
- Cai Y.H., Yang X.J., Schäfer A.I. Removal of Naturally Occurring Strontium by Nanofiltration/Reverse Osmosis from Groundwater. *Membranes (Basel)*. 2020. Vol. 10 (11). P. 321. <https://doi.org/10.3390/membranes10110321>
- Chellan P., Sadler P.J. The elements of life and medicines. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci.* 2015. Vol. 373 (2037). 20140182. <https://doi.org/10.1098/rsta.2014.0182>
- Cheng H., Hu Y., Luo J., Xu B., Zhao J. Geochemical processes controlling fate and transport of arsenic in acid mine drainage (AMD) and natural systems. *Journal of Hazardous Materials*. 2009. Vol. 165 (1–3). P. 13–26. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.10.070>
- D'Haese P.C., Schrooten I., Goodman W.G., Cabrera W.E., Lamberts L.V., Elseviers M.M., Couttenye M.M., De Broe M.E. Increased bone strontium levels in hemodialysis patients with osteomalacia. *Kidney Int.* 2000. Vol. 57 (3). P. 1107–1014. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1755.2000.00938.x>
- Doig L.E., Liber K. Nickel speciation in the presence of different sources and fractions of dissolved organic matter. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2007. Vol. 66 (2). P. 169–177. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.12.011>
- Duan L, Su L, He X, Du Y, Duan Y, Xu N, Wu R, Zhu Y, Shao R, Unverzagt F.W., Hake A.M., Jin Y, Gao S. Multi-element Exposure and Cognitive Function in Rural Elderly Chinese. *Biol Trace Elem Res.* 2024. Vol. 202 (4). P. 1401–1410. doi:10.1007/s12011-023-03774-1
- Edmunds W.M., Smedley P.L. Fluoride in Natural Waters. In: Selinus O. (Ed.). *Essentials of Medical Geology*. Dordrecht: Springer, 2013. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4375-5_13
- Farkas B., Vojtková H., Farkas Z., Pangallo D., Kasak P., Lupini A., Kim H., Urík M., Matúš P. Geochemistry of Manganese in Soils. Encyclopedia. Available online. <https://encyclopedia.pub/entry/45661> (accessed on 22 June 2024).
- Genchi G., Carocci A., Lauria G., Sinicropi M.S., Catalano A. Nickel: Human Health and Environmental Toxicology. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020. Vol. 17 (3). 679. <https://doi.org/10.3390/ijerph17030679>
- Genchi G., Lauria G., Catalano A., Carocci A., Sinicropi M.S. Arsenic: A review on a great health issue worldwide. *Appl. Sci.* 2022. Vol. 12 (12). 6184. <https://doi.org/10.3390/app12126184>
- Hoonjan M., Jadhav V., Bhatt P. Arsenic trioxide: insights into its evolution to an anticancer agent. *J. Biol. Inorg. Chem.* 2018. Vol. 23 (3). P. 313–329. <https://doi.org/10.1007/s00775-018-1537-9>
- Hughes M.F., Beck B.D., Chen Y., Lewis A.S., Thomas D.J. Arsenic exposure and toxicology: a historical perspective. *Toxicol Sci.* 2011. Vol. 123. P. 305–332. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfr184>
- Hunter P. A toxic brew we cannot live without. Micronutrients give insights into the interplay between geochemistry and evolutionary biology. *EMBO Rep.* 2008. Vol. 9 (1). P. 15–18. <https://doi.org/10.1038/sj.embor.7401148>
- Islam R., Zhao L., Wang Lu-Yao, Liu L.Z. Epigenetic Dysregulations in Arsenic-Induced Carcinogenesis. *Cancers (Basel)*. 2022. Vol. 14 (18). P. 4502. doi:10.3390/cancers14184502
- Jha S.K., Singh R.K., Damodaran T., Mishra V.K., Sharma D.K., Rai D. Fluoride in groundwater: toxicological exposure and remedies. *Journal of toxicology and environmental health. Part B, Critical reviews*. 2013. Vol. 16 (1). P. 52–66. <https://doi.org/10.1080/10937404.2013.769420>
- Kazmierczak J., Postma D., Müller S., Jessen S., Nilsson B., Czekaj J., Engesgaard P. Groundwater-controlled phosphorus release and transport from sandy aquifer into lake. *Limnol Oceanogr.* 2020. Vol. 65. P. 2188–2204. <https://doi.org/10.1002/lno.11447>
- Kinniburgh D.G., Milne C.J., Benedetti M.F., Pinheiro J.P., Filius J., Koopal L.K., Van Riemsdijk W.H. Metal Ion Binding by Humic Acid: Application of the NICA-Donnan Model. *Environ. Sci. Technol.* 1996. Vol. 30. P. 1687–1698. <https://doi.org/10.1021/es950695h>
- Koliabina I., Shestopalov V., Kasteltseva N. Arsenic in Waters of the Nemyriv Drinking-Groundwater Field. *17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. 2023. Vol. 2023. P. 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520037>
- Koopal L.K., Saito T., Pinheiro J.P., Van Riemsdijk W.H. Ion binding to natural organic matter: General considerations and the NICA-Donnan model. *Colloids Surfaces A: Physicochem. Eng. Asp.* 2005. Vol. 265. P. 40–54. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2004.11.050>
- Listiarini K., Sun D.D., Leckie J. Organic fouling of nanofiltration membranes: Evaluating the effects of humic acid, calcium, alum coagulant and their combinations on the specific cake resistance. *J. Membr. Sci.* 2009. Vol. 332. P. 56–62. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2009.01.037>

- Lusk M.G., Toor G.S., Yang Y.Y., Mechtensimer S., De M., Obreza T.A. A review of the fate and transport of nitrogen, phosphorus, pathogens, and trace organic chemicals in septic systems. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2017. Vol. 47 (7). P. 455–541. <https://doi.org/10.1080/10643389.2017.1327787>
- Mandal R., Hassan N.M., Murimboh J., Chakrabarti C.L., Back M.H., Rahayu U., Lean D.R. Chemical speciation and toxicity of nickel species in natural waters from the Sudbury area (Canada). *Environmental science & technology*. 2002. 36 (7). P. 1477–1484. <https://doi.org/10.1021/es015622e>
- Maret W. The quintessence of metallomics: a harbinger of a different life science based on the periodic table of the bioelements. *Metallomics*. 2022. Vol. 14 (8). mfac051. <https://doi.org/10.1093/mtomcs/mfac051>
- Mehri A. Trace Elements in Human Nutrition (II) – An Update. *Int. J. Prev. Med.* 2020. Vol. 11. P. 2. https://doi.org/10.4103/ijpvm.IJPVM_48_19
- Merkel B.J., Planer-Friedrich B., Nordstrom D.K. Groundwater Geochemistry: A Practical Guide to Modeling of Natural and Contaminated Aquatic Systems. Netherlands: Springer. 2007.
- Millero F. Speciation of metals in natural waters. *Geochem Trans.* 2001. Vol. 2. P. 57. <https://doi.org/10.1186/1467-4866-2-57>
- Nguyen A.D., McMahan Z.H., Volkmann E.R. Micronutrient Deficiencies in Systemic Sclerosis: A Scoping Review. *Open Access Rheumatol*. 2022. Vol. 14. P. 309–327. doi:10.2147/OARRR.S354736
- Nielsen F. Should bioactive trace elements not recognized as essential, but with beneficial health effects, have intake recommendations. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 2014. Vol. 28. P. 406–408. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2014.06.019>
- Nielsen F.H. Ultratrace minerals. In *Modern nutrition in health and disease*. 9th edn (Eds. M.E. Shils, J.A. Olsen, M. Shike, A.C. Ross). Baltimore, MD: Williams and Wilkins, 1999. P. 283–303.
- Ozturk M., Metin M., Altay V., Bhat R. A., Ejaz M., Gul A., Unal B. T., Hasanuzzaman M., Nibir L., Nahar K., Bukhari A., Dervash M. A., & Kawano T. Arsenic and Human Health: Genotoxicity, Epigenomic Effects, and Cancer Signaling. *Biological trace element research*. 2022. Vol. 200 (3). P. 988–1001. <https://doi.org/10.1007/s12011-021-02719-w>
- Parkhurst D.L., Appelo C. User's guide to PHREEQC (Version 2): A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. 1999.
- Paul N.P., Galván A.E., Yoshinaga-Sakurai K., Rosen B.P., Yoshinaga M. Arsenic in medicine: past, present and future. *Biomaterials*. 2023. Vol. 36 (2). P. 283–301. <https://doi.org/10.1007/s10534-022-00371-y>
- Pierrot D., Millero F.J. The Speciation of Metals in Natural Waters. *Aquat Geochem*. 2017. Vol. 23. P. 1–20. <https://doi.org/10.1007/s10498-016-9292-4>
- Richardson J.B., Zuñiga L.X. Quantifying aluminosilicate manganese release and dissolution rates across organic ligand treatments for rocks, minerals, and soils. *Acta Geochim.* 2021. Vol. 40. P. 484–497. <https://doi.org/10.1007/s11631-021-00483-1>
- Ru X, Yang L, Shen G, Wang K, Xu Z, Bian W, Zhu W., Guo Y. Microelement strontium and human health: comprehensive analysis of the role in inflammation and noncommunicable diseases (NCDs). *Front. Chem.* 2024. No. 2. P. 1367395. doi:10.3389/fchem.2024.1367395
- Schäfer A., Fane A.G., Waite T. Nanofiltration of natural organic matter: Removal, fouling and the influence of multivalent ions. *Desalination*. 1998. No. 118. P. 109–122. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(98\)00104-0](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(98)00104-0)
- Sigel A., Sigel H., Sigel R.K.O. Interrelations between essential metal ions and human diseases. Dordrecht: Springer Science and Business Media B.V., 2013.
- Spivakov B.Ya., Maryutina T.A., Muntau H. Phosphorus Speciation in Water and Sediments. *Pure and Applied Chemistry*. 1999. Vol. 71 (11). P. 2161–2176. <https://doi.org/10.1351/pac199971112161>
- Zhuang F., Huang J., Li H., Peng X., Xia L., Zhou L., Zhang T., Liu Z., He Q., Luo F., Yin H., Meng D. 2023. Biogeochemical behavior and pollution control of arsenic in mining areas: A review. *Front Microbiol.*, 14: 1043024. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1043024>

References

- Adusei-Gyamfi J., Ouddane B., Rietveld L., Cornard J.-P., Criquet J. 2019. Natural organic matter-cations complexation and its impact on water treatment: A critical review. *Water Res.*, 160: 130–147. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.05.064>
- Aliasgharpour M., Farzami M. 2013. Trace Elements in Human Nutrition: A Review. *Int. J. Med. Invest.*, 2 (3). <http://intjmi.com/article-1-141-en.html>
- Alizadeh M., Kheirouri S., Keramati M. 2023. What Dietary Vitamins and Minerals Might Be Protective against Parkinson's Disease? *Brain Sci.*, 13: 1119. <https://doi.org/doi:10.3390/brainsci13071119>
- Attar T. 2020. A mini-review on importance and role of trace elements in the human organism. *Chemical Review and Letters*, 3: 117–130. <https://doi.org/10.22034/crl.2020.229025.1058>
- Avila D.S., Puntel R.L., Aschner M. 2013. Manganese in health and disease. *Met Ions Life Sci.*, 13: 199–227. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7500-8_7
- Aydin I., Aydin F., Hamamci C. 2010. Phosphorus speciation in the surface sediment and river water from the Orontes (Asi) River, Turkey. *Water environment research: a research publication of the Water Environment Federation*, 82: 2265–2271. <https://doi.org/10.2175/106143010x12609736967206>
- Baloch M.Y.J., Talpur S.A., Talpur H.A., Iqbal J., Mangi S.H., Memon S. 2020. Effects of Arsenic Toxicity on the Environment and Its Remediation Techniques: A Review. *Journal of Water and Environment Technology*, 18: 275–289. <https://doi.org/10.2965/jwet.19-130>
- Barneo-Caragol C., Martínez-Morillo E., Rodríguez-González S., Lequerica-Fernández P., Vega-Naredo I., Álvarez Menéndez F.V. 2018. Strontium and its role in preeclampsia. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 47: 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.01.003>
- Barneo-Caragol C., Martínez-Morillo E., Rodríguez-González S., Lequerica-Fernández P., Vega-Naredo I., & Álvarez F.V. 2019. Increased serum strontium levels and altered oxidative stress status in early-onset preeclampsia. *Free radical biology & medicine*, 138: 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2019.05.001>
- Borciani G., Ciapetti G., Vitale-Brovarone C., Baldini N. 2022. Strontium Functionalization of Biomaterials for Bone Tissue Engineering Purposes: A Biological Point of View. *Materials (Basel)*, 15 (5): 1724. doi:10.3390/ma15051724. PMID: 35268956; PMCID: PMC8911212
- Braghetta A., DiGiano F.A., Ball W.P. 1997. Nanofiltration of Natural Organic Matter: pH and Ionic Strength Effects. *J. Environ. Eng.*, 123: 628–641. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(1997\)123:7\(628\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(1997)123:7(628))
- Cai Y.H., Yang X.J., Schäfer A.I. 2020. Removal of Naturally Occurring Strontium by Nanofiltration/Reverse Osmosis from Groundwater. *Membranes (Basel)*, 10: 321. <https://doi.org/10.3390/membranes10110321>
- Chellan P., Sadler P.J. 2015. The elements of life and medicines. *Philos. Trans. A Math. Phys. Eng. Sci.*, 373: 20140182. <https://doi.org/10.1098/rsta.2014.0182>
- Cheng H., Hu Y., Luo J., Xu B., Zhao J. 2009. Geochemical processes controlling fate and transport of arsenic in acid mine drainage (AMD) and natural systems. *Journal of Hazardous Materials*, 165: 13–26. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.10.070>

- D'Haese P.C., Schrooten I., Goodman W.G., Cabrera W.E., Lamberts L.V., Elseviers M.M., Couttenye M.M., De Broe M.E. 2000. Increased bone strontium levels in hemodialysis patients with osteomalacia. *Kidney Int.*, 57: 1107–1014. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1755.2000.00938.x>
- Doig L.E., Liber K. 2007. Nickel speciation in the presence of different sources and fractions of dissolved organic matter. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 66: 169–177. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.12.011>
- Duan L, Su L., He X., Du Y., Duan Y., Xu N., Wu R., Zhu Y., Shao R., Unverzagt F.W., Hake A.M., Jin Y., Gao S. 2024. Multi-element Exposure and Cognitive Function in Rural Elderly Chinese. *Biol. Trace Elem. Res.*, 202 (4): 1401–1410. <https://doi.org/10.1007/s12011-023-03774-1>
- Edmunds W.M., Smedley P.L. 2013. Fluoride in Natural Waters. In: Selinus O. (Ed.). *Essentials of Medical Geology*. Dordrecht: Springer https://doi.org/10.1007/978-94-007-4375-5_13
- Emely J. 1993. Elements. Moscow: Mir (in Russian).
- Farkas B., Vojtková H., Farkas Z., Pangallo D., Kasak P., Lupini A., Kim H., Urík M., Matúš P. Geochemistry of Manganese in Soils. Encyclopedia. Available online: <https://encyclopedia.pub/entry/45661> (accessed on 22 June 2024).
- Genchi G., Carocci A., Lauria G., Sinicropi M.S., Catalano A. 2020. Nickel: Human Health and Environmental Toxicology. *Int. J. Environ Res. Public Health*, 17: 679. <https://doi.org/10.3390/ijerph17030679>
- Genchi G., Lauria G., Catalano A., Carocci A., Sinicropi M.S. 2022. Arsenic: A review on a great health issue worldwide. *Appl. Sci.*, 12: 6184. <https://doi.org/10.3390/app12126184>
- Hoonjan M., Jadhav V., Bhatt P. 2018. Arsenic trioxide: insights into its evolution to an anticancer agent. *J. Biol. Inorg. Chem.*, 23: 313–329. <https://doi.org/10.1007/s00775-018-1537-9>
- Hughes M.F., Beck B.D., Chen Y., Lewis A.S., Thomas D.J. 2011. Arsenic exposure and toxicology: a historical perspective. *Toxicol Sci.*, 123: 305–332. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfr184>
- Hunter P. 2008. A toxic brew we cannot live without. Micro-nutrients give insights into the interplay between geochemistry and evolutionary biology. *EMBO Rep.*, 9: 15–18. <https://doi.org/10.1038/sj.embor.7401148>
- Islam R., Zhao L., Wang Y., LuYao G., Liu L.Z. 2022. Epigenetic Dysregulations in Arsenic-Induced Carcinogenesis. *Cancers (Basel)*, 14 (18): 4502. <https://doi.org/doi:10.3390/cancers14184502>
- Jha S.K., Singh R.K., Damodaran T., Mishra V.K., Sharma D.K., Rai D. 2013. Fluoride in groundwater: toxicological exposure and remedies. *Journal of toxicology and environmental health. Part B, Critical reviews*, 16: 52–66. <https://doi.org/10.1080/10937404.2013.769420>
- Kazmierczak J., Postma D., Müller S., Jessen S., Nilsson B., Czekaj J., Engesgaard P. 2020. Groundwater-controlled phosphorus release and transport from sandy aquifer into lake. *Limnol Oceanogr.*, 65: 2188–2204. <https://doi.org/10.1002/lno.11447>
- Kinniburgh D.G., Milne C.J., Benedetti M.F., Pinheiro J.P., Filius J., Koopal L.K., Van Riemsdijk W.H. 1996. Metal Ion Binding by Humic Acid: Application of the NICA–Donnan Model. *Environ. Sci. Technol.*, 30: 1687–1698. <https://doi.org/10.1021/es950695h>
- Koliabina I., Shestopalov V., Kasteltseva N. 2023. Arsenic in Waters of the Nemyriv Drinking–Groundwater Field. *17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, 2023. 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520037>
- Koopal L.K., Saito T., Pinheiro J.P., Van Riemsdijk W.H. 2005. Ion binding to natural organic matter: General considerations and the NICA–Donnan model. *Colloids Surfaces A: Physicochem. Eng. Asp.*, 265: 40–54. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2004.11.050>
- Listiarini K., Sun D.D., Leckie J. 2009. Organic fouling of nanofiltration membranes: Evaluating the effects of humic acid, calcium, alum coagulant and their combinations on the specific cake resistance. *J. Membr. Sci.*, 332: 56–62. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2009.01.037>
- Lusk M.G., Toor G.S., Yang Y.Y., Mechtensimer S., De M., Obreza T.A. 2017. A review of the fate and transport of nitrogen, phosphorus, pathogens, and trace organic chemicals in septic systems. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 47: 455–541. <https://doi.org/10.1080/10643389.2017.1327787>
- Mandal R., Hassan N.M., Murimboh J., Chakrabarti C.L., Back M.H., Rahayu U., Lean D.R. 2002. Chemical speciation and toxicity of nickel species in natural waters from the Sudbury area (Canada). *Environmental science & technology*, 36: 1477–1484. <https://doi.org/10.1021/es015622e>
- Maret W. 2022. The quintessence of metallomics: a harbinger of a different life science based on the periodic table of the bioelements. *Metallomics*, 14. mfac051. <https://doi.org/10.1093/mtomcs/mfac051>
- Mehri A. 2020. Trace Elements in Human Nutrition (II) - An Update. *Int. J. Prev. Med.*, 11: 2. https://doi.org/doi:10.4103/ijpvm.IJPVM_48_19
- Merkel B.J., Planer-Friedrich B., Nordstrom D.K. Groundwater Geochemistry: A Practical Guide to Modeling of Natural and Contaminated Aquatic Systems. Netherlands: Springer. 2007.
- Millero F. 2001. Speciation of metals in natural waters. *Geochem Trans.*, 2: 57. <https://doi.org/10.1186/1467-4866-2-57>
- Moiseev A.Yu. 2017. Features of quantitative composition and biological application of mineral waters. Kyiv: KIM (in Russian)
- Moiseev A.Yu., Druzhina M.O., Moiseeva N.P., Shestopalov V.M. 2010. Biological aspects of the use of natural mineral waters. Kyiv: KIM (in Ukrainian).
- Nguyen A.D., McMahan Z.H., Volkmann E.R. 2022. Micronutrient Deficiencies in Systemic Sclerosis: A Scoping Review. *Open Access Rheumatol.*, 2. 14: 309–327. <https://doi.org/doi:10.2147/OARRR.S354736>
- Nielsen F. 2014. Should bioactive trace elements not recognized as essential, but with beneficial health effects, have intake recommendations. *J. Trace Elem. Med. Biol.*, 28: 406–408. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2014.06.019>
- Nielsen F.H. 1999. Ultratrace minerals. In *Modern nutrition in health and disease*. 9th edn (Eds. M.E. Shils, J.A. Olsen, M. Shike, A.C. Ross). Baltimore, MD: Williams and Wilkins, pp. 283–303.
- Ozturk M., Metin M., Altay V., Bhat R. A., Ejaz M., Gul A., Unal B. T., Hasanuzzaman M., Nibir L., Nahar K., Bukhari A., Dervash M. A., & Kawano T. 2022. Arsenic and Human Health: Genotoxicity, Epigenomic Effects, and Cancer Signaling. *Biological trace element research*, 2. 200 (3): 988–1001. <https://doi.org/10.1007/s12011-021-02719-w>
- Parkhurst D.L., Appelo C. User's guide to PHREEQC (Version 2): A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. 1999.
- Paul N.P., Galvão A.E., Yoshinaga-Sakurai K., Rosen B.P., Yoshinaga M. 2023. Arsenic in medicine: past, present and future. *Biometals*, 36: 283–301. <https://doi.org/10.1007/s10534-022-00371-y>
- Pierrot D., Millero F.J. 2017. The Speciation of Metals in Natural Waters. *Aquat Geochem.*, 23: 1–20. <https://doi.org/10.1007/s10498-016-9292-4>
- Pogonina V.I., Bondareva L.V., Grigoriev V.N., Sirchenko L.K. 1977. Report on the results of search and preliminary exploration of groundwater for water supply of Nemyrov settlement, Vinnitsa oblast, UkrSSR. Kyiv. Vol. 1 (in Russian)
- Richardson J.B., Zuñiga L.X. 2021. Quantifying aluminosilicate manganese release and dissolution rates across organic ligand treatments for rocks, minerals, and soils. *Acta Geochim.*, 2, 40: 484–497. <https://doi.org/10.1007/s11631-021-00483-1>

- Ru X, Yang L, Shen G, Wang K, Xu Z, Bian W, Zhu W and Guo Y. 2024. Microelement strontium and human health: comprehensive analysis of the role in inflammation and non-communicable diseases (NCDs). *Front. Chem.*, 2: 1367395. <https://doi.org/doi:10.3389/fchem.2024.1367395>
- Sanitary and Epidemiological Norms 2.2.4-171-10. "Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption". Registered with the Ministry of Justice of Ukraine on 07 March 2022 under No. 304/37640 (in Ukrainian)
- Schäfer A., Fane A.G., Waite T. 1998. Nanofiltration of natural organic matter: Removal, fouling and the influence of multivalent ions. *Desalination*, 118: 109–122. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(98\)00104-0](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(98)00104-0)
- Sigel A., Sigel H., Sigel R.K.O. 2013. Interrelations between essential metal ions and human diseases. Dordrecht: Springer Science and Business Media B.V.
- Spivakov B.Ya., Maryutina T.A., Muntau H. 1999. Phosphorus Speciation in Water and Sediments. *Pure and Applied Chemistry*, 71: 2161–2176. <https://doi.org/10.1351/pac199971112161>
- Stetsenko B., Rudenko Yu., Shestopalov V., Saprykin V. 2023. Features of the formation of operational groundwater reserves of crystalline rocks in the area of the city of Nemyriv, Ukraine. *Mineral resources of Ukraine*. 2: 42–49. <https://doi.org/doi:10.31996/mru.2023.2> (in Ukrainian).
- Sukhorebryi A. 2023. Biologically active trace elements in drinking water from the quaternary and the buchak aquifers. *Mineral resources of Ukraine*, 4: 45–47. <https://doi.org/10.31996/mru.2023.4.45-47> (in Ukrainian)
- Terentyev O.Y., Melnyk A.V., Ozerko M.V., Shepel V.I. 2018. Geological and economical assessment of groundwater reserves in the Skifska site of the Nemyriv field with the purpose of groundwater extraction for domestic, drinking and technological uses by "LVN LIMITED" LLC, Kyiv, Ukraine (in Ukrainian)
- Zhuang F., Huang J., Li H., Peng X., Xia L., Zhou L., Zhang T., Liu Z., He Q., Luo F., Yin H., Meng D. 2023. Biogeochemical behavior and pollution control of arsenic in mining areas: A review. *Front Microbiol.*, 14: 1043024. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1043024>

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.2.301480>
 УДК 061.12.049:55

E-mail: vstar@igph.kiev.ua,
<https://orcid.org/0000-0002-7960-0011>;
vpkoblev@ukr.net,
<https://orcid.org/0000-0001-5625-5473>;
paliy@nas.gov.ua,
<https://orcid.org/0009-0001-4813-3668>

*Corresponding author /
 Автор для кореспонденції:
 V.P. Kobolev, vpkoblev@ukr.net

Received / Надійшла до редакції:
 07.04.2024

Received in revised form /
 Надійшла у ревізованій формі:
 20.05.2024

Accepted / Прийнята:
 05.06.2024

Keywords: NAS of Ukraine; Department;
 chronology; development; acquisitions.

Ключові слова: НАН України;
 Відділення; хронологія; становлення
 і розвиток; здобутки.

До 60-річчя Відділення наук про Землю НАН України. Частина 3. Хронологія розвитку Відділення наук про Землю в незалежній Україні (1991–2023 рр.)

V.I. Starostenko¹, V.P. Kobolev^{1*}, V.M. Paliy²

¹ Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна; ² Апарат Президії НАН України, Київ, Україна

To the 60th anniversary of the Department of Earth Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine. Part 3. Chronology of the development of the Department of Earth Sciences in independent Ukraine (1991–2023)

V.I. Starostenko¹, V.P. Kobolev^{1*}, V.M. Paliy²

¹ S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine; ² Apparatus of Presidium of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

In the third part of the article, the main historical events in dates, facts and personalities of the formation and development of the Department of Earth Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine from the time Ukraine gained independence in 1991 and until now are considered in chronological order.

The most important achievements of the scientists of the Department of Earth Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, who were awarded the State Prizes of Ukraine in the field of science and technology, as well as the prizes of the National Academy of Sciences of Ukraine named after outstanding scientists of Ukraine – V.I. Vernadsky, P.A. Tutkovsky, S.I. Subbotin.

In the early 1990s, in the conditions of complex social transformation, there was a significant quantitative reduction in personnel potential, but the Academy of Sciences of Ukraine managed to get out of the crisis. At the expense of internal reserves, the network of its institutions and scientific units was reorganized. After the declaration of Ukraine's independence, a number of academic institutions were created as part of the Earth Department of the National Academy of Sciences of Ukraine.

In 1996, the Ukrainian flag was raised in Antarctica – Ukraine, according to an agreement between the British and Ukrainian governments, officially took possession of the “Faraday” research station, which became the property of Ukraine and received the name “Akademik Vernadsky”.

Information provided regarding the Targeted comprehensive programs of resource-oriented scientific research of the National Academy of Sciences of Ukraine: “Mineral resources of Ukraine and their extraction” (2004–2008), “Comprehensive bio-resource, hydrophysical and geological-geophysical research of the marine environment, promising oil and gas structures and mapping of the distribution of gas hydrates in the water area of the Black Sea and the Sea of Azov” (2007–2009), “Strategic Mineral Resources of Ukraine” (2009–2015), “Comprehensive Assessment of the State and Forecasting of the Dynamics of the Marine Environment and Resources of the Azov-Black Sea Basin” (2010–2012), “Comprehensive Monitoring, Assessment and forecasting the dynamics of the state of the marine environment and the resource base of the Azov-Black Sea basin under conditions of growing anthropogenic load and climate change” (2013–2015), “Mineral and raw material base of Ukraine as the basis of state security” (2016–2020), “Critical and strategic mineral resources of Ukraine under the conditions of globalization and climate change” (2021–2025).

In a difficult time for the country, scientists of the Department of Earth Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine in the conditions of war continue their activities aimed at maintaining the functioning of the branches of the economy of Ukraine, monitoring the state of the environment and ensuring counteraction to the aggressor and adverse natural phenomena.

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

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

Ц и т у в а н н я : Старостенко В.І., Коболєв В.П., Палій В.М. До 60-річчя Відділення наук про Землю. Частина 3. Хронологія розвитку Відділення наук про Землю в незалежній Україні (1991–2023 рр.). *Геологічний журнал*. 2024. № 2 (387). С. 95–138. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.2.301480>

C i t a t i o n : Starostenko V.I., Kobolev V.P., Paliy V.M. 2024. To the 60th anniversary of the Department of the Earth Sciences of the National Academy Sciences of Ukraine. Part 3. Chronology of the development of the Department of Earth Sciences in independent Ukraine (1991–2023). *Geologičnij žurnal*, 2 (387): 95–138. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.2.301480>

Вступ

17 січня 1991 р. Президія Верховної Ради УРСР прийняла постанову «Про статус Академії наук Української РСР», в якій Академію було визнано республіканською самоврядною організацією зі збереженням державного фінансування. Нова сторінка в діяльності Академії наук відкрилася з набуттям Україною незалежності. В цей час навколо АН УРСР розгорнулись дискусії стосовно її реформування: від повної заміни Академії наук системою наукових підрозділів закладів вищої освіти до переходу на формування наукової тематики на конкурсній основі і з обов'язковим її реформуванням ззовні, неакадемічним середовищем. Але АН України, завдячуючи великій роботі і високому міжнародному авторитету її президента Б.Є. Патона, вдалося вийти із кризи. Для збереження її науково-технічного і кадрового потенціалу та забезпечення подальшого розвитку було здійснено комплекс необхідних заходів та запроваджено програмно-цільові і конкурсні засади в організації досліджень. Зокрема, у Відділенні про Землю АН України були розроблені державні та академічні цільові програми, які спрямовувалися на вирішення нагальних питань розвитку мінерально-сировинної бази України (Відділення..., 2003).

Першорядне значення в той час для утвердження статусу АН України як головної наукової установи незалежної держави і перебудови її діяльності відповідно до нових завдань мали укази Президента України Л.М. Кравчука від 20 січня 1992 р. «Про забезпечення діяльності та розвитку Академії наук України», від 22 березня 1994 р. «Про державну підтримку наукової діяльності Академії наук України», в яких набуло правове визнання її як вищої державної наукової організації України та надання статусу Національної, а також від 10 березня 2000 р. «Про додаткові заходи щодо державної підтримки Національної академії наук України». Цими державними актами було визначено ключові завдання Академії на сучасному етапі. Основні з них – участь у формуванні державної політики у сфері наукової та науково-технічної діяльності, концентрація зусиль на досягненні світового рівня фундаментальних і прикладних досліджень, а також посилення впливу їхніх результатів на інноваційний розвиток економіки, освіти та культури в Україні, підготовка наукових кадрів, сприяння інтеграції вітчизняного інтелектуального потенціалу у світовий науковий простір (Національна..., 2018).

У 1995 р. НАН України була ініціатором створення Міжвідомчого антарктичного комітету та його робочого органу – Центру антарктичних досліджень. Наступного року в Антарктиді учасниками першої Української антарктичної експедиції був піднятий український прапор. Україна за угодою між британським і українським урядами офіційно вступила у володіння науково-дослідною станцією «Фарадей», яка стала власністю України та отримала назву «Академік Вернадський». Морський гідрофізичний інститут і Інститут біології південних морів ім. А.А. Ковалевського НАН України послуговували базовими організаціями для створення в 1999 р. Океанологічного центру НАН України з метою комплексного вивчення Азово-Чорноморського басейну та стратегічно важливих для України районів Світового океану (Відділення..., 2003).

В 2014 р. у результаті анексії росією Кримської автономії та окупації частини Донецької і Луганської областей такі наукові установи відділення, як Морський гідрофізичний інститут з Експериментальним відділенням (м. Севастополь) та Український науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут гірничої геології, геомеханіки і маркшейдерської справи (м. Донецьк), а також низка установ інших відділень Академії, де-факто вийшли з підпорядкування НАН України.

У складний для країни час, в умовах повномасштабного вторгнення росії в Україну, науковці Відділення наук про Землю НАН України продовжують діяльність, спрямовану на підтримання функціонування галузей господарства України, спостереження за станом довкілля та забезпечення протидії агресору і несприятливим природним явищам.

Відділення наук про Землю у першому десятилітті незалежної України (1991–2001 рр.)

Персональний склад Відділення наук про Землю АН УРСР у 1991 р. налічував 12 академіків (Я.М. Белєвцев, В.І. Беляєв, В.Г. Бондарчук, В.Ю. Забігайло, Г.М. Малахов, Б.О. Нелєпо, М.П. Семененко, В.І. Старостенко, А.В. Чекунов, І.І. Чебаненко, Є.Ф. Шнюков, М.П. Щербак) та 15 членів-кореспондентів (Р.Я. Белєвцев, М.П. Булгаков, В.К. Гавриш, В.В. Глушко, В.Я. Дідковський, О.М. Маринич, І.В. Матяш, Ю.П. Мельник, Е.В. Собонович, К.Ф. Тяпкін, О.Д. Федоровський, Л.В. Черкесов, В.М. Шестопапов, О.З. Широков, П.Ф. Шпак).



Інститут географії НАН України. Географічні дослідження в Академії наук України проводилися починаючи з 1918 р., але формування її інституцій зазнавало багаторазових організаційних трансформацій. В 1964 р., відповідно до постанови Президії АН УРСР «Про розвиток в Академії наук УРСР досліджень у галузі географії», в Інституті геологічних наук АН УРСР було створено Сектор географії. Останній у 1967 р. був переданий до Ради по вивченню продуктивних сил УРСР, крім створеного ще у 1961 р. Відділу фізичної географії та картографії, який був трансформований у відділ палеогеографії і переданий до Сектору географії у 1971 р. У 1970 р. Сектор географії, який очолював професор А.П. Золовський, у науковому відношенні отримав самостійність, а у фінансовому був підпорядкований Інституту геофізики АН УРСР (Відділення..., 2003).

У 1980 р. у зв'язку зі створенням Відділення океанології, гідрофізики та географії АН УРСР Сектор географії був переданий до Морського гідрофізичного інституту АН УРСР, а у 1981 р. – перейменовані на Відділення географії, яке у 1983 р. знову було підпорядковано Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна АН УРСР. Керівниками зазначених географічних осередків були член-кореспондент АН УРСР О.М. Маринич (1979–1989) та доктор географічних наук Л.Г. Руденко (1989–1991).

Необхідність створення Інституту географії з набуттям Україною незалежності була зумовлена зростанням ролі географічної науки у вирішенні актуальних завдань раціонального природокористування, а також еколого-географічних проблем. Згідно з постановою Президії АН України від 13 листопада 1991 р. на базі Відділення географії Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна був створений Інститут географії як самостійна наукова установа АН України. Директором Інституту призначено Л.Г. Руденка, який у 1992 р. був обраний членом-кореспондентом АН України, а у 2009 р. – дійсним членом НАН України та очолював установу до 2021 р. Наразі директором Інституту є член-кореспондент НАН України Є.О. Маруняк.

Основні напрями наукових досліджень Інституту географії НАН України: розроблення теоретичних засад фундаментальних географічних досліджень; картографічні дослідження особливостей змін ландшафтів, територіальної організації господарства, розміщення населення та наслідків взаємодії суспільства і природи; створення атласів та інших картографічних творів. Вагомим науковим здобутком фахівців Інституту географії НАН України є виданий у 2007 р. Національний атлас України – перший в історії держави картографічний твір енциклопедичного рівня (Маруняк, Лісовський, 2021).



Інститут проблем природокористування та екології НАН України (м. Дніпро) створений за рішенням Президії АН України від 13 листопада 1991 р. на базі Відділення проблем природокористування та регіональної економіки Інституту технічної механіки АН України. Директором Інституту був призначений доктор технічних наук А.Г. Шапар (1936–2021), який у 2003 р. був обраний членом-кореспондентом НАН України.

Основні напрями наукових досліджень Інституту – розробка наукових основ регіональної системи екологічного моніторингу та обґрунтування методології вибору стратегії сталого розвитку техногенно навантажених регіонів України, а також оцінка та прогноз екологічних наслідків використання технологій та схем розміщення гірничопромислового виробництва.

В Інституті розроблено методологію вибору стратегії сталого соціально-еколого-економічного розвитку техногенно навантажених регіонів, яка відповідає основним принципам світової ідеї сталого розвитку і дає змогу визначити найбільш придатний сценарій розвитку будь-якого регіону. За результатами спостережень систем екологічного моніторингу, великої кількості наукових, інструментальних та інших досліджень фахівцями Інституту розроблено і видано екологічні карти Дніпропетровської області та м. Дніпро. Вони слугували основою для вирішення багатьох практичних еколого-економічних та соціальних проблем, пов'язаних з переходом до стратегії сталого розвитку. У галузі регіонального природокористування Інститутом створені і впроваджені у виробництво вискоелективні еколого-орієнтовані технології видобутку корисних копалин на кар'єрах України (Відділення..., 2003).

В ході оптимізації мережі наукових установ НАН України постановою Президії НАН України від 9 червня 2021 р. № 193 Інститут проблем природокористування та екології НАН України було реорганізовано шляхом приєднання до Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (м. Дніпро).

Посаду вченого секретаря Відділення наук про Землю АН УРСР обіймав кандидат геолого-мінералогічних наук І.М. Скопиченко.

На початку 1990-х років в умовах складної суспільної трансформації за рахунок внутрішніх резервів було проведено реорганізацію мережі установ і наукових підрозділів АН України. Першими академічними установами у складі Відділення наук про Землю АН України, створеними після оголошення незалежності України в 1991 р., були: Інститут

географії у Києві, Інститут проблем природокористування та екології у Дніпропетровську, Науково-інженерний центр радіогідроекологічних полігонних досліджень Інституту геологічних наук і Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна у Львові (Національна..., 2018).

У 1992 р. відбулася Міжнародна конференція «Проблеми Чорного моря», організована Морським гідрофізичним інститутом АН України (Національна..., 2018).



Науково-інженерний центр радіогідроекологічних полігонних досліджень був заснований в 1991 р. як установа при Президії НАН України для вирішення екологічних проблем, головним чином пов'язаних з радіонуклідним забрудненням і міграцією радіонуклідів у навколишньому середовищі внаслідок Чорнобильської катастрофи. Засновник і очільник Центру впродовж 1991–2023 рр. – академік НАН України В.М. Шестопалов. Наразі обов'язки директора Центру виконує Ю.Ф. Руденко.

У Центрі вивчають міграцію радіонуклідів у зоні аерації, ґрунтових водах та глибоких водоносних горизонтах та здійснюють комплексне картування Чорнобильської зони відчуження. Оцінюють експлуатаційні ресурси і запаси підземних вод для забезпечення населення та ризики їх забруднення. Крім того, виконують математичне моделювання гідроекологічних та інженерно-геологічних процесів задля оптимізації використання природних ресурсів і мінімізації негативного впливу на екологічний стан територій.

Діяльність Центру спрямована також на вивчення проблем захоронення радіоактивних відходів. Його фахівці займаються геолого-гідроекологічними дослідженнями з пошуків, вивчення та обґрунтування придатності майданчиків для розміщення сховищ радіоактивних відходів у надрах.

Центр брав участь у низці національних і міжнародних проєктів, які стосуються широкого кола проблем, зокрема радіогідроекологічного моніторингу та картування Чорнобильської зони відчуження; обґрунтування ізоляції високоактивних відходів у глибоких геологічних формаціях; оцінювання впливу на довкілля ліквідації деяких шахт Донбасу за схемою повного чи часткового затоплення; оцінювання ресурсів підземних вод; впливу АЕС на екологію; обґрунтування спорудження об'єкта «Укріптя-2»; вивчення міграції радіонуклідів у підземній гідросфері (Відділення..., 2003).



Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України бере початок від створеного у 1960 р. Львівського філіалу Інституту геофізики АН УРСР, реорганізованого у 1972 р. у Львівський філіал математичної фізики, на основі якого у 1978 р. був заснований Інститут прикладних проблем механіки і математики (Відділення..., 2003).

З метою концентрації наукових зусиль на вирішення проблем сучасної геодинаміки і сейсмології в Карпатському регіоні постановою Президії АН України від 10 липня 1991 р. було створено Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна (далі – КВ). Першим керівником КВ (1991–2003) був відомий український геофізик, доктор геолого-мінералогічних наук, професор Я.С. Сапужак. З 2003 по 2022 р. КВ керував доктор фізико-математичних наук В.Ю. Максимчук, який у 2018 р. був обраний членом-кореспондентом НАН України. Наразі КВ очолює кандидат фізико-математичних наук О.Я. Сапужак.

У Львівському філіалі та КВ Інституту геофізики АН УРСР у різні часи працювали відомі вчені: І.А. Балабушевич, А.П. Бондаренко, Т.З. Вербицький, С.І. Восанчук, І.Д. Гофштейн, В.І. Клушин, Г.І. Крулякова, М.І. Мельничук, Г.Л. Наумчик, Г.І. Петкевич, Р.С. Починайко, А.Х. Сергатюк, В.С. Сизоненко, В.І. Сомов, Б.В. Тимошин та ін.

Наукова діяльність КВ зосереджена на дослідженнях просторово-часової структури геофізичних полів та їх зв'язків з глибинною будовою і сучасною геодинамікою літосфери Карпатського регіону, розробці теорії, методики та технічних засобів геофізичного моніторингу навколишнього середовища для прогнозування небезпечних природних геодинамічних процесів. КВ відіграє значну роль у розвитку сейсмологічних, магнітотелуричних та геомагнітних досліджень, забезпечує проведення сейсмопрогностичних робіт на мережі геофізичних станцій у Карпатському регіоні. У КВ розробляють теоретичні основи сейсмодеформаційних методів дослідження літосфери і сучасної геодинаміки земної кори, вивчають механізм їх впливу на процеси формування вогнищ землетрусів і варіацій геофізичних полів у Карпатському регіоні (Дослідження..., 2005).

Державну премію України в галузі науки і техніки у 1992 р. отримали І.І. Чебаненко, В.О. Крайшкін та В.П. Клочко (Інститут геологічних наук АН України) за участь у відкритті принципово нового об'єкта пошуків родовищ нафти і газу як джерела розширення паливно-енергетичної бази України, а премія ім. В.І. Вернадського була присуджена С.В. Нечаєву та В.О. Сьомці за монографію «Скарни України» (Цибань, 2018).

На виборах до АН України у 1992 р. дійсними членами були обрані М.П. Булгаков (гідрогеологія) та Е.В. Собонович (геохімія навколишнього середовища), членами-кореспондентами стали В.М. Єремєєв (хімічна океанографія), Є.О. Куліш (геологія), В.І. Лялько (гідрогеологія), Л.Г. Руденко (географія), В.М. Семененко (геологія) та О.М. Харитонов (геофізика). Іноземним членом АН України було обрано відомого американського гідрогеолога П. Вітерспуна (Палій, Храмов, 2013).



Єремєєв Валерій Миколайович (1942–2020) – видатний вчений-океанолог, доктор фізико-математичних наук (1988), професор (1991), член-кореспондент АН України (1992), академік НАН України (1997), заслужений діяч науки і техніки України (2003), лауреат премії В.І. Вернадського (1990) та Державної премії України в галузі науки і техніки (2000).

В.М. Єремєєв закінчив фізичний факультет Ростовського університету у 1964 р. та отримав диплом за спеціальністю «фізика атомного ядра». Свою трудову діяльність він розпочав у Морському гідрофізичному інституті НАН України, де працював науковим співробітником (1964–1968), навчався в аспірантурі (1968–1971), обіймав посади вченого секретаря (1975–1980), заступника директора (1980–1985) та директора (1985–2000).

У 1999 р. В.М. Єремєєв був призначений генеральним директором Океанологічного центру НАН України, яким керував до 2015 р., а у 2000 р. за дорученням Президії НАН України очолював Інститут біології південних морів ім. О.О. Ковалевського НАН України, найстарішу гідробіологічну наукову установу Східної Європи. Історичні коріння Інституту сягають 1871 р., коли за ініціативи всесвітньо відомого етнолога, антрополога і геофізика Миколи Миклухо-Маклая (1846–1888) на березі Севастопольської бухти була заснована Севастопольська біологічна станція Петербурзької АН (1871–1891), згодом – Російської АН (1917–1925), АН СРСР (1925–1961) і АН УРСР (1961–1963). Варто зазначити, що її свого часу очолювали такі видатні вчені, як О.О. Ковалевський (1892–1901), М.І. Андрусов (1918–1920), О.В. Палладін (1920–1921), В.О. Водяницький (1935–1937, 1944–1963) та ін. У 1963 р. на базі Севастопольської біологічної станції було створено Інститут біології південних морів ім. А.А. Ковалевського АН УРСР, який у 2000 р. увійшов до складу Океанологічного центру НАН України. Несумтєво, але цікаво, що Президент НАН України Б.Є. Патон під час своїх візитів до Інституту завжди милувався чудовим краєвидом на Севастопольську бухту з балкона директорського кабінету, який він шуткуючи називав найкращим балконом у НАН України.

Безпосередньо наукові інтереси В.М. Єремєєва охоплювали експериментальну та ядерну гідрофізику, геофізичну гідродинаміку, гідрохімію і біогеохімію океану, інформатику та морську екологію. Він заклав наукову основу для подальшого розвитку ізотопної океанографії і зробив вагомий внесок у розробку морських інформаційних технологій.

З 1982 по 1992 р. вчений керував Радянсько-Гвінейською програмою досліджень у галузі океанографії і геліофізики, геології і геофізики та випробувань конструкційних матеріалів в умовах тропічного клімату у побудованому колишнім Радянським Союзом науково-дослідному центрі у Конакрі (Гвінея). З 1994 р. він – член Національної комісії України у справах ЮНЕСКО МЗС України, а з 1997 р. протягом 20 років – представник України у Виконавчій раді Міжурядової океанографічної комісії ЮНЕСКО.

В.М. Єремєєв був одним з ініціаторів і науковим керівником низки морських цільових комплексних програм НАН України з вивчення та прогнозування динаміки морського середовища та ресурсів Азово-Чорноморського басейну (2007–2013).

У 2014 р. внаслідок анексії росією Кримської автономії Інститут біології південних морів ім. О.О. Ковалевського вийшов із підпорядкування НАН України. Деякий час В.М. Єремєєв залишався директором Інституту, а у 2015 р. прийняв непросте мужнє рішення – переїхати на постійне проживання до Києва. Він продовжував працювати радником при дирекції Відділення морської геології та осадового рудоутворення, а згодом – Наукового гідрофізичного центру НАН України. В цей період В.М. Єремєєв, як голова Міжвідомчої координаційної ради з питань морських досліджень МОН та НАН України, багато та плідно працював над реалізацією національних інтересів України у сфері морської діяльності.

В.М. Єремєєв – автор понад 500 наукових праць з проблем хімічної океанографії, геохімії океану, ядерної гідрофізики і радіохімії морського середовища, експериментальної океанографії, серед яких 15 монографій і три атласи Азово-Чорноморського басейну. Серед його учнів – академік, сім докторів наук і понад 20 кандидатів наук. У 2007 р його науково-організаційні досягнення були відзначені орденом України «За заслуги» III ступеня (Старостенко, Коболев, 2022).



Куліш Євген Олексійович (1931–2010) – відомий вчений-геолог, доктор геолого-мінералогічних наук (1972), професор (1987), член-кореспондент АН СРСР (1979), член-кореспондент АН України (1992), академік НАН України (2006), заслужений діяч науки і техніки України (2008), лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки (1998).

Після закінчення геологічного факультету Ростовського університету у 1954 р. Є.О. Куліш працював начальником геологорозвідувальних партій Далекосхідного управління Міністерства геології СРСР (1954–1957). У 1957–1960 рр. навчався в аспірантурі при Геологічному музеї АН СРСР у Ленінграді. У 1961 р. вчений організував і очолив Хабаровську геолого-геофізичну лабораторію Далекосхідного філіалу АН СРСР, на базі якої у 1965 р. створив Далекосхідний науково-дослідний інститут мінеральної сировини Міністерства геології СРСР (м. Хабаровськ), де до 1983 р. обіймав посаду директора.

Наступний період діяльності Є.О. Куліша пов'язаний з Україною. Він працював завідувачем відділу рудних формацій (1983–1996), водночас – заступником директора з наукової роботи Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України (1985–1988). Упродовж 1996–2010 рр. очолював відділ металогенії рудних формацій Інституту геохімії навколишнього середовища НАН України. Обирався заступником академіка-секретаря Відділення наук про Землю НАН України (1992–1998).

Наукові розробки вченого були зосереджені на вивченні геології і мінералогії докембрію, петрології і мінералогії метаморфічних комплексів, генезисі родовищ металічних і неметалічних корисних копалин, метаморфогенному рудоутворенні, геології і металогенії тектоно-петрогенних, орогенних і вулкано-тектонічних структур фанерозою. Є.О. Куліш поглибив знання про рудні процеси як поліхронні та полігенні явища; досліджуючи метаморфогенне рудоутворення, здійснив формацийний аналіз відповідних утворень, виявив джерела рудних речовин і рудоформуючих флюїдів; розкрив вплив різних геотектонічних структур на особливості рудоутворення (Відділення..., 2003).



Лялько Вадим Іванович (1931–2022) – знаний український вчений у галузі гідрогеології, геотермії та аерокосмічних досліджень Землі, доктор геолого-мінералогічних наук (1972), професор (1986), член-кореспондент АН України (1992), академік НАН України (2010), заслужений діяч науки і техніки України (1997), лауреат Державної премії УРСР та України в галузі науки і техніки (1989, 2004).

Після закінчення у 1955 р. з відзнакою геологічного факультету Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка В.І. Лялько розпочав свій трудовий шлях на посаді інженера відділу гідрогеології Інституту геологічних наук АН УРСР, а у 1959 р. став молодшим науковим співробітником, згодом у 1965 р., після захисту кандидатської дисертації, – старшим науковим співробітником. У 1969 р. він був призначений завідувачем відділу моделювання гідрогеологічних процесів, а у 1973 р., після захисту докторської дисертації, очолив відділ тепломасопереносу в земній корі Інституту геологічних наук АН УРСР. У 1974–1978 рр. обіймав посади заступника академіка-секретаря і члена Бюро Відділення наук про Землю АН УРСР.

У 1992 р. за ініціативи В.І. Лялька був заснований Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук АН України, який він очолював упродовж 24 років. З 2016 по 2022 р. – почесний директор ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України».

Значне місце в працях вченого посідає обґрунтування теоретико-методичних підвалин формування геотермічних, геохімічних, спектральних пошукових сигналів у приповерхневих шарах земної поверхні на підставі уявлень теорії енергомасообміну в геосистемах, а також розв'язання прямих і обернених гідрогеотермічних задач, зокрема щодо пошуків нафтогазових покладів.

Фундаментальні дослідження В.І. Лялька дали змогу обґрунтувати новий напрям у науках про Землю – енергомасообмін у геосистемах. Він розглядав його вплив на дуже чутливі до дії різних природних та антропогенних факторів фізико-хімічні і біологічні механізми, які відповідають за формування спектрального відгуку природних об'єктів. Вчений зробив значний внесок у теоретико-методичне обґрунтування і практичне випробування у виробничих умовах нових методів аерокосмічного землезнавства (радарна інтерферометрія, гіперспектрометрія та ін.). Це сприяло реалізації таких актуальних природоресурсних і природоохоронних завдань, як аерокосмічні пошуки нафтогазових покладів, контроль і прогнозування врожайності сільськогосподарських культур, зменшення пожежонебезпечності лісів, боротьба з підтопленнями і паводками, вивчення екологічного стану територій та акваторій, оцінювання опускань земної поверхні в районах закриття вугільних шахт. У науковому доробку Вадима Івановича налічується понад 600 праць, серед них 30 монографій (Відділення..., 2003).



Руденко Леонід Григорович (1941 р. н.) – видатний український географ, доктор географічних наук (1984), професор (2001), член-кореспондент АН України (1992), академік НАН України (2009), лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки (1993), лауреат премій ім. В.І. Вернадського (2003) та ім. П.А. Тутковського (2023) НАН України, заслужений діяч науки і техніки України (2003).

По закінченню географічного факультету Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка у 1963 р. Л.Г. Руденко за призначенням працював на Військовій картографічній фабриці, звідки його призвали на військову службу. Повернувшись з армії, він перейшов на роботу до Сектору географії Академії наук УРСР. Упродовж 1967–1970 рр. навчався в аспірантурі Московського університету ім. М.В. Ломоносова. У 1970 р., після успішного захисту кандидатської дисертації, вчений почав працювати в Секторі географії Інституту геофізики АН УРСР (згодом – Інститут географії НАН України). В 1989 р. він очолив Відділення географії Морського гідрофізичного інституту АН України і доклав величезних зусиль до створення на його базі самостійного Інституту географії НАН України, яким з 1991 р. керував майже 30 років. За час його керівництва Інститут здобув заслужений авторитет в Україні та поза її межами, став провідною науково-дослідною установою з природничо-географічних, суспільно-географічних та картографічних досліджень в Україні. Наразі Л.Г. Руденко є почесним директором та радником при дирекції Інституту.

Сфера наукових інтересів вченого охоплює теорію та методику географічної картографії, зокрема атласного картографування, економічну та соціальну географію, раціональне і регіональне природокористування, охорону та моніторинг природного середовища, географічне обґрунтування збалансованого розвитку України та її регіонів, а також збереження культурної та природної спадщини. Останнім часом ключовою темою робіт вченого є обґрунтування концепції сталого розвитку регіонів України в загальноєвропейському контексті. Загалом науковий доробок Л.Г. Руденка на сьогодні налічує понад 700 наукових публікацій. Він є головним редактором «Українського географічного журналу».

Серед ключових результатів наукової діяльності вченого варто відзначити Національний атлас України (2007), який має загальнодержавне значення і є фундаментальним картографічним твором енциклопедичного рівня. Значною мірою поширенню знань про Україну за кордоном сприяло видання у 2008 р. підготовленої під керівництвом Л.Г. Руденка разом з угорськими колегами унікальної фундаментальної англомовної праці «Україна на картах». У 2014 р. під керівництвом вченого було завершено розроблення першого в Україні Атласу природних, техногенних і соціальних небезпек і ризиків виникнення надзвичайних ситуацій, а протягом 2015–2020 рр. створено унікальний інтерактивний атлас «Населення України та його природна і культурна спадщина».

Діяльність Л.Г. Руденка відзначено високими державними нагородами, зокрема орденом «За заслуги» III ступеня (2008). Він – почесний професор Київського національного університету ім. Тараса Шевченка (2016) та почесний доктор Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна (2020) (Маруняк, Лісовський, 2021).



Семененко Володимир Миколайович (1934–2012) – відомий український вчений-геолог, доктор геолого-мінералогічних наук (1985), член-кореспондент АН України (1992), заслужений діяч науки і техніки України (2009).

В.М. Семененко народився 18 липня 1934 р. у м. Дніпропетровськ у родині професора Дніпропетровського гірничого інституту Миколи Пантелеймоновича Семененка. Після закінчення геологічного факультету Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка у 1956 р. був направлений на роботу в Українське геологічне управління, де працював польовим геологом.

У 1962 р. В.М. Семененко став аспірантом Інституту геологічних наук НАН України, з яким була пов'язана вся його подальша наукова діяльність. Тут він захистив кандидатську дисертацію, а згодом в 1983 р. у Московському державному університеті ім. М.В. Ломоносова успішно захистив докторську дисертацію. З 1982 по 1996 р. вчений був керівником лабораторії біо- та хроностратиграфії шельфів кайнозою, а з 1995 р. очолював відділ стратиграфії та палеонтології кайнозойських відкладів.

Наукові праці В.М. Семененка стосуються палеонтології та стратиграфії неогенових і четвертинних відкладів. Важливе теоретичне значення має розроблена ним кореляційна схема відкладів верхнього міоцену–пліоцену Паратетису, Середземномор'я та океанічних областей. А саме, ним встановлена нова межа між міоценом і пліоценом, з якою пов'язане формування системи Середземне-Чорне-Каспійське моря в близьких до сучасних межах та формування своєрідних провінцій корисних копалин.

Володимир Миколайович – автор близько 200 наукових праць, низки колективних монографій, зокрема «Стратиграфія України. Неоген»; «Стратиграфія СРСР. Неоген»; «Геологія СРСР. Т. 5: Україна. Ч. 3. Корисні копалини»; «Атлас палеогеографічних карт СРСР»; «Атлас палеогеографічних карт неогену Європи (Будапешт)»; «Стратиграфічна кореляція верхнього міоцену і пліоцену Східного Паратетису і Тетису» та ін. (Володимир..., 2009).



Харитонов Олег Матвійович (1937–1998) – знаний український вчений-геофізик, доктор геолого-мінералогічних наук (1991), член-кореспондент АН України (1992), лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки (1995).

По закінченню геологічного факультету Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка у 1959 р. О.М. Харитонов почав працювати інженером-геофізиком у Київській геофізичній експедиції тресту «Укргеофізрозвідка». У 1962 р. вступив до аспірантури Інституту геофізики АН УРСР, де пройшов шлях від наукового співробітника до заступника директора з наукової роботи (1979–1998), водночас з 1987 р. очолював відділ регіональних проблем геофізики та керував філією кафедри геофізики Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка.

Наукові інтереси вченого були пов'язані з дослідженнями глибинної будови та сейсмічності літосфери, структури земної кори та верхньої мантії Землі, сейсмічним районуванням території України. На основі матричного методу він розробив принципи інтерференційного аналізу динаміки сейсмічних полів, що формуються в умовах континентальної літосфери та обґрунтував її нерівномірно-шарувату сейсмічну модель. Він керував роботами з детального і мікросейсмічного районування території України, а також з оцінки сейсмічної небезпеки районів розміщення АЕС.

О.М. Харитонов зробив вагомий внесок у науково-педагогічну діяльність. Він підготував курси лекцій «Теорія сейсмічних хвильових полів» і «Сейсмологія», які з 1993 р. читав на геологічному факультеті Київського національного університету ім. Тараса Шевченка (Відділення..., 2003).



Вітерспун Пол (Witherspoon Paul) (1919–2012) – відомий американський вчений у галузі гідрогеології та нафтової геології, іноземний член НАН України (1992).

Пол Адамс Вітерспун закінчив Піттсбурзький (1941, бакалавр) і Канзаський (1951, магістр) університети. Докторський ступінь здобув в університеті Іллінойса (Урбана-Шампейн). Працював у компанії Phillips Petroleum в Оклахомі, Техасі і Канзасі, а згодом – керівником відділу нафтового машинобудування Геологічної служби штату Іллінойс.

З кінця 1950-х років наукові інтереси П. Вітерспуна пов'язані з проблемами гідрогеології, які він розробляв у Каліфорнійському університеті в Берклі та заснованому ним у 1977 р. Відділі наук про Землю Національної лабораторії Лоуренса. Високу оцінку в світі отримали результати здійснених під його керівництвом досліджень ізольованих властивостей покритих порід підземних сховищ природного газу, масопереносу у трицихуватих породах, зокрема забруднень підземної гідросфери, ізоляції ядерних відходів, геотермальних енергетичних ресурсів, методів чисельного моделювання та ін. Пол Вітерспун зробив вагомий внесок у започаткування та розвиток наукового співробітництва американських і українських гідрогеологів в особі представників наукової школи В.М. Шестопалова.

Вчений помер 10 лютого 2012 р. у Берклі, Каліфорнія. На вшанування його пам'яті Американським геофізичним союзом у 2015 р. було засновано щорічну лекцію П. Вітерспуна для заохочення вчених-гідрогеологів.



Відділення морської геології та осадового рудоутворення було створено в 1992 р. за ініціатииви академіка НАН України Є.Ф. Шнюкова, спочатку як структурний підрозділ Інституту геологічних наук АН України. Але того ж року Відділення було передано до складу Центрального науково-природничого музею АН України в якості самостійного структурного підрозділу. У 2005 р. Відділення було перейменовано на Державну наукову установу (ДНУ) «Відділення морської геології та осадового рудоутворення Національного науково-природничого музею НАН України», а у 2008 р. – на ДНУ «Відділення морської геології та осадового рудоутворення Національної академії наук України» в якості самостійної наукової установи Відділення наук про Землю НАН України. Посаду директора ДНУ протягом понад чверть століття обіймав академік НАН України Є.Ф. Шнюков.

Наукова діяльність ДНУ спрямована на вивчення геології морського дна шельфу і схилу Азово-Чорноморського басейну в межах України та оздоровлення екологічної ситуації в прибережній зоні акваторії Чорного та Азовського морів і суміжних з ними територій.

За результатами наукових досліджень фахівців Відділення в Азово-Чорноморському басейні виявлено нові райони золотопроявів, нафтогазоносності, залізо-марганцевих конкрецій, будівельних пісків. Обґрунтовано наявність Південно-Української провінції дисперсного золота, складено прогнозну карту промислових розсіпів Заморсько-Актаської площі. Поряд із дослідженнями Гірського Криму та Керченського півострова значна увага приділяється вивченню геології дна Чорного моря. Науковими експедиціями в Чорному морі виявлено та вивчено сотні газових факелів, десятки грязьових вулканів, по-новому оцінено перспективи нафтогазоносності акваторії, рекомендовано конкретні площі для проведення морських геолого-геофізичних пошукових робіт, надано прогнозні оцінки корисних копалин азово-чорноморського шельфу та глибоководної частини економічної зони України в цілому (Наукові..., 2013).

У 2018 р. Відділення було перейменовано на ДНУ «Центр проблем морської геології, геоєкології та осадового рудоутворення НАН України», яку очолює член-кореспондент НАН України В.О. Ємельянов.



Центр аерокосмічних досліджень Землі (ЦАКДЗ) було створено в 1992 р. у якості самостійної юридичної особи при Інституті геологічних наук АН України на базі відділу тепломасопереносу Інституту та Київського науково-дослідного інституту космоаерометодів колишнього Міннафтогазпрому СРСР. Ініціатором створення і першим директором ЦАКДЗ був член-кореспондент АН України (академік НАН України з 2010 р.) В.І. Лялько. З 2016 р. ЦАКДЗ очолює член-кореспондент НАН України М.О. Попов.

Нині це Державна установа (ДУ) «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України» – провідна організація НАН та Національного космічного агентства України в галузі дистанційного зондування Землі, яка складається з чотирьох наукових відділів: енергомасообміну в геосистемах, геоінформаційних технологій в дистанційному зондуванні Землі (ДЗЗ), аерокосмічних досліджень в геології та геоекології, геопросторового моделювання в аерокосмічних дослідженнях.

Центр спеціалізується на зборі і тематичній інтерпретації даних ДЗЗ, обробленні аерокосмічних зображень та підготовці геоінформаційних продуктів. Досліджуються процеси енергомасообміну в геосистемах та їх вплив на фізико-хімічні та біологічні механізми, які відповідають за формування спектрального відгуку природних об'єктів і чутливі до дії природних та антропогенних факторів. Розробляються моделі формування узагальнених спектральних портретів природних об'єктів, встановлюються та оцінюються їх зв'язки з характеристиками та властивостями навколишнього середовища. На базі спектральних моделей розробляються нові методи і технології збору і тематичного оброблення даних ДЗЗ.

Центр – перша в Україні наукова організація, яку було прийнято до Європейської асоціації лабораторій дистанційного зондування (EARSeL). Центр має розвинені міжнародні зв'язки, активно співпрацює з Європейським космічним агентством (ESA), космічними агентствами Німеччини (DARA-DLR), Франції (CNES), Міжнародним інститутом прикладного системного аналізу (IIASA), а також з багатьма іншими закордонними установами та організаціями (Наукові..., 2013).



Науково-технічний центр панорамних акустичних систем, єдина академічна установа у м. Запоріжжя, було створено постановою Президії АН України від 14.05.1993 р. Його засновником і першим директором став доктор технічних наук, лауреат Державної премії СРСР, заслужений діяч науки і техніки України А.І. Гончар, який у 2006 р. був обраний членом-кореспондентом НАН України.

Основні напрями наукових досліджень Центру передбачали створення нових зразків гідроакустичних панорамних засобів обстеження акваторій, пошук і виявлення затонулих об'єктів, обстеження рельєфу дна і стратифікацію донних відкладів, контроль цілісності підводних інженерних споруд та розвідку сировинних ресурсів Світового океану.

Вчені Центру виконали значний обсяг фундаментальних і прикладних досліджень, результати яких є актуальними дотепер: розроблено методологію комплексного екологічного моніторингу акваторій; досліджено можливість високоінформативного профілювання осадових шарів морського дна; розроблено просторову математичну модель неоднорідних донних структур із складним рельєфом і широким спектром акустичних властивостей; вперше розроблено та реалізовано алгоритми оптимальної обробки ехограм гідролокатора бокового огляду; створено геоінформаційний комплекс апаратних і програмних засобів для визначення рельєфу дна, типів донних відкладів, картографування морфо- та літологічного їх стану за даними панорамної гідролокаційної зйомки, сполученої в реальному часі з даними супутникових навігаційних систем; розроблено систему комп'ютерного тривимірного моделювання геофізичних полів геологічних структур тощо.

Після трагічної загибелі А.І. Гончара у 2016 р. Центр було перейменовано на Державну установу (ДУ) «Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України», який очолює член-кореспондент НАН України О.А. Щипцов. У 2024 р. в.о. директора Центру був призначений завідувач відділу панорамних акустичних систем, кандидат геологічних наук С.Г. Федосеєнков.

ДУ «Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України» плідно працює й активно розвивається, розширює основні наукові напрями роботи, приділяє особливу увагу дослідженням зі створення, забезпечення функціонування та наповнення автоматизованого Банку океанографічних даних НАН України на основі результатів комплексних експедиційних наукових досліджень морських і річкових систем Азово-Чорноморського басейну та інших районів Світового океану (Наукові..., 2013; Федосеєнков, 2021).

У 1992 р. при Інституті геологічних наук АН України були створені окремі науково-дослідні установи: Відділення морської геології та осадочного рудоутворення та Центр аерокос-

мічних досліджень Землі (Наукові..., 2013). Центральний науково-природничий музей НАН України отримав статус наукової установи при Президії АН України.

У 1993 р. на засіданні Президії АН України було розглянуто питання «Про стан та перспективи розвитку досліджень в Антарктиці». Прийняте рішення стосувалось створення Міжвідомчого антарктичного комітету на чолі з В.І. Старостенком та його робочого органу – Центру антарктичних досліджень АН України, директором якого призначено П.Ф. Гожику. Також був схвалений план першої Української антарктичної експедиції. Згодом у Центрі антарктичних досліджень АН України були сформовані два відділення – Південне в Одесі та Західне у Львові.

Державну премію у галузі науки і техніки у 1993 р. було присуджено М.М. Паламарчуку, О.М. Мариничу, Л.Г. Руденку, І.О. Горленку та Г.О. Пархоменку за цикл монографій «Географічні основи раціонального природокористування в Україні» (Інститут географії АН України); премію ім. В.І. Вернадського отримав Ю.П. Оровецький за монографію «Мантійний діапїризм» (Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна АН України).

Того ж року постановою Президії АН України Інститут геохімії і фізики мінералів АН України було перейменовано на Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення АН України, а у Запоріжжі був створений Науково-технічний центр панорамних акустичних систем АН України (Національна..., 2018).

22 березня 1994 р. указом Президента України Л.М. Кравчука Академії наук України надано статус Національної (НАН України).

20 червня 1995 р. директором Центру антарктичних досліджень (ЦАД) НАН України П.Ф. Гожику і директором Британської антарктичної служби (БАС) Б. Хейвудом у Лондоні був підписаний меморандум між ЦАД НАН України і БАС про передачу Україні британської антарктичної станції «Фарадей». Того ж року Президент НАН України Б.Є. Патон та директор ЦАД НАН України П.Ф. Гожику звернулися до Наукового комітету з антарктичних досліджень (SCAR) з листом про прийняття України асоційованим членом SCAR (Національна..., 2018).



Гожику Петро Феодосійович (1937–2020) – видатний палеонтолог та стратиграф, доктор геолого-мінералогічних наук (1993), професор (1986), член-кореспондент НАН України (1995), академік НАН України (2006), заслужений діяч науки і техніки України (1997), лауреат Державної премії УРСР і України (1989, 2000) та премії ім. П.А. Тутковського (2008).

Після закінчення в 1959 р. з відзнакою географічного факультету Чернівецького державного університету П.Ф. Гожику працював директором школи. У 1960 р. вступив до аспірантури Інституту геологічних наук АН УРСР. Відтоді його життя стало невіддільним від цієї наукової установи, де він пройшов шлях від аспіранта до директора Інституту, який очолював протягом 23 років.

П.Ф. Гожику зробив вагомий внесок у розвиток багатьох напрямів геологічної науки. Передусім він визнаний фахівець викопних прісноводних молюсків з неоген-четвертинних відкладів півдня Східної Європи. Ним описано один новий рід, два підроди і 48 видів прісноводних молюсків. Вчений виконав аналіз геологічної будови неоген-четвертинних відкладів та літодинаміки берегової зони Дунай-Дніпровського міжріччя, встановив і описав низку нових таксонів викопних прісноводних молюсків кайнозою. Брав участь в узагальненні результатів моделювання глибинної будови Антарктиди та акваторій Південного океану. Його теоретичні розробки стали засадами побудови стратиграфічних схем, палеогеографічних карт, інженерно-геологічних узагальнень.

Під керівництвом П.Ф. Гожику було видано Стратиграфічний кодекс України, створено стратиграфічну схему четвертинних відкладів України, мезо-кайнозойських відкладів Азово-Чорноморського регіону тощо. Його науковий доробок налічує понад 400 наукових праць, серед яких 39 монографій. Упродовж багатьох років вчений очолював Палеонтологічне товариство та Національний стратиграфічний комітет України.

П.Ф. Гожику багато уваги приділяв вивченню Світового океану. Він неодноразово брав участь у морських експедиційних дослідженнях в Індійському, Тихому, Атлантичному і Південному океанах, а також у Червоному, Чорному і Середземному морях. Петро Феодосійович – ініціатор створення у 1993 р. і перший директор (1993–1999) Центру антарктичних досліджень НАН України (нині – Національний Антарктичний науковий центр при МОН України), безпосередній учасник передачі у 1995 р. Україні британської антарктичної станції «Фарадей» (нині – «Академік Вернадський») та організації перших українських антарктичних експедицій.

П.Ф. Гожику поєднував наукову діяльність з викладацькою і громадською. Його лекції мали змогу слухати студенти Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, а півтора десятка його учнів захистили кандидатські і докторські дисертації. За його активної участі було реалізовано проєкт «Сім чудес України», який відкрив для українців природні багатства нашої вітчизни (Відділення..., 2003).

До значних наукових звершень установ Відділення наук про Землю НАН України в першій половині 1990-х років варто віднести такі. В Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України встановлено вікові рубежі зеленокам'яних поясів трьох генерацій та доведено їх вікове співвідношення для Українського щита та Курської магнітної аномалії (М.П. Щербак, Г.В. Артеменко). В Інституті геологічних наук НАН України були складені карти підводних долин та каньйонів Анатолійського сектору Чорного моря (О.Ю. Митропольский, П.Ф. Гожик, В.І. Мельник). В Інституті геології і геохімії горючих копалин НАН України виявлено жильну форму залягання нафти, що значно збільшує вуглеводневий потенціал Карпатської нафтогазової провінції (Г.Ю. Бойко) та на основі комплексних геолого-палеоокеанографічних досліджень створено великомасштабну (1:1 000 000) модель структури давньої континентальної окраїни Центрально-Європейського сегменту океану (Карпато-Чорноморська область) (Ю.М. Сеньковський).

Державні премії у галузі науки і техніки отримали: В.В. Глушко (1994) – за цикл праць «Тектонічні карти як основа геологічного вивчення надр України» (Український науково-дослідний геологорозвідувальний інститут); В.Б. Соллогуб (посмертно), А.В. Чекунов, В.І. Старостенко, О.М. Харитонов, В.В. Гордієнко, С.С. Красовський, Р.І. Кутас та І.К. Пашкевич – за восьмитомну монографію «Літосфера Центральної та Східної Європи» (Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, 1995). Премії ім. В.І. Вернадського були удостоєні Ю.М. Сеньковський, В.В. Глушко та А.Ю. Сеньковський (Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, 1994) – за монографію «Фосфорити заходу України» (Цибань, 2018).

У 1995 р. дійсним членом НАН України був обраний В.М. Шестопалов (геологія і геофізика), членами-кореспондентами стали П.Ф. Гожик (геологія) і В.А. Даниленко (геофізика). Іноземним членом НАН України було обрано відомого польського геолога В. Ріку (Палій, Храмов, 2013).



Даниленко В'ячеслав Андрійович (1946–2016) – відомий український вчений в галузі нелінійної геофізики, доктор фізико-математичних наук (1985), член-кореспондент НАН України (1995).

У 1974 р. В.А. Даниленко закінчив Московський інженерно-фізичний інститут за спеціальністю «хімія швидкоплинних процесів» і був направлений на роботу в Інститут гідромеханіки АН УРСР. Активну наукову діяльність він розгорнув у секторі геодинаміки вибуху Інституту геофізики АН УРСР (1975–1977), а пізніше – в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона АН УРСР (1977–1985). Від 1985 р. працював керівником Відділення геодинаміки вибуху та заступником директора з наукової роботи Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України.

В.А. Даниленко – учень видатних вчених, академіків Я.Б. Зельдовича і М.О. Лаврентьєва, відомий в Україні та за кордоном фахівець в галузі фізики вибуху нелінійних неврівноважених динамічних систем і фізики швидкоплинних процесів, динаміки неврівноважених структурованих середовищ, теорії самоорганізації і нелінійних хвильових процесів у неврівноважених активних середовищах.

В.А. Даниленко побудував математичні моделі руху блокових середовищ, за їх допомогою дослідив процеси їх самоорганізації. Він відкрив нові закономірності у вивченні нелінійних хвильових процесів у геофізичних середовищах. Одержані ним рівняння стану дають змогу моделювати процеси утворення блоків з початкового однорідного стану та їхню подальшу самоорганізацію, а також поведінку геофізичних середовищ на великих проміжках часу за різноманітних збурень, що має істотне значення для розробки нових технологій у гірничій, нафтогазовій, будівельній галузях і прогнозуванні землетрусів. Під його керівництвом створено унікальні технології інтенсифікації видобутку різноманітних корисних копалин (нафти, газу, води, сірки, урану) та камери високого тиску, що надають нові можливості дослідження геофізичних середовищ у широкому діапазоні тисків і температур. В'ячеслав Андрійович – автор понад 200 наукових праць, авторських свідоцтв та патентів на винаходи (Відділення..., 2003).

Упродовж 1995–1996 рр. посаду вченого секретаря Відділення наук про Землю НАН України обіймав кандидат геолого-мінералогічних наук С.А. Гурідов, а з 1996 р. – кандидат геолого-мінералогічних наук Я.К. Луців.

7 лютого 1996 р. в Антарктиді був піднятий український прапор – Україна за угодою між британським і українським урядами офіційно вступила у володіння науково-дослідною станцією «Фарадей», яка стала власністю України та отримала назву «Академік Вернадський».

Державну премію у галузі науки і техніки у 1996 р. було присуджено К.Ф. Тяпкіну та О.Б. Гінтову за працю «Закономірності деформації верхньої частини тектоносфери Землі, встановлені теоретичними і експериментальними методами», а премію ім. В.І. Вернадського отримали Е.Я. Жовинський та І.В. Кураєва за роботу «Геохімія мікроелементів та її прикладне значення» (Цибань, 2018).

У 1996 р. на базі ліквідованих Відділення радіогеохімії навколишнього середовища та Відділення металогенії Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України було створено



Рика Вацлав (Ryka Waclaw) (1931–1996) – знаний польський геолог, фахівець в галузі петрології, мінералогії, геохімії, генезису корисних копалин, доктор габілітований (1969), професор (1976), іноземний член НАН України (1995).

Вацлав Рика народився 23 липня 1931 р. у Львові. У 1945 р. родину було переселено до Кракова, де він навчався на геолого-пошуковому факультеті Гірничо-металургійної академії (1951–1956). Від цього часу і до кінця життя його діяльність пов'язана з Державним геологічним інститутом (Варшава), де він пройшов усі щаблі професійної кар'єри від практиканта до директора цієї провідної геологічної наукової установи Польщі. У 1961 р. очолював лабораторію кристалічних порід, а у 1976 – лабораторію петрографії і геохімії магматичних та метаморфічних порід. У серпні 1982 р. його було призначено директором Державного геологічного інституту. Саме під час його керівництва Інститутом набули систематичного характеру контакти з вченими-геологами України, насамперед з науковцями Інституту геології і геохімії горючих копалин АН УРСР, які в подальшому розвинулися у тісне різнобічне наукове співробітництво. Залишивши у 1989 р. посаду директора, В. Рика продовжив працювати керівником відділу петрології Інституту.

Вченим було отримано вагомі результати про геологічну будову глибокого кристалічного фундаменту північно-східної Польщі, що знайшло відображення у фундаментальному «Геологічному атласі кристалічного фундаменту польської частини Східноєвропейської платформи» (1982). Список його публікацій налічує 207 назв, серед яких низка цінних довідкових видань: «Каталоги хімічних аналізів порід і мінералів Польщі» (серії 1958–1962, 1963–1967, 1968–1980 рр.), «Стратиграфічний словник» (1968), «Профілі глибоких свердловин Державного геологічного інституту» (серія від 1972 р.), «Петрографічний словник» (1982, 1991).



Державний науковий центр радіогеохімії навколишнього середовища НАН та МНС України. Рішення про створення Наукового центру подвійного підпорядкування було прийнято спільною постановою Президії НАН України і Міністерства України у справах захисту населення від наслідків аварії на Чорнобильській АЕС від 4 січня 1996 р. Директором Центру був призначений академік НАН України Е.В. Соболевич.

Центр створено з метою організації, координації наукових досліджень та проведення науково-виробничих робіт, спрямованих на встановлення закономірностей поведінки радіонуклідів та хімічних елементів природного і техногенного походження в навколишньому середовищі, підготовки рекомендацій по оздоровленню екологічної ситуації в Україні, включаючи питання реабілітації і дезактивації Зони відчуження ЧАЕС та інших територій, що зазнали шкідливого впливу від техногенних аварій та природних катастроф з метою повернення її в народне господарство. Також передбачалось наукове супроводження геологорозвідувальних та вишукувальних робіт щодо технологічних розробок уранової промисловості і поводження з радіоактивними відходами (РАВ), зберігання і захоронення РАВ у глибоких геологічних формаціях, вирішення комплексних питань геології та моніторингу навколишнього середовища (атмосфера, гідросфера, літосфера, біосфера) для народногосподарських потреб МНС України.

У 2000 р. Центр був перейменований на Державну установу «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук та Міністерства надзвичайних ситуацій України», а у 2004 р. – включений до Відділення ядерної фізики та енергетики НАН України (Наукові..., 2013).

Державний науковий центр радіогеохімії навколишнього середовища подвійного підпорядкування – НАН та МНС України (Національна..., 2018).

У 1997 р. у Відділенні геодинаміки вибуху Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України були розроблені нові перспективні технології інтенсифікації видобутку нафти, газу, руд та інших корисних копалин на основі побудованої моделі геофізичного середовища з урахуванням структурних та нерівноважних фізико-хімічних перетворень (член-кореспондент НАН України В.А. Даниленко). Версію першого міждисциплінарного океанографічного банку даних для Чорного моря було створено в Морському гідрофізичному інституті НАН України під керівництвом члена-кореспондента НАН України В.М. Єремеєва. В Інституті геологічних наук запропоновано осадково-неорганічну теорію формування нафтових і газових родовищ (академік НАН України І.І. Чибаненко). Виконаний Інститутом географії НАН

України ретроспективний морфоструктуро-неотектонічний аналіз районів розташування АЕС дозволив встановити наявність успадкованої і неуспадкованої у часі і просторі геотектонічної активності в їх межах (Національна..., 2018).

Постановою Президії НАН України у 1997 р. була заснована премія ім. С.І. Субботіна за видатні наукові досягнення в галузі геофізики, гідрофізики, наукового приладобудування, метрології та фізики атмосфери. Того ж року премію ім. В.І. Вернадського отримала В.П. Палієнко за монографію «Новітня геодинаміка та її відображення в рельєфі України» (Цибань, 2018).

У 1997 р. дійсним членом НАН України був обраний В.М. Єремеєв (океанологія), членами-кореспондентами стали С.О. Довгий (геодинаміка навколишнього середовища) і Ю.М. Сеньковський (геологія, геохімія). Іноземним членом НАН України було обрано відомого японського геолога Х. Аокі (Палій, Храмов, 2013).



Довгий Станіслав Олексійович (1954 р. н.) – відомий український вчений у галузі геодинаміки навколишнього середовища, доктор фізико-математичних наук (1996), професор (1996), член-кореспондент НАН України (1997), академік НАН України (2018), член-кореспондент Національної академії педагогічних наук України (1999), президент Малої академії наук (2000), заслужений діяч науки і техніки України (2001), лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки (2005), в галузі освіти (2012) та премії ім. Є.К. Лазаренка (2022).

С.О. Довгий у 1976 р. закінчив механіко-математичний факультет Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка. Трудову діяльність розпочав викладачем фізики у Київській середній школі № 6 (1971–1972), потім працював інженером Інституту автоматизації Міністерства приладобудування, засобів автоматизації та систем керування СРСР, м. Київ (1972–1974). В подальшому в Інституті гідромеханіки АН УРСР пройшов шлях від аспіранта до завідувача відділу (1976–1991). Упродовж 1988–1997 рр. працював директором науково-виробничого об'єднання «Топаз-Інформ» Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи та Українського інституту досліджень навколишнього середовища і ресурсів при Раді національної безпеки і оборони України (1997–1998) (Відділення..., 2003).

С.О. Довгий обіймав високі урядові посади, а саме: міністр у справах науки і технологій України (1998–1999), голова Державного комітету України з питань науки та інтелектуальної власності (1999–2000), голова правління ВАТ «Укртелеком» (2000–2001), голова Державного комітету зв'язку та інформатизації України (2001–2002). Упродовж десяти років (2002–2012) обирався народним депутатом України IV, V та VI скликань. У 2004–2007 рр. – віцепрезидент Українського союзу промисловців і підприємців України, а у 2005–2007 рр. – віцепрезидент Федерації роботодавців України. Але його головною заслугою слід вважати заснування у 2000 р. Малої академії наук України, яка не має аналогів у світі.

Сфера наукових інтересів вченого охоплює різноманітні питання, пов'язані з обчислювальною математикою, математичним моделюванням, геодинамікою навколишнього середовища та інформаційно-комунікаційними технологіями. Розроблена ним нестационарна нелінійна модель вихрових течій лягла в основу комплексного підходу при дослідженнях міграції хімічних та радіоактивних забруднень в атмосфері і гідросфері в результаті Чорнобильської катастрофи (Відділення..., 2003).

З 2001 р. С.О. Довгий – засновник, директор, наразі почесний директор Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України. Він – автор близько 500 наукових праць (одноосібних чи у співавторстві) з обчислювальної математики, математичного моделювання, геодинаміки навколишнього середовища та інформаційно-комунікаційних технологій, в тому числі 38 патентів та авторських свідоцтв, 42 монографій, підручників та енциклопедичних видань. Вчений виховав 30 кандидатів і докторів наук, створив наукову школу з нелінійної нестационарної динаміки, що поєднує аналітичні, обчислювальні та експериментальні методи.

С.О. Довгий нагороджений орденом князя Ярослава Мудрого V ступеня, орденом «За заслуги» I–III ступенів (2012, 2009, 2004), Почесними грамотами Верховної Ради і Кабінету Міністрів України, а також численними відомчими відзнаками міністерств України, НАН України, Національної академії педагогічних наук України та низки міжнародних організацій та установ. Малій планеті № 12189 Сонячної системи присвоєно ім'я «Довгий».



Сеньковський Юрій Миколайович (1931–2016) – відомий український вчений у галузі геологічної літології, теоретичної мінералогії, геологічної та геохімічної палеоокеанографії, доктор геолого-мінералогічних наук (1975), професор (1985), член-кореспондент НАН України (1997), лауреат премії ім. В.І. Вернадського НАН України (1994).

У 1955 р. Ю.М. Сеньковський закінчив геологорозвідувальний факультет Львівського політехнічного інституту та залишився працювати на кафедрі петрографії і мінералогії. З 1959 р. перебував у аспірантурі і на науковій роботі в Інституті геології і геохімії горючих копалин АН УРСР, де в різні роки обіймав посади старшого інженера, молодшого та старшого наукового співробітника, вченого секретаря Інституту. З 1980 р. і до останніх днів очолював відділ седиментології провінції горючих копалин.

Ю.М. Сеньковський збагатив геологічну науку працями в галузі седиментології давніх континентальних окраїн океану Тетис, опрацював теорії, які пояснюють походження глобальних процесів фосфатогенезу, океанського та морського мезозой-кайнозойського силіцито- та карбонатуотворення, формування Південно-Європейського апвелінгового поясу з лавинною седиментацією біогенів. У його доробку – оригінальна наукова концепція, в основі якої лежать уявлення про сучасні регіони нагромадження вуглецевмісних відкладів як майбутніх нафтогазоносних провінцій. Теорії біогенного седиментогенезу і літогенезу осадових формацій та пов'язаних з ними корисних копалин давніх континентальних окраїн він розглядав з позицій концепції тектоніки літосферних плит.

Ю.М. Сеньковський є автором понад 300 наукових праць, в тому числі 18 монографій і 25 літолого-палеогеографічних та геологічних карт Центральної Європи та Євразії. Особливо важливе місце посідають такі його монографії, як «Літогенез кременистих товщ південного заходу СРСР» (1977) і «Волино-Поділля у крейдовому періоді» (1987) та ін. (Відділення..., 2003).



Аокі Хітоші (Aoki Hitoshi) (1930–2013) – знаний японський вчений в галузі геології моря, доктор геології (1961), іноземний член НАН України (1997).

У 1953 р. закінчив університет Шіншуу в м. Мацумото. У 1961 р. захистив докторську дисертацію «Регіональний метаморфізм і гранітизація в районі Йорідані-Отані північно-західного метаморфічного регіону Хіда». З 1966 р. – професор Токійського університету, у 1988–1996 рр. – також директор Музею природничої історії цього університету.

Х. Аокі плідно співпрацював з академіками НАН України Є.Ф. Шнюковим та Є.О. Кулішем у напрямі морських досліджень геології і геохімії залізо-марганцевих конкрецій. Наукові праці Х. Аокі стосуються проблем петрології, вулканології, рудних родовищ, морської геології. Серед них: «Concerning the Criteria for Granitization» (1964), «Геологія морських глибин» (1970, япон.), «Підводні вулкани» (1975, япон.), «Volcanoes and Tectonosphere» (1976), «Про плагіограніти, уперше підняті з підводного хребта Кюсю-Палау (Філіпінське море)» (1977), «Geology of the Erimo Seamount» (1984), «Tectonic Importance of North Korea in East Asia: Archean Era» (1985), «Cobalt-Rich Manganese Crust» (1990) та ін. Х. Аокі неодноразово перебував в Україні, брав участь у відзначенні 125-річного ювілею В.І. Вернадського (1988), в Ювілейній сесії НАН України (1998), виступав з науковими доповідями в Інституті геологічних наук НАН України, на Загальних зборах Відділення наук про Землю НАН України тощо.

Постановою Президії НАН України від 20 жовтня 1998 р. згідно з розпорядженням Кабінету Міністрів України і Міністерства вугільної промисловості України до складу Відділення наук про Землю НАН України був включений Український державний науково-дослідний і проєктно-конструкторський інститут гірничої геології, геомеханіки і маркшейдерської справи.

У 1999 р. постановою Президії НАН України було створено Океанологічний центр НАН України з метою комплексного вивчення Азово-Чорноморського басейну та стратегічно важливих для України районів Світового океану, глобальних та регіональних варіацій клімату, вирішення проблем раціонального використання природних ресурсів та зниження негативних наслідків антропогенного впливу на прибережні акваторії,

який очолив академік НАН України В.М. Єремєєв. У 2000 р. Державний науковий центр радіогеохімії навколишнього середовища НАН та МНС України реорганізовано в Державну установу «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук та Міністерства надзвичайних ситуацій України» (Національна..., 2018).

Державну премію України в галузі науки і техніки було присуджено: М.П. Щербакі, К.Ю. Єсипчуку, І.Б. Щербакі, С.В. Нечаєву, Б.Ф. Міцкевичу, Є.О. Кулішу, Ю.П. Мельнику, Р.Я. Белєвцеву, В.Б. Ковалю та Г.І. Каляєву (1998) – за цикл робіт «Геохімія, петрологія і рудоносність докембрію України»; А.Г. Шапарю і С.З. Поліщуку (1999) – за створення високоефективних еколого-орієнтованих технологій видобутку корисних копалин на основі керування станом гірничого



Український державний науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут гірничої геології, геомеханіки і маркшейдерської справи НАН України свою історію розпочав зі створення у 1929 р. науково-дослідної групи тресту «Донвугільля». Після відкриття у 1932 р. у Ленінграді Центрального науково-дослідного маркшейдерського бюро (ЦНДМБ) ця група увійшла до його структури як Харківська група ЦНДМБ, а з 1944 р. – як Донецьке відділення ЦНДМБ. В 1945 р. ЦНДМБ було перетворено у Всесоюзний науково-дослідний маркшейдерський інститут (ВНДМІ), а Донецьке відділення ЦНДМБ – в Український філіал ВНДМІ. Останній, з набуттям незалежності України, наказом Держвузлепрому в грудні 1992 р. був перейменований на Український державний науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут гірничої геології, геомеханіки і маркшейдерської справи (УкрНДМІ), а у 1996 р. набув статус подвійного підпорядкування Мінвузлепрому України та НАН України. У 1998 р. УкрНДМІ увійшов до складу Відділення наук про Землю НАН України. Впродовж 1992–2004 рр. УкрНДМІ очолював М.Я. Азаров, а у 2004–2014 рр. – А.В. Анциферов, які були обрані членами-кореспондентами НАН України відповідно у 1997 і 2012 рр. (у 2022 р. виключені з персонального складу НАН України за підтримку збройної агресії проти України).

Інститут виконував науково-технічні дослідження з такої проблематики: прогноз і запобігання раптовим гірським ударам, зміцнення порушених гірських масивів, охорона гірничих виробок газобетонними кріпленнями та високоефективними зміцнювальними сумішами; розрахунок розмірів, форм пристволових запобіжних ціликів, параметрів кріплення стволів і пристволових виробок; прогнозна оцінка стану гірничих виробок при різних системах розробки тощо (Наукові..., 2013).

Після російської збройної агресії на сході України УкрНДМІ постановою Бюро Президії НАН України від 26 грудня 2018 р. № 345 був перейменований на Державну установу «Науковий центр гірничої геології, геоелектрогеології та розвитку інфраструктури НАН України» і підпорядкований Президії НАН України із збереженням науково-методичного керівництва за Відділенням наук про Землю НАН України.



Жовинський Едуард Якович (1934 р. н.) – відомий український вчений-геолог, доктор геолого-мінералогічних наук (1987), професор (1992), член-кореспондент НАН України (2000), заслужений діяч науки і техніки України (1998), лауреат премії Ради Міністрів СРСР (1991), премії ім. В.І. Вернадського НАН України (1996), Державної премії України в галузі науки і техніки (2006).

Після закінчення у 1956 р. геологічного факультету Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка Е.Я. Жовинський працював у тресті «Київгеологія» Міністерства геології УРСР, де пройшов шлях від польового геолога до начальника партії (1956–1968). Без відриву від виробництва навчався в аспірантурі Інституту геологічних наук під керівництвом академіка НАН України Л.Г. Ткачука (1964–1968). Від 1968 р. працював в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України: завідувач лабораторії літогеохімічних методів пошуків корисних копалин (1971–1988), від 1989 р. – завідувач відділу пошукової та екологічної геохімії. Впродовж 1987–2008 рр. обіймав посаду заступника директора з наукової роботи. У 1994–2004 рр. був заступником академіка-секретаря Відділення наук про Землю.

Наукові інтереси вченого пов'язані з геологією і тектонічною будовою Дніпровсько-Донецької западини, Українського щита, Поділля та інших територій, речовинним складом гірських порід, геологічними процесами та закономірностями розміщення корисних копалин. Він обґрунтував та розвинув декілька перспективних напрямів у геології, серед яких принциповою новизною відрізняються роботи з пошукової та екологічної геохімії, рудоутворення, прогнозування та пошуків рудних і нерудних корисних копалин, геохімії доквілля. Вчений брав участь у відкритті родовищ флюориту, рудопроявів сульфідних та рідкіснометалевих руд, напівдорогоцінного каміння, будівельних матеріалів, мінеральних вод та інших корисних копалин. Е.Я. Жовинський є засновником і головним редактором збірника наукових праць «Пошукова та екологічна геохімія» (70-річчя..., 2004).

масиву і впровадження їх на кар'єрах України»; В.М. Єремєєву, М.П. Булгакову, В.О. Іванову, Е.В. Соболичу, Є.Ф. Шнюкову, Г.М. Орловському, П.Ф. Гожику, О.Ю. Митропольському, В.Х. Геворк'яну та В.І. Беляєву (посмертно) (2000) – за цикл праць «Регіональна океанологія: стан середовища та мінерально-сировинні ресурси Атлантичного, Індійського, Південного океанів та їх морів» (Національна..., 2018).

Премію ім. В.І. Вернадського НАН України отримали: М.А. Воронова (1998) – за монографію «Паліостратиграфія нижньої крейди та розвиток ранньокрейдових флор України»; М.П. Бул-

гаков і С.М. Булгаков (1999) – за цикл робіт «Формування та взаємозв'язок великомасштабної циркуляції і стратифікації вод Чорного моря». Перша премія ім. С.І. Суботіна НАН України у 2000 р. була присуджена К.Ф. Тяпкіну за підручник «Фізика Землі» (Цибань, 2018).

У 2000 р. членами-кореспондентами НАН України були обрані Е.Я. Жовинський (гірнична екологія), В.О. Іванов (океанографія), Є.І. Патаха (геотектоніка) і М.А. Якимчук (геологія горючих копалин). Іноземним членом НАН України зі спеціальності «геологія» був обраний знаний фахівець з Польщі Т. Перит (Палій, Храмов, 2013).



Іванов Віталій Олександрович (1946–2019) – відомий вчений-океанограф, доктор фізико-математичних наук (1989), професор (1990), член-кореспондент НАН України (2000), академік НАН України (2009), заслужений діяч науки і техніки України (1998), лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки (2000) та премії ім. В.І. Вернадського НАН України (2007).

Після закінчення Туапсинського гідрометеорологічного технікуму В.О. Іванов навчався на механіко-математичному факультеті Азербайджанського державного університету (1968–1974), згодом – в аспірантурі Московського державного університету ім. М.В. Ломоносова (1974–1977). Від 1978 р. працював у Морському гідрофізичному інституті: від 1985 р. – завідувач відділу гідрофізики шельфу, водночас упродовж 2000–2014 рр. очолював Інститут.

В.О. Іванов зробив вагомий внесок у розроблення технології комплексного моніторингу Чорного й Азовського морів, дослідження закономірностей функціонування морських екосистем в умовах антропогенного впливу, розроблення наукових основ комплексного використання природних ресурсів шельфу та захисту узбережжя Чорного й Азовського морів, особливо у місцях нафтовидобування, днопоглиблювальних робіт і розведення марикультури.

У науковому доробку вченого налічується 320 праць, опублікованих у вітчизняних і зарубіжних виданнях, зокрема 14 монографій, два підручники, п'ять навчальних посібників. Під його керівництвом підготовлено і захищено 12 кандидатських і дві докторські дисертації (60-річчя..., 2006).



Паталаха Євген Іванович (1933–2006) – відомий вчений-геолог, доктор геолого-мінералогічних наук (1971), професор (1988), член-кореспондент АН Казахської РСР (1988), член-кореспондент НАН України (2000), лауреат Державної премії СРСР (1985) та Державної премії України в галузі науки і техніки (2005).

Після закінчення з відзнакою Новочеркаського політехнічного інституту за спеціальністю «геологія і розвідка корисних копалин» Є.І. Паталаха працював в Інституті геологічних наук ім. К.І. Сатпаєва АН Казахстану: завідувач лабораторії структурно-тектонічного аналізу (1960–1992), від 1974 р. – заступник директора. У 1992 р. він повертається до України, де працює спочатку в Інституті геологічних наук головним науковим співробітником, а від 1999 р. очолює відділ тектоніки у Відділенні морської геології та осадового рудоутворення НАН України.

Наукові дослідження вченого стосувалися загальної, регіональної та генетичної тектоніки. Він розвинув метод тектоно-фаціального аналізу для прогнозування та пошуків корисних копалин. Здійснив розвідку низки родовищ радіоактивної сировини. Його перу належать до 500 наукових публікацій, серед них 20 монографій. Як педагог підготував близько 30 докторів і кандидатів наук (Відділення..., 2003).



Якимчук Микола Андрійович (1954 р. н.) – знаний вчений в галузі геофізичних методів, комп'ютерних технологій, геоінформатики та нафтогазової геології, доктор фізико-математичних наук (1998), професор (2000), член-кореспондент НАН України (2000), заслужений діяч науки і техніки України (2004).

М.А. Якимчук закінчив геологічний (1976) та механіко-математичний (1983) факультети Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка. Навчався в аспірантурі Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна АН УРСР (1976–1979), згодом працював науковим співробітником Інституту. У 1985–1986 рр. завідував петрофізичною лабораторією Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка. З 1986 р. – доцент, а від 1989 р. – завідувач кафедри геофізичних методів Київської філії Інституту підвищення кваліфікації Міністерства геології СРСР. З 1992 р. – проректор Державного інституту бізнесу, менеджменту та перепідготовки кадрів Держкомгеології України. З 1994 р. – генеральний директор Закритого акціонерного товариства (ЗАТ) «Карбон». З 1998 р. – директор ЗАТ «Інститут прикладних проблем екології, геофізики та геохімії». У 1999 р. заснував і очолює Центр менеджменту та маркетингу в галузі наук про Землю Інституту геологічних наук НАН України.

М.А. Якимчук активно займається впровадженням нової парадигми геофізичних досліджень, що ґрунтується на нетрадиційних геоелектричних методах, є розробником методу прямих пошуків і розвідки вуглеводнів через встановлення зв'язку між атмосферною електрикою і геологічною будовою Землі. Він приділяє велику увагу різноманітним питанням фундаментальної та прикладної геологічної науки, управління науковим і навчальним процесом, сучасного менеджменту та маркетингу в галузі наук про Землю (Відділення..., 2003; 60-річчя..., 2014).



Перит Тадеуш (Peryt Tadeusz) (1949 р. н.) – відомий польський геолог, фахівець у галузі літології, седиментології, геології корисних копалин, доктор габілітований (1987), професор (1992), іноземний член НАН України (2000).

Т. Перит у 1972 р. закінчив геологічний факультет Варшавського університету, одночасно з 1970 р. працював у лабораторії палеонтології Інституту геологічних наук Польської академії наук, а потім у відділі геологічних досліджень об'єднання «Геонафта». З 1974 р. основна діяльність вченого пов'язана з Державним геологічним інститутом, де він працював у відділах геології покладів нафти і газу, геології хімічних покладів, геології мінеральної сировини, був заступником директора з наукової роботи (1998–2000) та очолював цю наукову установу в 2001 і 2005–2008 рр. Останнім часом вчений працює у відділі покладів корисних копалин і господарської геології Державного геологічного інституту.

Наукові інтереси Т. Перита охоплюють широке коло проблем седиментології, літології, геохімії, біо- та літостратиграфії, геодинаміки фанерозою як основи пошуків і розвідки покладів нафти та газу, міді, солей, гіпсу, сірки та інших корисних копалин. Вчений є автором понад 300 наукових праць, серед найвідоміших можна назвати такі: «Facies, paleogeography, and sedimentary history of the Southern Permian Basin in Europe» (1995); «Strontium geochemistry of Miocene primary gypsum: Messinian of southeastern Spain and Sicily and Badenian of Poland» (1998); «Carpathian Foredeep Basin (Poland and Ukraine): its sedimentary, structural, and geodynamic evolution» (2006) та ін. Протягом 1991–2001 рр. Т. Перит був головним редактором журналу «Przegląd Geologiczny» – провідного періодичного наукового геологічного видання Польщі, а у 2012–2018, 2019–2023 рр. і з 2024 р. – журналу «Geological Quarterly».

Вчений доклав і докладає значних зусиль до розвитку наукового співробітництва польських та українських геологів. Він неодноразово був організатором виконання українсько-польських наукових проектів, стажування українських науковців у Польщі, підготовки спільних публікацій, конференцій тощо. Є членом редколегій українських наукових журналів.

Відділення наук про Землю НАН України на початку нового тисячоліття (2001–2013 рр.)

На початку нового тисячоліття в Інституті геологічних наук НАН України створено мапу розломної тектоніки і нафтогазоносності Дніпровсько-Донецького рифтогену масштабом 1:200 000 (член-кореспондент НАН України В.К. Гавриш). У Науково-інженерному центрі радіогідрогео-екологічних полігонних досліджень НАН України розроблено Класифікацію мінеральних вод України (академік НАН України В.М. Шестопалов). У Відділенні геодинаміки вибуху Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України розроблено алгоритми і програми математичного моделювання термомеханічної еволюції структурованої нерівноважної літосфери (член-кореспондент НАН України В.А. Даниленко, Д.Б. Венгерович, В.П. Нагорний).

Постановою Президії НАН України від 27 квітня 2001 р. Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України набув подвійного підпорядкування – НАН України та Держкомгеології України. В ухваленому Верховною Радою України 7 лютого 2002 р. Законі України «Про особливості правового режиму діяльності Національної академії наук України, галузевих академій

та статусу їх майнового комплексу» вперше на законодавчому рівні утверджено загальнодержавний статус НАН України як вищої державної наукової організації України, яка організовує і здійснює фундаментальні та прикладні наукові дослідження, а також координує проведення фундаментальних досліджень із проблем природознавства, технічних і соціально-гуманітарних наук у наукових установах та організаціях України (Національна..., 2018).

У 2001 р. Державну премію в галузі науки і техніки було присуджено вченим Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України О.Н. Третьяку, В.М. Завойському, О.М. Русакову, А.М. Глеваській, Н.П. Михайлові та В.М. Цикорі за палеомагнітні дослідження в Україні (теорія, методологія та впровадження в практику нового напрямку в галузі наук про Землю) (Національна..., 2018).

Премію ім. В.І. Вернадського НАН України отримали: О.Ю. Лукін (2001) – за монографію «Літогеодинамічні фактори нафтогазоносності в авлакогенних басейнах» (1997) та Л.Г. Руденко й О.Є. Литвиненко (2003) – за CD «Атлас України». Премію ім. С.І. Субботіна НАН України одержали Є.Г. Булах і В.М. Шуман (2002) – за навчальний посібник «Основи векторного аналізу і теорія поля» (Цибань, 2018).

З нагоди святкування 85-річчя створення Академії у 2003 р. Президією НАН України засновано Золоту медаль на честь першого президента Української академії наук – видатного вченого, академіка Володимира Івановича Вернадського з метою відзначення вчених за видатні досягнення в галузі природничих, технічних та соціогуманітарних наук, наукові праці, відкриття та винаходи, що мають важливе наукове і практичне значення та утворюють авторитет української науки.

Згідно з постановою Президії НАН України від 24.12.2003 р. була започаткована Цільова

комплексна програма наукових досліджень НАН України «Мінеральні ресурси України та їх видобування» (2004–2009), в рамках якої щороку розроблялося 32 проекти 18 установами з шести Відділень НАН України (Старостенко, 2021).

На виборах до НАН України у 2003 р. членами-кореспондентами були обрані М.В. Багров (географія), О.Ю. Митропольський (геологія) та А.Г. Шапар (геохімія). Іноземним членом НАН України за спеціальністю «морська геологія» був обраний відомий дослідник залізо-марганцевих конкрецій Світового океану Р. Котлінський (Польща) (Палій, Храмов, 2013).



Багров Микола Васильович (1937–2015) – відомий вчений-географ, державний та політичний діяч, доктор географічних наук (2001), професор (1995), член-кореспондент НАН України (2003), академік НАН України (2010), заслужений працівник освіти України (1997), лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки (2004), Герой України (2007).

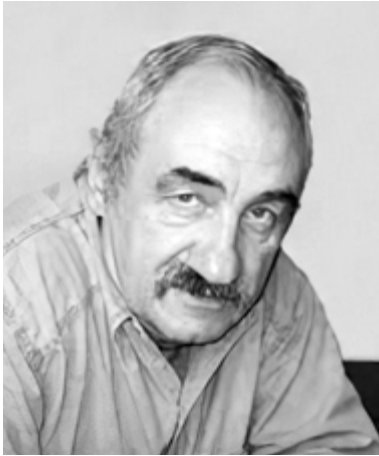
Після закінчення з відзнакою у 1959 р. природничо-географічного факультету Кримського педагогічного інституту ім. М.В. Фрунзе М.В. Багров працював учителем географії (1959–1961). З 1961 р. – інженер-геолог Інституту мінеральних ресурсів АН УРСР у Сімферополі. У 1963–1966 рр. навчався в аспірантурі на кафедрі економічної географії Кримського педагогічного інституту ім. М.В. Фрунзе, де після захисту у 1967 р. у Московському державному університеті ім. М.В. Ломоносова кандидатської дисертації продовжив працювати асистентом, старшим викладачем, виконувачем обов'язків доцента.

З 1970 по 1994 р. М.В. Багров займався державною і політичною діяльністю в Криму і Москві. У 1991 р. його обрано Головою Верховної Ради Криму. Одним із головних результатів державно-політичної діяльності М.В. Багрова стало відтворення Кримської автономії, прийняття Конституції республіки і створення на цій основі концепції режиму відкритої економіки в Криму.

У 1994 р. М.В. Багров повертається до науково-педагогічної діяльності. До 1999 р. він – проректор з перспективного розвитку, завідувач кафедри економічної і соціальної географії, проректор з наукової роботи, а від 1999 р. – ректор Сімферопольського державного університету ім. М.В. Фрунзе. На цій посаді він зробив значний внесок у розвиток цього навчального закладу як центру освіти, науки і культури Криму. З його ініціативи вишу було повернуто історичне ім'я Таврійський університет, присвоєно статус національного. Істотно розширено матеріальну базу університету, створено 10 нових кафедр, відкрито шість факультетів, здійснено капітальну реконструкцію більшості будинків, оновлено бібліотечний фонд. Таврійський національний університет увійшов до складу Євразійської асоціації університетів, уклав договори з провідними університетами України та Європи. М.В. Багров очолював Таврійський національний університет ім. В.І. Вернадського до 2014 р.

Сфера наукових інтересів вченого охоплювала проблеми розвитку і розміщення продуктивних сил України, транспортно-економічні зв'язки, геополітику, політичну екологію, регіональну економіку, трансформацію господарських комплексів в умовах переходу до ринкових відносин, електоральну та рекреаційну географію (Шнюков, Коболєв, 2015).

Внесок М.В. Багрова у розвиток науки й освіти відзначено званням «Заслужений працівник освіти України» (1997) та орденом князя Ярослава Мудрого V ступеня (2002), його нагороджено Золотою медаллю ім. В.І. Вернадського (2013).



Митропольський Олексій Юрійович (1942–2021) – знаний український вчений-геолог, доктор геолого-мінералогічних наук (1989), професор (1991), член-кореспондент НАН України (2003), лауреат премії ім. В.І. Вернадського АН УРСР (1985) та Державної премії України в галузі науки і техніки (2002), заслужений діяч науки і техніки України (2007).

Після закінчення геологічного факультету Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка у 1965 р. О.Ю. Митропольський працював техніком-геологом на Приполярному Уралі. Від 1968 р. розпочав наукову роботу в Інституті геологічних наук АН УРСР: завідувач відділу сучасного морського седиментогенезу (1987–2015), заступник директора з наукової роботи та одночасно голова відділення геології океанів і морів (1992–2015), радник при дирекції Інституту (2015–2021).

О.Ю. Митропольський – відомий дослідник Світового океану. Його наукові праці стосуються широкого кола проблем у галузях геохімії та гідрохімії донних відкладів, морської геології, седиментології, геоекології, ландшафтознавства, визначення стану забруднення морських акваторій. Він – один з ініціаторів Першої спеціалізованої геолого-геофізичної (металогенічної) експедиції до Індійського океану на НДС «Академік Вернадський» (1978–1979). Починаючи з 1984 р. Олексій Юрійович очолював три спеціалізовані геолого-геофізичні експедиції НДС «Професор Колесніков» на гвінейський шельф Західної Африки.

В науковій спадщині вченого унікальні геологічні дослідження Чорного та Червоного морів, Атлантичного та Індійського океанів, Антарктиди. Їх результати дозволяють розкрити глибинні зв'язки і закономірності геологічного розвитку гетерогенних процесів седиментогенезу і літогенезу у зв'язку з тектогенезом, магматизмом та еволюцією біосфери. Під його керівництвом було підготовано Геолого-геофізичний атлас шельфу економічної зони Гвінейської Республіки та п'ять томів наукової праці «Геологія та металогенія Світового океану».

О.Ю. Митропольський поєднував наукову діяльність з викладацькою. Він опікувався науковою молоддю, підготував 18 кандидатів і чотирьох докторів наук, які продовжують його справу – дослідження Світового океану (Ольштинська, Довбиш, 2021).



Шапар Аркадій Григорович (1936–2021) – відомий вчений в галузі гірничих наук, доктор технічних наук (1978), професор (1982), член-кореспондент НАН України (2003), лауреат премії ім. А.Н. Динника АН УРСР (1980) та Державної премія України в галузі науки і техніки (1999), заслужений діяч науки і техніки України (2000).

А.Г. Шапар здобув вищу освіту в Новочеркаському політехнічному інституті за фахом «маркшейдерська справа». Впродовж 1959–1962 рр. працював майстром кар'єру, головним маркшейдером Управління з видобутку та переробки нерудних будівельних матеріалів Чечено-Інгуського раднагоспу. 1962–1988 рр. – період роботи в Інституті геотехнічної механіки Академії наук УРСР (м. Дніпропетровськ): аспірант, молодший, старший науковий співробітник, завідувач відділу. У 1988 р. при Інституті за його ініціативи було створене Відділення проблем природокористування та регіональної економіки, на базі якого у 1991 р. був заснований Інститут проблем природокористування та екології АН України, беззмінним керівником яких був Аркадій Григорович.

А.Г. Шапар розробляв проблеми раціонального природокористування, сталого розвитку, техногенної та екологічної безпеки. Він зробив вагомий внесок у розвиток геомеханіки природних і техногенних масивів гірничих порід. Сформульованим науковим основи керування природними і техногенними масивами шляхом статичних і динамічних фізико-хімічних впливів на гірничі породи були визнані новим науковим напрямом. На базі цих фундаментальних наукових результатів Аркадієм Григоровичем були запропоновані способи гравітаційного відділення порід масивів і їх переміщення у заданому напрямку, які не мають аналогів у світовій практиці. За його участю були розроблені методичні засади комплексної системи моніторингу навколишнього природного середовища із залученням засобів дистанційного зондування Землі, наукові основи прискореної гірничо-технічної і біологічної рекультивациі території, ушкоджених гірничим виробництвом. Науковий доробок вченого налічує понад 400 праць, серед яких 37 монографій, дев'ять навчальних посібників, 60 авторських свідоцтв на винаходи та одне наукове відкриття (70-річчя..., 2006).



Котлінські Ришард (Kotliński Ryszard) (1947–2023) – відомий польський вчений в галузі морської геології, седиментології та металогенії, доктор габілітований (2000), професор (2011), іноземний член НАН України (2003). Генеральний директор міжнародного спільного підприємства «Інтерокеанметал» (1992–2011).

Ришард Анджей Котлінські у 1971 р. закінчив з відзнакою природничий факультет Вроцлавського університету. Після стажування в Лабораторії досліджень Балтики (Гдиня) розпочав роботу в регіональному осередку Державного геологічного інституту (ДГІ) в Сопоті (нині – відділ геології моря ДГІ у Гданьську), де у складі піонерської групи польських дослідників дна Балтійського моря брав участь у перших геологічних дослідницьких рейсах. У 1980–1987 рр. керував відділом геології моря ДГІ, розробляючи проблеми петрографії і седиментології морських осадових у аспекті пошуків і документування донних покладів осадових корисних копалин. Від початку своєї наукової діяльності вчений брав активну участь у міжнародній науковій співпраці стосовно металогенічної систематики родовищ Світового океану за проектами «Інтермор-гео» та «Інтерокеанметал».

З 2004 р. Р. Котлінські поєднував наукову роботу з викладанням на факультеті наук про Землю Щецінського університету, керуючи кафедрою геології моря. Як іноземний член НАН України активно сприяв залученню українських вчених, зокрема Відділення морської геології та осадового рудоутворення НАН України, до міжнародного наукового співробітництва. Він є автором низки картографічних узагальнень геодинамічної та металогенічної спеціалізації Світового океану.

Академіком-секретарем Відділення наук про Землю НАН України у 2004 р. був обраний академік НАН України В.М. Шестопапов.

У 2005 р. Відділенням наук про Землю НАН України разом з Державною геологічною службою Мінприроди України було створено робочу комісію з питань виконання «Комплексної програми робіт з наукового та методичного забезпечення регіональних геологічних досліджень». За дорученням Кабінету Міністрів України була підготовлена ґрунтовна аналітична записка «Наукове забезпечення проблем надрокористування». Розпорядженням Президії НАН України від 11 жовтня 2005 р. Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі при Інституті геологічних наук НАН України перейменовано на Державну установу (ДУ) «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України» (Національна..., 2018).

У 2006 р. Інститут геофізики відзначив 100-річчя від дня народження академіка НАН України С.І. Субботіна і провів Міжнародну конференцію з проблем сучасної геофізики, присвячену цій даті. 100-річчю від дня народження члена-кореспондента НАН України М.Р. Ладженського та 55-річчю Інституту геології і геохімії горючих копалин НАН України була присвячена Міжнародна наукова конференція «Проблеми геології та нафтогазоносності Карпат».

Серед найвагоміших результатів наукового пошуку установ Відділення наук про Землю НАН України в цей період варто, на нашу думку, відзначити такі. Інститутом геологічних наук НАН України визначені пріоритетні напрями освоєння нафтогазового потенціалу України

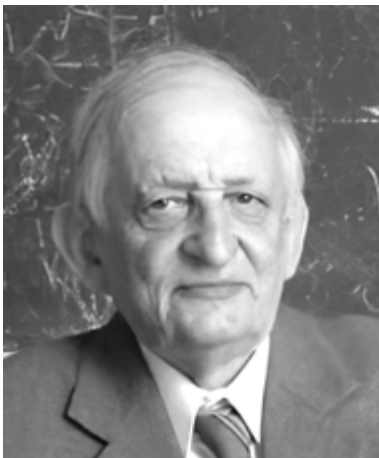
на основі комплексного вивчення перспективних об'єктів у гетерогенному і гетерохронному фундаменті та осадовому чохла. Також фахівцями Інституту було розроблено і впроваджено в практику комплекс атмогеохімічних, емаційних і термометричних досліджень, що дозволило обґрунтувати прогнозу оцінку найбільш перспективних площ та видати рекомендації щодо подальших пошуково-розвідувальних робіт на нафту і газ. В Інституті геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України створено технологічний комплекс для інтенсифікації видобутку енергоносіїв на нафтогазових родовищах України, використання якого на свердловинах у Полтавській області дозволило підвищити їх дебіт більше ніж вдвічі. Завдяки комплексним дослідженням дна Чорного моря фахівцями Відділення морської геології та осадового рудоутворення Національного науково-природничого музею НАН України виявлені нові прояви газо- та грязьовулканічної діяльності та складені карти-схеми перспективних районів розвитку газогідратів у приповерхневих донних відкладах. У рамках проєктів Black Sea GOOS (МОК ЮНЕСКО) та АРЕНА (Європейське співтовариство) в Морському гідрофізичному інституті були розроблені апаратура, методи і засоби безперервних довготривалих океанографічних спостережень, створені моделі циркуляції вод і екосистеми Чорного моря, реалізовані нові принципи проведення вимірювань, що створило основу для ефективного розвитку методів оперативної океанографії як елемента Міжнародної глобальної спостережної системи Чорного моря (Національна..., 2018).

Державну премію у галузі науки і техніки було присуджено: В.М. Шестоपालову, В.І. Ляльку, М.С. Огнянику, А.Б. Ситнікову, А.О. Сухороброву, В.В. Гудзенку, О.С. Скальському та Ю.Ф. Руденку (2004) – за цикл робіт «Наукові основи формування ресурсів підземних вод як джерела якісного водопостачання та раціонального господарського водокористування»; М.В. Багрову (у співавторстві, 2004) – за підручник «Землезнавство»; О.Д. Федоровському, Є.І. Патоласі, С.О. Довгому, М.О. Попову, О.І. Сахацькому, О.М. Трофимчуку, І.І. Рокитянському, С.В. Мотижеву (2005) – за цикл наукових праць «Розв’язання проблем раціонального природокористування методами аерокосмічного зондування Землі та моделювання геодинамічних процесів»; Е.Я. Жовинському, І.В. Кураєвій, А.І. Самчуку, В.О. Ємельянову, О.О. Орлову, І.Ф. Шраменку, В.В. Доліну та І.Л. Комову (2006) – за цикл робіт з геохімії тектогенезу: токсичні елементи у навколишньому середовищі України. Премію ім. С.І. Субботіна НАН України отримали В.Ю. Максимчук, Ю.М. Городинський і В.Г. Кузнєцова

(2004) за монографію «Динаміка аномального магнітного поля Землі». Премію ім. В.І. Вернадського НАН України у 2005 р. було присуджено В.О. Ємельянову за монографію «Основи морської геоєкології. Теоретико-методологічні аспекти» (Цибань, 2018).

21 квітня 2006 р. на сесії Загальних зборів НАН України з нагоди 20-ї річниці аварії на Чорнобильській АЕС з доповіддю «Уроки Чорнобиля. Із минулого в майбутнє» виступив академік-секретар Відділення наук про Землю НАН України В.М. Шестоपालов. 7 грудня 2006 р. постановою Президії НАН України Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України присвоєне ім'я видатного вченого М.П. Семененка (Національна..., 2013).

У 2006 р. дійсним членом НАН України був обраний П.Ф. Гожик (палеонтологія і стратиграфія), а членами-кореспондентами стали: Є.Г. Булах (геофізика), А.І. Гончар (океанографія), О.Ю. Лукін (геологія нафти і газу), М.І. Павлюк (геотектоніка нафтогазоносних провінцій) і О.М. Пономаренко (геохімія) (Палій, Храмов, 2013).



Булах Євген Георгійович (1924–2009) – видатний український вчений-геофізик, доктор фізико-математичних наук (1968), професор (1973), член-кореспондент НАН України (2006), лауреат Державної премії УРСР в галузі науки і техніки (1984), премії ім. С.І. Субботіна НАН України (2002).

Є.Г. Булах брав участь у бойових діях під час Другої світової війни, нагороджений орденом Червоної Зірки (1945), медалями «За бойові заслуги» (1944), «За перемогу над Німеччиною» (1945), «За взяття Кенігсберга» (1945) та ін.

У 1950 р. Є.Г. Булах закінчив Дніпропетровський гірничий інститут, де залишився працювати асистентом (1950–1957). Від 1957 р. – старший науковий співробітник відділу проблем підземної розробки родовищ, а від 1959 р. – завідувач обчислюваної лабораторії Інституту гірничої справи у Донецьку. З 1963 р. працював в Інституті геофізики АН УРСР завідувачем відділу математичної геофізики, а від 1990 р – головним науковим співробітником.

Основні напрями наукової діяльності Є.Г. Булаха стосувались теорії, методики і практичного застосування математичних методів для кількісної інтерпретації потенціальних полів (гравітаційних і магнітних), програмного забезпечення науково-дослідних робіт у геофізиці та задачах розвідки корисних копалин. Визнаний фахівець з розв’язання обернених задач у граві- та магнітометричних методах.

Упродовж 1965–1992 рр. Євген Георгійович викладав на геологічному факультеті Київського університету за сумісництвом курси «Теорія поля» та «Інтерпретація гравімагнітних даних на ЕОМ». Він – автор понад 260 наукових праць, серед яких вісім підручників. За підручник «Основи векторного аналізу і теорія поля» (у співавторстві з В.М. Шуманом) удостоєний премії ім. С.І. Субботіна НАН України. Під його науковим керівництвом захищено 30 кандидатських та чотири докторські дисертації.



Гончар Анатолій Іванович (1931–2016) – відомий вчений в галузі океанографії і гідроакустики, доктор технічних наук (1988), член-кореспондент НАН України (2006), заслужений діяч науки і техніки України (2002), лауреат Державної премії СРСР (1981).

Після служби в лавах Радянської Армії (1951–1956) А.І. Гончар навчався на радіотехнічному факультеті Львівського політехнічного інституту (1956–1961), по закінченню якого був направлений на роботу в Особливе конструкторське бюро Міністерства суднобудівної промисловості СРСР (м. Бельці, Молдова), де пройшов шлях від інженера до заступника генерального директора. Він був головним конструктором перших вітчизняних гідролокаторів бокового огляду і гідроакустичних комплексів.

Вченим виконано значний обсяг фундаментальних та прикладних досліджень з вивчення особливостей рельєфу і звукорозсіюючих характеристик морського дна, моноструктури водного середовища, забезпечення високої ймовірності виявлення донних об'єктів. Це дозволило йому створити основу загальної теорії панорамної гідролокації для досліджень Світового океану.

З 1993 р. А.І. Гончар очолював засновану ним у Запоріжжі єдину академічну установу – Науково-технічний центр панорамних акустичних систем НАН України, яка виконувала фундаментальні та прикладні дослідження з метою створення нових високоефективних панорамних гідроакустичних засобів. Під його керівництвом виконано значний обсяг фундаментальних та прикладних досліджень, спрямованих на вивчення особливостей рельєфу і звукорозсіюючих характеристик морського дна, моноструктури водного середовища, забезпечення високої ймовірності виявлення донних об'єктів на базі створеної загальної теорії панорамної гідролокації для досліджень Світового океану. Анатолій Іванович – автор понад 200 наукових праць в галузі панорамних гідроакустичних засобів для вивчення дна Світового океану, в тому числі шести монографій, понад 40 авторських свідоцтв на винахід СРСР та 20 патентів України.

У 2004 р. А.І. Гончар започаткував та став головним редактором щорічного наукового друкованого видання «Гідроакустичний журнал» (Федосєєнков, 2021).



Лукін Олександр Юхимович (1940 р. н.) – видатний вчений-геолог, доктор геолого-мінералогічних наук (1990), член-кореспондент НАН України (2006), академік НАН України (2012), лауреат Державної премії України у галузі науки і техніки (1991), премії ім. В.І. Вернадського НАН України (2001).

Після закінчення у 1962 р. геологічного факультету Харківського університету О.Ю. Лукін працював у Чернігівському відділенні Українського державного геологорозвідувального інституту (2003–2012 рр. – директор), водночас з 1992 р. – в Інституті геологічних наук НАН України: завідувач лабораторії проблем нафтогазоносності великих глибин (1991–1996), завідувач відділу літології нафтогазоносних та рудоносних формацій (1996–2003). Наразі він обіймає посаду головного наукового співробітника Інституту геологічних наук НАН України, очолює Наукову раду з проблеми «Походження нафти і газу».

До основних фундаментальних наукових результатів О.Ю. Лукіна слід віднести: розробку теоретичних основ закономірностей екранування вуглеводневих скупчень та їхньої фазово-геохімічної диференціації; встановлення гіпогенно-алоге-нетичної, метасоматичної природи вторинних колекторів на великих глибинах; відкриття ін'єкцій проникнення глибинної вуглеводнево-полімінеральної речовини у тріщини природного гідророзриву порід нафтогазоносних комплексів глибокого залягання; встановлення залежності між ізотопним складом водню різних видів нафти (конденсатів) та геодинамічними умовами нафтогазонакопичення; обґрунтування геосинергетичної концепції походження нафти і газу. Вчений керував низкою комплексних досліджень, за результатами яких було виділено нові зони нафтогазонакопичення в різновікових комплексах Дніпровсько-Донецького, Карпатського та Азово-Чорноморського регіонів.

Широка ерудиція в галузі природничих наук дозволила науковцю виявити глибокий взаємозв'язок між процесами дегазации Землі, хімічним мутагенезом і макроеволюцією. Результати наукових досліджень вченого широко відомі вітчизняній і закордонній геологічній спільноті не тільки завдяки публікаціям (він є автором понад 500 друкованих праць – статей, препринтів, монографій, карт тощо, двох винаходів), а також у зв'язку з його активною участю в конференціях, симпозіумах і конгресах в Англії, Австрії, Польщі, Туреччині, Італії, Норвегії, Німеччині, В'єтнамі, Литві, Азербайджані та інших країнах світу (Лукин..., 2010).



Павлюк Мирослав Іванович (1943 р. н.) – відомий український вчений- геолог-нафтовик, доктор геолого-мінералогічних наук (1997), член-кореспондент НАН України (2006), академік НАН України (2018), заслужений діяч науки і техніки України (2008), лауреат Державної премії України у галузі науки і техніки (2009).

Після закінчення геологічного факультету Львівського державного університету ім. Івана Франка за спеціальністю «геологія і розвідка родовищ корисних копалин» М.І. Павлюк з 1965 р. працює в Інституті геології і геохімії горючих копалин НАН України: інженер, старший інженер, молодший науковий співробітник (1965–1970), аспірант (1970–1973), вчений секретар (1974–1984), старший науковий співробітник (1984–1987), завідувач лабораторії проблем нафтогазоносності акваторій (1987–1988), з 1988 р. і по сьогодні – завідувач відділу геології нафти і газу. З 1998 р. обіймав посаду заступника директора з наукової роботи, з 2000 р. – виконувача обов'язків директора, а в лютому 2003 р. затверджений Президією НАН України на посаді директора Інституту геології і геохімії горючих копалин НАН України.

Головним напрямом наукових досліджень вченого є геологія нафти і газу, зокрема історія геодинамічного розвитку і реконструкція формування геоструктури нафтогазоносних провінцій, генезис вуглеводнів, геодинамічні режими та критерії нафтогазоносності. Базуючись на результатах новітніх геолого-геофізичних робіт і теоретичних досягненнях нафтогазової геології, він довів, що формаційна послідовність мезо-кайнозойських комплексів азово-чорноморського шельфу на певних етапах є індикатором домінуючих геодинамічних зусиль розтягу чи стискування та ізостазії; встановив, що локальна складчастість Азово-Чорноморського регіону відзначається проміжним характером, що зумовлено геодинамічними процесами і тектонічною компресією Євразійської та Африкансько-Аравійської літосферних плит.

М.І. Павлюк розробив нову класифікацію типів локальних складок і пов'язаних з ними пасток нафти і газу, яка базується на геодинамічному принципі і дає змогу прогнозувати перспективні пастки вуглеводнів різних генетичних типів; побудував моделі Азово-Чорноморської та Баренцовоморської нафтогазоносних провінцій як структур периконтинентальних шельфів Східноєвропейської платформи.

Вчений – автор понад 130 наукових праць, у тому числі дев'ять монографічних. Особливо варто відзначити шеститомну фундаментальну працю «Атлас родовищ нафти і газу України», співавтором якої є Мирослав Іванович. Він – академік та член президії Української нафтогазової академії, дійсний член Наукового товариства ім. Шевченка, головний редактор наукового журналу «Геологія і геохімія горючих копалин».



Пономаренко Олександр Миколайович (1950 р. н.) – знаний український вчений-геолог, доктор геологічних наук, професор, член-кореспондент НАН України (2006), академік НАН України (2015), заслужений діяч науки і техніки України (2008), лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки (2014).

Після закінчення геологічного факультету Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка у 1979 р. О.М. Пономаренко працює в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України: з 2002 р. – завідувач відділу, з 2004 р. – заступник директора, з 2008 р. – директор. В 2015 р. був обраний академіком-секретарем Відділення наук про Землю НАН України.

О.М. Пономаренко – відомий фахівець в галузі геології та геохронології докембрію Українського щита (УЩ). На основі комплексних геологічних досліджень та вивчення мінералів-геохронометрів за допомогою ізотопно-геохронологічних методів (уран-свинцевого, калій-аргонового, рубідій-стронцієвого) удосконалив геохронологічну шкалу архею УЩ. Розробив морфогенетичну та ізотопно-геохімічну класифікацію цирконів із архейських породних утворень УЩ. Також під його керівництвом та за безпосередньою участю запропоновані і розроблені прогресивні технології переробки і збагачення окислених залізних руд, створене відповідне обладнання для виробництва високоякісних залізорудних концентратів. Вчений – один з ініціаторів створення і керівник Центру колективного користування приладами «Мас-спектрометричний центр твердофазного, газового ізотопного та мікроелементного аналізу». Він є автором понад 300 наукових праць, у тому числі восьми монографій та 14 патентів України.

Як академік-секретар Відділення наук про Землю НАН України О.М. Пономаренко здійснює координацію міждисциплінарних досліджень у галузі природничих наук, забезпечує участь установ Відділення у вирішенні науково-технічних проблем розвитку мінерально-сировинної бази України. Вчений входить до складу Комітету з Державних премій України в галузі науки і техніки та Міжвідомчої постійно діючої комісії у справах надзвичайних ситуацій (заступник голови за напрямом «Чорнобильська катастрофа») (60-річчя..., 2010; НАН України..., 2018).

У 2007 р. з метою вивчення ресурсних можливостей Азово-Чорноморського басейну, а також відновлення регулярних морських експедиційних робіт НАН України була започаткована цільова комплексна програма наукових досліджень НАН України «Комплексні біоресурсні, гідрофізичні і геолого-геофізичні дослідження морського середовища, перспективних нафтогазових структур та картування розподілу газогідратів в акваторії Чорного та Азовського морів» на 2007–2009 рр.

У 2007 р. видано Національний атлас України, розроблений фахівцями НАН України, зокрема Інституту географії НАН України у співдружності з Національною академією аграрних наук, низки університетів та інших організацій. Головний редактор Національного атласу України Л.Г. Руденко у 2009 р. був обраний дійсним членом НАН України. В Інституті геологічних наук НАН України була розроблена класифікація донних антропогенних ландшафтів і здійснено їх ранжування за ступенем впливу на навколишнє середовище (В.Х. Геворк'ян, Ю.Г. Чугунний та О.М. Сокур). В Інституті проблем природокористування та екології НАН України відбулася IV Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми природокористування, сталого розвитку та техногенної безпеки регіонів» (Національна..., 2018).

Інститутом геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України у 2008 р. були виконані сейсмічні дослідження за проєктом DOBRE-3 вдовж профілю Дебрецен–Мукачеве–Рівне довжиною 645 км з метою вивчення закономірностей глибинної будови та геодинамічного розвитку літосфери Добруджі та Складчастих Карпат і визначення впливу геодинамічної зональності на формування структур консолідованої кори та осадового чохла. В польовому експерименті брали участь провідні фахівці-геофізики Західної Європи: Університет Копенгагена, Данія; Технологічний університет Відня, Австрія; Геофізичний інститут, Будапешт, Угорщина; Університет м. Гельсінкі, Фінляндія; Геофізичний інститут ПАН, Варшава, Польща та Вільний університет Амстердама, Нідерланди.

У 2009 р. вийшов друком «Океанографічний атлас Чорного і Азовського морів», підготовлений вченими установ Відділення наук про Землю НАН України (Інститут геологічних наук, Морський гідрофізичний інститут, Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут) та Інституту біології південних морів ім. О.О. Ковалевського НАН України (Національна..., 2018).

Згідно з постановою Президії НАН України у 2009 р. була затверджена Цільова комплексна програма наукових досліджень НАН України «Стратегічні мінеральні ресурси України» (2009–2012) з метою уточнення закономірностей формування та розміщення родовищ стратегічних мінеральних ресурсів, визначення пошукових критерій та рекомендацій для впровадження підприємствами Державної геологічної служби та НАК «Надра України». В рамках виконання Програми було встановлено, що газоносні мегапастки великого стратиграфічного діапазону, які формуються в чорносланцевих формаціях евксинського типу, присутні в усіх нафтогазоносних регіонах України. Визначені нові перспективні прогнозно-пошукові об'єкти, пов'язані з пастками вуглеводнів у верхньодєвонських, кам'яновугільних і нижньопермських рифогенно-карбонатних комплексах Дніпровсько-Донецької западини і Донбасу (О.Ю. Лукін, Г.С. Пономаренко).

Державну премію України в галузі науки і техніки було присуджено: І.Д. Багрію, В.М. Палію, С.Д. Аксьому, Т.О. Знаменській, В.П. Кожемякіну, Т.Ф. Шуліпенко та В.І. Почтаренку (2007) – за цикл наукових праць «Оцінка та шляхи оптимізації стану геологічного середовища Криворізького залізорудного басейну в умовах реструктуризації гірничодобувної галузі»; В.П. Палієнко, Т.І. Козаченко, В.П. Разову, В.С. Чабанюку та А.І. Бочковській (2009) – за створення та видання Національного атласу України; М.І. Павлюку та М.І. Євдошукі (2009) – за роботу «Нафтогазоперспективні об'єкти України (наукові і практичні основи пошуків родовищ)» (Національна..., 2018).

Премію ім. В.І. Вернадського НАН України у 2007 р. отримали В.О. Іванов і О.В. Прусов за монографію «Річковий стік півдня України: кількісні оцінки паводків, принципи управління і прогноз». У 2007 р. постановою Президії НАН України була заснована премія ім. П.А. Тутковського за видатні роботи в галузі геології, географії, океанології, геоєкології, кліматології та метеорології, яку у 2008 р. вперше отримали вчені Інституту геологічних наук НАН України П.Ф. Гожик, М.М. Іванік і Н.В. Маслун за цикл наукових праць з палеонтології та стратиграфії кайнозою. Премію ім. С.І. Субботіна НАН України у 2009 р. було присуджено О.А. Трипільському і М.В. Шарову за монографію «Літосфера докембрійських щитів Північної півкулі Землі за сейсмічними даними» (Цибань, 2018).

Дійсними членами НАН України у 2009 р. були обрані В.О. Іванов (фізика моря) і Л.Г. Руденко (географія), членом-кореспондентом – Р.І. Кутас (геофізика) (Палій, Храмов, 2013). Іноземним членом НАН України за спеціальністю «геологія рудних родовищ» був обраний М.П. Лавьоров.

Верховна Рада України 9 вересня 2010 р. прийняла Закон України «Про внесення змін до Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки». Цим Законом встановлено нові засади формування та реалізації системи пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки в Україні та затверджено зазначені напрями на довгостроковий період, а саме до 2020 р. (Національна..., 2018).

Для забезпечення високого наукового рівня велике значення мають цільові комплексні програми НАН України, що охоплюють сучасні напрями фундаментальних досліджень та важливі прикладні проблеми, які є актуальними для України. Зокрема, наслідком реалізації Цільової комплексної програми наукових досліджень «Стратегічні мінеральні ресурси України» (2009–2012) стали нові технології пошуків, інтенсифікації видобутку корисних копалин та вилучення корисних компонентів з руд. Згідно з постановою Президії НАН України від 26.12.2012 р. її виконання було продовжено на 2013–2015 рр. (науковий керівник – академік НАН України В.І. Старостенко). У 2010 р. була затверджена Цільова програма наукових досліджень НАН України «Комплексна оцінка стану



Кутас Роман Іванович (1933 р. н.) – відомий український вчений-геофізик, доктор геолого-мінералогічних наук (1977), професор (1984), член-кореспондент НАН України (2009), лауреат Державних премій УРСР та України в галузі науки і техніки (1984, 1995).

Після закінчення у 1956 р. з відзнакою геологорозвідувального факультету Львівського політехнічного інституту за спеціальністю «геофізичні методи пошуків і розвідки родовищ корисних копалин» Р.І. Кутас два роки працював у Мосбаській геофізичній експедиції Міністерства вугільної промисловості СРСР (м. Тула, Росія). В 1958 р він обіймає посаду інженера у відділі геофізики Інституту геології корисних копалин АН УРСР, а в 1961 р. вступає до аспірантури Інституту геофізики АН УРСР. У 1967 р. захищає кандидатську, а у 1977 р. докторську дисертації. В 1981 р. Р.І. Кутас очолює лабораторію геотермії, згодом – відділ геотермії і сучасної геодинаміки (1987). З 2022 р. працює головним науковим співробітником Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України та очолює Наукову раду з проблеми «Геодинаміка та прогноз землетрусів».

Р.І. Кутас зробив вагомий внесок у вивчення термічного режиму Землі, розв'язання прямих і обернених задач геотермії при інтерпретації теплових аномалій, розрахунках глибинних температур та моделюванні теплового поля континентальної та океанічної літосфери. Завдяки ґрунтовним науковим працям про глибинну будову і геодинамічні процеси, зокрема природу та еволюцію континентальних рифтових і пострифтових осадових басейнів, термодинамічні умови формування нафтогазових родовищ вчений отримав світове визнання. В його бібліографічному переліку нараховується понад 400 наукових праць, у тому числі вісім монографій, в яких відображені актуальні питання геології, геофізики і геодинаміки (Коболев та ін., 2023).



Лавьоров Микола Павлович (1930–2016) – видатний радянський і російський геолог, геохімік, доктор геолого-мінералогічних наук (1973), професор (1976), академік АН СРСР (з 1991 р. – Російська академія наук) (1987), іноземний член НАН України (2009). Нагороджений Золотою медаллю ім. В.І. Вернадського НАН України (2013).

М.П. Лавьоров навчався у Кіровському гірничо-хімічному технікумі (1945–1949) та Московському інституті кольорових металів і золота, який закінчив з відзнакою у 1954 р., отримавши кваліфікацію «гірничий інженер-геолог». З 1958 по 1966 р. працював ученим секретарем, а потім директором Середньоазійської геологічної станції Інституту геології рудних родовищ, петрографії, мінералогії і геохімії АН СРСР, досліджував родовища радіоактивної сировини. З 1966 по 1983 р. у Міністерстві геології СРСР був заступником начальника і начальником (з 1972 р.) Управління науково-дослідних організацій, а також з 1968 р. керував Всесоюзним геологічним фондом.

У жовтні 1988 р. обраний віцепрезидентом АН СРСР, де очолюв Секцію наук про Землю. Водночас у 1987–1989 рр. був президентом АН Киргизької РСР, а у 1989–1991 рр. – головою Державного комітету СРСР з науки і техніки, заступником голови Ради Міністрів СРСР.

Наукові праці вченого (понад 700) присвячені питанням геології і геохімії уранових родовищ, прогнозування, пошуків і освоєння нових джерел ядерної сировини. Ним розроблені також проблеми енергетики, радіоекології, Світового океану, Арктики, космічного моніторингу катастрофічних природних процесів. У 2013 р. М.П. Лавьоров організував видання одного з найповніших зібрань праць В.І. Вернадського у 24-х томах.

і прогнозування динаміки морського середовища та ресурсів Азово-Чорноморського басейну» (2010–2012), виконання якої також було продовжено на 2013–2015 рр. під назвою «Комплексний моніторинг, оцінка та прогнозування динаміки стану морського середовища та ресурсної бази Азово-Чорноморського басейну в умовах зростаючого антропогенного навантаження та кліматичних змін» (науковий керівник – академік НАН України В.М. Єремєєв). Варто зауважити, що у виконанні зазначених програм були задіяні практично всі наукові установи Відділення наук про Землю НАН України.

У 2010 р. членом-кореспондентом НАН України О.Ю. Лукіним були визначені основні закономірності газоносності пелітоморфних порід та охарактеризовано перспективи освоєння сланцевого газу в Україні. Запропоновано новий напрям освоєння нетрадиційних та альтернативних джерел вуглеводнів, пов'язаних зі створенням штучних нафтових і газових покладів (Інститут геологічних наук НАН України). В Морському гідрофізичному інституті НАН України відбулася Міжнародна наукова конференція «Функціонування та еволюція екосистем Азово-Чорноморського басейну в умовах глобальної зміни клімату».

У 2011 р. в Інституті геологічних наук НАН України створено Стратиграфічний кодекс України, який є узагальнюючим зведенням правил і наукових критеріїв, що визначають геохронологічну базу державного геологічного картування, пошуків, розвідки, експлуатації корисних копалин та проведення різноцільових геологічних робіт в Україні (П.Ф. Гожик, В.М. Семененко). В Морському гідрофізичному

інституті НАН України була розроблена програма наукових досліджень НАН України «Чорне море як імітаційна модель океану», у виконанні заходів якої взяли участь Інститут біології південних морів ім. О.О. Ковалевського НАН України та Інститут геологічних наук НАН України. Укладено договір про наукову співпрацю з Міжнародним комітетом з проблем глобальних змін геологічного середовища «Geochange», за яким Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України було поставлено найсучаснішу станцію контролю за сейсмогравітаційними хвилями «АТРОПАТЕНА».

Українське мінералогічне товариство спільно з Австрійським, Польським, Румунським і Словацьким мінералогічними та Угорським геологічним товариствами провело об'єднані п'яту конференцію «Мінералогічні науки в Карпатах» (Joint 5th Mineral Sciences in the Carpathians Conference) і третю Центральноєвропейську мінералогічну конференцію (3rd Central-European Mineralogical Conference) (м. Мішкольц, Угорщина, 19–21 квітня 2012 р.).

У грудні 2012 р. була підписана угода про співробітництво між Потсдамським центром Гельмгольца Німецького центру дослідження Землі та Інститутом геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України про встановлення сучасного цифрового обладнання на геомагнітній обсерваторії «Одеса» з метою її включення до мережі INTERMAGNET (Національна..., 2018).

Премію ім. П.А. Тутковського НАН України отримали: Н.І. Дикань – за наукову роботу «Систематизація четвертинних остракод України (довідник-визначник)» (2010); Є.П. Гурув – за серію наукових праць, присвячених проблемі взаємодії Землі з



Гродзинський Михайло Дмитрович (1957–2022) – відомий український географ-ландшафтознавець, доктор географічних наук (1994), професор (1997), член-кореспондент НАН України (2010), лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки (2015).

Науковий шлях М.Д. Гродзинського був нерозривно пов'язаний із Київським національним університетом ім. Тараса Шевченка. Тут він навчався (1974–1979) і до останнього дня працював завідувачем кафедри фізичної географії та геоєкології (1995–2022). Сфера його наукових інтересів – ландшафтна екологія, аналіз територіальних структур ландшафтів, ландшафтне різноманіття, математичні методи оцінки стійкості ландшафтів до антропогенних навантажень і прогнозування їхніх змін, планування екомереж, сприйняття людиною ландшафтів. Він був автором концепції множинності форм стійкості геосистем і методики кількісного оцінювання такої стійкості, визначення екологічно безпечних норм антропогенних навантажень на ландшафти і співавтором концепції поліструктурності ландшафтів. Викладав у провідних закордонних університетах, зокрема Кембриджському (Велика Британія), Дартмус (США), Корейському університеті зарубіжних досліджень (Південна Корея).

М.Д. Гродзинський був головою Асоціації ландшафтної екології України (IALE-Ukraine) та членом Наукової ради Міжнародної асоціації ландшафтної екології (IALE), членом Президії та Вченої ради Українського географічного товариства, членом Національного комітету України з Програми ЮНЕСКО «Людина і біосфера». Вчений – автор понад 300 наукових праць, серед яких 26 монографій і підручників (60-річчя..., 2017).



Осадчий Володимир Іванович (1955 р. н.) – знаний український вчений-гідролог, доктор географічних наук (2008), член-кореспондент НАН України (2010), лауреат Державної премії в галузі науки і техніки України (2017).

Після закінчення географічного факультету Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка у 1981 р. В.І. Осадчий залишився працювати в проблемній науково-дослідній лабораторії гідрохімії кафедри гідрології та гідрохімії (1981–1993). З 1993 р. працює в Українському науково-дослідному гідрометеорологічному інституті ДСНС та НАН України: завідувач лабораторії, завідувач відділу гідрохімії, від 2000 р. – директор Інституту. З 2015 р. – заступник академіка-секретаря Відділення наук про Землю НАН України.

Вчений зробив значний внесок у розвиток теоретичних та прикладних аспектів гідрохімії поверхневих вод, вивчення мікроелементного складу, ГІС-технологій в гідрохімії. Займається також питаннями сучасних змін клімату. Під його керівництвом виконано низку національних та міжнародних наукових гідрометеорологічних проектів. Учасник комплексних гідрохімічних досліджень басейну Дніпра, водойм-охолоджувачів українських АЕС, водних об'єктів Зони відчуження Чорнобильської АЕС.

Науковий доробок вченого налічує понад 150 наукових праць, серед яких низка монографій, карти якості поверхневих вод (у співавторстві). Він – член редколегії «Національного атласу України» (2007), головний редактор збірника «Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту», член редколегії наукового збірника «Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія» та інших наукових видань (Українські..., 2004).



Брик Олександр Борисович (1943–1921) – відомий український вчений в галузі нанофізики мінералів, біомінералогії, наномінералогії, доктор фізико-математичних наук (1988), професор (2004), член-кореспондент НАН України (2012).

Після закінчення у 1967 р. з відзнакою Київського політехнічного інституту (факультет радіоелектроніки) О.Б. Брик працював в Інституті надтвердих матеріалів АН УРСР (1968–1970). У 1970–1973 рр. навчався в аспірантурі у Київському політехнічному інституті. З 1974 р. працював в Інституті геохімії та фізики мінералів АН УРСР (нині – Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України): завідувач лабораторії електронного парамагнітного резонансу (1990–1996), завідувач відділу радіаційної мінералогії (1996–1998). Від 2007 р. очолював відділ фізики мінеральних структур та біомінералогії. Одночасно у 1990–1996 рр. – професор кафедри загальної фізики та фізики твердого тіла Київського політехнічного інституту.

Сфера наукових інтересів вченого – вивчення магнітних явищ у мінералах із застосуванням методів радіоспектроскопії та магнітометрії. Він відкрив і дослідив релаксаційний магнітоелектричний ефект, пов'язаний із впливом зовнішніх електричних полів на намагніченість парамагнітних кристалів. Під його керівництвом розроблено нові методики пошуку розсіяних наномінералів у гірських породах та інших об'єктах, що базуються на мультирезонансному поглинанні мікрохвиль сантиметрового діапазону. В його доробку понад 450 наукових праць, у тому числі дві монографії, понад 30 патентів та авторських свідоцтв. Велику увагу вчений приділяв підготовці молодих фахівців, висококваліфікованих кадрів для науки. Серед його учнів – два доктори та шість кандидатів наук (70-річчя..., 2013)

Кандидатура О.Б. Брика у 2021 р. була висунута Інститутом геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України на заміщення вакансії академіка НАН України, але, на жаль, він не дожив до виборів.

космічною речовиною (2011); С.О. Вялова і В.М. Палій (2013) – за монографію «Олег Степанович Вялов. Нариси життя і діяльності». Золотої медалі ім. В.І. Вернадського в 2013 р. були удостоєні академік НАН України М.В. Багров за визначні досягнення в галузі географії та геоєкології та іноземний член НАН України, академік РАН М.П. Лавьоров за видатні досягнення в галузі металогенії, уранових родовищ, економіки мінеральних ресурсів і радіоекології (Цибань, 2018).

На виборах до НАН України у 2010–2012 рр. дійсними членами стали: М.В. Багров і В.І. Лялько (2010, географія) та О.Ю. Лукін (2012, геологія нафти і газу). Членами-кореспондентами були

обрані: М.Д. Гродзинський (2010, географія), В.І. Осадчий (2010, гідрометеорологія), О.Б. Брик (2012, наномінералогія), О.Б. Гінтов (2012, тектонофізика) (Палій, Храмов, 2013).

З урахуванням світового досвіду розвідки та експлуатації покладів сланцевого газу у 2013 р. провідними фахівцями наукових установ Відділення наук про Землю НАН України були визначені нові перспективні прогностно-пошукові об'єкти, пов'язані з пастками вуглеводнів у рифогенно-карбонатних комплексах Дніпровсько-Донецької западини і Донбасу та надані рекомендації щодо проведення пошуково-розвідувальних робіт і ви-



Гінтов Олег Борисович (1935 р. н.) – видатний український вчений-геофізик, доктор геолого-мінералогічних наук (1981), професор (2009), член-кореспондент НАН України (2012), лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки (1996).

Після закінчення з відзнакою геологічного факультету Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка у 1957 р. О.Б. Гінтов працював у геофізичних експедиціях Міністерства геології УРСР, де обіймав посади технічного керівника та начальника партій (1957–1973). В 1970 р. він захистив дисертацію на здобуття наукового ступеня кандидата геолого-мінералогічних наук. На його роботи звернули увагу З.А. Крутиховська та В.Б. Соллоуб, на запрошення яких у 1973 р. він перейшов на роботу до Інституту геофізики АН УРСР. У 1981 р. О.Б. Гінтов захистив докторську дисертацію, присвячену структурі континентальної земної кори на ранніх етапах її розвитку за двома спеціальностями – «геофізика» та «геотектоніка». Олег Борисович очолював лабораторію геофізичного вивчення докембрію (1985–1992), згодом – відділ палеогеодинаміки (1992–2001). Від 2001 р. обіймає посаду головного наукового співробітника відділу тектонофізики Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, одночасно з 2017 р. – голова Міжвідомчого тектонічного комітету України (Про відновлення..., 2017).

Наукові дослідження О.Б. Гінтова стосуються процесів та механізмів формування тектонічних структур та утворення різномісних розломів і розломних зон. Він запропонував модель деформації консолідованої земної кори, що враховує в'язко-пластичні деформації порід і на цій основі розробив низку польових тектонофізичних методів для якісних та кількісних оцінок змін палеонапружень і деформацій, що супроводжували різновікові тектонічні процеси.

Вчений створив і згуртував неформальний колектив міжнародної команди вчених, які займаються вивченням геологічної будови літосфери України. У складі наукового колективу київська група (І.К. Пашкевич і С.В. Мичак) спільно зі шведськими колегами на чолі з С.В. Богдановою займалися вивченням Українського щита. Гірський Крим досліджувала група колег (Т.П. Єгорова, А.В. Муровська, Є.Є. Шеремет) за участю французьких учених – М. Соссона та К. Мюллера. В Українських Карпатах ведуть дослідження І.М. Бубняк, Ю.М. Віхоть та М.В. Накапелюх. Результати цих досліджень опубліковані у найпрестижніших наукових журналах.

Вагомим науковим досягненням О.Б. Гінтова слід вважати фундаментальну монографію «Польова тектонофізика та її застосування при вивченні деформацій земної кори України» (2005), в якій викладено методичку та результати детального вивчення протяжних розломних зон, великоамплітудних горизонтальних рухів та деформацій Українського щита, Волино-Подільської плити, Донецького басейну, Гірського Криму та Українських Карпат (Олегові..., 2015).

значення черговості ведення сейсмозвідки та буріння свердловин. Був розроблений науково-технічний проєкт «Стратегічна оцінка перспектив видобутку газу із покладів, що вже експлуатуються в Україні, та еколого-пошукове обстеження першочергових ділянок», в якому поряд з перспективами вуглеводного газу було запропоновано досліджувати газонасність карбонатних порід на глибинах понад 5 км, сланцевий газ, газ ущільнених пісковиків тощо.

Відділенням морської геології та осадового рудоутворення НАН України та Інститутом геології Національної академії наук Азербайджану з метою об'єднання наукового потенціалу для вирішення фундаментальних і прикладних проблем геології Азово-Чорноморського і Кавказького регіонів укладено договір про наукове співробітництво, розроблено і затверджено програму наукових робіт «Сучасні уявлення про грязьові вулкани Азово-Чорноморського і Кавказького регіонів, включаючи акваторії Чорного і Каспійського морів» (Національна..., 2018).

Відділення наук про Землю НАН України у складний для країни період (2014–2023 рр.)

2014 рік видався складним для України та сповненим неймовірних випробувань для її громадян. Трагічні події під час Євромайдану не оминули Відділення наук про Землю НАН України. Не можемо не згадати загибель кандидата фізико-математичних наук, наукового співробітника Карпатського відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України Юрія Тарасовича Вербицького (1963–2014), помертньо удостоєного звання Герой України за громадянську мужність, патріотизм, героїчне відстоювання конституційних засад демократії, прав і свобод людини, самовіддане служіння Українському народу, виявлені під час Революції гідності.

Суспільно-політичні події того року не вплинули на життя НАН України. В результаті анексії росією Кримської автономії та окупації частини Донецької і Луганської областей з підпорядкування НАН України вийшли Морський гідрофізичний інститут (м. Севастополь) та ос-



Вербицький Юрій Тарасович (1963–2014) – український сейсмолог, активіст та учасник Євромайдану. У 1985 р. він закінчив факультет геодезії Львівського політехнічного інституту. З 1994 р. працював у відділі сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики НАН України, Львів. У 2013 р. захистив дисертацію на тему «Методичні та прикладні аспекти комплексного банку геофізичної інформації Карпатського регіону» і здобув науковий ступінь кандидата фізико-математичних наук. Займався створенням апаратури і програмного забезпечення геофізичних і сейсмічних досліджень.

Захоплювався альпінізмом, долав маршрути найвищої категорії складності на Кавказі. В житті був доброю, неконфліктною і дуже порядною людиною. Любив фотографувати, а також слухати рок-музику.

Незважаючи на те, що Ю.Т. Вербицький у повсякденному житті не прагнув брати участь у політиці, в середині січня 2014 р. він спеціально взяв відпустку на роботі за власний рахунок і поїхав до Києва. Після приїзду до столиці регулярно приходив на Майдан і підтримував протестувальників. Ночами чергував на барикадах Майдану, коли було найменше людей, ходив на розмови із силовиками та представниками антимайдану, намагаючись із ними поговорити, переконати. Був поранений у ліве око уламками світло-шумової гранати. 21 січня 2014 р. Ю.Т. Вербицький був викрадений з приміщення лікарні у Києві невідомими і вбитий після катувань (<http://www.istpravda.com.ua/short/2014/01/24/141122/>).

новна частина Українського державного науково-дослідного і проектно-конструкторського інституту гірничої геології, геомеханіки і маркшейдерської справи (м. Донецьк). Втрата єдиного на той час у НАН України НДС «Професор Водяницький» для виконання морських експедиційних досліджень та одних з головних виконавців Цільової наукової програми НАН України «Комплексний моніторинг, оцінка та прогнозування динаміки стану морського середовища та ресурсної бази Азово-Чорноморського басейну в умовах зростаючого антропогенного навантаження та кліматичних змін» (2013–2015 рр.) зумовило її переформатування в 2014 р. шляхом внесення змін та доповнень, зокрема завдань по створенню технологій подвійного призначення в інтересах Військово-Морських Сил та Морської охорони Державної прикордонної служби України. Науковим керівником Програми був призначений академік НАН України П.Ф. Гожик.

Проте попри всі труднощі вчені Відділення наук про Землю НАН України продовжували активний науковий пошук та отримали чимало вагомих результатів. У 2014 р. в Інституті географії НАН України під керівництвом академіка НАН України Л.Г. Руденка було створено в електронному форматі «Атлас природних, техногенних і соціальних небезпек і ризиків виникнення надзвичайних ситуацій в Україні». В Інституті геологічних наук НАН України академіком НАН України О.Ю. Лукіним розроблено принципово нову схему фазово-геохімічної зональності нафтидогенезу земних надр, яка суттєво змінює уявлення про вуглеводневий потенціал великих і надвеликих глибин. Член-кореспондент НАН України В.А. Даниленко (Інститут геофізики ім. С.І. Суб-

ботіна НАН України) побудував нелокальну модель блокового середовища Землі з розривами швидкостей блоків і математичну модель тектонічного деформування плит з урахуванням нелокальної взаємодії їх структурних елементів. У Відділенні морської геології та осадового рудоутворення НАН України під керівництвом академіка НАН України Є.Ф. Шнюкова виконано типізацію грязьових вулканів і створено каталог грязьових вулканів Азово-Чорноморського регіону з описом їх глибинної геологічної будови. В Українському науково-дослідному гідрометорологічному інституті ДСНС та НАН України під керівництвом члена-кореспондента НАН України В.І. Осадчого вперше в Україні була розроблена цільова моделююча система аналізу та кількісної оцінки формування забруднення в межах річкових басейнів і рекомендована як базовий інструмент для впровадження директив Угоди про асоціацію між Україною та ЄС (Водна Рамкова Директива ЄС, Директива з нітратів та стічних вод).

У 2015 р. під керівництвом академіка НАН України В.М. Шестопалова вперше була створена тривимірна модель геологічного середовища з урахуванням зон швидкої міграції, яка дозволила визначити значний (більш ніж у 15 разів) приріст інфільтраційного живлення, а відтак, і майже у 2,5 раз ресурсів підземних вод.

Державні премії України в галузі науки і техніки були присуджені: Л.В. Черкесову (Морський гідрофізичний інститут НАН України) у складі авторського колективу (2014) – за цикл наукових праць «Закономірності хвиле-вихрових процесів у суцільному середовищі»; О.М. Пономаренку, С.Г. Кривдіку, Г.О. Кульчецькій, Є.М. Шеремету, І.Ю. Ніколаєву (Інститут геохімії, мінералогії та

рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України), В.М. Шуману, П.Г. Пігулевському (Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України) (2015) – за роботу «Геохімічні, петрологічні і геофізичні критерії прогнозування родовищ корисних копалин Українського щита».

Премію ім. П.А. Тутковського НАН України отримали: В.О. Ємельянов, А.А. Пасинков, О.З. Савчак (2014) – за цикл праць «Геоєкологічні умови

формування і розробки родовищ вуглеводнів і пелоїдів Чорного моря». Премія ім. С.І. Субботіна НАН України у 2015 р. була присуджена В.І. Старостенку, О.Б. Гінтову та Г.М. Дрогицькій (Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України) – за монографію «Кіровоградський рудний район. Глибинна будова. Тектонофізичний аналіз. Родовища рудних корисних копалин» (Цибань, 2018).



Морозов Анатолій Олексійович (1939 р. н.) – видатний вчений у галузі інтелектуальних систем управління та інформаційних технологій, доктор технічних наук (1983), професор (1988), член-кореспондент АН УРСР (1988), дійсний член НАН України (2015), лауреат Державної премії УРСР та України (1970, 1992) і Державної премії СРСР (1974, 1985) в галузі науки і техніки, премії Ради Міністрів СРСР (1981), премії ім. В.М. Глушкова НАН України (1993), заслужений діяч науки і техніки України (1990).

Після закінчення у 1961 р. Київського політехнічного інституту А.О. Морозов розпочав трудову діяльність в Інституті кібернетики АН УРСР, де з 1961 по 1969 р. пройшов шлях від інженера до головного конструктора проекту. Згодом навчався в аспірантурі Інституту (1969–1972) під керівництвом видатного українського кібернетика, академіка В.М. Глушкова. Є його учнем і продовжувачем низки наукових напрямів.

З 1969 по 1982 р. А.О. Морозов обіймає посади начальника лабораторії, завідувача відділу, заступника головного інженера, заступника директора, а з 1983 р. – директора Спеціального конструкторського бюро математичних машин і систем Інституту кібернетики АН УРСР. З його ініціативи у 1992 р. був заснований Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, який він очолював до 2021 р., а наразі обіймає посаду радника при дирекції.

Під керівництвом вченого була виконана низка соціально-вагомих розробок. Одна з його найвідоміших розробок, що використовується в наш час, – автоматизована система інформаційного забезпечення депутатів всіх рівнів «Рада», призначена для підтримки прийняття рішень органами державної влади. Вагомим науковим досягненням Анатолія Олексійовича слід також вважати створення бази даних геолого-геофізичної інформації та методу тривимірного моделювання породних масивів і гірничих виробок з метою прогнозування міграції та скупчень метану у вугільних родовищах і закритих шахтах; системи оцінки безпеки водних ресурсів і визначення можливості використання води в р. Дніпро після Чорнобильської катастрофи та ін. Його перу належать близько 400 наукових робіт, у тому числі семи монографій, 82 винаходів. Вчений є головним редактором наукового журналу «Математичні машини і системи». Під його керівництвом захищено 14 докторських і 31 кандидатська дисертація (НАН..., 2018).



Ємельянов Володимир Олександрович (1949 р. н.) – відомий вчений-геолог, доктор геолого-мінералогічних наук (1994), член-кореспондент НАН України (2015), лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки (2006), премії ім. В.І. Вернадського (2005) та ім. П.А. Тутковського (2014) НАН України.

Після закінчення Одеського університету у 1972 р. В.О. Ємельянов працював в Інституті геологічних наук (1975–1980), згодом упродовж 1981–1983 рр. та 1985–1986 рр. – у апараті Президії АН УРСР. У 1983–1985 рр. був відряджений до науково-дослідного центру Морського гідрофізичного інституту АН УРСР у Гвінеї (Конакрі). У 1986–1988 та 1992–1997 рр. працював у Карадаській філії Інституту південних морів НАН України (м. Феодосія), а в 1997–1998 рр. очолював Карадаський природний заповідник НАН України. Від 1998 р. працює на посаді головного наукового співробітника відділу сучасного морського седиментогенезу та одночасно в апараті Президії НАН України, з 2002 р. – перший заступник головного вченого секретаря НАН України. В 2017 р. В.О. Ємельянов очолює ДНУ «Відділення морської геології та осадового рудоутворення Національної академії наук України», яка у 2018 р. була перейменована на ДНУ «Центр проблем морської геології, геоєкології та осадового рудоутворення НАН України».

Наукова діяльність вченого спрямована на вивчення широкого кола питань морської геології: сучасного седиментогенезу, інженерної та екологічної геології – нового наукового напрямку, одним із засновників якого він є. Серед його вагомих наукових надбань є монографічна робота «Геоєкологія чорноморського шельфу України» (2004), в якій висвітлено умови формування, компонентну структуру, екологічний стан морської геоекосистеми донних відкладів чорноморського шельфу України. В.О. Ємельянов неодноразово брав участь у науково-дослідних експедиціях в Атлантичному, Тихому та Індійському океанах, Середземному та Чорному морях. Його науковий доробок налічує понад 100 наукових праць, переважно у галузі морської геології, а також екології і заповідної справи, серед них чотири монографії (Половко, 2010).

В 2015 р. академіком-секретарем Відділення наук про Землю НАН України був обраний директор Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України О.М. Пономаренко, який того ж року став дійсним членом НАН України (ізотопна геологія) разом з А.О. Морозовим (прогнозування геосистем). Членами-кореспондентами були обрані: В.О. Ємельянов

(морська геологія), О.В. Кендзера (сейсмологія), Л.М. Степанюк (петрологія, геохімія) та С.Б. Шехунова (наноседиментологія) (Національна..., 2018).

У 2016 р. Президія НАН України затвердила виконання Цільової комплексної програми наукових досліджень НАН України «Мінерально-сировинна база України, як основа безпеки держави» (2016–2020).



Кендзера Олександр Володимирович (1948 р. н.) – відомий вчений-сейсмолог, кандидат фізико-математичних наук (1980), член-кореспондент НАН України (2015), лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки (2019).

Після закінчення з відзнакою Дрогобицького педагогічного інституту у 1971 р. О.В. Кендзера працював вчителем фізики, згодом – інженером у відділі сейсмології Львівської філії Інституту математики АН УРСР (1973–1976). У 1976–1979 рр. навчався в аспірантурі Інституту фізики Землі ім. О.Ю. Шмідта АН СРСР. Від 1979 р. працює в Інституті геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України: завідувач лабораторії (1992–1995), завідувач відділу сейсмічності та сейсмічної безпеки Карпатського регіону (1995–1998). Від 1998 р. – заступник директора з наукової роботи та водночас завідувач відділу сейсмічної безпеки. У 2021 р. був обраний директором Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України. З 2015 р. – заступник академіка-секретаря Відділення наук про Землю НАН України.

Наукова діяльність О.В. Кендзери пов'язана з прогнозуванням сейсмічної безпеки територій населених пунктів, важливих і екологічно небезпечних об'єктів у рамках загального і детального сейсмічного районування, а також сейсмічного мікрорайонування. Ним розроблено теоретичні основи і програмні засоби моніторингу сейсмічної безпеки території України, методику і технологію визначення кількісних параметрів сейсмічних впливів для проектування і перевірки сейсмостійкості атомних та гідроелектростанцій, газоперекачувальних станцій, стадіонів, висотних та експериментальних будинків. Він є автором понад 380 наукових праць, зокрема 14 монографій.

Вчений приділяє значну увагу вихованню молодих фахівців-геофізиків. З 1998 по 2021 р. читав студентам Київського національного університету ім. Тараса Шевченка курс лекцій «Теорія сейсмічних хвильових полів». Під його керівництвом підготовлено та успішно захищено шість кандидатських дисертацій (До 75-річчя..., 2023).



Степанюк Леонід Михайлович (1955 р. н.) – знаний вчений-геолог у галузі геохронології докембрію Українського щита, доктор геологічних наук (2000), професор (2015), член-кореспондент НАН України (2015).

Після закінчення геологічного факультету Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка у 1981 р. Л.М. Степанюк навчався в аспірантурі Інституту геохімії та фізики мінералів АН УРСР, де працював на посадах: молодшого наукового співробітника (1982–1988), наукового співробітника (1988–1990), ученого секретаря (1990–1993). Упродовж 1993–1996 рр. навчався в докторантурі Інституту. Згодом обіймав посади провідного наукового співробітника (1996–2000), завідувача відділу геохімії та стратиграфії докембрію (2000–2001).

З 2001 по 2008 р. Л.М. Степанюк працював провідним науковим співробітником відділу геології рудних та нерудних корисних копалин, згодом – керівником лабораторії прецизійних та аналітичних досліджень Українського державного геологорозвідувального інституту. У 2008 р. повернувся до Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, де обійняв посаду заступника директора з наукової роботи та за сумісництвом – завідувача відділу радіогеохронології.

Основний напрям наукової діяльності вченого – вивчення вікових меж формування докембрійських комплексів Українського щита за допомогою сучасних радіогеохронологічних методів досліджень. Він розробляє, вдосконалює та впроваджує в наукову практику методи ізотопних досліджень та інтерпретації радіологічних даних із застосуванням мінералого-петрографічних, електронно-мікроскопічних та мікрозондових методів, які дозволяють цілеспрямовано обирати об'єкти датування порід та інтерпретувати одержані ізотопно-геохімічні дані. Результати багаторічних плідних досліджень викладені ним у понад 200 наукових статтях і монографіях (Пономаренко та ін., 2015).



Шехунова Стелла Борисівна (1963 р. н.) – відомий вчений у галузі седиментології, доктор геологічних наук (2011), професор (2014), член-кореспондент НАН України (2015), академік НАН України (2021).

Після закінчення з відзнакою геологічного факультету Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка у 1985 р. С.Б. Шехунова навчалась в аспірантурі при Інституті геологічних наук НАН України, де залишилась працювати науковим співробітником. У 2002–2015 рр. вона обіймала посади вченого секретаря, впродовж 2015–2020 рр. – заступника директора з наукової роботи, а у 2021 р. була обрана директором Інституту.

Фундаментальні і прикладні наукові результати С.Б. Шехунової стосуються літології, геохімії, тектоніки солоних формацій, традиційного та нетрадиційного використання галогенних утворень, геоєкології. Вона отримала принципово нові дані про процеси літогенезу евапоритів, силіцитів, фосфоритів, а також тонкодисперсних, пелітоморфних геологічних утворень. Ці роботи заклали основи нового наукового напрямку – наноседиментології, що базується на використанні прецизійних методів дослідження осадових порід. Розроблена нею літогенетична типізація кам'яної солі є теоретичним підґрунтям для вибору перспективних структур при геолого-геохімічних роботах, що супроводжують розвідку, розробку родовищ та підземне будівництво в солоних товщах. Результати її досліджень відображено у понад 220 наукових публікаціях, серед яких вагомим науковим надбанням є одноосібна монографічна робота «Солоні форми: закономірності літогенезу та проблеми використання» (2020).

С.Б. Шехунова – науковий керівник Цільової комплексної програми наукових досліджень НАН України «Критичні та стратегічні мінеральні ресурси України за умов глобалізації та змін клімату» (2021–2025).

Стелла Борисівна бере активну участь у підготовці наукових кадрів, забезпечуючи науково-методичну складову роботи аспірантури Інституту геологічних наук НАН України, викладає авторські курси для аспірантів Інституту та магістрів ННІ «Інститут геології» КНУ ім. Тараса Шевченка. Вона підготувала трьох кандидатів наук.

С.Б. Шехунова очолює Український літологічний комітет, є співголовою Національного стратиграфічного комітету України та головним редактором «Збірника наукових праць» Інституту геологічних наук НАН України.

За визначні особисті заслуги у розвитку вітчизняної науки, зміцнення науково-технічного потенціалу Української держави Стелла Борисівна нагороджена орденом княгині Ольги III ступеня (2008) та відзнаками НАН України «За професійні здобутки» (2012) і «За наукові досягнення» (2022) (Старостенко, 2023).



Климчук Олександр Борисович (1956–2023) – відомий учений-гідрогеолог і дослідник геології карсту, доктор геологічних наук (2014), член-кореспондент НАН України (2018), лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки (2011).

У віці 17 років О.Б. Климчук почав працювати техніком в Інституті геологічних наук (1972). Після закінчення у 1983 р. географічного факультету Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка продовжив працювати в Інституті геологічних наук і у 1999 р. захистив кандидатську дисертацію. Протягом 2006–2014 рр. очолював створений ним науково-дослідний центр «Український інститут спелеології і карстології» при Таврійському національному університеті ім. В.І. Вернадського у Сімферополі. У 2014 р. через російську агресію залишив Крим і повернувся у Київ до Інституту геологічних наук НАН України на посаду головного наукового співробітника.

Наукові дослідження О.Б. Климчук присвятив гіпогенному карсту світу, результатом яких стала монографія «Hypogene Karst Regions and Caves of the World», що вийшла друком у видавництві «Springer» (2017). Він розробив концепцію та обґрунтував принципово нову артезіанську модель походження карстових порожнин найбільших у світі гіпсових лабіринтових печер Лівобережного Придністров'я, обґрунтував головну роль спелеогенезу в розвитку карсту і формуванні фільтраційних та ємнісних особливостей закарстованих товщ. Також вчений розробив теорію гіпогенного карстоутворення, що розвивається без прямого зв'язку з поверхневим живленням у напірних водонесних комплексах і тріщинно-жилінних системах під дією висхідного кризьпластового та кризьформаційного водообміну.

З 2021 р. О.Б. Климчук очолював редколегію найстарішого українського геологічного видання «Геологічний журнал», забезпечивши його високий науковий статус. Також він входив до складу редколегій таких міжнародних високорейтингових видань, як «International Journal of Speleology», «Mediterranean Geoscience Reviews» та «Theoretical and Applied Karstology».

Олександр Борисович був членом Наукового комітету Національної ради з розвитку науки та технологій (2017–2021), а у 2019–2021 рр. – заступником голови Наукового комітету. До останніх днів він проводив активну наукову діяльність. Смертельна хвороба застала його в Університеті Манчестера (Велика Британія), який надав йому грант на виконання карстологічних досліджень.

За багаторічну плідну наукову працю вчений нагороджений Почесною грамотою і Відзнакою НАН України за професійні здобутки.

До найвагоміших результатів установ Відділення наук про Землю НАН України в період 2016–2018 рр. слід віднести такі. В Інституті геологічних наук НАН України академіком НАН України В.М. Шестопаловим і О.Б. Климчуком був розроблений механізм гіпогенного карстоутворення – формування каналово-порожнинних систем у гірських породах під дією висхідного водообміну і потоків глибинних флюїдів. Крім того, під керівництвом академіка НАН України П.Ф. Гожики розроблено структурно-фаціальне районування верхньофанерозойських відкладів Дніпровсько-Донецької западини та актуалізовано їхні стратиграфічні схеми. В Інституті проблем природокористування та екології НАН України під керівництвом члена-кореспондента НАН України А.Г. Шапаря розроблено методологію оцінки промислових технологій природокористування, яка дає змогу забезпечити ефективне вирішення проблем управління природно-техногенними системами на регіональному рівні у процесі їх переходу до сталого функціонування.

Державні премії України в галузі науки і техніки отримали: В.Г. Бахмутов, Т.П. Єгорова, І.М. Корчагін, В.Ю. Максимчук (Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України), А.В. Залізівський, О.В. Колосков (Радіоастрономічний інститут НАН України), Р.Х. Греку (Інститут геологічних наук НАН України), В.О. Проненко

(Інститут космічних досліджень НАН України та Державного космічного агентства України), К.Р. Третьак, В.М. Глотов (Національний університет «Львівська політехніка») (2016) – за цикл наукових праць «Структура і динаміка геофізичних полів як відображення еволюції та взаємодії геосфер в Антарктиці»; В.І. Осадчий і Ю.Б. Набиванець (Український гідрометеорологічний інститут ДСНС та НАН України), Б.Ю. Корнілович (Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»), Є.І. Никифорович (Інститут гідромеханіки НАН України), П.М. Линник, О.О. Протасов і В.І. Щербак (Інститут гідробіології НАН України), В.К. Хільчевський (Київський національний університет ім. Тараса Шевченка) (2017) – за роботу «Оцінка, прогнозування та оптимізація стану водних екосистем України» (Національна..., 2018).

Премію ім. П.А. Тутковського НАН України отримали: Є.Ф. Шнюков і В.П. Коболев – за монографію «Газовий вулканізм Чорного моря» (2016); М.І. Павлюк – за монографію «Геодинамічна еволюція та нафтогазоносність Азово-Чорноморського і Баренцевоморського периконтинентальних шельфів» (2017). Премію ім. С.І. Субботіна НАН України у 2018 р. одержали П.О. Буртний і В.О. Корчин – за монографію «Термобаричне петрофізичне моделювання в геофізиці» (Цибань, 2018).



Максимчук Валентин Юхимович (1950 р. н.) – знаний вчений-геофізик, доктор фізико-математичних наук (1997), професор (2006), член-кореспондент НАН України (2018), лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки (2015) та премії ім. С.І. Субботіна НАН України (2004).

Після закінчення Івано-Франківського інституту нафти та газу у 1973 р. за спеціальністю «геофізичні методи пошуків та розвідки корисних копалин» В.Ю. Максимчук розпочав трудову діяльність у Львівській філії математичної фізики Інституту математики АН УРСР (з 1978 р. – Інститут прикладних проблем механіки і математики АН УРСР). Одночасно навчався в аспірантурі Інституту земного магнетизму, іоносфери та поширення радіохвиль АН СРСР (1978–1982). Від 1991 р. працює у Карпатському відділенні Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України (м. Львів): вечний секретар (1993–2003), директор (2003–2021), водночас від 2000 р. – завідувач відділу динаміки магнітного поля Землі. Наразі він обіймає посаду радника при дирекції Карпатського відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України.

Наукові дослідження вченого охоплюють актуальні проблеми динаміки магнітного поля Землі та вивчення глибинної будови, сучасної геодинаміки літосфери та пошуків родовищ корисних копалин. Отримані результати розширили існуючі уявлення про спектр варіацій магнітного поля Землі. Він уперше обґрунтував методичні принципи використання часових змін магнітного поля для виявлення активних тектонічних розломів та розробив на цій основі новий геомагнітний метод – динамічну магнітометрію. Валентин Юхимович – ініціатор та організатор тектономагнітних досліджень на українській антарктичній станції «Академік Вернадський», що дозволили отримати нові дані про сучасну геодинаміку земної кори на західному узбережжі Антарктичного півострова. Він – автор понад 250 наукових праць, серед них чотири монографії, один підручник та три патенти.

За значний особистий внесок у розвиток вітчизняної геологічної науки, розширення мінерально-сировинної бази Української держави, багаторічну плідну працю В.Ю. Максимчук нагороджений орденом «За заслуги» III ступеня (2008).



Попов Михайло Олексійович (1946 р. н.) – відомий вчений у галузі дистанційного зондування Землі, доктор технічних наук (1994), професор (1995), член-кореспондент НАН України (2018), заслужений діяч науки і техніки (2001), лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки (2005).

Після закінчення з відзнакою Київського військово-інженерного авіаційного училища у 1970 р. М.О. Попов проходив службу в Збройних Силах на інженерних та науково-педагогічних посадах. Завершив військову службу у січні 2002 р. на посаді начальника з наукової роботи Військово-дипломатичної академії. З 2002 р. він працює у Центрі аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України, спочатку на посаді головного наукового співробітника відділу енергомасообміну в геосистемах, а від 2003 р. – заступника директора з наукової роботи. Від 2016 р. – директор Державної установи «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України».

Наукові інтереси вченого зосереджені на автоматизації обробки та розпізнанні цифрових аерокосмічних зображень. Розроблені ним методи та алгоритми інтерактивної інтерпретації аерокосмічних зображень виявили свою ефективність у багатьох прикладних задачах, зокрема під час обробки матеріалів геопросторової розвідки та аерокосмічного моніторингу територій. Михайло Олексійович – один із розробників перших українських стандартів у галузі дистанційного зондування Землі, співавтор чотирьох чинних Державних стандартів України, зокрема трьох стандартів у галузі дистанційного зондування Землі з космосу. Підготував 20 кандидатів і трьох докторів наук.

М.О. Попов – автор близько 500 друкованих наукових праць, зокрема восьми монографій та 67 патентів і авторських свідоцтв на винаходи. Він – головний редактор електронного наукового фахового видання «Український журнал дистанційного зондування Землі».

М.О. Попов нагороджений орденом України «За заслуги» III ступеня (2016), багатьма державними і відомчими медалями, відзнаками – «Почесний працівник космічної галузі України» (2006) та «За професійні здобутки» (2011), а у 2007 р. був визнаний кращим винахідником року НАН України (Михайло..., 2021).

У 2018 р. членами-кореспондентами НАН України були обрані: О.Б. Климчук (геологія карсту), В.Ю. Максимчук (тектоніко-палеомагнетизм), М.О. Попов (аерокосмічні дослідження Землі), В.П. Семененко (космічна мінералогія), О.А. Щипцов (океанологія). Дійсними членами стали С.О. Довгий (геодинаміка геологічного середовища) та М.І. Павлюк (геотектоніка нафтогазоносних провінцій) (Національна..., 2018).

У 2019–2021 рр. у наукових установах Відділення наук про Землю НАН України була одержана низка вагомих фундаментальних і прикладних результатів широкого тематичного спектру (Звіт..., 2019–2021). Зокрема, в Інституті геологічних наук академіком НАН України В.М. Шестопаловим уперше в світовій практиці сформульоване уявлення щодо двох типів родовищ водню: 1) розташованих безпосередньо над чи у субвертикальних структурах витоку водню з великих глибин, 2) у проникних латеральних чи похилих пластах, які живляться воднем із субвертикальних глибинних структур.

Під керівництвом академіка НАН України В.І. Старостенка у рамках міжнародного проєкту Інститутом геофізики ім. С.І. Субботіна у співпраці з Інститутом геофізики Польської академії наук виконано наймасштабніші експериментальні сейсмічні дослідження за профілем Shield-21, загальна довжина якого сягає 650 км. Побудовано уніфіковану тривимірну густинну модель

Чорноморського регіону і прилеглих територій, яка суттєво підвищила достовірність геологічної інтерпретації неоднорідностей структури в основних горизонтах осадового чохла.

В Інституті геології і геохімії горючих копалин під керівництвом академіка НАН України М.І. Павлюка на основі уточнення тектонічної та геологічної будови Передових Карпат з урахуванням виявлених поверхневих нафтогазопроявів обґрунтовано 14 перспективних для пошукового буріння об'єктів, прогнозні ресурси яких оцінено у 24 млрд м³ газу.

В Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка під керівництвом академіка НАН України О.М. Пономаренка та члена-кореспондента НАН України О.Б. Брика створено сепаратор для розділення залізородної сировини шляхом попереднього намагнічування однополярними імпульсами магнітного поля та під впливом змінного магнітного поля.

В Інституті географії під керівництвом академіка НАН України Л.Г. Руденка вперше в Україні створено інтерактивні карти розміщення потенційно небезпечних об'єктів токсичних відходів (170 об'єктів), отрутохімікатів (393 об'єкти) та 11422 об'єктів пожежовибухової небезпеки, які дають змогу визначення точної географічної прив'язки об'єктів і можливого ступеня небезпеки для життя людей.



Семененко Віра Пантелеївна (1948 р. н.) – відомий вчений в галузі геохімії та космічної мінералогії, доктор геолого-мінералогічних наук (1988), професор (2003), член-кореспондент НАН України (2018).

У 1971 р. після закінчення Львівського державного університету ім. І. Франка В.П. Семененко вступила до аспірантури Інституту геологічних наук АН УРСР. Трудову діяльність у 1974 р. розпочала в Інституті геохімії і фізики мінералів АН УРСР (нині – Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України) на посаді старшого інженера. У 1977 р. захистила кандидатську, а в 1988 р. докторську дисертації. Згодом очолила відділ космогеології та космічної мінералогії спочатку в Інституті геохімії навколишнього середовища НАН України (1996–2014), а з 2015 р. – в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України.

Наукова діяльність В.П. Семененко пов'язана з дослідженнями умов утворення та закономірностей еволюції мінеральної та органічної проторечовини, з якої утворилась Земля та її мінеральні ресурси на основі вивчення мінерального і хімічного складу космічних зразків. Вона є головою Комітету по метеоритах НАН України і куратором метеоритної колекції Національного науково-природничого музею НАН України, входить до складу Міжнародного метеоритного товариства.

Віра Пантелеївна – автор понад 200 наукових праць, серед яких шість монографій. Під її керівництвом захищено шість кандидатських дисертацій.

В.П. Семененко нагороджена багатьма дипломами, почесними грамотами та відзнаками, зокрема «За підготовку наукової зміни» (2008) та на честь 100-річчя НАН України (2018). У 2009 р. була удостоєна ордена княгині Ольги III ступеня (75-річчя..., 2023).



Щипцов Олександр Анатолійович (1953 р. н.) – відомий вчений в галузі океанографії, доктор географічних наук (2004), професор (1995), член-кореспондент НАН України (2018), заслужений працівник транспорту України (2009).

Неординарний життєвий шлях О.А. Щипцова ознаменований успішним поєднанням професійної кар'єри у військово-морській сфері з науковою, державною, організаційною та педагогічною діяльністю. Військово-морську службу Олександр Анатолійович розпочав з юнацьких років (з 1968 р.) і пройшов шлях від нахімовця до контрадмірала. У 1976–1983 рр. він служив у ВМФ і Головному управлінні навігації та океанографії МО СРСР, з 1983 до 1992 р. працював у Секції з оборонних питань МО СРСР при Президії АН УРСР. У 1992–2000 рр. обіймав керівні посади державної служби: очолював Національне агентство морських досліджень і технологій, Комісію з питань морської політики при Президентові України, Державну гідрографічну службу, Державну адміністрацію морського та річкового транспорту. Був заступником міністра у справах науки та технологій і міністра транспорту. У 1997 р. О.А. Щипцову присвоєно перший (вищий) ранг державного службовця.

Основну професійну роботу Олександр Анатолійович тривалий час поєднував із науково-педагогічною діяльністю, зокрема впродовж 1997–1999 рр. керував кафедрою державної морської політики Київської філії Одеської державної морської академії.

У 2016–2024 рр. О.А. Щипцов очолював Державну установу «Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України», яка була створена рішенням Президії НАН України за його ініціативою на базі Науково-технічного центру панорамних акустичних систем НАН України. Предметом науково-технічних досліджень Олександра Анатолійовича є експериментальна океанологія та автоматизація комплексних експедиційних досліджень з використанням науково-дослідних суден, а також морські інформаційні системи та технології. Він брав участь у численних наукових океанографічних експедиціях у різних районах Світового океану.

Провідною і незмінною метою діяльності та устремління О.А. Щипцова було і залишається становлення України як морської держави. Під його керівництвом у 1993 р. у Національному агентстві морських досліджень і технологій були вперше сформульовані концептуальні засади державної морської політики незалежної України та розроблена довгострокова Національна програма досліджень і використання ресурсів Азово-Чорноморського басейну та інших районів Світового океану і розпочато її впровадження. Серед інших знакових досягнень вченого варто зазначити розробку та реалізацію Державної програми створення системи і технологій навігаційного, картографічного та гідрографічного забезпечення мореплавання і першої Державної програми досліджень України в Антарктиці (70-річчя..., 2023).

О.А. Щипцов є головним редактором «Океанографічного журналу (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану)» та автором численних наукових праць, серед яких слід відзначити монографію «Національні наукові інтереси України на морі: від витоків до перспектив», яка вийшла в світ у 2023 р. (70-річчя..., 2023).

О.А. Щипцов нагороджений медалями «За бездоганну службу» I–III ступенів, Почесними грамотами Науково-технічного комітету ВМФ СРСР (1989), Кабінету Міністрів України (2002), Верховної Ради України (2003), НАН України (2018), орденом «За заслуги» та відзнакою НАН України «За професійні здобутки» (2023).

В Українському гідрометеорологічному інституті під керівництвом члена-кореспондента НАН України В.І. Осадчого виконані експериментальні дослідження впливу температури води на зміну фізико-хімічних параметрів водного середовища, міжфазовий розподіл і трансформацію хімічних речовин у системі «вода-завислі речовини-донні відклади» на р. Десна та Київському водосховищі. Також фахівці Інституту брали участь у польових роботах у Зоні відчуження ЧАЕС та у Японії у рамках проєкту українсько-японського співробітництва («Чорнобиль-Фукусіма») за програмами тестування методів вивчення наслідків радіоактивного забруднення природного середовища та виконання завдання «Покращення радіаційного контролю навколишнього середовища та законодавчої бази в Україні для екологічної реабілітації радіоактивно забруднених майданчиків».

У 2021 р. Президія НАН України затвердила Цільову комплексну програму наукових досліджень НАН України «Критичні та стратегічні мінеральні ресурси України за умов глобалізації та змін клімату» (2021–2025).

Лауреатами Державної премії України в галузі науки і техніки у 2019 р. стали вчені Інституту

геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України О.В. Кендзера, С.С. Чулков, О.В. Легостаєва, В.Д. Омельченко, Д.В. Лисинчук, Д.М. Гринь, К.В. Коломієць та перший заступник генерального директора державного геофізичного підприємства «Укр-геофізика» А.П. Толкунов – за роботу «Глибинна будова літосфери та сейсмічна небезпека території України».

Премію ім. П.А. Тутковського НАН України отримали: В.С. Мадерич, Р.В. Беженар і І.В. Бровченко (2019) – за цикл праць «Математичне моделювання розповсюдження радіоактивності в морських системах внаслідок аварій на Чорнобильській та Фукусімській АЕС та його застосування в системах підтримки рішень при ядерних аваріях». За монографію «Геопросторові дослідження і практика планування: Україна на тлі світових трендів» премією ім. С.І. Субботіна НАН України у 2020 р. була удостоєна Є.О. Маруняк.

У 2021 р. С.Б. Шехунова була обрана академіком НАН України (геологія, седиментологія), а В.Г. Бахмутов (геофізика), І.О. Бровченко (моделювання геосистем), В.П. Коболев (геологія покладів вуглеводнів), Є.О. Маруняк (географія) та І.М. Наумко (геохімія) стали членами-кореспондентами НАН України.



Бахмутов Володимир Георгійович (1956 р. н.) – відомий вчений-геофізик у галузі досліджень геомагнітного поля та петромагнетизму, доктор геологічних наук (2002), професор (2019), член-кореспондент НАН України (2021), лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки (2015).

Після закінчення геологічного факультету Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка в 1979 р. В.Г. Бахмутов почав працювати в Інституті геофізики ім. С.І. Субботіна АН УРСР на посаді інженера. Впродовж 1980–1983 рр. навчався в аспірантурі Інституту. Згодом обіймав посади: молодшого (1984–1988), наукового (1988–1990), старшого наукового співробітника (1990–1995), завідувача лабораторії варіацій магнітного поля Землі (1995–1997). Упродовж 1997–2014 рр. – провідний науковий співробітник та одночасно у 2003–2009 рр. – заступник директора Інституту з наукової роботи. З 2015 р. – завідувач відділу петромагнетизму і морської геофізики.

З 1995 р. В.Г. Бахмутов бере активну участь у роботі Центру антарктичних досліджень НАН України (нині – Український Антарктичний центр Міністерства освіти і науки України) як очільник сектору геолого-геофізичних досліджень. У 1995 р. був у складі першої команди українських зимівників, яка приймала від Британії антарктичну станцію «Фарадей» (зараз – «Академік Вернадський») та неодноразово брав участь у виконанні морських і сезонних антарктичних експедицій. У 2003–2004 рр. очолював зимівлю VIII Української антарктичної експедиції на станції «Академік Вернадський».

Наукові дослідження вченого стосуються природи палеовікових геомагнітних варіацій, тонкої структури геомагнітного поля і магнітостратиграфії. Він є автором зведеної регіональної магнітохронологічної схеми палеовікових варіацій, яка являє собою новий інструмент для розчленування, стратифікації і кореляції осадових товщ у південно-східних і центральних частинах Європейського континенту. Вагомим результатом його досліджень стала монографія «Палеовікові геомагнітні варіації» (2006). Вчений – автор понад 150 наукових праць.

В.Г. Бахмутов бере активну участь у підготовці молодих фахівців. Ним підготовлено трьох кандидатів наук. У 2007–2019 рр. за сумісництвом працював професором кафедри геофізики в ННІ «Інститут геології» Київського національного університету ім. Тараса Шевченка.

В.Г. Бахмутов нагороджений орденом «За мужність» III ступеня, медаллю Л.І. Лутугіна Державної геологічної служби України.

Останні роки виявилися для НАН України особливо складними. Спочатку пандемія COVID-19, а потім широкомасштабна воєнна агресія РФ проти України, з початком якої Відділення наук про Землю НАН України переглянуло пріоритети своєї діяльності і припинило будь-яке співробітництво з установами і вченими країни-агресора і республіки Білорусь. Певна частина вчених залишила територію України і більшість з них продовжили свої дослідження в провідних європейських наукових установах. Водночас установи Відділення

наук про Землю НАН України, попри суттєве скорочення видатків з державного бюджету, зробили усе можливе для підтримки фундаментальних досліджень, а також їх адаптації до потреб воєнного стану держави (Звіт..., 2023, 2024).

У складний для країни час науковці Відділення наук про Землю НАН України в умовах війни продовжили діяльність, спрямовану на підтримання функціонування галузей господарства України, спостереження за станом довкілля та забезпечення протидії агресору і несприятливим



Бровченко Ігор Олександрович (1979 р. н.) – знаний фахівець у галузі математичного моделювання навколишнього середовища, доктор фізико-математичних наук (2017), член-кореспондент НАН України (2021), лауреат премії ім. Тутковського НАН України (2019).

Після закінчення механіко-математичного факультету Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка у 2001 р. І.О. Бровченко почав працювати в Інституті проблем математичних машин і систем НАН України, де пройшов шлях від наукового співробітника до завідувача відділу (з 2015 р.) та заступника директора (з 2017 р.). Одночасно з 2001 р. – старший науковий співробітник Українського центру екологічних та водних проєктів.

І.О. Бровченко – розробник чисельних математичних моделей: розповсюдження нафтопродуктів у морському середовищі; переносу намулів; переносу радіонуклідів у морському середовищі.

І.О. Бровченко отримував гранти НАН України для молодих учених (2005–2010), Президента України (2008, 2014) та Київського міського голови для талановитої молоді (2010), премії для молодих учених НАН України (2008–2010) та Президента України (2010–2012), стипендію Всесвітньої федерації вчених (WFS) (2007–2008). Також він брав участь у виконанні низки міжнародних проєктів, зокрема INTAS, No. 01-0330 (2002–2003), No. 03-51-4620 (2004–2007), EU Horizon 2020 (2021–2024) та ін. Від 2020 р. – член Комітету із системного аналізу Президії НАН України та голова робочої групи НАН України з математичного моделювання проблем, пов'язаних з коронавірусом в Україні.



Коболєв Володимир Павлович (1949 р. н.) – відомий вчений в галузі морських геофізичних досліджень геологічної будови літосфери Світового океану, доктор геологічних наук (2004), професор (2013), член-кореспондент НАН України (2021), лауреат премії ім. П.А. Тутковського НАН України (2015).

У 1968 р. В.П. Коболєв з відзнакою закінчив Київський геологорозвідувальний технікум і того ж року вступив на геологічний факультет Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка, який закінчив у 1973 р. Навчався в аспірантурі Університету (1973–1976), впродовж 1976–1980 рр. працював завідувачем лабораторії кафедри геофізичних методів пошуку і розвідки корисних копалин. З 1981 р. – в Інституті геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, де пройшов шлях від молодшого до головного наукового співробітника.

Наукові спрямування вченого присвячені дослідженню геологічної будови літосфери акваторій Світового океану геофізичними методами. Він – учасник численних морських експедицій на науково-дослідних суднах «Академік Вернадський», «Професор Водяницький», «Професор Колесніков», «Володимир Паршин» та «Київ». Брав участь у сезонних експедиційних дослідженнях Антарктичного півострова у районі станції «Академік Вернадський». Його основні наукові досягнення пов'язані з вивченням теплофізичних властивостей гірських порід, термічного режиму і глибинної будови літосфери, геодинамічних процесів Землі на основі комплексного аналізу геофізичних даних.

В.П. Коболєв – співавтор гіпотези гарячих поясів Землі, в основі якої лежить науковий постулат переміщення в часі древніх магнітних полюсів і відповідно просторове розміщення автоматично пов'язаних з ними тектонічно ослаблених палеоекваторіальних зон. Він вперше застосував плюм-тектонічну модель для з'ясування геодинамічної еволюції Чорноморського регіону, яка органічно вписується в концепцію походження і розвитку Середземноморського складчастого поясу. Також вчений отримав вагомі результати в області теоретичних розробок механізму формування газогідратних покладів та газо-грязьового вулканізму Чорного моря. В.П. Коболєв – автор понад 300 наукових праць, серед яких 16 колективних монографій, три депонованих рукописів, патент на винахід (Науковці..., 2015).

природним явищам. Зокрема, вченими Відділення наук про Землю НАН України створено програмно-технічний комплекс обробки інформації дистанційного зондування Землі з системою архівації, каталогізації та пошуку даних для оперативного відстеження ситуації. Також здійснюється постійний моніторинг та аналіз актуального стану забруднення атмосферного повітря. Використовуючи сучасну супутникову інформацію та власні розроблені алгоритми і програмні продукти, науковцям вдається щоденно в оперативному режимі повністю охоплювати територію України і сусідніх країн, виявляти осередки забруднення атмосферного повітря. За допомогою системи моніторингу можна оцінити шкоду, завдану окупантами. Це актуально для окупованих територій,

на яких ускладнений контактний моніторинг, та для моніторингу акваторій Чорного та Азовського морів. Протягом періоду воєнного стану, а також зважаючи на загрози потенційних викидів радіонуклідів техногенного походження в Зоні відчуження навколо Чорнобильської АЕС та на інших потенційно небезпечних об'єктах проводяться спостереження за вмістом радіонуклідів в атмосферному повітрі.

У Карпатському відділенні Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна досліджено можливості застосування протонних і ферозондових магнітометрів для виявлення прихованих вибухонебезпечних предметів та встановлено характерні магнітні аномалії певної форми та інтенсивності для різних їх типів. Надано методичні рекомендації



Маруняк Євгенія Олександрівна (1977 р. н.) – знаний фахівець з економічної географії, доктор географічних наук (2016), член-кореспондент НАН України (2021), лауреат премії ім. Тутковського НАН України (2020).

Після закінчення у 2001 р. географічного факультету Київського національного університету ім. Тараса Шевченка Є.О. Маруняк працює в Інституті географії НАН України: від 2006 р. – вчений секретар, водночас від 2017 р. – завідувач сектору збалансованого розвитку та екологічної оцінки, а з 2020 р. – директор.

Наукові дослідження Є.О. Маруняк присвячені соціальній та економічній географії, просторовому та стратегічному, екологічно орієнтованому плануванню розвитку регіонів, оцінці впливів на довкілля, процесам глобалізації та міжнародної інтеграції тощо. Протягом останніх 15 років вона була керівником і виконавцем 16 тем науково-дослідних робіт та брала участь у виконанні низки міжнародних проектів. Зокрема, координувала дослідження в рамках українсько-німецьких проектів «Ландшафтне планування в Україні» та «Інтеграція екологічних вимог в систему територіального планування України» (2011–2016), а також словацько-українського проекту «Просторові відмінності в сільських і міських регіонах України та Словаччини: оцінка збалансованості розвитку та якості життя» (2014–2016).

Є.О. Маруняк – автор і співавтор понад 150 наукових праць, зокрема дев'яти колективних та двох одноосібних монографічних видань, які слід віднести до її вагомих наукових здобутків, – «Глобалізація та її вплив на розвиток регіонів України» (2007) та «Геопросторові дослідження і практика планування: Україна на тлі світових трендів» (2018).



Наумко Ігор Михайлович (1951 р. н.) – відомий мінералог і геохімік, доктор геологічних наук (2007), професор (2013), член-кореспондент НАН України (2021).

Після закінчення з відзнакою у 1973 р. Львівського університету та дворічної служби в Радянській армії І.М. Наумко почав працювати інженером в Інституті геології і геохімії горючих копалин НАН України. В 1977 р. він вступив до аспірантури Інституту. Після захисту кандидатської дисертації п'ять років працював ученим секретарем Інституту (1987–1992), а з 1992 до 1996 р. – заступником директора з наукової роботи, одночасно від 1994 р. очолював відділ геохімії глибинних флюїдів, з невеликою перервою у 2000 р., коли він працював доцентом кафедри фізики Землі Львівського національного університету ім. Івана Франка. В 1996–1997 рр. І.М. Наумко – виконувач обов'язків директора Інституту.

Наукові спрямування вченого присвячені дослідженню флюїдного режиму процесів мінерало-нафтидогенезу в різних геофлюїдо-динамічних палеоситуаціях літосфери, встановленню геохімічних і термобарометричних параметрів флюїдного середовища кристалізації мінералів, відтворенню фізико-хімічної природи, просторово-часової послідовності прояву і мінливості параметричних характеристик флюїдів. Він заснував нові наукові напрями в геології: «термобарометрія і геохімія газів прожилково-вкрапленої мінералізації» у відкладах нафтогазоносних областей і металогенічних провінцій» та «надра Землі – природний фізико-хімічний реактор».

Науковий доробок І.М. Наумка налічує понад 300 друкованих праць. Серед них низка колективних монографій, зокрема «Флюїдний режим мінералогенезу породно-рудних комплексів України» (2012) (Ігорю..., 2011).

щодо розробки системи дистанційного виявлення та геопросторової ідентифікації прихованих вибухонебезпечних об'єктів на базі безпілотних літальних апаратів із використанням високоточної магнітної зйомки.

В Українському гідрометеорологічному інституті розроблено методику відокремлення «бойових» пожеж від тих, які виникли від необережності, і запропоновано сім дешифрувальних ознак для пожеж, які виникли внаслідок бойових дій. Розроблено базову методику обрахування кількості згорілих матеріалів для оцінювання збитків, завданих навколишньому середовищу в результаті бойових дій.

У Державній установі «Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України» створено судновий океанографічний науково-технічний комплекс на науково-дослідному судні «Гідробіолог» НАН України, яке передано та прийнято в експлуатацію ВМС ЗС України.

В Інституті геофізики ім. С.І. Субботіна розроблено узгоджені з державними та європейськими будівельними нормами сучасні алгоритми, технології та підходи до прогнозування сейсмічної небезпеки конкретних ділянок методами загального детального сейсмічного районування і сейсмічного мікрорайонування. Удосконалено методи та алгоритми забезпечення сейсмостійкості споруд, що є особливо важливим як в умовах воєнного стану, так і для повоєнного відновлення країни, оскільки наявні значні руйнування житлових будинків і відповідальних об'єктів.

В Інституті проблем математичних машин і систем розроблено вебінтерфейс для аналізування та візуалізації епідемічних і демографічних даних на базі оперативної інформації МОЗ України про кількість смертей від COVID-19, приведені до дат подій та агреговані по місяцях за період із березня 2020 р. до січня 2022 р., та щомісячних даних Держстату України щодо кількості смертей з усіх причин із січня 2015 р. до січня 2022 р. Результати роботи використано у підготовці регулярних звітів і прогнозів поширення епідемії SARS-CoV2 в Україні.

В Інституті геологічних наук академіком НАН України С.Б. Шехуновою створено модернізовану гідродинамічну модель Солотвинської солянокупольної структури та прилеглих територій, побудовані схеми покрівлі та підшви водоносних горизонтів, розподілу дійсних швидкостей потоку на основі уточнених фільтраційних параметрів надсолевих відкладів.

В Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка під керівництвом члена-кореспондента НАН України Л.М. Степанюка методами оптичної мікроскопії вивчено анатомію кристалів циркону із породної асоціації Острівського кар'єру (Росинсько-Тікицький мегаблок). Встановлено, що мінералогічним критерієм для геолого-пошукових робіт на літій може бути наявність акцесорної мінералізації монтебразиту, трифіліну та інших фосфатів літію у вмісних породах.

Вийшла друком колективна наукова монографія «Формування метрополісних регіонів України: досвід Києва», яку науковці Інституту географії НАН України підготували спільно з колегами з Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, Інституту Генерального плану м. Києва, Київського національного університету будівництва та архітектури, Консалтингової компанії «Plan+risk consult GmbH» (Німеччина). Монографія базується на багаторічному досвіді авторів щодо дослідження різних аспектів розвитку Київського метрополісного регіону, враховує воєнні реалії сьогодення та обґрунтовує наукові засади поліцентричного та поліфункціонального просторового розвитку метрополісних регіонів.

У 2022 р. за цикл наукових праць «Історія мінералів і мінералогії в Україні» академіку НАН України С.О. Довгому, О.І. Матковському та В.І. Павлишину присуджено премію ім. Є.К. Лазаренка. Премію ім. П.А. Тутковського у 2023 р. отримали вчені Інституту географії НАН України Л.Г. Руденко, А.І. Бочковська та К.А. Поливач – за цикл праць «Академічна географія і атласне картографування за роки незалежності України», а премію ім. С.І. Субботіна – науковці Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України І.Б. Макаренко, О.В. Легостаєва та П.Я. Купрієнко (посмертно) – за монографію «Неоднорідність земної кори України і суміжних регіонів за результатами 3D гравітаційного моделювання» (Звіт..., 2023).

Загальна кількість обраних членів НАН України по Відділенню наук про Землю впродовж 1991–2023 рр. складає 13 академіків та 46 членів-кореспондентів. Наймолодшими на момент обрання були серед академіків – В.М. Єремєєв (55 років), серед членів-кореспондентів – І.О. Бровченко (42 роки). Найстарішими – академік А.О. Морозов (76 років), член-кореспондент Є.Г. Булах (82 роки).

Станом на 01.03.2024 р. персональний склад Відділення наук про Землю НАН України налічує вісім дійсних членів (С.О. Довгий, О.Ю. Лукін, А.О. Морозов, М.І. Павлюк, О.М. Пономаренко, Л.Г. Руденко, В.І. Старостенко, С.Б. Шехунова) та 18 членів-кореспондентів (В.Г. Бахмутов, І.О. Бровченко, О.Б. Гінтов, В.О. Ємельянов, Е.Я. Жовинський, О.В. Кендзера, В.П. Коболев, Р.І. Кутас, В.Ю. Максимчук, Є.О. Маруняк, І.М. Наумко, В.І. Осадчий, М.О. Попов, В.П. Семененко, Л.М. Степанюк, О.Д. Федоровський, О.А. Щипцов, М.А. Якимчук). Керівництво Відділенням здійснюють академік-секретар О.М. Пономаренко та його заступники: академік С.Б. Шехунова та члени-кореспонденти В.І. Осадчий та О.В. Кендзера. Кандидат геолого-мінералогічних наук Я.К. Луців обіймає посаду вченого секретаря (Національна..., 2023).

На сьогодні фундаментальні і прикладні дослідження у Відділенні наук про Землю НАН України проводять такі установи: Інститут геологічних наук (директор – С.Б. Шехунова); Державна установа (ДУ) «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України» (директор – М.О. Попов); ДУ «Науково-інженерний центр радіогідроекологічних полігонних досліджень НАН України» (в.о. директора – Ю.Ф. Руденко); ДУ «Центр проблем морської геології, геоекології та осадового рудоутворення НАН України» (директор – В.О. Ємельянов); Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна (директор – О.В. Кендзера) та установи при ньому – Карпатське відділення (директор – О.Я. Сапужак), Полтавська гравіметрична обсерваторія (директор – М.В. Лубков) та Відділення геодинаміки вибуху (керівник – С.В. Микуляк); Інститут географії (директор – Є.О. Маруняк); Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка (директор – О.М. Пономаренко); Інститут геології і геохімії горючих копалин (директор – М.І. Павлюк); ДУ «Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України» (в.о. директора – С.Г. Федосеєнков); Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України» (директор – В.І. Осадчий); Інститут проблем математичних машин і систем (в.о. директора – В.П. Клименко) (Національна..., 2023). Працює 1317 співробітників, з них 699 науковців, серед яких 110 докторів наук і 330 кандидатів наук/докторів філософії.

Науково-координаційну роботу з окремих актуальних наукових напрямів і проблем проводять наукові ради, комітети та громадські наукові об'єднання. Нині при Відділенні наук

про Землю НАН України працює чотири наукові ради з проблем: «Геологія і геохімія горючих копалин» (голова – академік НАН України М.І. Павлюк), «Геодинаміка і прогноз землетрусів» (голова – член-кореспондент НАН України Р.І. Кутас), «Походження нафти і газу» (голова – академік НАН України О.Ю. Лукін) та Міжвідомча науково-методична рада «Геологічні проблеми ізоляції радіоактивних та інших небезпечних відходів у надрах» (голова – академік НАН України С.Б. Шехунова); чотири комітети: Національний стратиграфічний комітет України (співголови – академіки НАН України О.М. Пономаренко і С.Б. Шехунова), Український літологічний комітет (голова – академік НАН України С.Б. Шехунова), Комітет по метеоритах (голова – член-кореспондент НАН України В.П. Семененко), Національний комітет з Міжнародної програми геологічної кореляції ЮНЕСКО (учений секретар – доктор геологічних наук О.О. Ремезова); чотири наукових товариств: Українське мінералогічне товариство (президент – доктор геологічних наук Г.О. Кульчицька), Українське географічне товариство (учений секретар – доктор геологічних наук С.Ю. Бортник), Палеонтологічне товариство (президент – доктор геологічних наук О.П. Ольштинська), Товариство пошукової та екологічної геохімії (президент – член-кореспондент НАН України Е.Я. Жовинський). Їх зусилля зосереджені на питаннях сприяння координації перспективних наукових досліджень, підготовці пропозицій та аналітичних матеріалів для державних органів влади, організації та проведенні наукових читань, конференцій, семінарів, симпозіумів.

Післямова

У розглянутий період зусилля вчених Відділення наук про Землю НАН України були спрямовані на розвиток фундаментальних і прикладних досліджень з актуальних напрямів геологічних наук. Особлива увага приділялась: координації наукових досліджень, які максимально відповідали новим реаліям і забезпечували більш ефективне використання бюджетного фінансування і матеріально-технічних ресурсів установ; розробці наукових основ комплексного підходу та оцінки освоєння родовищ корисних копалин; перспективам розвитку мінерально-сировинної бази та освоєння її об'єктів; розвитку технологічного блоку досліджень щодо перспективних видів

корисних копалин; розвитку геоecологічних досліджень з метою стабілізації і покращення екологічних умов у країні. До вагомих досягнень установ Відділення наук про Землю НАН України за розглянутий період, на наш погляд, слід віднести такі.

1. В Інституті геологічних наук:

- створено Стратиграфічний кодекс України, який є узагальненим зведенням правил і наукових критеріїв, що визначають геохронологічну базу державного геологічного картування, пошуків, розвідки, експлуатації корисних копалин та проведення різноцільових геологічних робіт в Україні (П.Ф. Гожик, В.М. Семененко);
- академіком НАН України В.М. Шестопаловим сформульовані уявлення про експлуатаційні ресурси родовищ водню, які базуються на сталих природних ресурсах та надходять з великих глибин;
- створено реалістичну модель геологічного середовища з урахуванням зон швидкої міграції з детальним тривимірним моделюванням фільтрації, яка не має аналогів у світі (академік НАН України В.М. Шестопалов, В.М. Бублясь, О.С. Богуславський, І.П. Онищенко, І.М. Романюк);
- розроблено оригінальні уявлення про гіпогенне карстоутворення під дією висхідного водообміну і потоків глибинних флюїдів, які отримали широке міжнародне визнання і реалізацію в багатьох країнах світу (академік НАН України В.М. Шестопалов, член-кореспондент НАН України О.Б. Климчук);
- обґрунтовано концепцію глибинної дегазації Землі як глобального процесу саморозвитку нашої планети, що є головним фактором нафтидогенезу. Показано провідну роль геодинамічних і флюїодинамічних факторів у диференціації тектонічно зумовлених нафтогазоносних провінцій на автономні басейни нафтидогенезу (академік НАН України О.Ю. Лукін);
- академіком НАН України С.Б. Шехуною розроблено концепцію літогенезу соленосних формацій на основі встановлення стадіальних перетворень речовини на формаційному, шаровому, породному, мінеральному, геохімічному рівнях; обґрунтовано підходи до вирішення проблемних питань залучення галогенних формацій у економічну діяльність.

2. В Інституті геофізики ім. С.І. Субботіна:

- в рамках виконання міжнародних проєктів регіональних сейсмічних досліджень (DOBRE) отримані вагомні результати про глибинну будову та геодинамічний розвиток літосфери та побудовано тектонічну карту України (академік НАН України В.І. Старостенко, В.Д. Омельченко, Д.В. Лисинчук, Д.М. Гринь, К.В. Коломієць, С.С. Чулков, О.В. Легостаєва);
- розроблено сучасні алгоритми, технології та підходи до прогнозування сейсмічної небезпеки методами загального детального сейсмічного районування (член-кореспондент НАН України О.В. Кендзера, Л.В. Фарфуляк, Т.А. Амашукелі, Ю.В. Семенова, Ю.В. Лісовий);
- у результаті виконання цільових морських програм наукових досліджень НАН України експериментально підтверджене та закартоване газогідратне скупчення на континентальному схилі північно-західної частини Чорного моря (член-кореспондент НАН України В.П. Коболев, О.О. Верпаховська);
- у Відділенні геодинаміки вибуху Інституту розроблено алгоритми і програми математичного моделювання термомеханічної еволюції структурованої нерівноважної літосфери та розроблено технології інтенсифікації видобутку води, нафти, газу, руд та інших корисних копалин (член-кореспондент НАН України В.А. Даниленко, Д.Б. Венгерович, В.П. Нагорний);
- у Карпатському відділенні Інституту побудовано інтерпретаційну модель тектономагнітних аномалій та розроблено методіку комплексного моніторингу сейсмотектонічних процесів узбережжя Антарктичного півострова (член-кореспондент НАН України В.Ю. Максимчук, І.О. Чоботок, Т.А. Климкович).

3. В Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка:

- встановлено вікові рубежі зеленокам'яних поясів трьох генерацій та доведено їх вікове співвідношення для Українського щита та Курської магнітної аномалії (М.П. Щербак, Г.В. Артеменко);
- під керівництвом академіка НАН України О.М. Пономаренка та члена-кореспондента НАН України О.Б. Брика створено магнітний

сепаратор, який за допомогою різнополярних імпульсів магнітного поля дозволяє розділення рудної і нерудної компонент залізистих кварцитів і може бути використаний для виробництва високоякісних конкурентоздатних залізорудних концентратів.

4. В Інституті геології і геохімії горючих копалин:

- на основі комплексних геолого-палеоокеанографічних досліджень створено великомасштабну (1:1 000 000) модель структури давньої континентальної окраїни Центрально-Європейського сегменту океану (Карпато-Чорноморська область) (Ю.М. Сеньковський);
- на основі уточнення тектонічної та геологічної будови Передових Карпат з урахуванням виявлених поверхневих нафтогазопроявів обґрунтовано 14 перспективних для пошукового буріння об'єктів (академік НАН України М.І. Павлюк, Я.Г. Лазарук, В.Є. Шлапінський);
- на засадах нової фізико-хімічної моделі глибинного мінерало- і нафтидогенезу у літосфері Землі обґрунтовано абіогенне-біогенне походження метану вугільних родовищ (член-кореспондент НАН України І.М. Наумко, академік НАН України М.І. Павлюк, Й.М. Сворень, М.І. Зубик).

5. В Українському науково-дослідному гідрометеорологічному інституті під керівництвом члена-кореспондента НАН України В.І. Осадчого вперше в Україні була розроблена цільова моделююча система аналізу та кількісної оцінки формування забруднення в межах річкових басейнів і рекомендована як базовий інструмент для впровадження директив Угоди про асоціацію між Україною та ЄС.

6. Вченими Інституту географії із залученням низки закладів вищої освіти, окремих міністерств, державних і громадських організацій вперше створено Національний атлас України, який являє собою фундаментальний картографічний твір енциклопедичного рівня та

в електронному форматі «Атлас природних, техногенних і соціальних небезпек і ризиків виникнення надзвичайних ситуацій в Україні» (головний редактор – академік НАН України Л.Г. Руденко).

- 7.** В Інституті проблем природокористування та екології під керівництвом члена-кореспондента НАН України А.Г. Шапаря розроблено методологію оцінки промислових технологій природокористування, яка дає змогу забезпечити ефективне вирішення проблем управління природно-техногенними системами на регіональному рівні у процесі їх переходу до сталого функціонування.
- 8.** В Морському гідрофізичному інституті під керівництвом академіка НАН України В.М. Єремєєва розроблені апаратура, методи і засоби безперервних довготривалих океанографічних спостережень, створені моделі циркуляції вод і екосистеми Чорного моря, реалізовані нові принципи проведення вимірювань, що склало основу для ефективного розвитку методів оперативної океанографії як елемента Міжнародної глобальної спостережної системи Чорного моря.
- 9.** У Відділенні морської геології та осадового рудоутворення НАН України під керівництвом академіка НАН України Є.Ф. Шнюкова виконано типізацію грязьових вулканів і створено каталог грязьових вулканів Азово-Чорноморського регіону з описом їх глибинної геологічної будови.

Наведений перелік включає лише окремі результати досліджень установ Відділення наук про Землю НАН України. В тексті статті основні досягнення і здобутки розглянуті в хронологічному порядку та у наведених біографічних довідках про членів Відділення.

Подяка. Автори щиро вдячні академіку НАН України С.Б. Шехунівій за сприяння і суттєву допомогу при підготовці до друку трьох частин статті.

У третій частині статті у хронологічному порядку розглянуті основні історичні події в датах, фактах та особистостях становлення і розвитку установ Відділення наук про Землю НАН України від набуття Україною незалежності у 1991 р. і дотепер. Наведені найбільш вагомні здобутки науковців Відділення наук про Землю НАН України, які були відзначені Державними преміями України в галузі науки і техніки, а також преміями НАН України імені видатних учених України – В.І. Вернадського, П.А. Тутковського і С.І. Субботіна. Надана інформація про Цільові комплексні програми ресурсно-орієнтованих наукових досліджень НАН України.

Список літератури

Відділення наук про Землю: Старостенко В.І. (відп. ред.). Київ: Поліграфія ТОВ «Макрос», 2003. 272 с.

Володимир Миколайович Семененко (До 75-річчя від дня народження). *Геол. журн.* 2009. № 3 (328). С. 114–115.

До 75-річчя члена-кореспондента НАН України Олександра Володимировича Кендзери. *Геофиз. журн.* 2023. Т. 45, № 3. С. 154–157.

Дослідження сучасної геодинаміки Українських Карпат. Київ: Наукова думка, 2005. 255 с.

Звіт про діяльність Національної академії наук України у 2019 році / НАН України. Київ: Академперіодика, 2020. 594 с.

Звіт про діяльність Національної академії наук України у 2020 році / НАН України. Київ: Академперіодика, 2021. 593 с.

Звіт про діяльність Національної академії наук України у 2021 році / НАН України. Київ: Академперіодика, 2022. 637 с.

Звіт про діяльність Національної академії наук України у 2022 році / НАН України. Київ: Академперіодика, 2023. 593 с.

Звіт про діяльність Національної академії наук України у 2023 році / НАН України. Київ: Академперіодика, 2024. 589 с.

Ігорю Михайловичу Наумку – 60. *Мінерал. журн.* 2011. Т. 33, № 3. С. 100–102.

Коболев В.П., Старостенко В.І., Русаков О.М. До 90-річчя члена-кореспондента НАН України Романа Івановича Кутаса. *Геофиз. журн.* 2023. Т. 45, № 3. С. 143–153.

Лукин Александр Ефимович (к 70-летию со дня рождения). *Геология и полез. ископаемые Мирового океана.* 2010. № 2. С. 97–99.

Маруняк Є.О., Лісовський С.А. Відкриваючи науку світові. До 80-річчя академіка НАН України Л.Г. Руденка. *Вісн. НАН України.* 2021. № 8. С. 83–89. <https://orcid.org/0000-0002-6743-6883>

Михайло Олексійович Попов (до 75-ої річниці з дня народження). *Укр. журн. дистанц. зондування Землі.* 2021. Т. 8, № 2. С. 41–42.

НАН України. Керівництво. 1918–2018: бібліогр. енциклопед. слов. Київ: Фенікс, 2018. 256 с.

Наукові установи України: довід. вид. Київ: УкрІНТЕІ, 2013. 220 с.

Науковці України – еліта держави. Т. 4. Київ: Логос Україна, 2015. 328 с.

Національна академія наук України. Довідник. Ч. 2. Київ: Академперіодика, 2023. 360 с.

Національна академія наук України. Хронологія. 1918–2018. Київ: Фенікс, 2018. 720 с.

Олегові Борисовичу Гінтову – 80! *Геодинаміка.* 2015. Т. 19, № 2. С. 111–112.

Ольштинська О.П., Довбиш С.М. Пам'яті Олексія Юрійовича Митропольського (7.04.1942–5.03.2021). *Геология и полез. ископаемые Мирового океана.* 2021. Т. 17, № 1. С. 92–94.

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.

Половко С.Г. Школа морської гідрогеології А.Є. Бабинця в дії (до 60-річчя В.О. Ємельянова). *Геология и полез. ископаемые Мирового океана.* 2010. № 2. С. 85–91.

Пономаренко О.М., Сьомка В.О., Довбуш Т.І. Леонід Михайлович Степанюк (до 60-річчя від дня народження). *Мінерал. журн.* 2015. Т. 37, № 4. С. 127–129.

Про відновлення роботи Міжвідомчого тектонічного комітету України. *Геофиз. журн.* 2017. Т. 39, № 3. С. 102–112.

Старостенко В.І. Вітання самому молодому академіку Відділення наук про Землю НАН України Стеллі Борисівні Шехуновій з нагоди 60-річного ювілею. *Геофиз. журн.* 2023. Т. 45, № 1. С. 137–139.

Старостенко В.І., Коболев В.П. До 80-річчя від дня народження академіка НАН України Валерія Миколайовича Єремєєва. *Геофиз. журн.* 2022. Т. 44, № 1. С. 176–183.

Старостенко В.І. Про результати виконання Цільової комплексної програми наукових досліджень НАН України

«Мінерально-сировинна база України, як основа безпеки держави». Стенограма доповіді на засіданні Президії НАН України 3 березня 2021 р. *Вісн. НАН України.* 2021. № 4. С. 29–33.

Українські гідрологи, гідрохіміки, гідроекологи. Київ: Ніка-Центр, 2004. 176 с.

Федосєєнков Сергій. До 90-річчя від дня народження вченого-гідроакустика, члена-кореспондента НАН України Анатолія Івановича Гончара. *Океанографічний журн. (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану).* 2021. Т. 14, № 3. С. 155–160.

Цибань В.О. Нагороди Національної академії наук України. 3-є вид., перероб. і доповнене. Київ: КММ, 2018. 456 с.

Шнюков Е.Ф., Коболев В.П. Памяти нашего друга – Николая Васильевича Багрова. *Геология и полез. ископаемые Мирового океана.* 2015. № 2. С. 179–180.

60-річчя члена-кореспондента НАН України В.О. Іванова. *Вісн. НАН України.* 2006. № 9. С. 77–78.

60-річчя члена-кореспондента НАН України М.А. Якимчука. *Вісн. НАН України.* 2014. № 7. С. 86.

60-річчя члена-кореспондента НАН України М.Д. Гродзинського. *Вісн. НАН України.* 2017. № 7. С. 113.

60-річчя члена-кореспондента НАН України О.М. Пономаренка. *Вісн. НАН України.* 2010. № 1. С. 69–70.

70-річчя члена-кореспондента НАН України О.Б. Брика. *Вісн. НАН України.* 2013. № 4. С. 89–90.

70-річчя члена-кореспондента НАН України А.Г. Шапара. *Вісн. НАН України.* 2006. № 9. С. 75–76.

70-річчя члена-кореспондента НАН України Е.Я. Жовинського. *Вісн. НАН України.* 2004. № 6. С. 82.

70-річчя члена-кореспондента НАН України О.А. Щипцова. *Вісн. НАН України.* 2023. № 4. С. 105.

75-річчя члена-кореспондента НАН України В.П. Семененка. *Вісн. НАН України.* 2023. № 12. С. 106.

References

About the resumption of work of the Interdepartmental Tectonic Committee of Ukraine. 2017. *Geophys. Journal*, 39 (3): 102–112 (in Ukrainian).

Department of Earth Sciences. 2003. Kyiv: Polygraphy LLC “Makros” (in Ukrainian).

Ihor Mykhaïlovych Naumko – 60. 2011. *Mineral. Journal*, 33 (3): 100–102 (in Ukrainian).

Kobolev V.P., Starostenko V.I., Rusakov O.M. To the 90th birthday of Roman Ivanovich Kutas, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine. 2023. *Geophys. Journal*, 45 (3): 143–153 (in Ukrainian).

Lukin Alexander Efimovich (to the 70th birthday). 2010. *Geologhiya i korysni kopalyny Svitovogo okeanu*, (2): 97–99 (in Russian).

Marunyak E.O., Lisovsky S.A. 2021. Opening science to the world. To the 80th anniversary of Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine L.H. Rudenko. 2021. *Visnyk NAN Ukraine*, (8): 83–89. <https://orcid.org/0000-0002-6743-6883> (in Ukrainian).

Mykhaïlo Oleksiiovych Popov (to the 75th anniversary of his birth). 2021. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*, 8 (2): 41–42 (in Ukrainian).

NAS of Ukraine. 2018. Guide. 1918–2018: biographic encyclopedic dictionary. Kyiv: Fenix (in Ukrainian).

National Academy of Sciences of Ukraine. 1918–2018. Outstanding achievements. 2018. Kyiv: Fenix (in Ukrainian).

National Academy of Sciences of Ukraine. 1918–2018. Chronology. 2018. Kyiv: Fenix (in Ukrainian).

National Academy of Sciences of Ukraine. Directory. Part 2. 2023. Kyiv: Akadempriodyka (in Ukrainian).

Oleh Borysoviych Gintov is 80! 2015. *Geodynamics*, (2): 111–112 (in Ukrainian).

- Olshtynska O.P., Dovbysh S.M. In memory of Oleksiy Yuriyovych Miytropolsky (7.04.1942–5.03.2021). 2021. *Heolohiya i korysni kopalyny Svitovogho okeanu*, 17 (1): 92–94 (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).
- Polovko S.G. 2010. School of Marine Hydrogeology A.E. Babynets in action (for the 60th anniversary of V.O. Yemelyanov). 2010. *Heolohiya i korysni kopalyny Svitovogho okeanu*, 6 (2): 85–91 (in Ukrainian).
- Ponomarenko O.M., Syomka V.O., Dovbush T.I. 2015. Leonid Mykhailovych Stepaniuk (on to his 60th birthday). 2015. *Mineral. Journal*, 37 (4): 127–129 (in Ukrainian).
- Report on the activities of the National Academy of Sciences of Ukraine in 2019 / NAS of Ukraine. 2020. Kyiv: Akadempriodyka (in Ukrainian).
- Report on the activities of the National Academy of Sciences of Ukraine in 2020 / NAS of Ukraine. 2021. Kyiv: Akadempriodyka (in Ukrainian).
- Report on the activities of the National Academy of Sciences of Ukraine in 2021 / NAS of Ukraine. 2022. Kyiv: Akadempriodyka (in Ukrainian).
- Report on the activities of the National Academy of Sciences of Ukraine in 2022 / NAS of Ukraine. 2023. Kyiv: Akadempriodyka (in Ukrainian).
- Report on the activities of the National Academy of Sciences of Ukraine in 2023 / NAS of Ukraine. 2024. Kyiv: Akadempriodyka (in Ukrainian).
- Scientific institutions of Ukraine: information edition. 2013. Kyiv: UkrINTEI (in Ukrainian).
- Scientists of Ukraine are the elite of the state. Vol. 4. 2015. Kyiv: Logos Ukraine (in Ukrainian).
- Serhiy Fedoseyenko. 2021. To the 90th anniversary of the birthday of the hydroacoustic scientist, corresponding member of the National Academy of Sciences of Ukraine Anatoliy Ivanovich Honchar. 2021. *Oceanographic journal. (Problems, methods and means of research of the World Ocean)*, 14 (3): 155–160 (in Ukrainian).
- Shnyukov E.F., Kobolev V.P. 2015. In memory of our friend – Nikolai Vasilievich Bagrov. 2015. *Heolohiya i korysni kopalyny Svitovogho okeanu*, 11 (2): 179–180 (in Russian).
- Starostenko V.I. 2021. About the results of the implementation of the Targeted Comprehensive Program of Scientific Research of the National Academy of Sciences of Ukraine “Mineral and raw material base of Ukraine as the basis of state security”. Transcript of the report at the meeting of the Presidium of the National Academy of Sciences of Ukraine on March 3, 2021. *Visnyk NAN Ukraine*, (4): 29–33 (in Ukrainian).
- Starostenko V.I. 2023. Congratulations to Stella Borysivna Shekhunova, the youngest academician of the Department of Earth Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, on the occasion of her 60th anniversary. 2023. *Geophys. Journal*, 45 (1): 137–139 (in Ukrainian).
- Starostenko V.I., Kobolev V.P. 2022. To the 80th anniversary of the birth of Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine Valeriy Mykolayovych Eremeyev. 2022. *Geophys. Journal*, 44 (1): 176–183 (in Ukrainian).
- Study of modern geodynamics of the Ukrainian Carpathians. 2005. Kyiv: Naukova D Dumka (in Ukrainian).
- To the 75th anniversary of the corresponding member of the National Academy of Sciences of Ukraine Oleksandr Volodymyrovych Kendzera. 2023. *Geophys. Journal*, 45 (3): 154–157 (in Ukrainian).
- Tsiban V.O. 2018. Awards of the National Academy of Sciences of Ukraine. 2018. Kyiv: KMM (in Ukrainian).
- Ukrainian hydrologists, hydrochemists, hydroecologists. 2004. Kyiv: Nika-Center (in Ukrainian).
- Volodymyr Mykolayovych Semenenko (To the 75th anniversary of his birthday). 2009. *Geologichnij zhurnal*, 3 (328): 114–115 (in Ukrainian).
- 60th anniversary of Corresponding Member of NAS of Ukraine V.O. Ivanova. 2006. *Visnyk NAN Ukrainy*, (9): 77–78 (in Ukrainian).
- 60th anniversary of Corresponding Member of NAS of Ukraine M.A. Yakymchuka. 2014. *Visnyk NAN Ukrainy*, (7): 86 (in Ukrainian).
- 60th anniversary of Corresponding Member of NAS of Ukraine M.D. Grodzinsky. 2017. *Visnyk NAN Ukrainy*, (7): 113 (in Ukrainian).
- 60th anniversary of Corresponding Member of NAS of Ukraine O.M. Ponomarenko. 2010. *Visnyk NAN Ukrainy*, (1): 69–70 (in Ukrainian).
- 70th anniversary of Corresponding Member of NAS of Ukraine O.B. Briyk. 2013. *Visnyk NAN Ukrainy*, (4): 89–90 (in Ukrainian).
- 70th anniversary of Corresponding Member of NAS of Ukraine A.H. Shapar. 2006. *Visnyk NAN Ukrainy*, (9): 75–76 (in Ukrainian).
- 70th anniversary of Corresponding Member of NAS of Ukraine E.Ya. Zhovinsky. 2004. *Visnyk NAN Ukrainy*, (6): 82 (in Ukrainian).
- 70th anniversary of Corresponding Member of NAS of Ukraine O.A. Shiyptsov. 2023. *Visnyk NAN Ukrainy*, (4): 105 (in Ukrainian).
- 75th anniversary of Corresponding Member of the NAS of Ukraine V.P. Semenenko. 2023. *Visnyk NAN Ukrainy*, (12): 106 (in Ukrainian).

GEOLOGIČNIJ ŽURNAL

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

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

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

→ Founders:

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

→ Issued quarterly.

→ Languages: Ukrainian, English.

→ The journal is indexed / abstracted:

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

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

Manuscripts, galley proofs and other correspondence should be addressed to:
Geologičnij žurnal, Institute of Geological Sciences
O. Honchara str., 55 b, Kyiv-54, Ukraine, 01601
Phone: 380444869446
E-mail: geolzhurnal@nas.gov.ua

Индекс 74114

